



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y

Tecnología Avanzada

Unidad Legaria

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD
DIDÁCTICA PARA INTRODUCIR CONCEPTOS DE
MECÁNICA CUÁNTICA EN ESTUDIANTES DE
BACHILLERATO.**

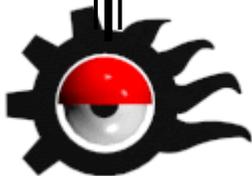
**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN FÍSICA EDUCATIVA**

**P R E S E N T A :
RICARDO MONROY GAMBOA**

Directores: Dr. Mario Humberto Ramírez Díaz

Dr. Cesar Eduardo Mora Ley

México, D. F., 12 diciembre de 2012





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 12:00 horas del día 28 del mes de enero del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA Legaria para examinar la tesis titulada:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA INTRODUCIR CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO

Presentada por el alumno:

Monroy Gamboa Ricardo
 Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)

Con registro:

A	0	9	0	7	7	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias con especialidad en Física Educativa

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Mario Humberto Ramírez Díaz

Dr. César Eduardo Mora Ley

Dr. Ricardo García Salcedo

Dr. Daniel Sánchez Guzmán

Dr. Rubén Sánchez Sánchez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

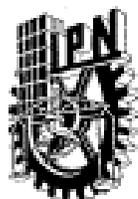
CICATA - I.P.N. U. LEGARIA

Centro de Investigación en Ciencia

Aplicada y Tecnología Avanzada

Instituto Politécnico Nacional

Dr. José Antonio Calderón Arenas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 7 del mes de enero del año 2013, el (la) que suscribe Ricardo Monroy Gamboa alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Física Educativa, con número de registro AO90775, adscrito(a) al CICATA LEGARIA, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Mario Humberto Ramírez Díaz y Dr. Cesar Eduardo Mora Lev y cede los derechos del trabajo titulado DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA INTRODUCIR CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: ricardo@ciencias.unam.mx y mhrd73@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ricardo Monroy Gamboa
Nombre y firma del alumno(a)

Resumen

Generalmente la física cuántica no es introducida en los cursos de física de bachillerato. Una de las principales causas es porque el nivel de abstracción y el elevado formalismo matemático, representa una enorme dificultad. Por otro lado el conocimiento del impacto social y tecnológico que ha tenido la mecánica cuántica en el desarrollo de la humanidad sobre todo en el último siglo, queda restringido para algunos de los estudiantes de nivel preuniversitario, principalmente aquellos que no siguen carreras de corte científico y tecnológico. Como parte del presente proyecto se pretende realizar un estudio sobre la aplicabilidad de una unidad, (*Sólidos y Luz*), que introduce principios de mecánica cuántica mediante una secuencia didáctica que utilizará dispositivos electrónicos, principalmente diodos emisores de luz (LED'S). Como parte del protocolo de investigación, se evaluarán actitudes de los estudiantes mediante cuestionarios que se utilizarán en clases de física moderna.

Los aspectos a estudiar en *Sólidos y Luz* incluyen diversas actividades, algunas de tipo experimental en el laboratorio y otras utilizando programas interactivos de computadora. En la mayoría de los casos los materiales a emplear son baratos y fáciles de conseguir. El enfoque conceptual sobre los temas a desarrollar de mecánica cuántica se trabajará previamente en el salón de clase.

Finalmente se contará con una secuencia didáctica, aplicable a una o más unidades de un curso de física moderna para nivel de bachillerato, en la que se incluirán actividades con un mínimo de contenido teórico y poniendo énfasis en las experimentales y aplicaciones por computadora, en la que se utilicen tecnologías y estrategias innovadoras para la enseñanza de tópicos de física moderna en niveles preuniversitarios.

Abstract

Quantum physics is not traditionally introduced in high school physics courses because of the level of abstraction and mathematical formalism associated with the subject. As part of the Quantum Mechanics Teaching project, activity-based instructional units have been developed that introduce quantum principles to students who have limited backgrounds in physics and mathematics. This study investigates the applicability of one or more units, *Solid and Light*, that introduce quantum principles within the context of learning about light emitting diodes. An observation protocol, attitude surveys, and questionnaires were used to examine the implementation of materials and student-teacher interactions in various high school physics levels.

Aspects of *Solids and Light* including the use of hands-on activities, interactive computer programs, inexpensive materials, and the focus on conceptual understanding were very applicable in the various physics classrooms observed. Both teachers and students gave these instructional strategies favorable ratings in motivating students to make observations and to learn. These ratings were not significantly affected by gender or students attitudes towards physics or computers.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
JUSTIFICACIÓN	9
MARCO TEÓRICO	10
PROGRAMA GUIA DE ACTIVIDADES	20
PROPUESTA DIDACTICA	26
CONCLUSIÓN	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
ANEXOS	100

I INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se desarrolla el diseño de una Unidad Didáctica para introducir conceptos de la mecánica cuántica como son los tópicos de estructura de la materia y luz en el Bachillerato (a partir de un modelo específico para el diseño de Unidades Didácticas (UD) en ciencias experimentales; Sánchez y Valcárcel, 1993); El tema de estructura de la materia (estado sólido y luz) se introduce en los estudiantes a partir de algunos conocimientos previos y se consideran los conceptos antecedentes necesarios para lograrlo así mismo se toma en cuenta las “ideas previas” de los estudiantes en relación con la temática considerada. La unidad utiliza también conocimientos cualitativos de algunos conceptos discutidos en los contenidos tradicionales de la física clásica.

La propuesta que aquí se presenta, se enmarca en el modelo sobre Enseñanza de las Ciencias por Resolución de Problemas como Investigación Dirigida (Gil, D. , Carrascosa J., Furió, C., y Mtnez.-Torregrosa, J., 1991; Gil-Pérez, D. 1993; Gil-Pérez, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez, J., Guisasaola, J., González, E., Dumas, A., Goffard, M. y Pessoa A. M. 1999), en una versión adaptada a las necesidades y las condiciones que se presentan en la práctica docente del bachillerato en especial en el Instituto de Educación Media Superior IEMS del Gobierno del Distrito Federal.

La propuesta didáctica se plantea, tomando como punto de partida la necesidad de contar con materiales adecuados para el desarrollo de la actividad docente, de manera tal que resulten en beneficio efectivo en el aprendizaje de los estudiantes, aborda el tema de la luz y sus modelos de explicación desde las versiones teóricas de Newton, Huygens, Maxwell, Planck-Einstein; lo que tiene como intención introducir a los estudiantes en el estudio de uno de los conceptos más relevantes (aunque complejo) de la Física Moderna: el concepto de fotón.

El diseño de Unidad Didáctica que aquí se presenta, está elaborada para ser aplicada con alumnos del tercer año de bachillerato, cuyas edades se ubican entre los 17 y 19 años, cuyas características y problemática propia de la adolescencia se describen en el capítulo de justificación académica.

La propuesta que se presenta como Programa-Guía de Actividades (ver anexos) y que es la parte medular de este trabajo, se construyó a partir de los dos intentos diseñados y descritos de forma genérica mas adelante. En ella se recoge la experiencia realizada en las Prácticas Docentes y plantea una nueva forma de abordar el aspecto cuántico de la luz.

La idea central de la propuesta es incidir en la comprensión conceptual, que permitirá la preparación para que los alumnos den el paso hacia la formalización y el desarrollo en la dirección de resolución de problemas complejos acorde al nivel máximo que se pudiera ofrecer en el bachillerato.

El trabajo que aquí se presenta consta de ocho capítulos incluyendo esta introducción. En el segundo capítulo, se desarrollan las razones del planteamiento del problema, relacionado con la docencia, en particular en el bachillerato de IEMS, y se argumenta de qué manera

puede ser de utilidad en la enseñanza de la Física en la actualidad.

En el capítulo tres se analizan los antecedentes del tema en cuestión y el concepto de Unidad Didáctica, se discute la problemática asociada con la enseñanza de la Física moderna, así como la necesidad de incorporar algunos elementos de la historia de la Física en su enseñanza; finalmente, se describen algunas características de la población atendida, primeramente y de forma general de la etapa adolescente y en segundo lugar se presentan, de forma específica, aquellas de tipo socioeconómico y cultural propias de los alumnos del IEMS, con el fin de ubicar la problemática que se presenta posteriormente en la práctica docente.

En el cuarto capítulo, se presenta la perspectiva teórica desde la cual se aborda el problema, cuya solución se propone en la tesis: la Enseñanza de las Ciencias por Resolución de Problemas como Investigación Dirigida (que en lo sucesivo indicaremos como modelo de investigación dirigida), la cual es el fundamento central de la propuesta didáctica que se presenta.

En el desarrollo de la exposición de la propuesta de investigación dirigida, se presenta la justificación, así como las ideas centrales de la misma. Se describe de forma inicial lo que se considera como “programa-guía de actividades”, que es la forma específica en la que se concreta el modelo. Asimismo, se desarrolla en forma breve, la justificación de la introducción de las demostraciones experimentales como un recurso didáctico en la enseñanza de la Física, ya que forman parte de las actividades que se incluyen en el Programa-Guía que se diseñó para el desarrollo de la temática considerada.

Igualmente, se hace con el aspecto vinculado con el uso de la lectura de textos breves en la enseñanza de la Física. Finalmente, en este capítulo, se da especial atención a la problemática de la evaluación de los aprendizajes, ya que este rubro constituye un aspecto central de la propuesta didáctica.

El capítulo cinco, es una descripción de la metodología de trabajo utilizada en la elaboración de la propuesta. Se inicia con una descripción del modelo de diseño de Unidades Didácticas de Sánchez y Valcárcel (1993) y se describen detalladamente cada una de las etapas propuestas en el mismo: análisis científico, análisis didáctico, selección de objetivos, selección de estrategias didácticas y la selección de estrategias de evaluación, aplicadas al caso del diseño de la UD: Introducción del modelo cuántico de la luz, en el bachillerato: construcción del concepto de fotón.

Se describen así mismo, en forma detallada, los elementos considerados en el diseño del programa-guía de actividades correspondiente. A continuación, se describe y explica el método de trabajo y los instrumentos utilizados en el desarrollo de la propuesta, en particular, se detalla la relación de la práctica docente con el diseño de la UD propuesta, enmarcados en el modelo de investigación dirigida. Al final del capítulo se señalan algunas posibles dificultades en la operación de la propuesta y que deben ser consideradas en su aplicación en el aula.

En el capítulo seis, se presentan los resultados y conclusiones obtenidos y se plantean las repercusiones e implicaciones para el ejercicio docente, así como las posibles limitaciones del trabajo. También se indican posibles perspectivas de desarrollos futuros. Se incluye, en la sección 7, por supuesto, la literatura utilizada en el desarrollo del trabajo, dividida en una parte básica y otra complementaria.

Finalmente, el trabajo se cierra en el capítulo ocho, con una sección de anexos que se han mencionado a lo largo del desarrollo del texto de esta Tesis, y que forman parte de la propuesta elaborada, en ellos se incluye la parte central de la propuesta didáctica: El programa-guía de actividades para el desarrollo del tema considerado.

II.JUSTIFICACIÓN

En el bachillerato en México pocos profesores están preparados, antes de iniciar el trabajo con los alumnos, para realizar la labor docente de forma profesional (Pasillas, 1996); usualmente el profesor se forma en la práctica cotidiana en el trabajo que realiza en el aula con los alumnos. Aun cuando el profesor “promedio” se preocupa por superarse a fin de realizar cada vez mejor su labor docente, no es suficiente la formación que recibe, tanto en los cursos de actualización disciplinaria o didáctica, como en la interacción en el trabajo colegiado que realiza en el trabajo cotidiano en su actividad en el aula.

En relación con la problemática del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física, los cambios ocurridos en años recientes, por ejemplo la Reforma Integral de la Educación Media Superior relacionados con la Actualización del Plan y los programas de estudios del Bachillerato Nacional y algunos cambios autónomos independientes de esta, han generado dificultades para los profesores que impartimos dicha materia. En mi caso y a partir de la experiencia con los planes de estudio del Instituto de Educación Media Superior del Gobierno del Distrito Federal (IEMS) y del Colegio de Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCH-UNAM). Tomaré como referencia dichos planes. Antes de 1996 los programas de estudios de las asignaturas de Física sólo consideraban prácticamente la Física clásica; a partir de 1996 en el CCH con la actualización del Plan y los Programas de estudio se agregaron temas de la Física Moderna. En el IEMS, esta asignatura se incluyó desde su creación.

Así, para cualquier profesor, se presentan dos problemas: primero actualizarse para poder abordar esas temáticas con los alumnos y segundo, trabajar en la búsqueda de formas para abordar la enseñanza de la Física Moderna. Esta ha sido un área especialmente difícil y poco atendida en relación con la búsqueda de formas para acercarla a los estudiantes del bachillerato, es por ello que se han realizado esfuerzos para elaborar materiales y estrategias que faciliten su comprensión en este nivel.

III MARCO TEÓRICO

Todo profesor de ciencias, consciente o inconscientemente, parte de una serie de ideas propias, sobre los tópicos que se asocian con su labor docente como son: educación, ciencia, conocimiento, aprendizaje, enseñanza, evaluación, entre otros. Aun cuando en el bachillerato en general, el profesor promedio no es un investigador sino un practicante de la docencia, conviene que conozca, por una parte y de forma general, cuáles son los enfoques teóricos que abordan el complejo fenómeno del aprendizaje, a fin de clarificar y reflexionar con cierta fundamentación su labor, de tal forma que ello permita realizarla de una forma más sistemática, ordenada y eficiente en lo posible. Por otra parte, también se requiere que el profesor conozca algunas propuestas concretas de cómo abordar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, a fin de contar con “nuevas formas” que apoyen su labor docente.

Recientemente, el crecimiento de los trabajos de investigación en didáctica de las ciencias, ha dado como resultado un mayor conocimiento de las dificultades de los estudiantes para aprender ciencias y ha puesto en duda, con fundamentos, el modelo de enseñanza tradicional, basado fundamentalmente en la creencia de que la transmisión de los conocimientos por el profesor en su estado final, es la mejor o única forma de lograr que los estudiantes aprendan.

Afortunadamente, la mayoría de esas investigaciones, no sólo se han limitado a identificar las deficiencias del modelo de enseñanza tradicional, sino que también han generado modelos de enseñanza que pueden competir con éste.

Por otra parte, investigaciones recientes tanto en el campo de las preconcepciones como en el de los trabajos prácticos y la resolución de problemas, muestran que los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia, cuando participan en investigaciones bajo la supervisión (recogiendo, debatiendo y apoyando a la reflexión sobre el progreso realizado) de un profesional experto (Hodson, 1994), de manera análoga a la que hacen los científicos, siempre y cuando se les den las condiciones para que ello ocurra.

Desde este punto de vista, la familiarización con la metodología científica o con la comprensión de la naturaleza de la ciencia, no está separada del objetivo de aprender conocimientos científicos o de generar actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje.

La crítica a la práctica docente tradicional y el amplio abanico de investigaciones en el campo de la psicología, la pedagogía y la didáctica ha culminado en un consenso integrador que se ha dado en llamar modelo “constructivista”, en él se recogen aportaciones de la teoría cognoscitiva de Piaget, Ausubel y Vigotsky.

En este modelo, la actividad del alumno es un factor decisivo cuando modifica y elabora sus esquemas de conocimiento construyendo su propio aprendizaje (Driver y Oldham, 1986). En esta orientación, el aprender implica que quien aprende no es un “recipiente vacío” que hay que llenar de “conocimiento” sino que, por el contrario, parte de sus

"esquemas mentales" y usa sus estrategias de pensamiento y explicación cuando afronta la comprensión de una situación novedosa.

En el bachillerato, es fundamental que los estudiantes profundicen en el conocimiento de la realidad, utilizando procedimientos de estudio acordes con el trabajo científico, a la vez, avancen en la adquisición de un pensamiento formal y al mismo tiempo desarrollen las actitudes adecuadas para asumirse como ciudadanos de una manera consciente, reflexiva y crítica.

Asociado con los puntos anteriores y desde mediados de los años ochenta, existe una corriente de investigadores [Gil, Carrascosa, Furió, y Martínez-Torregrosa, 1991; Gil, 1993; Gil, et. al. (1999)] que consideran que la fundamentación teórica de una propuesta educativa en enseñanza de las ciencias, puede hacerse desde la perspectiva del desarrollo de la Historia y Filosofía de las ciencias. Dicha propuesta parte de que, ni la propuesta Ausubeliana de aprendizaje por recepción significativa, ni el cambio conceptual, resuelven el complejo problema del aprendizaje de las ciencias.

En suma, consideran que en ningún caso se aborda la cuestión relacionada con el aprendizaje de aspectos metodológicos, que son centrales en el aprendizaje de los conceptos y en la adquisición de actitudes positivas hacia las ciencias, tal es el caso de la propuesta de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida.

El modelo considera que es necesario un cambio en los métodos de trabajo en el aula, de tal forma que, para que ocurra la transformación de las ideas previas de los estudiantes, se requiere que el aprendizaje se desarrolle siguiendo un método de trabajo similar al método propio de trabajo científico, por lo que el proceso de cambio conceptual debe estar asociado, necesariamente con un cambio metodológico y actitudinal (Carrascosa y Gil, 1985).

CRÍTICA A LAS FORMAS USUALES DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.

En el desarrollo de la propuesta de investigación dirigida (Gil, et. al. ,1991), se hace una revisión crítica sobre el papel que han jugado en la enseñanza, el aprendizaje de conceptos, las prácticas de laboratorio y la resolución de problemas. Después de ello, sus creadores, elaboran la propuesta en la que integran estos tres elementos, en un modelo de aprendizaje de las ciencias por resolución de problemas como investigación dirigida.

Aprendizaje de conceptos

La necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje, que hagan posible el desplazamiento de las ideas previas por los conocimientos científicos, ha dado lugar a propuestas que coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como una construcción de conocimientos, que parte necesariamente de un conocimiento previo; en esta orientación de enseñanza de las ciencias, que ha ejercido particular influencia en la investigación y en el aula, se considera al aprendizaje como un cambio conceptual.

Este enfoque se fundamenta en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional, semejante a la investigación científica y sus resultados, el cambio conceptual, pueden verse como el equivalente a un cambio de paradigma, en el sentido de Kuhn (1971).

Estas concepciones sobre el aprendizaje de las ciencias, han conducido en los últimos años, a diversos modelos de enseñanza, que tienen como objetivo explícito, provocar en los alumnos cambios conceptuales. Por ejemplo, para Driver (1986), la secuencia de actividades incluye:

- La identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos.
- La puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos.
- La introducción de nuevos conceptos, bien mediante "lluvia de ideas" de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción.
- Proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer que así adquieran confianza en las mismas.

La atención a las ideas previas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendiente a hacer posible el cambio conceptual, aparecen hoy, como adquisiciones relevantes de la didáctica de las ciencias, teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental, de manera tal que algunos resultados sugieren que las estrategias de enseñanza, basadas en el modelo de cambio conceptual, producen la adquisición de conocimientos científicos, más eficazmente que las estrategias tradicionales (Hewson, 1989).

No obstante, algunos autores han constatado que ciertas ideas previas de los alumnos son resistentes a la instrucción, incluso cuando ella está orientada explícitamente a producir el

cambio conceptual (White y Gunstone, 1998). Se ha señalado incluso que, en ocasiones, el cambio conceptual conseguido, es más aparente que real, como lo muestra el hecho de que al poco tiempo vuelvan a reaparecer las concepciones que se creían superadas (Hewson, 1989, Pozo, 1996).

Por otra parte desde una perspectiva práctica, Gil, et al., (1991), plantean el problema de la revisión de las preconcepciones con los estudiantes, en los siguientes términos:

Es cierto que dicha estrategia puede, puntualmente, dar resultados muy positivos al llamar la atención sobre el peso de ciertas ideas de sentido común, asumidas acríticamente como evidencias; pero también es cierto que se trata de una estrategia "perversa". En efecto ¿qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen sus ideas para seguidamente cuestionarlas?, ¿cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos?

Así, en la propuesta de Gil, (1991), las situaciones de conflicto cognitivo presentan una condición diferente: ya no suponen para los alumnos el cuestionamiento externo de las ideas personales, ni la aceptación de los "errores" en sus formas de pensamiento, con las consiguientes implicaciones afectivas, sino que, en su lugar, los conflictos cognitivos se presenten no como una confrontación entre las ideas propias de los alumnos y los conocimientos científicos, sino como un trabajo de profundización, en el que unas ideas (tomadas como hipótesis) son sustituidas o modificadas por otras. Todo ello, a partir de la actividad constructiva del alumno en interacción con sus pares y el experto, involucrados todos en una labor de "investigación", que parte del planteamiento de algunos problemas cuya solución, en una primera aproximación, está al alcance de todos.

La dificultad de cambiar las estructuras conceptuales de los alumnos, puede ser entendida a partir de los estudios de Piaget sobre epistemología genética, que sugieren una vinculación entre la evolución histórica de la ciencia y la formación de las concepciones intuitivas en los niños (Gil, 1983; Gil y Carrascosa, 1985). Se comprende así la necesidad de realizar un esfuerzo por aproximar el trabajo científico a las clases, de hecho las dificultades encontradas para producir los cambios conceptuales, pueden ser debidas a que la enseñanza de las ciencias no está organizada para familiarizar a los alumnos con dicha metodología, ni para favorecer el cambio metodológico; Ziman (1980) ha destacado que "muchos niños y universitarios, estarían más preparados para sus vidas si se les hubiera enseñado menos Ciencia como tal y un poco más sobre la Ciencia".

Las prácticas de laboratorio

Aunque la orientación más general de los trabajos prácticos (Caballer, 1997, Gil y Valdés, 1996, Gil, et. al., 1991) es la que los concibe como mera ilustración de los conocimientos teóricos introducidos, las prácticas de laboratorio, aparecen como "recetas" que transmiten una visión deformada y empobrecida de la actividad científica.

No obstante, existe una disposición positiva de los profesores, para considerar las prácticas

de laboratorio como una ocasión de familiarizar a los estudiantes con el trabajo científico y resulta relativamente fácil conseguir que los docentes cuestionen las prácticas como “recetas” y hagan suyas propuestas que ofrecen una visión más correcta de la ciencia (Hodson, 1994 y Gil, et. al., 1991).

Sin embargo, esa relativa facilidad para transformar los trabajos prácticos, sigue escondiendo una visión empirista (Flores, 1994; Fernández et. al., 2002; Martínez et.al., 1994, Porlán, 1997) de la actividad científica, que asocia principalmente la idea de investigación con trabajo experimental, y que ha actuado como obstáculo en la renovación de otros aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Los problemas de lápiz y papel

La resolución de problemas constituye un proceso clave en la enseñanza de las ciencias (Garrett, 1988), sin embargo en el caso de la Física, dicho proceso se ha reducido, durante mucho tiempo, al trabajo en el aula de problemas de “lápiz y papel”. Adicionalmente, existe entre el profesorado de ciencias, una confusión entre lo que se entiende por problema y lo que son los ejercicios de aplicación. Lo cierto es que los profesores consideran equivalentes estos dos aspectos, los cuales se tratan de igual manera en los textos, con el consecuente resultado de hacer creer a los alumnos que están resolviendo problemas, cuando en realidad lo que se está planteando son ejercicios de aplicación.

En relación con este último punto, se ha reconocido que con gran frecuencia los profesores de ciencias utilizan, después de la explicación de un tema, la realización de problemas de aplicación, con el fin de lograr una mejor comprensión de los aspectos teóricos tratados. Sin embargo, el fracaso de los alumnos frente a esta actividad, es muy grande y en el mejor de los casos lo que se consigue, es la aplicación mecánica de fórmulas o definiciones estudiadas con anterioridad (Caballer, 1997, Tiberghien, 1998, Gil, et al., 1988, Hobden, 1998).

El problema de la enseñanza de la ciencia, a partir de la resolución de problemas de lápiz y papel, radica en el hecho de que, en realidad, los alumnos no se enfrentan a resolver problemas, es decir, situaciones desconocidas ante las cuales ellos no saben qué hacer, sino que los profesores explican las soluciones que le son perfectamente conocidas y que, por supuesto, no le generan ningún tipo de dudas. Lo que usualmente hace un profesor en esta orientación, es enseñar a los estudiantes a aprender dicha solución y repetirla ante situaciones prácticamente idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio, les supone dificultades enormes, lo que lleva solo a manipulaciones de datos sin sentido, manejo de fórmulas e incógnitas sin ningún aprendizaje significativo.

Por ello, es importante promover en los estudiantes un comportamiento similar al de los científicos cuando tienen que enfrentar auténticos problemas: es decir como investigadores que se involucran en una actividad compleja y creativa de razonamiento en términos de hipótesis (Gil, et al., 1988b), en la búsqueda de la solución a los problemas planteados.

LA PROPUESTA INTEGRADORA: LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN DIRIGIDA.

La importancia de las concepciones alternativas de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como un cambio conceptual y no sólo como adquisición de conocimientos, puede basarse en la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje, es decir, la construcción de conocimientos por los alumnos considerando sus preconcepciones, como un obstáculo a superar, y la investigación, en la que la construcción de conocimientos por la comunidad científica se genera a partir del paradigma vigente (Gil, 1986).

De lo anterior, se desprende que para producir el cambio conceptual, no basta con tomar en consideración las preconcepciones de los alumnos, sino que se requiere un cambio metodológico para lograr el cambio conceptual. Así es como históricamente han ocurrido los cambios conceptuales en la ciencia. Por ejemplo, el de la Física aristotélica a la Física de Galileo en el estudio del movimiento.

Este cambio conceptual, nunca ha ocurrido de forma fácil y es evidente que lo mismo ocurrirá con los alumnos: solamente si son puestos de manera continua en situación de aplicar ésta metodología, será posible que superen su “metodología del sentido común” también llamada “metodología de la superficialidad”, al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico (Carrascosa, 2005), es por ello que resulta esencial asociar explícitamente, la construcción de conocimiento a la solución de problemas.

Por tanto, la propuesta de investigación dirigida se plantea para resolver problemas de interés para los “investigadores” (es decir, en nuestro caso, para los alumnos); problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen como punto de partida o hipótesis.

Paralelamente y como ya se ha señalado en un apartado anterior, es importante considerar el papel que la historia de la ciencia puede jugar en la enseñanza. El objetivo relevante de su uso, es contribuir a que los conocimientos se estructuren en cuerpos coherentes, que puedan sustituir de un modo global la imagen que los estudiantes tienen en éste campo, lo que exige el estudio de situaciones problemáticas simplificadas y dirigidas, que den sentido al avance en el desarrollo de las unidades didácticas de un hilo conductor claro, que permita abordar la temática considerada (Solbes y Traver, 1996).

Después de analizar que las diferentes formas de abordar la enseñanza de las ciencias a través de las clases teóricas, los problemas de lápiz y papel y las prácticas de laboratorios como estrategias independientes, pueden ser abordadas desde la perspectiva de la “resolución de problemas”, Daniel Gil y su grupo de colaboradores, desarrollan dos formas de su modelo de resolución de problemas como investigación.

En una primera versión de la propuesta de resolución de problemas como investigación, y con el fin de evitar el operativismo mecánico que se induce en los estudiantes cuando enfrentan los problemas tradicionales de “lápiz y papel”, Gil, et. al. (1988), proponen que la resolución de problemas se lleve a cabo a partir de la modificación de enunciados de

problemas tradicionales para trabajar con situaciones abiertas, equivalentes a situaciones problemáticas. De este modo la tarea se asemejará más a la situación que enfrenta un investigador. El tipo de problemas que se abordan es como el siguiente: "Un automóvil comienza a frenar al ver el conductor la luz amarilla, ¿con qué velocidad llegará al paso de peatones?". Aquí los alumnos tendrán que hacer un análisis cuidadoso del problema, iniciando con un enfoque cualitativo: por ejemplo pueden considerar la influencia de la fuerza de frenado, la masa del automóvil, la distancia a la que se encontraba inicialmente del paso de peatones y qué velocidad llevaba, etc.

En esta primera formulación (Gil, et. al. ,1999), se busca desarrollar un proceso que va, desde la discusión cualitativa, emisión de hipótesis, hasta el diseño y evaluación de resultados. Este proceso no se da naturalmente sin una instrucción adecuada, por ello, la virtud del modelo está más asociada al proceso de guía que desarrolla el profesor, que a las características del enunciado del problema solamente.

En una segunda versión de la propuesta, se plantea una situación similar a la escrita anteriormente, pero se desarrolla de una forma más "dirigida". En ella se trata de favorecer en el aula un trabajo de investigación, a partir de problemas abiertos de tipo cualitativo o de situaciones problemáticas, lo que requiere, la elaboración de "programas de actividades" (programas de investigación), capaces de estimular y orientar adecuadamente la reconstrucción de conocimientos por los alumnos (Gil, 1982). Como señalan Driver y Oldham, (1986), quizás la más importante implicación del modelo "constructivista" en el diseño del currículo sea:

"concebir el currículo no como un conjunto de conocimientos y habilidades, sino como el programa de actividades a través de las cuales, dichos conocimientos y habilidades pueden ser contruidos y adquiridos".

En esta propuesta, la idea de trabajo colectivo constituye un aspecto esencial, de acuerdo con el propósito de aproximar la actividad de los alumnos a un trabajo de investigación científica. El trabajo en pequeños grupos, como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas, es fundamental en ésta orientación (Ausubel 1978;Nuthal, 2000 ;Campanario,1999; Estevez, 2004, Gil. 2005, Díaz Barriga , 1993).

Al mismo tiempo, es importante resaltar, la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, con el fin de promover una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único grupo y la necesidad de contrastarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente, para que la "comunidad científica" (representada por los miembros del grupo el profesor y las fuentes de información) los acepte.

La propuesta metodológica de resolución de problemas como investigación dirigida, puede sintetizarse en las siguientes etapas (Gil, 1993):

1. Plantear situaciones problemáticas que, teniendo en cuenta las ideas, la visión del mundo, las destrezas y las actitudes de los alumnos, generen interés y proporcionen una

concepción preliminar de la tarea.

2. Proponer a los estudiantes, el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y la toma de decisiones para acotar problemas precisos (oportunidad para que comiencen a externar sus ideas) y comenzar a concebir un plan para su tratamiento.

3. Orientar el tratamiento científico de los problemas planteados, lo que implica, entre otros:

La emisión de hipótesis, incluida la invención de conceptos; la elaboración de modelos... (oportunidad para que las ideas previas sean utilizadas para hacer predicciones).

La elaboración de estrategias (incluyendo, en su caso, diseños experimentales), para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica, estudiando la coherencia con el cuerpo de conocimientos.

Ello puede convertirse en oportunidad de conflicto cognoscitivo entre distintas concepciones (tomadas todas ellas como hipótesis) y obligar a concebir nuevas hipótesis.

4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), que enmarcan el desarrollo científico (propiciando, a éste respecto, la toma de decisiones) y dirigiendo todo éste tratamiento, a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia. Favorecer, en particular, las actividades de síntesis (esquemas, memorias, recapitulaciones, mapas conceptuales...), la elaboración de productos (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea) y la concepción de nuevos problemas.

En las cuatro fases que esquematizan la estrategia de enseñanza propuesta, se busca integrar aspectos esenciales que afectan a la actividad científica pero que por lo común, no son tenidos en cuenta en la enseñanza de las ciencias: los problemas de contextualización del trabajo científico y los componentes “afectivos” (Solbes y Traver, 2001).

El aprendizaje de las ciencias es visto en éste caso, no sólo como cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y actitudinal. Ello implica, por otra parte, una completa integración de la “teoría”, las “prácticas” y los “problemas”, en un proceso único de construcción de conocimientos científicos, tal como ocurre en los procesos de investigación reales.

Desde ésta perspectiva, ésta propuesta trata de que los estudiantes vean más atractivas las concepciones científicas, que sus ideas generadas de manera espontánea, ello implica el introducirse, en la medida de lo posible, en la enseñanza de una “cultura científica” y de ésta forma romper con el tratamiento separado de actividades, que en la investigación científica aparecen absolutamente superpuestas y cuya persistencia en la enseñanza, contribuye a transmitir una visión deformada de la ciencia.

Una reorientación de la resolución de problemas como la que aquí se propone, ha sido ya

utilizada sistemáticamente, en algunos países de habla hispana, por numerosos profesores, con resultados muy positivos, sin embargo, en México no existen evidencias reportadas de que esto se haya realizado de manera sistemática, sin descartar el hecho que se sigue trabajando en la búsqueda del mejoramiento de la enseñanza de la ciencia. Recientemente en el posgrado de Física Educativo se incorporan algunos trabajos que utilizan esta orientación.

Desafortunadamente, la operación de ésta propuesta puede presentar serias dificultades para los profesores, ya que para la mayoría de ellos, implica una formación disciplinaria rigurosa (Gil, 1991; Zalamea, 1999; Jiménez y Segarra, 2001) y una revisión de su “visión” de la ciencia (Flores, 1994; Hodson, 1997; Manassero y Vázquez, 2001, Porlán, 1997,). Para los alumnos, también se prevén dificultades, considerando que también ellos presentan visiones de la ciencia (que usualmente son visiones “deformadas”), de la enseñanza y su aprendizaje.

Es importante mencionar, que la “metodología del sentido común”, se ve reforzada también por las ideas simplistas existentes respecto a la naturaleza de la ciencia, las características del trabajo científico y los propios científicos. Si un alumno o incluso un profesor de ciencias, piensa que la ciencia se basa en la observación pura y neutral y que en ella no tienen cabida las especulaciones, que la imaginación y la creatividad son cualidades típicas de los artistas pero no de los científicos, que existe un método científico a modo de una serie de pasos a seguir en un orden determinado, etc., la metodología que utilice para aprender o para enseñar ciencias, será muy diferente que la que utilizaría si tuviese unas ideas más acordes con las concepciones epistemológicas actuales (Gil y Martínez, 1999).

Una preocupación manifestada por buen número de profesores e investigadores, es la de creer que la orientación de la enseñanza de las ciencias como investigación dirigida, parece priorizar el trabajo de laboratorio y deja de lado actividades fundamentales como pueden ser la lectura o la enseñanza por transmisión-recepción (Gil, 1998):

...Para empezar, es necesario insistir, contra las visiones reduccionistas del trabajo científico, que estas mismas preguntas ponen en evidencia: ¿Cómo puede imaginarse que una estrategia investigativa deje de lado la lectura, si más de la mitad del tiempo de un investigador se emplea en dicha actividad? ¿Y cómo suponer que la investigación se opone a escuchar a otros, si las presentaciones, debates, etc, constituyen una actividad regular dentro de cualquier equipo, además de una forma de comunicación privilegiada con el conjunto de la comunidad científica?...Resulta preciso transformar estas visiones reduccionistas y extremadamente simplistas del trabajo científico y aceptar su naturaleza de actividad abierta y compleja que incluye, como elementos clave, entre otros, la lectura o la comunicación.

Por supuesto que si se quiere cambiar lo que los profesores y los estudiantes hacemos en las clases de ciencias, es preciso previamente modificar la epistemología de los profesores y cambiar, en particular, las visiones deformadas sobre el trabajo científico (Gil, et. al.,

1993), que actúan como auténticos obstáculos en la práctica docente. Como consecuencia de éste replanteamiento de la enseñanza de las ciencias, también se busca superar los obstáculos que representan las concepciones docentes espontáneas y, muy en particular, la idea de que la enseñanza es una actividad “simple” que puede realizarse “con algo de experiencia y sentido común” (Gil, 1991).

La propuesta de Investigación Dirigida, se concreta así en torno a tres elementos básicos: los programas-guía de actividades (situaciones problemáticas susceptibles de implicar a los alumnos en una investigación dirigida), el trabajo en pequeños grupos y los intercambios entre dichos grupos y la comunidad científica (representada por el profesor, textos, etc.).

En ésta propuesta, en relación con la evaluación del proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, se cuestiona la consideración de la evaluación como una actividad “especial”, separada del proceso en su conjunto, y se propone que por el contrario, debe estar integrada, ésta integración de la evaluación, apunta también hacia un planteamiento del aprendizaje de las ciencias más coherente con la actividad científica (Gil, 2005, Gil, et. al., 1991). Algunos elementos relacionados con el tema de evaluación en la propuesta, serán considerados en la siguiente sección de éste capítulo

A continuación se presentan algunas ideas asociadas con las características requeridas para los programas-guía de actividades coherentes con el modelo propuesto.

EL PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES.

La enseñanza de la Física, puede organizarse mediante un programa-guía de actividades, en el que se proponen situaciones problemáticas de interés (Gil et.al., 1991) siguiendo un hilo conductor coherente. La situación problemática, debe ser asumida como propia por el grupo, ya que de otra forma no se verá involucrado en las actividades ni comprometido con el aprendizaje, es decir, el alumno debe percibir un problema como un verdadero problema y a lo que se propone que aprenda como algo que merece la pena de ser aprendido.

Lo ideal sería que los propios alumnos sugieran los problemas, sin embargo, ésta situación se presenta rara vez y cuando ocurre, en general el planteo es difuso y poco claro. Para el caso en que no aparezcan espontáneamente cuestiones a resolver, la estrategia, es proponer un buen número de situaciones problemáticas, para que ellos seleccionen la que más les interese, abriendo la posibilidad de modificarla parcial o totalmente a fin de lograr la motivación.

Aunque los temas se seleccionan del programa de la asignatura, los profesores sabemos bien que el interés de nuestros alumnos no solo se reduce a preguntas del tipo “para qué sirve”, sino que también se orientan a plantear cuestiones teóricas basadas en respuestas a ¿cómo? y ¿por qué? Que van desde ¿qué es la gravedad? a ¿por qué vemos los objetos de distintos colores? ¿Qué es el color? o interrogantes de mayor nivel de abstracción y complejidad.

La necesidad de cumplir con un programa dentro de la curricula, no debe ser un obstáculo, ya que todos y cada uno de estos temas, pueden ser presentados como problemáticas a resolver si tomamos en cuenta que la Física, se desarrolló históricamente a partir de la resolución de problemas. De cualquier forma, las situaciones problemáticas han de fomentar el autoaprendizaje, el análisis crítico de los hechos, la capacidad de investigación y la búsqueda de la relación teoría-práctica.

De acuerdo con Furio y Gil, (1978), para facilitar a los alumnos y alumnas la integración del aprendizaje en el cuerpo de conocimientos que ya poseen, deberán proponerse actividades variadas con objetivos diversos (como las siguientes:

- a) Actividades de iniciación: generan la motivación, sensibilizan sobre el tema, proporcionan un hilo conductor a la tarea y frecuentemente explicitan y sacan a la luz las preconcepciones y modelos alterativos.
- b) Actividades de desarrollo: Apuntan a la construcción y manejo significativo de los conceptos y a la familiarización con los aspectos claves del trabajo científico, a desarrollar en el abordaje de situaciones problemáticas (formulación de un problema, emisión y fundamentación de hipótesis, manejo bibliográfico, análisis e interpretación de resultados, etc.)
- c) Actividades de síntesis: abarcan la elaboración de síntesis finales, propuesta de confección de mapas conceptuales, referencias al hilo conductor del tema, evaluación del aprendizaje alcanzado, explicitación de nuevos problemas.

El objetivo al elaborar una guía de actividades en la propuesta de “investigación dirigida”, es mostrar que es posible planificar y desarrollar una enseñanza de la Física en el bachillerato (en un tema específico), en un contexto problematizado, y que, cuando se hace así, se producen mejoras respecto al enfoque tradicional. En otras palabras podemos afirmar que dicho modo de planificar y desarrollar la Física, contribuye a superar las deficiencias de la enseñanza habitual, mejorando la comprensión conceptual, promoviendo un cambio metodológico incipiente y un cambio de las actitudes de los estudiantes.

En el diseño del programa-guía de actividades que se elaborará en éste trabajo, se proponen dos clases de actividades especialmente relevantes, entre otras, para apoyar el aprendizaje de los conceptos necesarios para avanzar en la respuesta a las preguntas que se plantean en cada una de las secciones en las que se divide la propuesta: Las demostraciones experimentales y la lectura de textos. A fin de justificar someramente su inclusión en el diseño de la guía se presentan las siguientes consideraciones.

LAS DEMOSTRACIONES EXPERIMENTALES EN EL SALÓN DE CLASE.

Una de las dificultades comunes en la clase de Física, se asocia con el problema de motivación de los estudiantes para involucrarse en el estudio de los fenómenos o la resolución de problemas que se les plantean al desarrollar un tema en el aula. Dentro de las actividades posibles de motivación, se encuentran las demostraciones experimentales, también llamadas “experiencias de cátedra”. Estas son actividades que usualmente presenta el profesor (a veces con ayuda de algunos alumnos) intercaladas en la clase teórica. Normalmente en las demostraciones no se registran datos y por lo mismo no se analizan, su objetivo es dar a conocer un fenómeno físico, o ilustrar algún concepto o principio.

Para Portuondo y Legañoa (1999), el experimento demostrativo, tiene como función principal provocar el “conflicto cognitivo”, entre la predicción que hace el alumno de lo que va a suceder y la realidad.

De acuerdo con Márquez (1996), son muchas las ventajas pedagógicas que se derivan de las demostraciones experimentales:

Ponen de manifiesto el carácter experimental de las ciencias Físicas.

Ayudan a la comprensión de los conceptos científicos, para que sean adquiridos, siempre que sea posible, por vía de la experimentación.

Ilustran el método inductivo, ya que van desde el caso particular y concreto al mundo de las leyes generales, desarrollando la intuición del estudiante.

Con ayuda de las demostraciones de aula, los procesos inductivos y deductivos quedan integrados en un único proceso de enseñanza/aprendizaje.

Ayudan a establecer conexiones entre el formalismo de la Física y los fenómenos del mundo real.

Permiten mantener una conexión cronológica entre teoría y experimentación, ya que las prácticas de laboratorio, por dificultades de organización, no se suceden con los conceptos

explicados en las clases teóricas. Las demostraciones de aula se insertan en el momento oportuno, en el que el nuevo concepto físico se introduce o se explica.

Los experimentos demostrativos presentan otras ventajas didácticas intrínsecas además del apoyo que suponen a la teoría y a la motivación del estudiante: promueven la interacción alumno-profesor, enriqueciendo el ambiente participativo y de discusión entre el profesor y los alumnos y de estos entre sí.

Por lo anterior, en la secuencia de actividades que se diseña en el programa-guía de actividades, las demostraciones experimentales intercaladas en el desarrollo de la unidad, pretenden cumplir con los elementos señalados anteriormente. Adicionalmente, tienen la intención de ser un elemento motivador para la participación de los alumnos en las actividades de clase.

Como un elemento de seguimiento y evaluación de las demostraciones realizadas en el desarrollo de la unidad con alumnos que participarán en la práctica docente, se presentará la información procesada y relacionada con una pequeña encuesta relativa a la opinión que los alumnos tienen de dicha actividad.

El estudio de la Física Moderna en el bachillerato presenta, por su especificidad, dificultades en su faceta experimental. Por lo que parece conveniente atender al uso de diversos recursos didácticos que, por otra parte, han de tenerse muy presentes en la enseñanza de la ciencia en éste siglo, como es el uso de los medios audiovisuales de tipo interactivo o la Internet. Por otra parte, es importante considerar que conviene emplear, en el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación, actividades variadas y atendiendo a aspectos metacognitivos en línea con los apuntes realizados por Campanario (2000, 2001).

LA LECTURA DE TEXTOS Y LAS ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.

El aprendizaje de la Física Moderna presenta serias dificultades cuando se desea desarrollar en el nivel bachillerato, el nivel de complejidad de los fenómenos es bastante alto y el conocimiento previo requerido también lo es, lo que no significa, por supuesto, que sea una empresa imposible de llevar a cabo.

Aunado a lo anterior, se presenta la dificultad de no contar con actividades experimentales viables en las aulas escolares, por lo que una parte de las referencias empíricas, cuando las hay, se reducen a demostraciones “simples” de algunos fenómenos.

Así, se requiere usar otro tipo de referencias, en particular los textos expositivos o de divulgación de la Física, que permitan apoyar de manera directa el aprendizaje de conceptos relacionados con la temática involucrada, así como el conocimiento de los contextos en los que se han desarrollado y el tipo de evidencias empíricas que los soportan. Pero el uso de la lectura no se reduce a la consideración de las dificultades mencionadas,

también es central en la formación de la “cultura básica” de nuestros alumnos, cuando se convierte en un objetivo de la escuela el que sean capaces de leer y comprender textos científicos.

El que los alumnos puedan construir maneras efectivas de comprender los textos de ciencias, ayudará a que, cuando lleguen al final de su período de formación (Marbá y Márquez, 2005):

- Puedan seguir utilizándolas para comprender los textos y de ésta manera, participar del conocimiento científico del momento.
- Que desarrollen estrategias para construir significados científicos y facilitar el que puedan hacer evolucionar sus modelos de conocimiento, fuera de la escuela y delante de cualquier tipo de texto.
- Dispongan de estrategias de lectura de textos, con los que se encuentran habitualmente fuera del aula, que promuevan el aprendizaje de conceptos científicos relevantes.
- Comprendan que la ciencia, como una actividad interpretativa, construye hechos científicos a partir de un marco teórico riguroso, contrastado y validado por una comunidad científica, y así distinguir la ciencia de la seudociencia (astrología, ovnis, fantasmas, etc.).

Lo importante en el uso de la lectura, no solo radica en la comprensión del texto en sí, sino la capacidad de los alumnos para establecer relaciones entre los conceptos que se expresan en ese texto y los conocimientos adquiridos en otras situaciones. El valor es el contexto: el por qué y para qué leemos, qué nos aporta la lectura, reflexiones a partir de los contenidos expresados, conexiones con otros conocimientos y otros textos, sugerencias a partir de la lectura, etc. (Sardá, Márquez y Sanmartí, 2005).

La investigación en comprensión de lectura, en la perspectiva metacognitiva, está muy cerca de la postura “constructivista” de enseñanza de las ciencias. El papel de los conocimientos previos, el lenguaje y el contexto, son fundamentales en el uso de la lectura como una estrategia para promover aprendizajes significativos. De acuerdo con DiGi y Yore, (1992), existen por lo menos cinco estrategias de enseñanza-aprendizaje que son efectivas para ayudar a los estudiantes de bachillerato en la lectura de textos científicos:

- El uso de organizadores avanzados, párrafos o actividades que les permitan a los estudiantes, tener información adicional que les ayude a organizar lo que están leyendo.
- La valoración y dirección de las concepciones alternativas de los estudiantes, de tal manera que les permita recordar la información de manera más exacta.
- El uso de mapas conceptuales, que les permitan a los estudiantes expresar la manera como relacionan las ideas consignadas en el texto.
- Enseñar a los estudiantes a identificar los rasgos que caracterizan la escritura de los textos científicos.
- La inclusión de preguntas de tipo conceptual al final de un pasaje.

Los textos expositivos, son característicos de la mayoría de los textos de ciencias y los alumnos de nivel bachillerato usan dichos textos para aprender. Los docentes pretendemos que éstos sepan leerlos, pero es evidente que se requiere la aplicación de estrategias cognitivas y metacognitivas que les permitan concretar aprendizajes a través de ellos:

Las actividades que ayudan al procesamiento cognitivo en la comprensión lectora, son aquellas en las que el sujeto busca relaciones entre partes de una materia, distingue puntos secundarios y principales, piensa ejemplos y busca aplicaciones (Maturano, Soliveres y Macías, 2002).

Como ejemplos de estrategias metacognitivas podemos citar: ser conscientes de lo que uno sabe o no sabe, utilizar estrategias de aprendizaje que varían con la naturaleza del material a aprender y las demandas de la situación de aprendizaje, poder predecir y monitorear el éxito de los propios esfuerzos de aprendizaje, entre otras.

En la propuesta que aquí se presenta, se han incluido algunas de las estrategias de aprendizaje señaladas (cognitivas y metacognitivas), como el uso de resúmenes, de mapas conceptuales, de preguntas de tipo conceptual que acompañan a los textos, así como el uso de autocuestionarios.

El uso de autocuestionarios, aunque no es una estrategia muy conocida por los profesores, suele formar parte de algunos enfoques de enseñanza explícita de estrategias metacognitivas, pueden ser de tipos diversos y pueden estar orientados a fomentar el uso de determinadas estrategias de estudio, de aprendizaje o de comprensión, o a incidir y organizar el desarrollo de estrategias adecuadas de control de la propia comprensión.

Los autocuestionarios se componen de un número variable de preguntas que deben repasar y contestar los alumnos o pueden adoptar la forma de un protocolo con una lista de estrategias, acciones o actividades a realizar. En la tabla I, se presenta un ejemplo sencillo de preguntas que pueden ser utilizadas por los alumnos para contrastar lo que han aprendido en una tarea de estudio independiente.

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
2. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto?
3. ¿Puedo repetir el contenido del texto con mis propias palabras?
4. ¿Son “razonables” las afirmaciones o resultados a los que se llega?
5. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él?
6. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado?
7. ¿Puedo relacionar el contenido del texto con el de otras lecciones o unidades estudiadas anteriormente?
8. ¿Se plantea explícitamente algún problema conceptual en el texto o es una mera exposición de información?
9. ¿Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o

teorías que se presentan?

10. ¿Se discuten en el texto algunas otras alternativas posibles a la que se presenta?

Ejemplo de autocuestionario que puede ser utilizado para contrastar lo que se ha aprendido en una tarea de estudio independiente a partir de la lectura de textos.

PROPUESTA DIDACTICA

La propuesta didáctica se plantea, tomando como punto de partida la necesidad de contar con materiales adecuados para el desarrollo de la actividad docente, de manera tal que resulten en beneficio efectivo en el aprendizaje de los estudiantes, aborda el tema de la luz y sus modelos de explicación desde las versiones teóricas de Newton, Huygens, Maxwell y Planck-Einstein; lo que tiene como intención introducir a los estudiantes en el estudio de uno de los conceptos más relevantes (aunque complejo) de la Física Moderna: el concepto de fotón.

El diseño de la unidad didáctica que aquí se presenta, está elaborada para ser aplicada con alumnos del tercer año de bachillerato, cuyas edades se ubican entre los 17 y 19 años, cuyas características y problemática propia de la adolescencia se describirán en un capítulo de justificación académica.

La idea central de la propuesta es incidir en la comprensión conceptual, que permitirá la preparación para que los alumnos den el paso hacia la formalización y el desarrollo en la dirección de resolución de problemas más elaborados.

La Enseñanza de las Ciencias por Resolución de Problemas como Investigación Dirigida, la cual es el fundamento central de la propuesta didáctica que se presenta.

En el desarrollo de la exposición de la propuesta de investigación dirigida, se presenta la justificación, así como las ideas centrales de la misma. Se describe de forma inicial lo que se considera como “programa-guía de actividades”, que es la forma específica en la que se concreta el modelo. Asimismo, se desarrolla en forma breve, la justificación de la introducción de las demostraciones experimentales como un recurso didáctico en la enseñanza de la Física, ya que forman parte de las actividades que se incluyen en el Programa-Guía que se diseñó para el desarrollo de la temática considerada.

Igualmente, se hace con el aspecto vinculado con el uso de la lectura de textos breves en la enseñanza de la Física. Finalmente, se da especial atención a la problemática de la evaluación de los aprendizajes, ya que este rubro constituye un aspecto central de la propuesta didáctica.

En un capítulo se expondrá, una descripción de la metodología de trabajo utilizada en la elaboración de la propuesta. Se inicia con una descripción del modelo de diseño de Unidades Didácticas de Sánchez y Valcárcel (1993) y se describen detalladamente cada una de las etapas propuestas en el mismo: análisis científico, análisis didáctico, selección de objetivos, selección de estrategias didácticas y la selección de estrategias de evaluación, aplicadas al caso del diseño de la UD: Introducción del modelo cuántico de la luz, en el bachillerato: construcción del concepto de fotón.

Se describen así mismo, en forma detallada, los elementos considerados en el diseño del programa-guía de actividades correspondiente. A continuación, se describe y explica el método de trabajo y los instrumentos utilizados en el desarrollo de la propuesta, en particular, se detalla la relación de la práctica docente con el diseño de la UD propuesta, enmarcados en el modelo de investigación dirigida. Al final del capítulo se señalan algunas

posibles dificultades en la operación de la propuesta y que deben ser consideradas en su aplicación en el aula.

En otro capítulo, se presentan los resultados y conclusiones obtenidos y se plantean las repercusiones e implicaciones para el ejercicio docente, así como las posibles limitaciones del trabajo. También se indican posibles perspectivas de desarrollos futuros. Se incluye, en una sección, por supuesto, la literatura utilizada en el desarrollo del trabajo, dividida en una parte básica y otra complementaria.

Finalmente, el trabajo se cierra con un capítulo que contiene una sección de anexos que será objeto de mención a lo largo del desarrollo del texto de esta Tesis, y que forman parte de la propuesta elaborada, en ellos se incluye la parte central de la propuesta didáctica: El programa-guía de actividades para el desarrollo del tema considerado.

INTRODUCCIÓN DEL MODELO CUÁNTICO DE LA LUZ EN EL BACHILLERATO: CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE FOTÓN.

El concepto de fotón, en relación con la explicación de la naturaleza de la luz, es fundamental en el desarrollo de la Física, ya que invade un importante campo de conocimientos de lo que hoy se llama Física Moderna (Física atómica, láseres, Física nuclear y de partículas, electrodinámica cuántica, computación cuántica, etc.), así como de otras disciplinas como la Química, la Biología o la Medicina.

Sin embargo su introducción en los cursos elementales tiene un conjunto importante de dificultades, ya que, se origina del desarrollo de cuerpos de conocimiento teóricos que surgen de la revisión de los fundamentos de la Física Clásica, cuando ella es incapaz de resolver problemas ahora conocidos: el de radiación del cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, los espectros de los elementos y la luminiscencia, entre otros.

Como se sabe, la solución a dichos problemas, implicó el desarrollo de lo que ahora se llama Física Moderna: la Teoría de la Relatividad Especial y la Física Cuántica.

Por otra parte, aunque abstracta y aparentemente alejada de cualquier utilidad práctica, la Física cuántica (que se origina por la introducción del concepto de quantum de energía y desemboca en el concepto de fotón) proporciona sustrato teórico, al funcionamiento de todos los dispositivos electrónicos actuales. Adicionalmente su estudio, favorece la promoción de actitudes y valores positivos hacia la ciencia, al presentar una visión moderna de ella y su desarrollo, superando visiones deformadas de la misma.

La propuesta que aquí se presenta pretende ser original, en el sentido de que aborda la problemática de la enseñanza aprendizaje de los conceptos que dan origen a la Física Cuántica, pero sigue una línea que corresponde al estudio de la Óptica desde una perspectiva histórica, tratando de ubicar con claridad los problemas que dan origen a los modelos “corpuscular”, “ondulatorio” y “cuántico” de la luz.

Por otra parte, también presenta cierto grado de originalidad al realizar la revisión de los conceptos antecedentes, (Sánchez y Valcárcel,1993; Arons,1993) que permitirán, una vez aprendidos, introducir a los alumnos en el conocimiento y comprensión de conceptos que históricamente representaron una autentica revolución en la forma de estudiar los fenómenos en la Física.

En lo sucesivo, indicaremos constructivista entre comillas, en consideración que en este trabajo, no se hace una exposición detallada de las diferentes visiones que dan origen a dicho enfoque. Sin embargo, nos referiremos a él en el sentido que propone Glaserfeld, llamado constructivismo trivial. En cierta forma, la corriente “constructivista radical” está en contradicción con los fines propios de la investigación científica: la explicación de cómo funciona el mundo, bajo el supuesto de que éste existe y es único. Otro aspecto que incluye la propuesta que se presenta, es el iniciar con la exploración de formas específicas en el mejoramiento de estrategias cognitivas y metacognitivas, que apoyen a los estudiantes al logro del lema “aprender a aprender” y ensayadas en el aprendizaje de algunos conceptos

de la Física Moderna.

La propuesta didáctica que se presenta en este trabajo, se elaboró con la intención de incidir en un aspecto poco atendido cuando se aborda la enseñanza de la Física en forma tradicional: el aspecto metodológico de la Física como disciplina. Para su elaboración, se tomaron como marco teórico, los trabajos de Daniel Gil y colaboradores (Gil, et. al. 1991; Gil, 1993; Gil, et. al. ,1999), en los cuales se plantea abordar la enseñanza de la Física a través de la “investigación dirigida.

Finalmente, otro aspecto que en la propuesta se plantea de forma diferente a la tradicional, aunque de manera incipiente, es el aspecto de la evaluación de los aprendizajes, la cual, enmarcada en las corrientes “constructivistas”, apoya una evaluación esencialmente formativa, en la que el alumno juega un papel central como protagonista de su aprendizaje.

Cabe aclarar que, aunque la propuesta toma como referencia los programas de estudio del IEMS y del CCH, es adaptable a cualquier bachillerato en el que se presente como tema de estudio a la luz desde una perspectiva moderna.

Por lo anteriormente señalado, el problema que se aborda en esta tesis se relaciona con la exploración de las siguientes preguntas:

1. ¿De qué forma es posible introducir los conceptos que dieron origen al desarrollo de la teoría cuántica, en el bachillerato, como el de cuantización de la energía y el del modelo cuántico de la luz, de tal manera que se logre algún aprendizaje significativo?
2. : ¿Cuáles son las estrategias de aprendizaje mediante las que se puede apoyar el aprendizaje de conceptos de Física Moderna?

Suponiendo que la respuesta a la primera pregunta se argumente, y que se puedan identificar los conocimientos antecedentes para lograrlo, a partir de una investigación bibliográfica, y de su exploración en las Prácticas Docentes, se propone como meta de este trabajo de Tesis:

Elaborar una propuesta didáctica (Unidad Didáctica (UD)), apoyada en el modelo de Gil, (1986) de “Enseñanza de las ciencias mediante resolución de problemas como investigación dirigida” (Investigación Dirigida), con la orientación que propone Arons, (1997), para abordar los conceptos antecedentes de la Física Clásica, que permitan conocer los conceptos y teorías que permitieron describir el fenómeno de “la luz”, así como los problemas que dan origen al concepto de fotón y algunas de sus implicaciones en el origen de la Física Moderna. Asimismo se considera, para la elaboración de la Unidad Didáctica, el modelo de Sánchez y Valcárcel (1993) en relación con los elementos a considerar en su diseño, en ciencias experimentales.

Para responder a la cuarta pregunta se exploran en la propuesta, algunas formas específicas de estrategias de enseñanza-aprendizaje y de evaluación del aprendizaje (Novack, 1999; Campanario, 2000; Campanario, 2001a).

Así, se explora en este trabajo, la posibilidad de presentar una introducción a la comprensión del concepto de fotón, siguiendo un camino paralelo al desarrollo histórico de la Física.

LA PLANIFICACIÓN DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Una de las habilidades básicas del docente, corresponde con la preparación de las clases y ésta es una tarea que realiza el profesor de manera habitual, aunque no es un proceso simple en absoluto. La planificación docente implica: la elección de los contenidos, su organización y secuenciación; el diseño de actividades de clase y de posibles tareas extraescolares; la anticipación de las dificultades que pueden encontrar los alumnos; la determinación de las formas de evaluación del aprendizaje, etc. Todos estos componentes se traducen, en una secuencia específica de acciones. Desgraciadamente, los enfoques de orientación teórica que proporcionan modelos de enseñanza generales, no ayudan a orientar la acción concreta en el aula y este trabajo es labor del profesor fundamentalmente, no obstante, existen propuestas en las que se presentan recomendaciones para el diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales, tal es el caso de la propuesta de Sánchez y Valcárcel (1993). El modelo para el diseño de Unidad Didáctica de estos autores incluye cinco componentes:

1. Análisis científico,
2. Análisis didáctico,
3. Selección de objetivos,
4. Selección de estrategias didácticas.
5. Selección de estrategias de evaluación.

En el trabajo citado, los autores detallan los objetivos y proponen procedimientos para cada una de las componentes anteriores. Así, por ejemplo, para el análisis científico se requiere un proceso de selección de contenidos y de delimitación de los esquemas conceptuales, de los procedimientos científicos y de las actitudes.

En el análisis didáctico, hay que averiguar las ideas previas de los alumnos, analizar las exigencias cognitivas de los contenidos y delimitar las implicaciones para la enseñanza. Para la selección de estrategias didácticas, los autores sugieren el diseño de una secuencia global de enseñanza, la selección de actividades de enseñanza y la elaboración de materiales de aprendizaje. Dentro de las estrategias didácticas que proponen los autores citados, se encuentran los Programas-Guía de actividades (que es la forma concreta en la que se desarrolla la propuesta de investigación dirigida) Por lo anterior, el diseño de la Unidad Didáctica aquí propuesta, se llevará a cabo en el marco del modelo de Sánchez y Valcárcel, el cual será descrito con más detalle en un capítulo específico.

Una Unidad Didáctica consiste, en una unidad de trabajo relativa a un proceso de enseñanza-aprendizaje articulado y completo; en ella deben precisarse los contenidos, los objetivos, las actividades de enseñanza-aprendizaje, y las actividades para la evaluación; debe estar Ajustada a necesidades, nivel e intereses del grupo.

Con cada momento que pasa nuestra estándar forma de vida llega a ser más dependiente de los últimos desarrollos en ciencia y tecnología, incluyendo cada día dispositivos tales como computadoras, teléfonos celulares, escáner laser que podemos encontrar hasta en las farmacias. Estos desarrollos tienen y continúan teniendo profundos efectos en nuestra

sociedad.

Como resultado literalmente de la literatura científica de la población, debe ser a un nivel que les permita a los ciudadanos a mantener su estándar de vida y hacer que la sociedad tome decisiones inteligentes en ciencia y tecnología en temas relativos aplicaciones de los últimos desarrollos en ciencia y tecnología.

Para mantener en paz con la tecnología moderna, para conocer las necesidades de la sociedad y para tomar decisiones en relación a las aplicaciones de los últimos desarrollos en ciencia y tecnología, mujeres y hombres de todas las culturas.

La mecánica cuántica nos posibilita para determinar los tamaños las formas y las energías de los átomos y moléculas; las propiedades de los sólidos, líquidos, gases, y la emisión, absorción y dispersión de la luz en la materia (Weisskopf 1975). De acuerdo con Weisskopf, casi todos los fenómenos físicos terrestres son consecuencia de las interacciones eléctricas entre electrones y núcleos y de las interacciones gravitacionales entre objetos masivos.

Un entendimiento de la mecánica cuántica puede proveer importantes explicaciones de estas interacciones y completa el círculo de la naturaleza explicando cómo trabaja esta.

La mecánica cuántica esta profundamente involucrada en fenómenos físicos que experimentamos en nuestra vida diaria y es utilizada en la ciencia moderna y en la tecnología. (Hobson,1996; Johston et al.,1996)

La mecánica cuántica puede explicar la operación y propiedades de objetos novedosos tales como: brillos en la oscuridad, juguetes, palos de luz, luz negra, dispositivos de todos los días como lámparas fluorescentes, LED'S.

Los LED'S los encontramos en diversos dispositivos como escáneres láseres, contadores de productos en los supermercados y ya en el estado del laser dispositivos como microscopios de tunelaje (Escalada, Resbello& Zullman 1996^a) Escalada, Rebello&Zulmann, 1996b; Rebello y Zollman, 1996)

En dispositivos modernos electrónicos como computadores, VCR'S, televisión digital, teléfonos celulares, cajeros automáticos, la velocidad y complejidad de operaciones involucradas están incrementando dentro de los chips que controlan estas operaciones cada vez se hacen más pequeños (los chips). Un computadora personal hoy en día puede realizar cerca de 50 millones de operaciones por segundo. Los circuitos ahora contienen alambres y transistores que miden menos que una millonésima parte de un metro el cual es mucho menos que 1/100 que el tamaño de un cabello humano.

En el chip de una computadora pueden contener millones de transistores y otros componentes electrónicos. La tecnología actual se enfoca en componentes pequeños o muy pequeños su operaciones y propiedades se irán incrementando bajo el gobierno de la mecánica cuántica (Lloyd, 1995; Rockler, 1991)

Hoy podemos ver como todos los días los estudiantes de todos los niveles de física deberían por lo menos ser introducidos a las poderosas ideas y conceptos usados para explicar las

propiedades y operación de estos dispositivos (Jones, 1991). Futuros estudiantes de ingeniería y ciencias, quienes diseñarán estos dispositivos, son ellos especialmente quienes necesitan aprender de mecánica cuántica en los inicios de su carrera (Johnston et al 1996) La incorporación de la mecánica cuántica a los tradicionales curriculums de física darán a los estudiantes oportunidades de aplicar conceptos fundamentales de mecánica cuántica a su experiencia cotidiana. Como un resultado, los estudiantes tendrán la oportunidad de entender la importancia y relevancia de la física de sus propias vidas, así como de incrementar su literatura en ciencia y tecnología. Desafortunadamente, muchos maestros excluyen estos temas de sus cursos de física o solo le dedican poco tiempo a dichos tópicos. (Hobson, 1996, Pfeiffenburger & Wheeler, 1984).

- El deseo de agregar tópicos de física en el bachillerato es reflejada en la asociación AAPT (1988) y en dicha reforma impulsada por la National Science Education Standards, (NRC, 1996) Ambas instituciones deben incluir en el plan de materias de física en el bachillerato. Concentrarse en pocos pero temas fundamentales ó conceptos (estructura del átomo, estructura y propiedades de la materia e interacciones de energía y materia).
- Aplicaciones de la física a la vida cotidiana, tecnología y ciencias y afines.

MARCO METODOLÓGICO.

En ésta sección, se presentan los elementos, además del marco teórico planteado en el capítulo anterior, que fueron considerados en la elaboración de éste trabajo y que permiten darle sustento al diseño de la Unidad Didáctica propuesta. Así, en la elaboración de la propuesta, se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

1. Un modelo para el diseño de una Unidad Didáctica para la enseñanza de las ciencias experimentales.
2. Elementos considerados en el diseño del programa-guía de actividades.
3. Los desarrollos de las Prácticas Docentes y su relación con éste trabajo de Tesis.

UN MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.

Como ya se señaló en el capítulo II de justificación en ésta tesis, para el diseño de la Unidad Didáctica, se tomó como referencia básica la propuesta de Sánchez y Valcárcel (1993). Así, en la elaboración de la propuesta didáctica, se tomaron en cuenta los siguientes elementos del modelo mencionado.

1. Análisis científico,
2. Análisis didáctico,
3. Selección de objetivos,
4. Selección de estrategias didácticas.
5. Selección de estrategias de evaluación.

En el trabajo citado, los autores detallan los objetivos y proponen procedimientos para cada una de las componentes anteriores. Las acciones que se recogen (análisis científico, análisis didáctico, objetivos, estrategias didácticas y evaluación) son las cinco tareas incluidas en el modelo que proponen y se describe de manera resumida en el cuadro siguiente:

Modelo para el diseño de una U.D. en ciencias experimentales (Sánchez y Valcárcel, 1993)

OBJETIVOS	PROCEDIMIENTOS
I. ANÁLISIS CIENTÍFICO	
A. La reflexión y actualización científica del profesor. B. La estructuración de los contenidos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar los contenidos. 2. Definir el esquema conceptual. 3. Delimitar procedimientos científicos. 4. Delimitar actitudes científicas.
II. ANÁLISIS DIDÁCTICO	
1. La delimitación de los condicionamientos del proceso de E/A, adecuación al alumno.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Averiguar las ideas previas. 2. Considerar las exigencias cognitivas de los contenidos. 3. Delimitar implicaciones para la enseñanza
III. SELECCIÓN DE OBJETIVOS	
A. la reflexión sobre los potenciales aprendizajes de los alumnos. B. El establecimiento de referencias para el proceso de evaluación.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar conjuntamente el AC y el AD. 2. Delimitar prioridades y jerarquizarlas
IV. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS	
A. La determinación de las estrategias a seguir para el desarrollo del tema B. La definición de tareas a realizar por profesores y alumnos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar los planteamientos metodológicos para la enseñanza. 2. Diseñar la secuencia global de enseñanza 3. Seleccionar actividades de enseñanza. 4. Elaborar materiales de aprendizaje
V. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN	
A. La valoración de la unidad diseñada B. La valoración del proceso de enseñanza y de los aprendizajes de los alumnos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Delimitar el contenido de la evaluación. 2. Determinar actividades y momentos del desarrollo del tema.

	3. Diseñar instrumentos de recogida de información.

El modelo de planificación que aquí se presenta, inicia con dos tareas centrales en la delimitación de los objetivos de la UD: el Análisis Científico y el Análisis Didáctico.

El análisis científico presenta un doble objetivo: la estructuración de los contenidos de enseñanza y la actualización científica del profesor. En relación con el conocimiento científico, partimos de una visión de ciencia que actualmente (Sánchez y Valcárcel, 1993):

...Se concibe como un proceso cíclico que comienza y termina con el planteamiento de problemas que originan los conocimientos existentes. Se realza el papel del conocimiento inicial en la producción del conocimiento. Se relativiza el qué juegan en una investigación, la observación y experimentación, en favor de otros procesos como la emisión hipótesis o el diseño experimental. Se admite que el trabajo de los científicos tiene unas peculiaridades que se describen mediante un conjunto de proceso; que se pueden clasificar en básicos e integrados. También se admite que el conocimiento científico, es un conocimiento estructurado y cambiante, construido por colectivos o comunidades de científicos, que trabajan dentro de un paradigma o programa de investigación.

ANÁLISIS CIENTÍFICO RELACIONADO CON EL TEMA DE LA LUZ.

Una de las dificultades que tiene cualquier profesor de Física, es que no puede dominar con profundidad todo el conocimiento de la disciplina, es por ello que continuamente se tiene que mantener actualizado del conocimiento de los fundamentos de ella , así como de la Física de frontera. En éste sentido, la Óptica no es la excepción, por ello en la revisión del concepto de fotón, cualquier profesor de Física de bachillerato, debe repasar en primer lugar, los conceptos básicos de la Óptica, en libros como el de Alonso y Finn, (1976) o el de Hecht, y Zajac, (1977), entre otros. En la parte Cuántica, es necesario que el profesor profundice en la conceptualización de la luz, desde el punto de vista del origen y desarrollo de la Mecánica Cuántica a través de las contribuciones de Einstein y Planck, de preferencia en sus artículos originales (en su versión en español) o de manera equivalente en artículos en los que se discute el contenido conceptual de las ideas de los autores citados.

Para comprender el estado actual del problema de la explicación del fenómeno luminoso, desde la óptica de la interpretación “cuántica”, resulta necesario aproximarse de manera introductoria a la Óptica Cuántica, a fin de contar con información sobre temas muy recientes, como la computación cuántica, criptografía cuántica y teleportación, así como algunas técnicas experimentales mediante el uso de láseres para indagar la naturaleza de la luz.

De ésta manera, cualquier profesor que se ve obligado a abordar la temática de la naturaleza de la luz desde la perspectiva clásica y moderna, requiere actualizarse en los tópicos mencionados anteriormente, en particular:

En lo referente a los aspectos históricos sobre las teorías de la luz: Las visiones de Descartes (1986), Newton (1704), Newton, (1972) y Huygens (2005), en una primera etapa (Holton, 1976; Moulton y Schiffers, 1988; Gribbin, 2003). En una segunda parte, la revisión del desarrollo histórico que da lugar a la conceptualización de la luz como una onda electromagnética, así como algunos elementos relacionados con su verificación experimental (Alonso y Finn, 1976; Einstein e Infeld, 1993; Tipler, 1987; Shamos, 1959; The open university, 1974).

En la línea de la perspectiva histórica, es necesario que se revise el desarrollo histórico de los problemas que al ser resueltos en una primera aproximación, dan lugar a la idea de cuantización de la energía y desemboca en el concepto de fotón (Colín-Scherer, 1987; De la Peña, 2001; Del Río, 2001; Einstein, 1967; Planck, 1900; Sánchez Ron, 2001 , así como a la interpretación “cuántica” de la luz (Cetto y De la Peña, 1992; Feynman, et. al.,1963; Sánchez Ron, 2000; Selleri,1994). A fin de cerrar la conclusión que da origen a la versión “cuántica” de la luz, es necesario revisar los fundamentos teóricos de la Mecánica Cuántica a nivel introductorio (Schrödinger, 1975; Eisberg y Resnick, 2005; The open university,1973).

Paralelamente a la revisión de los aspectos históricos que dan origen a la interpretación cuántica de la luz, se hace necesario revisar los fundamentos del electromagnetismo y los

aspectos formales asociados con la predicción de las ondas electromagnéticas, así como los aspectos asociados con la generación y detección de ondas electromagnéticas, que implica revisar el espectro electromagnético y conocer sus principales aplicaciones (Alonso y Finn, 1976; Tipler, 1987).

Finalmente, y para contar con una información actualizada, se requiere que el profesor se aproxime al conocimiento, por lo menos a nivel de divulgación de la Óptica Cuántica, así como algunos de los tópicos que se abordan en ella y que ya se citaron anteriormente, con el fin de contar con versiones actualizadas del experimento de la doble rendija, en el que se muestra con contundencia el aspecto “cuántico” de la luz (Klein, 2003; Tonomura , et. al.,1989; Rueckner y Titcomb, 1996).

Todo lo anterior se requiere para poder ubicar con la mayor claridad posible, cuál es la orientación general de la propuesta que se describe a continuación en tres temáticas, que se desarrollan a lo largo de la misma y que forman el cuerpo teórico-conceptual de ella: la Óptica Geométrica, la naturaleza ondulatoria de la luz y el origen de la Física Cuántica (el concepto de fotón y la naturaleza “cuántica” de la luz).

A continuación se describen de forma breve, las orientaciones que se proponen al estudiar los tópicos citados anteriormente, con el fin de dejar lo más claro posible, cuáles son los contenidos que proponemos se aborden en la propuesta de UD.

ÓPTICA GEOMÉTRICA.

El estudio de la Óptica Geométrica, se plantea como necesidad para comprender el funcionamiento de aparatos como el telescopio o el ojo humano, y es una ocasión especial para mostrar la estrecha relación que existe entre desarrollo científico y tecnológico, involucrando un poco de su evolución histórica. Este estudio, puede estructurarse en torno al comportamiento de la luz, sin necesidad de apoyarse en un modelo ondulatorio o corpuscular; de hecho, aunque ambos modelos pueden dar cuenta de ese comportamiento y encajan en la visión mecanicista que acompañó al desarrollo de la Óptica Geométrica, se opta por el modelo corpuscular de la luz, para manejar el modelo de “rayos”, por ser más simple en su tratamiento.

Se trata de explicar el comportamiento de la luz: propagación rectilínea, sombras, reflexión y refracción, colores; mediante el modelo corpuscular, identificando la utilidad y puntos débiles del modelo.

Al estudiar el fenómeno de la difracción como un fenómeno típicamente ondulatorio, se plantea la situación de dificultad en la teoría de Newton para explicar dicho fenómeno, a partir de aquí, se justifica el planteamiento de la cuestión sobre la naturaleza de la luz: ¿se explica con el modelo ondulatorio o con el modelo corpuscular? En principio, ambos modelos son coherentes con la visión mecanicista de la naturaleza, así una posibilidad que se explora, es el estudio de la teoría de Huygens. Se concluye en un primer momento con la discusión de ambos modelos, el de ondas y el de corpúsculos, a fin de considerar las diferencias entre ambos modelos.

Los estudiantes deben comprender que el comportamiento de la luz es uno, aunque pueden existir distintos modelos cuyas explicaciones teóricas son distintas e incluso contradictorias. Esa situación, será entonces un buen momento para reflexionar sobre la importancia de los modelos y las teorías en la ciencia y los factores que intervienen cuando existen dos teorías rivales: desarrollo tecnológico, actitud conservadora ante lo que ha funcionado con éxito, simplicidad, resultados de experimentos cruciales o decisivos al respecto, mínimo número de ideas suplementarias que deben añadirse a la teoría para llegar a explicar los resultados experimentales, capacidad de producir nuevos conocimientos, etc.

NATURALEZA DE LA LUZ.

En seguida se esboza de manera breve, el triunfo de la teoría ondulatoria, al considerar a la luz como un fenómeno ondulatorio electromagnético, cuyo origen se establece en el movimiento de cargas aceleradas, de las que se desprenden los campos electromagnéticos que viajan en el vacío con velocidad c . Se describe el espectro electromagnético, con el fin de identificar a “la luz visible” como una parte del mismo, que queda descrito a partir de la relación $C = \lambda f$. (en la cual λ representa la longitud de onda, f la frecuencia y C la velocidad de la luz). Después de comprobar la naturaleza ondulatoria de la luz, a partir de algunos experimentos demostrativos como el de la difracción y la interferencia, se mostrarán las dificultades teóricas que restan por solventar, relacionadas con el medio de propagación y la magnitud que se perturba, así como la aparición de una serie de fenómenos que no pueden explicarse en el contexto de la Física Clásica.

LA CRISIS DE LA FÍSICA CLÁSICA Y EL ORIGEN DE LA FÍSICA CUÁNTICA: EL CONCEPTO DE FOTÓN

El edificio de la Física Clásica, basado en la Mecánica, la Termodinámica y el Electromagnetismo, constituye un cuerpo coherente de conocimientos básico, que permite comprender muchos fenómenos naturales cotidianos, así como gran parte del desarrollo tecnológico producido hasta mediados del siglo XX. Pero el intento de aplicar ese cuerpo clásico de conocimientos a nuevos dominios de la realidad (altas velocidades, mundo atómico y nuclear), pone de manifiesto claras insuficiencias en esa estructura y obliga a revisar el contenido de las ideas consideradas esenciales, dando lugar al nacimiento de una nueva Física, que aquí denominaremos con el nombre genérico de Física Moderna.

La intención didáctica de éste último bloque temático, es presentar de una forma actualizada, la evidencia que da lugar al concepto de fotón. En esta parte y dada la dificultad conceptual y experimental que se presenta en un curso de nivel bachillerato, se opta por no seguir el camino de la historia de manera detallada y rigurosa, sino solamente de forma descriptiva, presentando los hechos y aportaciones más importantes que ponen en crisis la Física Clásica, adelantando las ideas fundamentales de los cambios que se

producirán.

Se describen el problema de radiación de cuerpo negro, los espectros de emisión discontinuos y el efecto fotoeléctrico y se muestra la insuficiencia de la Física Clásica para explicarlos; se introduce después, el concepto de fotón para explicar tales resultados experimentales desarrollando solamente un aspecto del efecto fotoeléctrico y el experimento de Young, en su versión moderna.

A fin de completar algunos elementos que dan origen a la Física Cuántica, se describen de manera breve las contribuciones de De Broglie y Compton, que llevan a concebir la visión “cuántica” de la materia y la energía. Se concluye éste apartado, de nuevo con el mismo dilema: ¿qué modelo explica mejor el comportamiento de la luz: el ondulatorio o el corpuscular?

Lo anterior y con base en todo lo revisado, para que el alumno pueda identificar que ningún modelo, por sí mismo, puede explicar todo el comportamiento observado; se discute la necesidad de admitir un comportamiento “cuántico” para la radiación, se analiza entonces brevemente el choque con la concepción clásica.

Con el fin de ubicar el grado de complejidad conceptual, de los contenidos que se abordan en la temática de la luz en sus diferentes aproximaciones, y con objeto de delimitar los contenidos a abordar en el diseño de la UD, a continuación se presentan en forma de mapa conceptual, usando la idea de campo conceptual de Vergnaud¹, las propuestas teóricas de Newton, Huygens, Maxwell, y del origen de la Física Cuántica. En cada uno de los mapas realizados, se selecciona el contenido científico siguiendo los elementos que proponen Sánchez y Valcárcel (1993), relativos al la temática considerada:

1 Para Gerard Vergnaud, al igual que para Piaget, el conocimiento es un proceso de adaptación. Sin embargo, para Vergnaud, el problema central de la cognición es la conceptualización, y a partir de ésta premisa, desarrolla una teoría psicológica que postula que el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales, de los cuales los sujetos se apropian a lo largo del tiempo. Los campos conceptuales se definen como grandes conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, en que para su análisis y tratamiento son necesarias diversas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones del pensamiento y procedimientos que se conectan unas con otras durante su aprendizaje o adquisición. El objetivo de la teoría es propiciar una estructura para la investigación sobre actividades cognitivas complejas, en especial el aprendizaje del conocimiento científico.

Esta teoría permite analizar la relación entre los conceptos en su dimensión de conocimientos explícitos y los invariantes operatorios implícitos del comportamiento de los sujetos en determinadas situaciones, así como profundizar el análisis de las relaciones entre los significados y significantes de un concepto o de un campo conceptual .

A. Identificación: ¿Qué es? o ¿qué ocurre? (fenómenos o hechos que son relevantes a considerar dentro de la temática a desarrollar).

B. Interpretación: ¿por qué es así? o ¿por qué ocurre de éste modo? (construcción conceptual que permite la interpretación de los hechos)

C. Aplicación del objeto de estudio: ¿para qué sirve ese conocimiento? O ¿Qué nos puede explicar? (Desarrollo del campo de aplicación de los conceptos construidos)

Como profesores, nos interesa que los estudiantes utilicen los conceptos de forma tal que les permita explicar hechos o fenómenos de una manera similar a como lo hace la ciencia. No obstante, y de manera general, podemos enunciar los contenidos que serán desarrollados en la Unidad y que se expresarán de forma específica en la sección correspondiente a la propuesta de objetivos para la Unidad Didáctica. Aun cuando, la diferenciación del conocimiento o del contenido de enseñanza, en conceptual, actitudinal y procedimental, es fundamentalmente por motivos pedagógicos, no debe olvidarse que el conocimiento científico es único y las estrategias de aprendizaje que adoptemos deben integrar los tres contenidos.

Conceptuales

Corresponden con los principios, leyes y conceptos básicos de la Óptica Física y Geométrica, así como de aquellos que dan origen a la Física Moderna y permiten tener una visión moderna de la naturaleza de la luz (ver mapa de conceptos en las páginas siguientes).

Procedimentales.

Deberán trabajarse aquellos procedimientos que constituyen la base de la actividad científica, tales como el planteamiento de problemas de Óptica, la formulación y contrastación de hipótesis, el diseño de estrategias para éste contraste, la precisión en el uso de instrumentos de medida propios de la Óptica, la interpretación de los resultados, su comunicación, el uso de fuentes de información y el desarrollo de modelos explicativos.

Actitudinales.

Se promoverá que los alumnos asuman las actitudes propias de la ciencia: el cuestionamiento de lo obvio, la imaginación creativa, la necesidad de comprobación, de rigor de precisión y los hábitos de trabajo e indagación intelectual. El desarrollo de ésta unidad, debe procurar apoyar la comprensión de la naturaleza de las ciencias, sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, su interpretación de la realidad a través de teorías y modelos, su evolución y sus relaciones con la tecnología y la sociedad. A partir de ésta comprensión pueden valorarse las consecuencias de los avances de la Física, en la modificación de las condiciones de vida y sus efectos sociales, económicos y ambientales.

ANÁLISIS DIDÁCTICO SOBRE EL TEMA DE LA LUZ.

Una vez estructurados los contenidos de la UD, a partir del análisis científico, se continúa con el análisis didáctico, con el fin de ubicar con cierta claridad cuáles son las dificultades que se enfrentarán en el proceso de enseñanza aprendizaje relacionadas con la capacidad cognitiva del alumno. Dos indicadores que según Sánchez y Valcárcel (1993) conviene considerar en ésta etapa son: sus conocimientos previos sobre el tema y el nivel del desarrollo operatorio donde se encuentran los alumnos, en relación con las habilidades intelectuales necesarias para la comprensión de la Ciencia.

Así, al planificar la enseñanza de una UD debemos conocer lo que nuestros futuros alumnos saben, aunque prácticamente eso es imposible. No obstante, las aportaciones de la investigación educativa resuelven en parte éste problema, al conocer a partir de ellas, sus características generales y disponer de un amplio inventario de ideas relativas a contenidos usuales en la enseñanza de las ciencias. Para contrastar la información bibliográfica en nuestro contexto escolar, puede ser necesario realizar exploraciones en nuestras aulas, por ello en la propuesta que aquí se presenta ésta actividad está considerada al inicio de la acometida de los problemas planteados en el desarrollo de los temas.

LOS “CONOCIMIENTOS PREVIOS” DE LOS ESTUDIANTES RELACIONADOS CON EL TEMA DE LA LUZ.

Como ya se ha mencionado, para promover el aprendizaje de los conceptos de la Física, es necesario conocer, con qué ideas llegan los alumnos en relación con el tema que se va a estudiar, es decir, qué preconcepciones (ideas previas, ideas alternativas, ideas espontáneas, etc.) tienen, sin importar cómo hayan sido generadas. A continuación se describe brevemente, el resultado de lo que se sabe de algunas investigaciones relacionadas con el aprendizaje de los conceptos de la Óptica, en particular en la Óptica Geométrica, Ondulatoria y Cuántica

ÓPTICA GEOMÉTRICA.

Los estudiantes se aproximan al estudio de la Óptica, a través de sus concepciones “ingenuas”, aunque usualmente los estudiantes saben que “la luz viaja en línea recta”, pocos pueden dar argumentos convincentes del significado de esa frase (Knigh, 2002). Muchos Estudiantes no reconocen que la luz es un ente físico con existencia independiente de las fuentes y sus efectos. No hacen una clara distinción entre luz y visión. Por ejemplo, muchos estudiantes creen que la luz presenta un alcance finito después del cual se extingue. Aunque muchos estudiantes conocen que la luz está compuesta de colores, pocos pueden interpretar éste enunciado. Muchos estudiantes piensan que un filtro de color, agrega color a la luz blanca. En conclusión, los estudiantes presentan ideas dispersas sobre la luz, pero no un modelo que resulte coherente en sus razonamientos.

Investigaciones realizadas sobre la comprensión de los estudiantes en relación con los conceptos de Óptica Geométrica (Goldberg y McDermott, 1987; Wosilait, 1988) en cursos

de Física con uso del cálculo, demuestran que los estudiantes tienen dificultades para la aplicación del concepto de rayo en situaciones básicas. Por ejemplo, cuando se les presenta una fuente puntual de luz que se dirige hacia una abertura de 1cm, la mayoría afirman que se presentarían efectos de difracción.

Aún después de reconocer que la imagen deberá ser un rectángulo brillante, ninguno de los estudiantes entrevistados pudo determinar su tamaño. También presentan serias dificultades de predecir el patrón de la luz sobre una pantalla, si una abertura es iluminada mediante dos fuentes puntuales.

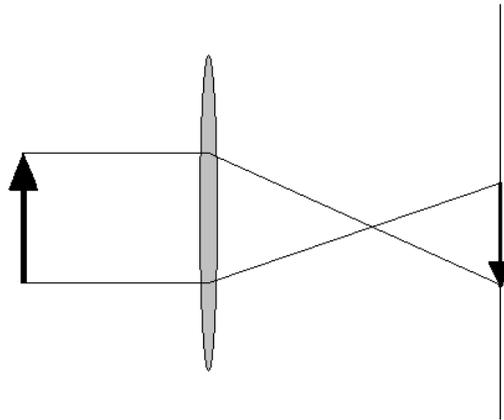
En relación con la explicación de imágenes formadas por lentes Goldberg y McDermott, (1987) han encontrado que los estudiantes al ser cuestionados sobre:

Lo que ocurre en un sistema de lente, objeto iluminado y pantalla, una vez que se remueve el lente, es que en la pantalla se observará el objeto.

Lo que ocurre en un sistema de lente, objeto iluminado y pantalla, al colocar una tarjeta que cubra la mitad de la lente, el 75% de estudiantes en una situación postinstrucción, responden que se verá la mitad de la imagen en la pantalla (ver figura 2).

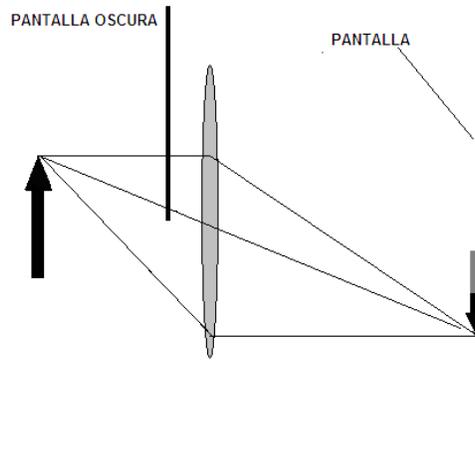
Lo que ocurre cuando la pantalla donde se forma la imagen se acerca o aleja de la lente, el 65% responde que se ve la misma imagen, aunque en algunos casos más difusa. Muchos estudiantes explican su respuesta mediante dibujos.

Ellos muestran solamente dos rayos saliendo del objeto, ambos paralelos al eje, e indican que esos rayos formarán una imagen cuando alcancen la pantalla.



Este modelo incorrecto da cuenta de las tres observaciones anteriores. Por ejemplo cuando una tarjeta sirve de obstáculo en una mitad de la lente, en la mitad superior ésta pantalla bloquea la mitad de los rayos, por lo que sólo se verá la mitad de la imagen.

De acuerdo con Arons (1997), esto se puede interpretar como algo similar a que la imagen viaja del objeto a la lente, la lente lo invierte y después se observa en la pantalla. Es decir, los estudiantes creen que existe una “imagen potencial” que se mueve desde el objeto hasta la pantalla.



Muchos estudiantes también predicen, que una tarjeta con un pequeño orificio puesta entre el objeto y la lente, no permitirá ver imagen alguna en la pantalla, ya que “ésta no cabe por el orificio”. Todo esto ocurre aún después de instrucción en Óptica Geométrica y Física. Aún estudiantes que han desarrollado una mejor comprensión de la propagación de la luz, llegan a mantener que en el caso de la Figura 6, sólo la mitad de la imagen será capturada en la pantalla y tienen serias dificultades para aceptar que se pueda formar una imagen en el vacío, en ausencia de pantalla.

Así, en resumen, se tienen los siguientes resultados obtenidos de la investigación:

Muchos estudiantes no entienden las ideas fundamentales del modelo de rayos de la luz.

Los estudiantes visualizan los rayos como entes físicos, no como representaciones.

Los estudiantes no entienden el papel de los tres rayos principales en las lentes.

Los estudiantes no entienden la función de las lentes convergentes en la formación de imágenes.

Los estudiantes no entienden el papel de la pantalla en la formación de imágenes

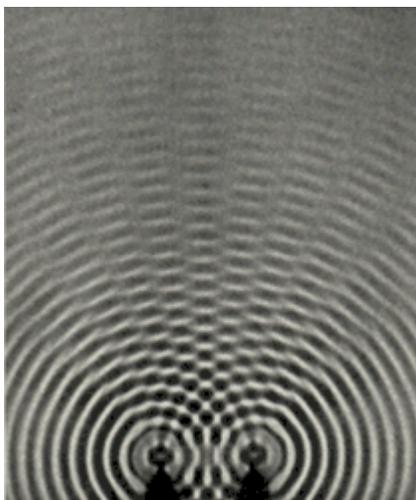
Los estudiantes no entienden el papel del ojo en la formación de imágenes.

Un uso exitoso de la ecuación de las lentes, no indica una comprensión de la Óptica Geométrica.

ÓPTICA ONDULATORIA.

La Óptica ondulatoria, está caracterizada por dos fenómenos básicos: la interferencia y la difracción. No existe una clara diferencia entre los fenómenos de interferencia y difracción en los libros de texto. En general la difracción, tomando como referencia su origen histórico, significa división en fracciones pero de forma dispersa de una onda, aunque el análisis se realiza en términos del principio de Huygens, como la interferencia de muchas fuentes a lo largo del frente de onda. Así, una rejilla de difracción se piensa mejor como una interferencia en múltiples rejillas.

La interferencia es un tema difícil para los estudiantes ya que deben comprender los conceptos de frente de onda, fase y superposición, para ser capaces de visualizar lo que pasa cuando dos patrones de ondas se traslapan, conceptos que además, tienen una representación matemática bastante difícil. Los libros de texto, usualmente se auxilian de figuras similares a la que se muestra abajo (Fig.), para ilustrar el fenómeno de interferencia, sin embargo ese tipo de diagramas es bastante difícil de interpretar para los estudiantes. Así mismo, es difícil relacionar éste diagrama con el análisis que se realiza usualmente al estudiar la doble rendija en el fenómeno de interferencia.



McDermot y colaboradores (1987), han investigado sobre la comprensión de los fenómenos de interferencia y difracción, y han encontrado que muchos estudiantes, presentan serias dificultades de comprensión de las ideas básicas de los modelos geométrico y ondulatorio. La explicación de los fenómenos de interferencia y difracción, tienden a ser confundidos y a presentar modelos de explicación que son una mezcla de ambos, el ondulatorio y el geométrico, aún con estudiantes competentes y esto persiste en niveles subsecuentes.

Particularmente en sus investigaciones han hallado que:

Después de estudiar la Óptica Física, muchos estudiantes tratan igual todas las aperturas sin importar el tamaño. Además aplican erróneamente el modelo de ondas en el dominio de la

Óptica Geométrica.

En un examen posttest, sólo el 20% de estudiantes predicen correctamente, con razonamientos correctos, que el mínimo en un patrón formado por la difracción de la luz que pasa por una rendija, deberá desplazarse del punto medio si la rendija se hace más angosta.

Un grupo de estudiantes, al emplear el modelo mezclado, explica el máximo central como la imagen geométrica de la rendija.

Muchos estudiantes, piensan que no pasará la luz si el ancho de la rendija es menor que su longitud de onda.

Otros piensan que la difracción ocurre, sólo si la longitud de onda de la luz es mayor que el tamaño de la rendija.

Al solicitarles a estudiantes que predigan, qué pasará en el experimento de la doble rendija, sólo el 40% contesta correctamente, 25% predicen que la imagen del patrón se verá borrosa pero no cambiará, implicando la creencia que cada rendija produce el patrón entero.

20% predicen que al tapar una rendija, la mitad derecha o izquierda del patrón desaparecerá, dependiendo que rendija sea tapada.

Muchos estudiantes creen, que el dibujo estándar de una onda, representa la extensión espacial real de la onda. Diagramas realizados por estudiantes, como se muestra en la Fig. , representan la onda cuando pasan por la rendija como si ésta fuera cortada en su amplitud, lo que implica una interpretación literal de los diagramas de ondas.

FÍSICA CUÁNTICA

El fenómeno de la cuantización, es una parte esencial de la comprensión del mundo microscópico desde inicios del siglo XX. La Física Cuántica, cada vez cobra mayor relevancia para los estudiantes de ingeniería y de otras ciencias, ya que presenta aplicaciones en la Química Cuántica, Nanoestructuras, Materiales, Láseres, Microscopio de barrido por tunelaje, etc. Motivo por el cual, un importante grupo de científicos e ingenieros del siglo XXI, necesitarán algún conocimiento de la Física Cuántica. Estudios realizados revelan, que los estudiantes se muestran receptivos e interesados ante éste tema. Muchos estudiantes tienen conciencia de las ideas de la Cuántica en otras ciencias; de la literatura popular, así como del cine. Las dificultades básicas con la Física Cuántica y la Física del átomo, es que las entidades básicas que se construyen en esas teorías no son directamente “perceptibles” a los sentidos. Adicionalmente, los estudiantes no cuentan con modelos “adecuados” de la estructura atómica y su conocimiento se reduce a repetir de memoria lo que aparece en los libros de texto o lo que dice el maestro. Arons (1997), hace énfasis en que, una genuina comprensión de algunas ideas de la Física Cuántica, requieren de que los estudiantes conozcan el cómo y el por qué se sabe acerca de que los átomos existen y que la energía está cuantizada.

Por otra parte, en los cursos donde se introducen las ideas cuánticas y que inician con el estudio del efecto fotoeléctrico, lo que se observa es poca o nula comprensión del fenómeno. Estudios realizados sobre la comprensión del fenómeno (Steinberg, et. al., 1996), indican los siguientes elementos como causa especial de problemas:

- No se comprende el experimento en sí, cómo trabaja, ni qué se mide realmente.
- No se comprende la idea básica del modelo de la luz como fotón.
- No son capaces de usar, ni el modelo clásico ni el concepto de fotón, para razonar acerca de cómo los resultados experimentales pueden cambiar si algunos parámetros del experimento se varían.
- No reconocen las mediciones específicas donde el modelo falla, ni donde el modelo del fotón tiene éxito.
- No distinguen qué papel juegan ni V ni hf ni la función de trabajo W_0 .
- No distinguen entre flujo de fotones y energía del fotón.
- No entienden cómo se relacionan el potencial de frenado y la energía de un fotón
- En relación en cómo se propaga un fotón, los estudiantes tienden a interpretar el paquete de ondas usual, como la trayectoria real seguida por un fotón.

En conclusión, el significado del efecto fotoeléctrico como un elemento de soporte de la idea de cuantización, se pierde en los estudiantes.

Considerar ésta problemática, es el motivo por el cual se diseñó una propuesta, que pretende superar esos conflictos y promover el aprendizaje en los alumnos.

LA CAPACIDAD COGNITIVA DEL ALUMNO: EL ESTADIO DE DESARROLLO OPERATORIO.

En ésta parte podemos considerar, solamente como referencia para ubicar mejor las actividades que se plantean en el programa guía de actividades, las aportaciones de Shayer y Adey (1984), en donde nos describen, por ejemplo, cómo se desarrollan diferentes esquemas de conocimiento necesarios para la comprensión de la ciencia y cómo interacciona el joven con el mundo físico que le rodea.

La información ayuda a disponer de explicaciones más consistentes de muchas dificultades de los alumnos, como consecuencia de nuestra experiencia docente. Asimismo, nos permite valorar la conveniencia de abordar el tema con un nivel de diferenciación conceptual determinado de manera que ayude a que sea posible su comprensión.

Con referencia al tema de la luz Shayer y Adey (1984), plantean la taxonomía que se muestra en la Tabla 2 y que de forma genérica coincide con las dificultades detectadas en la investigación de las preconcepciones de los estudiantes, asociadas con fenómenos ópticos. A partir de ella podemos concluir que nuestros estudiantes, se pueden ubicar en una etapa asociada con el nivel cognitivo formal inicial, de acuerdo con esta taxonomía.

TABLA 2

Tema: La luz

<i>Nivel cognitivo</i>	<i>Características asociadas</i>
Concreto avanzado	Puede usar un modelo de propagación lineal (línea recta) para “explicar” la reflexión en un espejo plano. “Cuando más pequeño será el ángulo de entrada, más pequeño será el ángulo de salida”.
Formal inicial	Puede usar las Leyes de las lentes para tratar imágenes reales (modelo de propagación lineal). Se siente incómodo con el modelo de ondas, ya que los fenómenos de la luz no parecen relacionados directamente con las propiedades del modelo. La relación longitud de onda-frecuencia como un algoritmo para hacer cálculos. La luz como parte del espectro electromagnético.

Formal avanzado	Puede usar el modelo de ondas para explicar cualitativamente los fenómenos de difracción/interferencia. Puede ver las Leyes de las lentes como un sistema deductivo y puede aprender a operar según sus reglas. Comprende la relación de las ondas longitudinales y transversales y de la velocidad de transmisión con la longitud de onda y la frecuencia. También relaciona el espectro electromagnético y la frecuencia de onda con las propiedades de un resonador emisor
-----------------	---

SELECCIÓN DE OBJETIVOS EN EL TEMA DE LA LUZ

Realizados los análisis científico y didáctico, la siguiente tarea es la selección de objetivos, combinando simultáneamente los resultados de los análisis científico y didáctico, y que concrete en objetivos que ayuden a conseguir las intenciones educativas vinculadas con el plan de estudios y sus programas.

PROPÓSITOS GENERALES DE LA UNIDAD: FENÓMENOS ÓPTICOS

Los propósitos de la unidad seleccionada, se enuncian en forma detallada en el plan y programa de estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades y de él sólo se presenta las siguientes ideas:

Se pretende que los alumnos, al estudiar la propagación de la luz y su comportamiento al interactuar con la materia, podrán explicar fenómenos como la reflexión, refracción, difracción, interferencia, polarización y color, y sus aplicaciones así como la importancia de los modelos físicos en el desarrollo histórico y en los avances tecnológicos. El estudio de la naturaleza de la luz ayudará a la comprensión de algunas ideas de la Física Cuántica y relativista, así como a entender los modelos que nos aproximan al conocimiento profundo del Universo.

A continuación, se enuncian los objetivos propuestos para la unidad didáctica que será desarrollada, y en seguida se desglosan en los contenidos respectivos: conceptuales, procedimentales y actitudinales y que se corresponden con la siguiente:

TEMÁTICA

I. Óptica Geométrica: La luz como partícula y la luz como onda;

II. Naturaleza de la luz: La luz como onda electromagnética;

III. Naturaleza cuántica de la luz: Origen de la Física Moderna

OBJETIVOS DE LA UNIDAD.

Al finalizar la Unidad, el alumno:

- Comprenderá el comportamiento de la luz, a través de los fenómenos de reflexión, refracción, difracción, interferencia, polarización, color y su interacción con la materia, para describir el funcionamiento de diversos dispositivos ópticos y la transmisión de la información.
- Valorará la importancia de los modelos físicos sobre la naturaleza de la luz: corpuscular, ondulatorio y “cuántico”.

A partir de lo anterior pasamos a describir los contenidos o resultados de aprendizaje conceptuales, procedimentales y actitudinales.

CONTENIDOS CONCEPTUALES.

- Define los distintos elementos que forman los sistemas ópticos.
- Conoce cómo varía el resultado obtenido en un trazado de rayos, cuando se modifica el tipo de lente o el tipo de espejo.
- Conoce cómo varía el resultado obtenido en un trazado de rayos, cuando se modifican las características del objeto.
- Conoce cómo varía el resultado obtenido en un trazado de rayos, cuando se modifica la situación del objeto con respecto a la lente o al espejo.
- Explica en forma general, por qué funciona un telescopio.
- Explica en forma general, por qué funciona un microscopio.
- Explica en que consiste la dispersión de la luz.
- Conoce algunas características de la luz, que la distinguen como un fenómeno ondulatorio.
- Describe con sus palabras los fenómenos de difracción e interferencia de la luz
- Conoce que la luz, cuando se propaga, se comporta como una onda electromagnética.
- Conoce en qué consiste el fenómeno de polarización de la luz
- Conoce que la luz se puede propagar en el vacío.
- Conoce, mediante ejemplos, las limitaciones de la Física en la explicación de fenómenos que no pueden ser interpretados por las leyes clásicas.
- Conoce en qué consiste el efecto fotoeléctrico y al menos una situación que no se puede explicar con el modelo ondulatorio electromagnético de la luz.

- Conoce la hipótesis de Einstein que explica el efecto fotoeléctrico.
- Conoce en qué consiste el modelo cuántico de la luz, y el por qué ni el modelo de onda ni el de partícula, da cuenta del fenómeno de la luz.
- Conoce algunas ideas desarrolladas a lo largo de la historia, concernientes a la comprensión de la naturaleza de la luz

CONTENIDOS PROCEDIMENTALES

- Compara las distintas teorías utilizadas a lo largo de la historia, para explicar los fenómenos luminosos.
- Comprende que el desarrollo de la Física, supone un proceso dinámico que exige una actualización permanente de modelos, leyes y teorías.
- Describe genéricamente cómo es que se pueden ver los objetos, a partir del modelo de rayos (o de partículas) de la luz
- Realiza esquemas que muestran el trazado de rayos, en diferentes sistemas ópticos: lentes y espejos.
- Deduce cualitativamente, las características de la imagen en un sistema óptico simple, a partir de las características de éste y a partir de las características y la ubicación del objeto.
- Compara la formación de imágenes en los distintos tipos de espejos: planos, cóncavos y convexos.
- Aplica el concepto de potencia de una lente, a la resolución de problemas numéricos.
- Explica las diferencias existentes entre las imágenes reales y las imágenes virtuales, producidas en diferentes sistemas ópticos.
- Compara una cámara fotográfica con el ojo humano, indicando las similitudes y las diferencias entre ambos “sistemas ópticos”.
- Explica con sus palabras algunos fenómenos luminosos producidos cuando la luz cambia de medio, utilizando las leyes de la reflexión y de la refracción.
- Representa e interpreta esquemas sobre la propagación de la luz.
- Explica algún método conocido para medir la velocidad de la luz, y conoce su valor aproximado.
- Resuelve problemas numéricos simples, en los que se apliquen las leyes de la reflexión y de la refracción.
- Identifica el modelo corpuscular de la luz de Newton, para explicar los fenómenos de reflexión, refracción y dispersión de la luz
- Describe el espectro electromagnético en todas sus regiones mediante la relación $C = \lambda f$
- Conoce las limitaciones y dificultades del modelo ondulatorio y corpuscular de la luz. (qué explica y qué no explica)

- Explica algunos fenómenos ópticos de observación frecuente en la vida diaria, asociados con la difracción, interferencia y polarización de la luz.
- Explica algunos fenómenos luminosos cotidianos, con base en el modelo ondulatorio de la luz
- Utiliza la fórmula de Planck, para calcular la longitud de onda o la frecuencia de un fotón, a partir de su energía, o viceversa.
- Relaciona las nuevas teorías de la Física, con el progreso científico y tecnológico que acarrearán.
- Interpreta algún experimento asociado con el efecto fotoeléctrico, mediante el concepto de fotón.

CONTENIDOS ACTITUDINALES

- Comprende el desarrollo de la Física como un proceso dinámico, sin dogmas ni verdades absolutas, mostrando una actitud flexible y abierta frente a opiniones diversas.
- Valora el desarrollo científico y tecnológico originado por la Física Moderna.
- Valora la importancia histórica de determinados modelos y teorías, que supusieron un cambio en la interpretación de la Naturaleza
- Reconoce la provisionalidad de las explicaciones científicas, como elemento característico de la Física.
- Valora la importancia de la evolución de los conceptos sobre la naturaleza de la luz, a lo largo del desarrollo de la Física.
- Reconoce la importancia de las aplicaciones de la óptica en la vida cotidiana y en el desarrollo tecnológico.
- Respeta las normas de comportamiento y seguridad en el laboratorio y del cuidado en el manejo del material de experimentación.
- Asume una actitud de respeto hacia sus compañeros en el momento de discutir las ideas.
- Participa activamente en las actividades a realizar dentro y fuera del aula.
- Colabora de forma activa en las actividades que se realizan en forma grupal.
- Cumple con las tareas y trabajos asignados en tiempo y forma.
- A partir de los enunciados de los contenidos, podemos diseñar los criterios de evaluación que consideraremos para verificar los logros de aprendizaje de los estudiantes, como una orientación útil al realizar la evaluación final de los alumnos.

Es importante aclarar que la formulación no pretende ser una descripción de los resultados y conductas observables esperadas en nuestros alumnos, ya que no podemos olvidar que el carácter “constructivo” del aprendizaje, supone la obtención de resultados particulares para cada alumno según sus peculiaridades y,

por tanto, el desarrollo de capacidades en los alumnos, no puede ser medido por determinadas conductas observables idénticas para todos.

SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS.

Para desarrollar una lección, el profesor adopta formas de actuación específicas, ante las que espera que los alumnos respondan de una determinada manera y tienen por objeto el que éstas, sean eficaces para el logro de los objetivos propuestos, Sánchez y Valcárcel (1998), plantean que dentro de las consideraciones que hace un profesor, al elaborar una estrategia didáctica, se encuentran:

- Sus planteamientos metodológicos
- La secuencia de enseñanza,
- Las actividades de enseñanza-aprendizaje

Estos elementos nos permiten comprender cómo se concreta la acción en el aula y nos resultan útiles para la realización de ésta tarea.

Los planteamientos metodológicos, se refieren a las funciones que profesor y alumnos desempeñan en el proceso de enseñanza aprendizaje y dependen de las teorías o creencias personales que el profesor sustenta, fundamentalmente, sobre la naturaleza de la Ciencia, del proceso de enseñanza-aprendizaje y la función del sistema educativo, entre otros.

La secuencia de enseñanza, se define para concretar cómo vamos a llevar al aula nuestros planteamientos metodológicos. En específico y en relación al contenido, los objetivos que nos marcamos, son los que nos indicarán, qué actividades de enseñanza-aprendizaje debemos seleccionar.

En el modelo de Sánchez y Valcárcel (1988), proponen que la estrategia didáctica del profesor, se articule en torno a tres materiales de aprendizaje: el programa-guía de actividades, las hojas de trabajo y el cuaderno del alumno. Sin embargo, en nuestra opinión, el programa guía, si está diseñado con suficiente detalle para que resulte un instrumento de trabajo para el alumno en sus actividades en el aula, deberá incluir las hojas de trabajo y, en el contexto que hemos discutido asociado con la evaluación, servir como una forma de apoyar el aprendizaje.

El cuaderno del alumno, es un material que se utiliza fundamentalmente con el objeto de personalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación y servir como referencia para dar seguimiento al cómo el alumno construye el conocimiento.

Por lo anterior en el anexo se plantean, de forma detallada, los elementos considerados en el diseño del programa-guía de actividades, para desarrollar una “Introducción del modelo cuántico de la luz en el bachillerato: construcción del concepto de fotón”, que es el cuerpo central de ésta tesis. Finalmente, dentro

El papel del profesor debe ser tal, que logre transmitir su interés por el progreso de sus alumnos; convencerlos de que un trabajo adecuado terminará produciendo las metas planteadas, incluso si inicialmente aparecen dificultades. Se requiere un esfuerzo especial del profesor, para dar a los alumnos la seguridad de que pueden llegar a hacer bien las cosas, lo que implica una planificación muy cuidadosa de las unidades didácticas que se

desarrollaran en un curso.

Del modelo propuesto por Sánchez y Valcárcel (1988), se plantea la necesidad de seleccionar las estrategias de evaluación, las cuales se describen a continuación.

SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN: RECURSOS DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE.

A partir de los objetivos planteados, el análisis científico, didáctico y de la secuencia de preguntas vinculadas con la temática a estudiar, es posible diseñar una secuencia viable de actividades, que permitan realizar el “programa de investigación” para nuestros alumnos y que formará parte de las actividades a realizar en el aula y fuera de ella. Dentro del modelo de Sánchez y Valcárcel (1993), se plantea como etapa final, aunque no por ello menos importante, la selección de las estrategias de evaluación. A continuación se exponen con detalle, cuáles son las formas e instrumentos que se seleccionan en el diseño de la Unidad didáctica así como aquellas que se incluyen explícitamente en la guía de actividades, que se presenta en el apéndice de éste trabajo.

Como ya se expuso en el capítulo anterior, en la orientación “constructivista” del aprendizaje, la evaluación se convierte en un recurso para aprender, de manera tal que incida "sobre la marcha" en el proceso de aprendizaje y que, al producirse en un contexto de trabajo colectivo, ayuda a disminuir la interferencia de la ansiedad que producen las formas tradicionales de “evaluar”.

Desde la concepción “constructivista”, el profesor al valorar una situación, un hecho, un concepto o una experiencia, debe hacerlo de manera compartida con el alumno, mostrándole la utilidad que dicha valoración, puede tener para el futuro o en sí misma, con objeto de que la evaluación sea realmente formativa. Lo contrario, es decir, hacerlo de manera unilateral y concluyente por parte del profesor, es reforzar la idea de la evaluación como un proceso exclusivo de calificación o de control.

Para que la evaluación se pueda usar como un instrumento de aprendizaje, es necesario que cuente con las siguientes características:

Debe ser percibida por los alumnos, con ayuda del profesor, como una ayuda real generadora de expectativas positivas, para jugar un papel orientador del trabajo de los alumnos, así como un recurso que permitirá apoyar de manera continua su aprendizaje. Evitar inducir una actitud de rechazo por la tarea, y así como el miedo al fracaso; convencer a los estudiantes que no hay resultados “erróneos”, sino que los “errores” también son oportunidades de aprendizaje, ya que sirven para detectar las insuficiencias a cubrir, y pueden resolverse con actividades

Los aprendizajes y los criterios de evaluación, se refieren por supuesto a los contenidos que se van a trabajar en la unidad didáctica o tema y deben reflejar, el tipo y grado de aprendizaje que pretendemos conseguir del contenido al que se refieren. El aprendizaje representará, la clase y grado de profundidad al que esperamos llegar para ese contenido, y

el criterio de evaluación es el mínimo imprescindible para poder seguir aprendiendo; ya que no todos habrán aprendido lo mismo, pero todos al final deberán, al menos, haber conseguido los aprendizajes especificados en el criterio de evaluación, puesto que ese será el punto de partida de otra unidad didáctica.

Adicionalmente, el establecer los criterios de evaluación y al ser conocidos por los alumnos, se contara con un recurso muy importante de carácter metacognitivo, que permitirá a los estudiantes y al profesor, verificar los logros y avances en la unidad, conforme se desarrolla en el aula y de ésta forma, los alumnos participan en la regulación de su propio proceso de aprendizaje (Campanario, 2000, Campanario, 2001A; Baird, 1988), dándoles oportunidad de reconocer y valorar sus avances, de rectificar sus ideas iniciales y de aceptar el error como inevitable en el proceso de construcción de conocimientos (Álvarez, 2001). De revisión, trabajo con otros compañeros que, al revisarse, muestren los progresos conseguidos.

Buscar el progreso tanto de los alumnos mejor preparados, como de aquellos que presentan dificultades de avance en el desarrollo de las tareas. Por supuesto, ésta meta debe ser explicitada con los alumnos, para evitar inquietudes y tensiones innecesarias y transmitir, en definitiva, expectativas positivas a todos los alumnos. Debe incluir actividades que valoren los aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales de las ciencias (Pro, 1988). Debe referirse a criterios y no a normas (Estévez, 2003; Satterly y Swann, 1998), es por lo tanto imprescindible, diseñar los criterios de evaluación en cada unidad y deben ser dados a conocer a los alumnos. Es importante considerar que, a la hora de fijar los criterios, sólo aquello que es evaluado, es percibido por los alumnos como realmente importante.

Ampliar la evaluación, más allá de lo que supone la actividad individual de los alumnos, es decir, la evaluación de aspectos como el ambiente de la clase, el funcionamiento de los equipos, las intervenciones de los alumnos, etc., que contribuyen a romper con la concepción de la evaluación, como simple calificación de los alumnos, y a hacerlos sentir que realmente se trata del seguimiento de una tarea colectiva, que tiene como objetivo incidir positivamente en el aprendizaje (Litwin, 1998; Álvarez, 2001).

Dado que las actividades de evaluación están inmersas en el programa de actividades y por lo tanto, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, la evaluación se realiza de manera “continua” a lo largo de una unidad del programa. Esto no quiere decir que el profesor esté continuamente registrando los aprendizajes realizados por cada alumno, sería una tarea imposible. En el desarrollo de las actividades, el profesor se dedica a ayudar, a proponer nuevas preguntas para profundizar en los problemas, a sintetizar, a centrar las discusiones, a aportar otras soluciones propuestas por otros que, como nosotros, se han planteado el mismo problema o alguno parecido.

A fin de incrementar la información disponible, percibir el avance personal de los alumnos, promover la seguridad y la motivación en ellos y valorar y orientar adecuadamente el aprendizaje, se deben tomar en cuenta, como ya se ha Op. cit. Citado por Gil, (1991)

mencionado, todas las realizaciones de los alumnos, por ello, a continuación se describen algunas formas específicas de evaluación (todas ellas se aplicaron en las Prácticas Docentes realizadas), consideradas en la propuesta que se presenta en éste trabajo y consistente con los planteamientos mencionados en los párrafos anteriores, entre otras.

Los exámenes

No obstante sus desventajas, por la forma tradicional en que son utilizados, consideramos que los exámenes o pruebas más extensas siguen siendo necesarios. Un examen, visto como un ejercicio global o una pequeña prueba, es también ocasión, de que el alumno se enfrente con una tarea compleja y ponga en acción sus conocimientos (Hoyat, 1962), lo que adicionalmente permitirá obtener información para reorientar convenientemente su aprendizaje, con el fin de:

Apoyar el trabajo diario y transmitir seguridad en el desarrollo de las actividades.

Conocer, sobre los conocimientos que los alumnos poseen, posibles deficiencias, así como el progreso realizado para promover expectativas positivas sobre las metas a lograr.

Contar con un número importante de productos y resultados por alumno, a fin de reducir lo azaroso de una valoración única.

Discutir inmediatamente las posibles respuestas a las actividades planteadas, permitirá conocer si la clase está o no preparada para seguir adelante con posibilidades de éxito. Se favorece así la participación de los alumnos en la valoración de sus propios ejercicios, es decir, su autorregulación, pudiéndose aprovechar también ésta discusión, como introducción al trabajo del día, centrando la atención de los alumnos de una forma particularmente efectiva.

Sin duda, para conseguir que los exámenes se conviertan en una situación privilegiada para el aprendizaje, hay que plantear a los alumnos, las condiciones en que se realizarán. Para ello se propone lo siguiente (Campanario, 2000):

En los exámenes se propondrán actividades del mismo tipo y nivel de dificultad que las propuestas en clase. Las actividades del examen se realizan individualmente y se pueden pedir al profesor todo tipo de aclaraciones sobre las tareas propuestas.

Los exámenes no se califican, se evalúan, se corrigen, se constata lo que no se sabe y se diseñan procesos para conseguir aprenderlo. Si el examen es devuelto; corregido lo antes posible y se discuten, pregunta por pregunta, las posibles respuestas, los errores aparecidos, la persistencia de preconcepciones, etc.; se constituye, para los alumnos, en una actividad de autorregulación muy eficaz.

Los exámenes se referirán a cuestiones que permitan saber si los alumnos han comprendido los conceptos, son capaces de realizar los procedimientos o han adquirido las actitudes perseguidas, evitando preguntas que se refieran sólo a aprendizajes memorísticos. Además en los exámenes, se podrá disponer de toda la información que se considere oportuna (apuntes, libros, tablas, etc.)

Debe quedar claro que el examen, es una actividad o instrumento más de aprendizaje y evaluación del mismo. Después de realizado, se debe corregir con actividades complementarias, se pueden realizar tranquilamente en casa, y se puede y se debe, preguntar a los compañeros y al profesor cómo hacerlas.

El examen se ha de realizar con tiempo, sin prisas, si hace falta, en una sesión de dos horas o incluso para llevar a casa. Algo semejante ha de ocurrir con las actividades complementarias, hay que hacerlas sin plazos cerrados e inflexibles y preguntar, si no se saben hacer, a los compañeros o al profesor.

El cuaderno de apuntes.

El cuaderno de apuntes es un material que se utiliza fundamentalmente con el objeto de personalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación y trata de describir cómo se construye el conocimiento. Dado que en nuestras clases, en general, no utilizamos un libro de texto determinado (aunque si puedan consultarse libros de texto, enciclopedias, de divulgación científica, Internet, etc.), el cuaderno de apuntes se convierte en un instrumento imprescindible para el alumno y el profesor. El alumno va a recoger en éste cuaderno todo lo que se ha trabajado en clase, entre otras cosas:

La resolución de las actividades que se realizan en clase. La elaboración de sus propias conclusiones por tema, expresadas por escrito, así como sus juicios de valor e impresiones personales. En cada tema de la Unidad didáctica, debe realizar un resumen de lo trabajado, como una forma de promover la creación de textos “científicos” con redacción propia. Los criterios para la evaluación del cuaderno, se refieren a si consigue ésta función de acopio de información correctamente y también a que la información recogida sea de elaboración propia. En éste sentido, el cuaderno es otro instrumento importantísimo para introducir en los alumnos el lenguaje científico, no sólo a nivel de vocabulario, sino sobre todo, en lo que se refiere a la elaboración de texto argumentativo, al que los alumnos no están muy acostumbrados.

Los mapas conceptuales.

En las asignaturas de Física, utilizamos fundamentalmente los conceptos y teorías para organizar los contenidos, es por eso que realizamos frecuentemente las síntesis de conceptos, casi siempre realizadas en forma de mapas conceptuales, que consideramos una herramienta de gran utilidad y pueden ser instrumentos de evaluación de aprendizajes. Conviene que el profesor haga una presentación sobre la elaboración de mapas conceptuales para aquellos alumnos que no sepan realizarlos.

Cuestionarios de autoevaluación.

Al finalizar un bloque temático o incluso cada uno de los temas, es conveniente pasar un cuestionario semiabierto a cada estudiante, donde pueda valorar su propio trabajo y el grado de aprendizaje. Con ésta actividad se favorece la reflexión del estudiante, tomando conciencia de los aprendizajes realizados y sus propias deficiencias; al mismo tiempo,

aporta información al profesor sobre la autopercepción de cada uno de sus alumnos, una información adicional para introducir las medidas correctoras oportunas, ya sean referidas a cada individuo o a la estrategia didáctica utilizada. Para ello, es posible considerar los criterios de evaluación de la unidad a estudiar como referencia básica para promover esa reflexión sobre lo aprendido.

Empleo de autocuestionarios

En el apartado correspondiente al uso de la lectura en el aprendizaje, se han mencionado como un instrumento de aprendizaje metacognitivo (Campanario, 2000; Alonso, 1995)). Al final, en el anexo 3, se presenta un ejemplo sencillo de preguntas que pueden ser utilizadas por los alumnos para contrastar lo que han aprendido, en una tarea de estudio independiente mediante la lectura. Dicho ejemplo es una adaptación simple del instrumento propuesto por Campanario, (2000).

Resolución de problemas de lápiz y papel.

Tienen por objetivo practicar el uso de algunas relaciones matemáticas simples, que describen algún fenómeno o alguna aplicación que le de sentido al cálculo, así como a su resultado. Asimismo, permiten vincular los conceptos con situaciones de tipo práctico o con cuestiones de la vida diaria.

Uso de la Internet

Actualmente, aunque los estudiantes usan y conocen la computadora, aún es un recurso poco explotado por los profesores de ciencias. Una de las formas en las que se puede usar, es para la exploración de experimentos simulados, que aparecen en páginas de Internet en español o de ser posible en inglés. Se desarrollan como actividades fuera de clase con dos fines centrales:

Para contar con ambientes de aprendizaje de mayor riqueza y afines a los intereses de los estudiantes.

Para apoyar el aprendizaje, en temas que son de difícil acceso a la experimentación, como los de la Física Moderna.

Otra forma de uso de la computadora, es como medio de comunicación a través del correo electrónico para recibir información, tareas, preguntas, actividades, etc. Se usará de acuerdo con los consensos que se logren con el grupo, ya que no siempre y por diversas razones, los alumnos, están dispuestos a participar de esa forma.

La evaluación y la calificación

En los apartados anteriores, se ha descrito cómo se evalúan los aprendizajes realizados por cada alumno, de una forma cualitativa y tomando como criterio los objetivos establecidos de antemano en la Unidad didáctica, que son conocidos por los alumnos. Así, todas las actividades mencionadas anteriormente, pueden tomarse como instrumentos de evaluación, incluyendo las pruebas escritas, así como las actividades de casa o de aula, unas veces realizadas individualmente y otras en pequeños grupos. Cuando el número de actividades

de evaluación recogidas a cada estudiante es suficiente, la calificación correspondiente puede deducirse por vía de un análisis cualitativo de los resultados.

Como se señaló anteriormente, se debe evaluar también la actitud individual del alumno con respecto a la asignatura y al grupo, es decir, nos fijamos si asiste regularmente a clase, si realiza las tareas propuestas en la misma, si participa en las discusiones grupales, si respeta la opinión de sus compañeros, si cumple con las normas de seguridad en el laboratorio, etc.

Al término del curso, y a fin de cumplir con el registro administrativo de calificaciones, se procede a asignar una calificación. Por supuesto, y con base en lo que hemos venido mencionando, la calificación asignada se debe corresponder con el grado logrado en el aprendizaje de los alumnos, considerando la perspectiva del profesor y de los alumnos respectivamente y a partir de los productos y actividades realizadas.

Como un ejercicio final, se puede pedir que los alumnos valoren los aspectos antes mencionados de una forma global, por ejemplo que califiquen de 0 a 10 sus aprendizajes (una forma concreta de hacer participar a los alumnos de la evaluación de sus aprendizajes es a través de la auto evaluación, tomando como referencia los criterios de evaluación que se enunciaron al inicio del curso en los contenidos de aprendizaje), la calificación que se asignarían ellos de acuerdo con lo que consideran han aprendido y también de 0 a 10 su contribución para conseguirlo (su trabajo). Por último, se les pide que se asignen la calificación final que creen merecer, tomando en cuenta los aspectos anteriores. El profesor, en ese momento cuenta con una calificación, producto de la evaluación que ha realizado durante todo el curso, si no difiere sustancialmente de la asignada por el alumno, se acuerda la calificación con ellos individualmente. Si la diferencia es muy grande (más de dos puntos, por ejemplo) se discute con el alumno, a fin de revisar en dónde existen diferencias y llegar a una nota final de consenso, pero en la cual, se ha dado una argumentación suficiente.

La evaluación de la enseñanza.

Aunque la concepción de la evaluación, como instrumento de aprendizaje, representa un indudable progreso, resulta insuficiente si no se contempla también como un instrumento de mejora de la enseñanza. Si se evalúa la enseñanza, en los momentos adecuados, considerados por el profesor, se evita que los alumnos vean a la evaluación como un ejercicio de poder poco equitativo e irracional, si sólo se cuestiona su actividad y su desempeño en el aula y no se hace lo mismo con el profesor.

En éste sentido, como la intención de la evaluación es mejorar el aprendizaje, aquí visto en colectivo como proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación, es necesario contar con algunas formas de valorar el desempeño del profesor, así como de los apoyos recibidos por la institución en que se labora.

La evaluación, ha de permitir incidir en los comportamientos y actitudes del profesorado, para ello, los alumnos deben contar con ocasiones para discutir con el profesor, aspectos como el ritmo de trabajo o la manera en que el profesor se dirige a ellos, así como aspectos

de tipo actitudinal, de manejo de grupo, etc. De ésta forma, la necesidad de la evaluación aparecerá realmente como un instrumento de mejora de la actividad colectiva (Gil, 1991, Nieto, 1996, Litwin, 1998; Díaz y Hernández, 2002)

Otro aspecto que se debe evaluar de la enseñanza, en ésta orientación del aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida, son los programas-guía de actividades diseñados para que los alumnos puedan construir conocimientos, adquirir destrezas y actitudes. Como nada garantiza que las actividades diseñadas sean adecuadas, y conduzcan a los resultados previstos, será necesario que la evaluación implique, además de su monitoreo continuo a lo largo del curso por el profesor, a equipos de profesores en una tarea de revisión permanente del currículo (Gil ,1991; Driver, 1988).

Al igual que antes, la valoración requiere adoptar criterios que nos permitan obtener información sobre la adecuación de actividades y materiales a los objetivos que pretendemos alcanzar con los alumnos. Los siguientes puntos, pueden ser criterios adecuados para valorar las actividades de enseñanza:

- La motivación e interés que genera en los alumnos.
- La complejidad de ejecución.
- La participación de los alumnos.
- La adecuación al tiempo previsto.
- El logro de los objetivos.

Los planteamientos anteriores son viables, si se parte del hecho de que han sido considerados en el trabajo de planificación del curso correspondiente, y por lo tanto, toman en cuenta los tiempos con que se cuenta para desarrollarlo.

ELEMENTOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DEL PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES ELABORADO.

Desde la propuesta de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida, para organizar la enseñanza del tema de “la luz y sus modelos de explicación”, es necesario abordar preguntas como éstas: ¿qué problemas están en el origen de las teorías, que queremos que pasen a formar parte de la forma de pensar de nuestros alumnos?, como consecuencia, ¿qué problema o problemas se pueden plantear, para originar la estructura del tema? y, suponiendo un ambiente que suministre oportunidades para la apropiación de una visión científica más acorde con la considerada en los anexos de éste trabajo. ¿Qué estrategia se deberá seguir para avanzar en la solución al problema planteado?

Visto de ésta manera, entonces se debe organizar la enseñanza centrándose en los problemas que están en el origen de los conceptos que queremos que aprendan y no sólo en los conceptos fundamentales. El análisis histórico y del desarrollo y construcción conceptual en el campo de la luz y sus modelos de explicación, permite identificar qué problemas están en el origen de los conceptos que queremos enseñar, así como los obstáculos y las ideas que permitieron su superación. Lo anterior debe considerar las siguientes orientaciones:

Plantear, en el inicio de la unidad (y a lo largo de los temas que la conformen) situaciones problemáticas que, inspirándose en las que desde el punto de vista histórico, están en el origen de los conocimientos relacionados con el tema de la luz, sirvan de punto de partida para el trabajo de los estudiantes.

Organizar el índice como un “plan de investigación”, diseñado de tal manera que la secuencia de apartados del tema, debe estar ligada intencional y lógicamente con la problematización inicial. De éste modo, los conceptos son introducidos como parte del proceso de tratamiento de los problemas planteados y de la vinculación de campos inicialmente inconexos.

Integrar con sentido la realización de ejercicios, trabajos prácticos, y la resolución de problemas, junto a la introducción de conceptos y sus relaciones, dentro de la estructura de investigación (Gil, et. al., 1999).

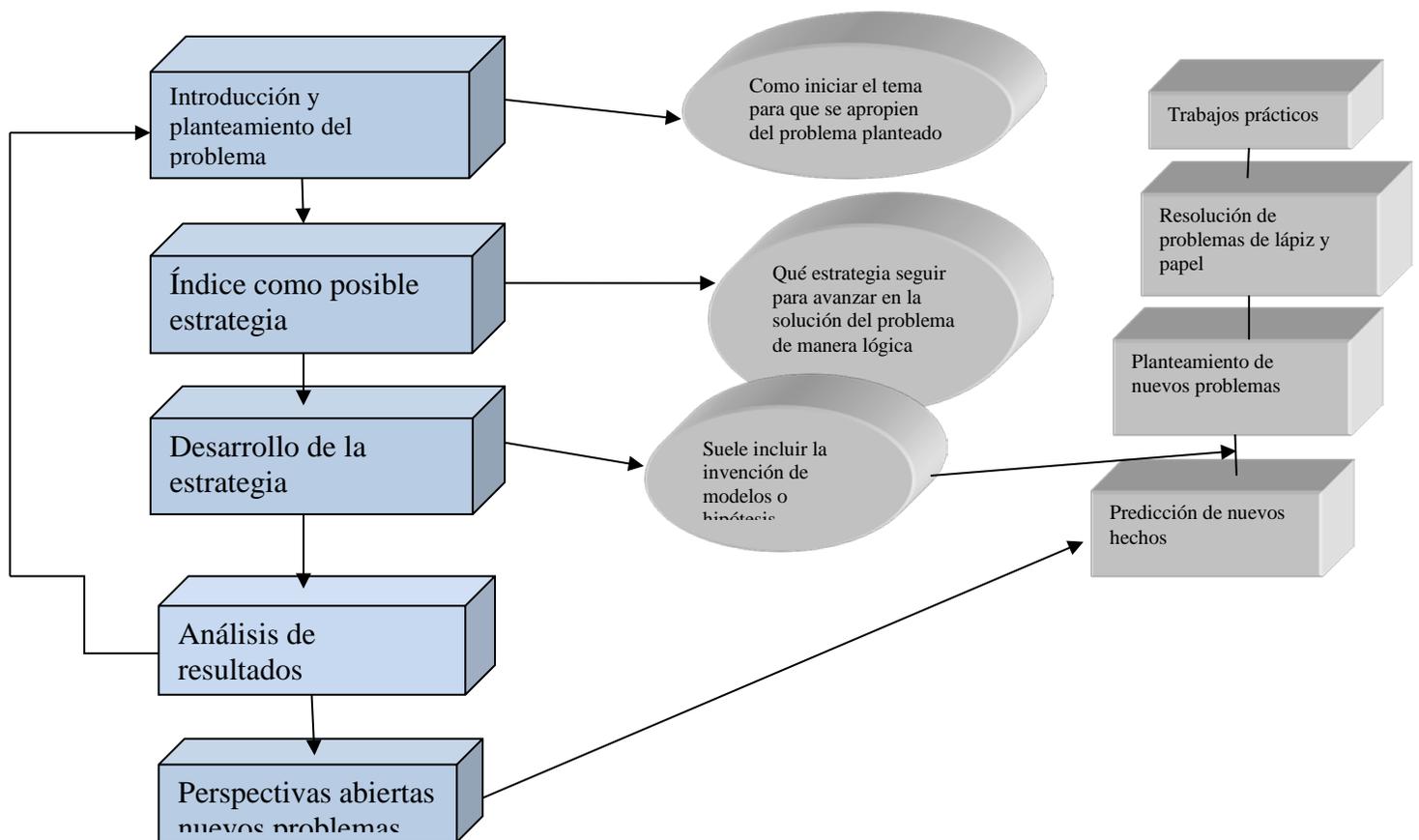
La realización de recapitulaciones periódicas sobre lo que se ha avanzado en la solución al problema o problemas planteados, para ubicar claramente los obstáculos superados y lo que queda por hacer, prestando así especial atención a la regulación y orientación de los alumnos en el desarrollo de la investigación.

Dejar tiempo en el aula o fuera de ella para que los alumnos piensen, analicen, argumenten y cuestionen.

En ésta sección, se presentará la estructura problematizada de la Unidad correspondiente a los Fenómenos Ópticos, que se ubica en el programa de Física Moderna del IEMS y en el de Física IV del programa de Física del CCH y la estrategia que seguiremos para avanzar en la solución del problema de una manera lógica.

En esta propuesta didáctica, se abordará una secuencia de preguntas que permitan ubicar los modelos de explicación del fenómeno luminoso, desde la perspectiva corpuscular y ondulatoria en una primera fase y después de ubicar el fenómeno de la difracción como un fenómeno que no puede ser explicado por la teoría de Newton, avanzar hacia la conceptualización más general del fenómeno luminoso, en el contexto de la teoría electromagnética de Maxwell, para llegar a conocer y describir, algunos fenómenos que no pueden ser explicados en la teoría electromagnética y que dan origen al concepto de fotón. En cada una de las etapas, se pretende guiar la discusión, siempre con la pregunta de cómo se sabe que lo que se afirma es “correcto” en el contexto de una teoría, es decir, cuáles son las evidencias empíricas que la soportan.

A continuación se esbozan de manera esquemática, en la Fig. 4, el planteamiento de la propuesta de manera general y de forma específica. (Osuna, y Martínez-Torregrosa, 2005).



En el desarrollo del programa-guía de actividades, y para abordar el problema de la construcción del concepto de fotón, se han tomado en cuenta las dificultades que se reportan en la literatura, en relación con el manejo de los conceptos previos, que de la Óptica Geométrica y Física tienen los alumnos, así como aquellas asociadas en la comprensión de algunos conceptos de la Física Cuántica, en especial el efecto fotoeléctrico. Por lo anterior, el manejo de la resolución de problemas de lápiz y papel se incluye, pero

siempre asociado a la intención de reafirmar algunos conceptos, darles contexto y mostrar su utilidad.

La siguiente serie de preguntas, permite guiar la secuencia de actividades, para introducir a los estudiantes en el estudio del fenómeno luminoso (Beléndez, et. al., 1989; Arons, 1997; Einstein e Infeld, 1993; Gagliardi, 1988; Moulton y Schiffers, 1988).

PREGUNTAS GUÍA

1. ¿Cuáles son las características del movimiento de la luz?
 - 1.1 ¿Para ti, qué es la luz?
 - 1.2 ¿La luz se mueve? ¿Cómo se mueve?
 - 1.3 ¿Por qué crees que es posible ver los objetos?
 - 1.4 ¿Cómo pueden explicarse las características del movimiento de la luz?
 - 1.5 ¿Qué tan rápido se mueve la luz?
 - 1.6 ¿Cómo se propaga la luz?
 - 1.7 ¿Qué sucede cuando la luz llega de un medio a otro?
 - 1.8 ¿Cómo explicarías la aparición del color en el arco iris o en los cuerpos?
 - 1.9 ¿Cómo se explica el funcionamiento de un telescopio, un microscopio o el ojo humano mediante la Óptica Geométrica?
2. El comportamiento conocido de la luz, ¿se explica con el modelo ondulatorio o con el modelo corpuscular?
 - 2.1 ¿Qué son las ondas?
 - 2.2 ¿Qué fenómenos plantean la necesidad de concebir un modelo ondulatorio para la luz?
 - 2.3 ¿En qué consisten las ondas luminosas? ¿Cuáles son sus características?
 - 2.4 ¿Qué experimentos pueden ser determinantes para decidir sobre la naturaleza ondulatoria de la luz?, ¿Cuáles son los resultados?
 - 2.5 ¿Cuáles son las diferencias entre el modelo corpuscular y el ondulatorio?
3. ¿Cuál es el medio en el cual se propaga la luz?
 - 3.1 ¿Qué es el campo electromagnético?
 - 3.1 ¿Qué son las ondas electromagnéticas? ¿Qué relación existe entre ellas y la luz?
 - 3.2 ¿Cómo se generan las ondas electromagnéticas y qué caracteriza el espectro electromagnético?
 - 3.3 ¿Cuáles son algunas de las aplicaciones del conocimiento de los diferentes rangos del espectro electromagnético?
4. Las propiedades de la propagación de la luz son explicadas mediante el modelo ondulatorio; ¿sirve éste mismo modelo para explicar todas las propiedades de la interacción de la luz con la materia?
 - 4.1 ¿En qué consiste el problema del cuerpo negro?

- 4.2 ¿Qué hipótesis propone Planck para explicar el fenómeno?
- 4.3 ¿En qué consiste la hipótesis de Einstein sobre la naturaleza corpuscular de la luz?
- 4.4 ¿Qué experimentos confirman la hipótesis de que la luz es un corpúsculo?
- 4.5 ¿De qué manera usa Bohr la hipótesis corpuscular de la luz para generar su modelo del átomo?
- 4.6 ¿Es la luz una onda o una partícula?
- 4.7 ¿En qué consiste el modelo cuántico de la luz?
- 4.8 ¿En qué consiste el modelo cuántico de la materia?

La temática asociada a las preguntas planteadas es la siguiente:

LOS FENÓMENOS ÓPTICOS

I. MODELOS DE LA LUZ EN LA FÍSICA CLÁSICA

1.1 LA LUZ COMO PARTÍCULA: LA VERSIÓN DE NEWTON

1.1.1 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA DE LA LUZ

1.1.2 LEYES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

1.1.3 DISPERSIÓN Y COLOR

1.1.4 APLICACIONES EN LA EXPLICACIÓN DE INSTRUMENTOS ÓPTICOS.

1.1.4.1 REFRACCIÓN DE LA LUZ: LENTES.

1.1.4.2 ALGUNOS INSTRUMENTOS ÓPTICOS

1.2 LA LUZ COMO ONDA: LA VERSIÓN DE HUYGENS

1.2.1 LAS ONDAS MECÁNICAS Y EL SONIDO.

1.2.2 FENÓMENOS ONDULATORIOS.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE HUYGENS.

1.2.4 COMPARACIÓN DEL MODELO DE NEWTON Y HUYGENS.

1.2.5 TRIUNFO DEL MODELO ONDULATORIO DE LA LUZ: DIFRACCIÓN DE LA LUZ Y EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA DE YOUNG

1.3 LA LUZ ES UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

1.3.1 EL ELECTROMAGNETISMO Y LA LUZ

1.3.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS Y LA LUZ: LA LUZ COMO ONDA ELECTROMAGNÉTICA

1.3.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y SUS CARACTERÍSTICAS

II. MODELO DE LA LUZ EN LA FÍSICA CONTEMPORANEA

1. LA CAÍDA DE LA FÍSICA CLÁSICA: ORIGEN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

1.1 PROBLEMAS QUE LA FÍSICA CLÁSICA NO PUEDE EXPLICAR: RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO, ESPECTROS DE LOS ELEMENTOS Y EFECTO FOTOELÉCTRICO.

1.2 RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO: ORIGEN DEL CUANTUM DE ENERGÍA

- 1.3 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO: ORIGEN DEL CUANTUM DE LUZ (FOTÓN)
- 1.4 EL MODELO DE BOHR DEL ÁTOMO DE HIDRÓGENO. USO DEL CONCEPTO DE FOTÓN PARA EXPLICAR EL ESPECTRO.
- 1.5 MODELO CUÁNTICO DE LA MATERIA: HIPOTESIS DE DE BROGLIE
- 1.6 EFECTO COMPTON
- 2. EL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA EN LA VERSIÓN MODERNA
- 2.1 DUALIDAD ONDA CORPÚSCULO.

A partir de lo anterior, se procede a elaborar la secuencia de actividades, que favorezca el logro de los objetivos y contenidos planteados, ayude a responder las preguntas propuestas y siga de cerca el desarrollo de la temática considerada y descrita en el punto anterior.

En la guía se incorporan una serie de lecturas seleccionadas de acuerdo con la temática a desarrollar, así como una serie de actividades demostrativas adecuadas, que apoyarán la construcción de los conceptos involucrados en la temática y en la respuesta a las preguntas planteadas en la secuencia. El producto obtenido se presenta en el anexo 1 de éste trabajo.

La guía de actividades, se ha diseñado para ser desarrollada en un tiempo de 40 horas, aproximadamente, dependiendo de las condiciones del grupo que se vaya a atender. La planeación de las actividades, se realizó de modo tal que la Unidad se cumpla en sesiones de dos horas.

LOS DESARROLLOS DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES I, II Y III Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO DE LA U.D.

La Unidad Didáctica que aquí se presenta, es el resultado de la aplicación en aula, en dos versiones, del diseño de unidades didácticas para el trabajo con alumnos. La primera versión, fue elaborada en la asignatura de Psicopedagogía de la Enseñanza y el Aprendizaje y aplicada en la Práctica.

La Práctica Docente permitió aplicar la propuesta didáctica en dos ocasiones solamente, ya que aunque se realizó la Práctica Docente en tres ocasiones, en la primera (PD I) no contábamos con información suficiente para elaborar la propuesta, por una parte y el semestre al que correspondía la asignatura no incluye la temática a abordar en la propuesta didáctica. No obstante, debe subrayarse que la Práctica Docente I, permitió explorar el desarrollo de actividades demostrativas como una forma adecuada para introducir algunos conceptos, fenómenos y problemas de la Física que, adicionalmente, resultan ser de gran motivación para que los alumnos se involucren en el estudio de los temas en cuestión.

Practica Docente II y modificada en una segunda versión, para la Práctica Docente III (PDIII).

Aunque dicha propuesta se elaboró tomando como referencia el modelo de Gil, et. al. (1999), en ella también se consideran, en particular, algunas estrategias de tipo cognitivo y metacognitivo, que buscan apoyar a los estudiantes en la adquisición de herramientas para desarrollar el aspecto del “aprender a aprender”.

Es importante señalar que las Prácticas Docentes II y III, se llevaron a cabo en grupos con

dificultades especiales. En el caso de la PDII, la propuesta se aplicó en un grupo del turno vespertino, que presentó serias dificultades para la realización de actividades extraclase, con las consecuentes dificultades en el cumplimiento de los objetivos planteados en la propuesta y en el logro de los aprendizajes.

Por otra parte, la PDIII, se llevó a cabo en un grupo de alumnos “reprobados”, en un curso de 40 horas en sesiones sabatinas, y quienes, al mismo tiempo, estaban cursando su último semestre de bachillerato, lo que implicaba realizar el curso de la PDIII, paralelamente a la conclusión de sus cursos regulares, con las dificultades correspondientes y el tiempo limitado para la realización de actividades extraclase.

PROPUESTA DIDÁCTICA ELABORADA Y APLICADA EN LA PRÁCTICA DOCENTE II

En la aplicación de la propuesta elaborada para la Práctica Docente II (PDII), fue posible identificar una serie de dificultades, fundamentalmente relacionadas con la disposición de los alumnos para realizar actividades fuera del aula, así como algunas relacionadas con el diseño de la propuesta. Sin embargo, es importante señalar que ésta primera versión, fue modificada sobre la marcha, al ser aplicada, para ajustarse a las condiciones reales del grupo en el que se estaba trabajando. A partir de esas modificaciones, las dificultades detectadas y una mejor comprensión teórica de la temática a desarrollar, se elaboró una segunda versión para ser aplicada en la Práctica Docente III.

LA PLANIFICACIÓN DEL CURSO EN LA PRÁCTICA DOCENTE II.

Como ya se mencionó anteriormente, con base en un documento preliminar el resultado de un trabajo realizado en la asignatura de Psicopedagogía de la Enseñanza y el Aprendizaje, se elaboró la planeación de una Unidad Didáctica, tomando como referencia el programa de Física Moderna del IEMS, y a partir de la propuesta de Estévez (2004) quien, en relación con la planificación didáctica afirma:

.... “De acuerdo con una conocida metáfora, la enseñanza en el aula es como el viaje en una nave cuyo piloto, además de saber con precisión a donde y cuando va a llegar, tiene la misión de ir adecuando la dirección, la velocidad y las condiciones del avance ante cada situación en el mar (el viento, el pasaje, etc.). Los profesores deben estar preparados para enfrentar situaciones diferentes en cada clase, en cada curso y con cada grupo de alumnos, ante lo cual no pueden emplear procedimientos algorítmicos o recetas de manera rígida. Se requieren sólidos conocimientos y habilidades para readecuar sobre la marcha la dirección del proceso o improvisar. Por ello se dice que la práctica educativa se caracteriza por ser una combinación de arte, técnica e improvisación. En virtud de lo anterior, se considera que el diseño de la práctica docente es una de las competencias más importantes en la formación del profesor”.

Como una meta importante a cumplir al elaborar la Unidad mencionada, se buscó el resolver una de las debilidades detectadas en la Práctica Docente I: la planificación de Unidades Didácticas.

La primera versión diseñada de la Unidad Didáctica no se presenta explícitamente en éste trabajo debido a su extensión. Por la forma en que se realizó la Práctica Docente II, fue necesario adecuar el plan, a las condiciones del grupo, la situación material de la institución, así como el estilo y forma de trabajo del profesor responsable del grupo en cuestión, ya que dicha práctica ocurrió en el segundo semestre del ciclo escolar, después de más de un semestre de trabajo del profesor responsable del grupo con los estudiantes.

En conclusión, aunque la planeación de la Unidad que se desarrolló, se hizo considerando condiciones ideales, como siempre, haciendo un balance de lo logrado, resultó altamente provechosa la actividad ya que se pudo contar al final de la misma con:

Una guía didáctica para trabajar la asignatura de Física Moderna, que puede usarse ya en el aula con los ajustes correspondientes.

Algunas ideas sobre qué temas se deben reorganizar y en cuales profundizar más en una segunda aplicación de la propuesta.

Una serie de actividades probadas con alumnos, que resultan útiles como formas de trabajo que apoyan el aprendizaje de algunos conceptos de la Óptica.

Una primera aproximación al uso de actividades, que permitan el acercamiento a la comprensión de dos conceptos que dieron origen a la Mecánica Cuántica: La luz y la cuantización de la energía.

La exploración de una forma de evaluación “novedosa” aplicable al curso.

De los elementos anteriores, el más relevante es el que se refiere a las formas de evaluación, consistentes con la propuesta desarrollada y que, con el fin de contar con la descripción de la forma específica de evaluación considerada en el apartado siguiente, conviene revisar el apartado correspondiente a la evaluación en el siguiente capítulo. Se describe a continuación.

LA EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE.

La evaluación de los alumnos

En el desarrollo de la propuesta elaborada, se sugiere realizar la evaluación formativa, ya que consideramos, que es la única forma de aproximarse, con cierta seguridad, a observar logros en el aprendizaje de los alumnos.

Así, parte del trabajo de ésta propuesta, recaba algunas formas e instrumentos para realizar la evaluación de los alumnos, en el marco de las consideraciones planteadas en la parte teórica de éste trabajo y en el rubro de estrategias de evaluación. En la PDII se usaron los siguientes instrumentos de evaluación de los aprendizajes, acordes con la orientación de la propuesta y la modalidad de evaluación formativa.

Cuestionarios de autoevaluación.

Inicialmente fue necesario elaborar los aprendizajes a lograr así como los criterios de evaluación para cada tema de la unidad, y además darlos a conocer a los alumnos, al principio del desarrollo de la misma. Al establecer los criterios de evaluación y al ser conocidos por los alumnos, se contó con un recurso muy importante de carácter metacognitivo, que permitió a los estudiantes y al profesor, verificar los logros y avances en la Unidad, conforme se desarrolló en el aula.

La autoevaluación se realizó, a partir de los criterios de evaluación establecidos (obtenidos a partir de los contenidos y escritos en primera persona, referidos a logros de los estudiantes). Básicamente consistió en que el alumno se asignara una calificación para cada uno de los contenidos enunciados como indicadores de logro individual, asignando un puntaje del uno al cinco de acuerdo con la escala señalada en una tabla (Ver anexo 1).

Este ejercicio de reflexión, lo realizaron en tres momentos, al término del tema de Óptica Geométrica, al término del de Óptica Ondulatoria y al término de la Unidad. El instrumento permitió:

Conocer la autopercepción del avance en el aprendizaje individual de los alumnos, en relación con contenidos específicos.

Identificar claramente, en qué contenidos no se alcanzó logro alguno, cuando varios de los alumnos coincidieron en dicha valoración, en el mismo objetivo. Al revisar los casos en que ello ocurrió, se encontró que coincidía con aspectos que fueron tratados superficialmente o de manera insuficiente en la Práctica Docente.

Reconocer dificultades individuales de aprendizaje, en algunos contenidos específicos de la Unidad.

Además de ser un ejercicio metacognitivo, refleja bien un aspecto de carácter actitudinal, en relación con la valoración de lo aprendido.

No obstante, al instrumento le falta ser más claro, en la especificación de los logros que se

pretende alcancen como aprendizajes mínimos de la Unidad y un espacio para agregar alguna justificación. Consideramos que éste instrumento, con las adecuaciones correspondientes, puede servir como una buena herramienta de evaluación formativa, sumativa y de autoevaluación.

También es necesario hacer un ejercicio de interpretación, tanto de profesores como de alumnos, para ver si hay coincidencia o qué tanto la hay, en lo que el profesor pide y lo que el alumno cree que logró, en relación con los aprendizajes.

Los exámenes

Se realizó un examen diagnóstico en una primera sesión de clase, uno parcial al término del tema de Óptica Geométrica y uno al final de la Unidad, como evaluación sumativa (que fue el mismo que se aplicó como diagnóstico), con la orientación indicada en el plan de clase. (ver anexo 1 para su descripción)

El examen parcial de Óptica Geométrica.

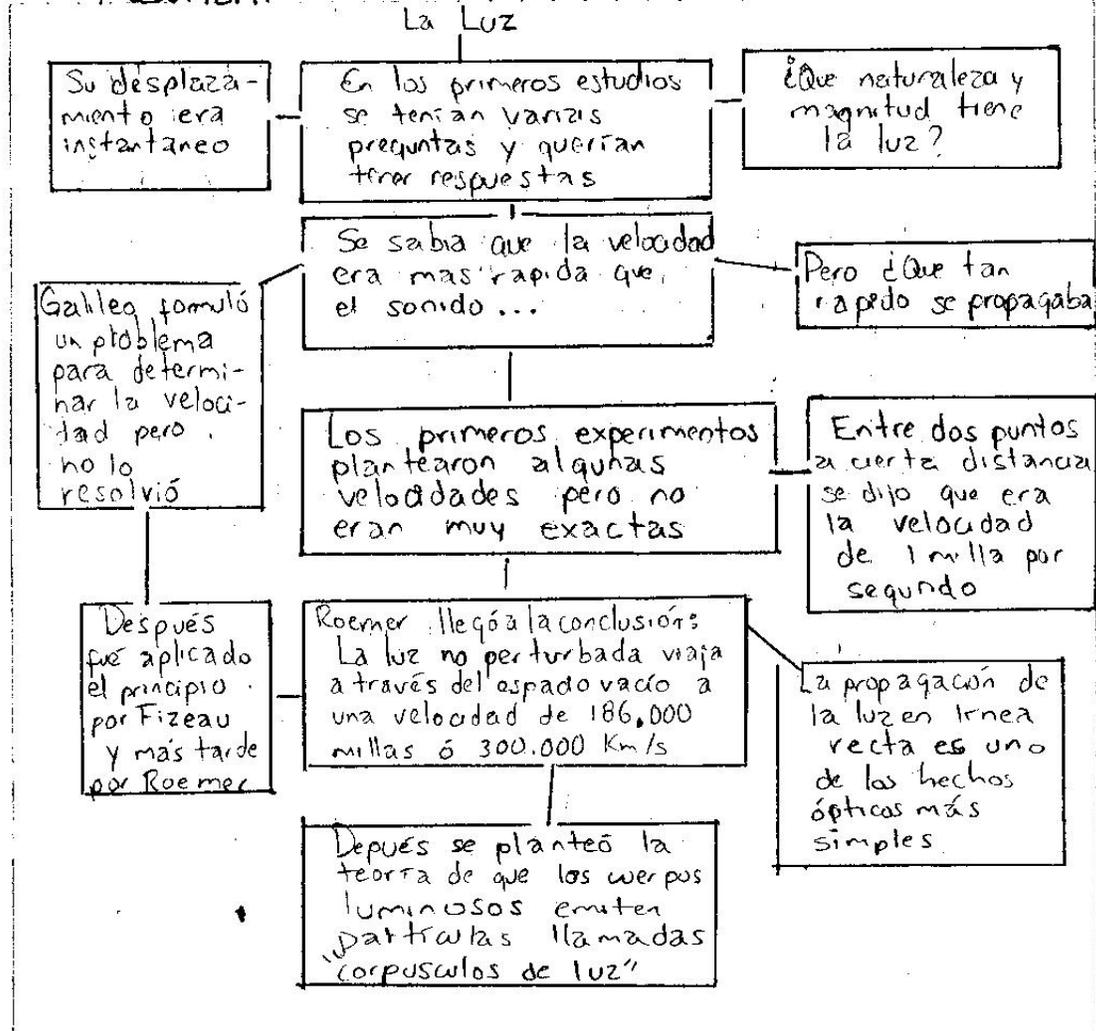
Como parte de las actividades a realizar en la secuencia planeada, se desarrolló un examen sobre el tema de Óptica Geométrica, para realizar en casa, se les explicó que no tendría calificación (parece que eso es delicado, dada la inercia que prevalece en materia de evaluación), que el objetivo era detectar sus fallas y sus avances. El examen permitió detectar algunas fallas en la comprensión de algunos conceptos de la Óptica Geométrica, así como en el manejo de algunos procedimientos en el trazado de rayos, al aplicarlo a sistemas ópticos sencillos.

El cuaderno de apuntes.

La intención del uso del cuaderno de apuntes, consistió en que el estudiante elaborara una serie de textos, que le ayudarían a comprender algunos conceptos centrales de la Óptica así como de la naturaleza de la luz, apoyados por la realización de las actividades que se desarrollaron en la clase. No se obtuvo la respuesta esperada en éste rubro, lo que en éste caso ocurrió en general, es que nadie contaba con sus notas organizadas, de lo que estábamos elaborando en clase ni de lo que estaban aprendiendo. Lo anterior, no significa que la idea sea mala sino que en éste caso, existieron factores que no propiciaron el que los estudiantes le dieran el peso adecuado a la elaboración de dicha actividad: el tiempo disponible fuera de clase, la falta de costumbre para realizar ese tipo de actividad o la forma en la que venían trabajando con el profesor titular.

Juárez Pérez Jorge

RESUMEN.



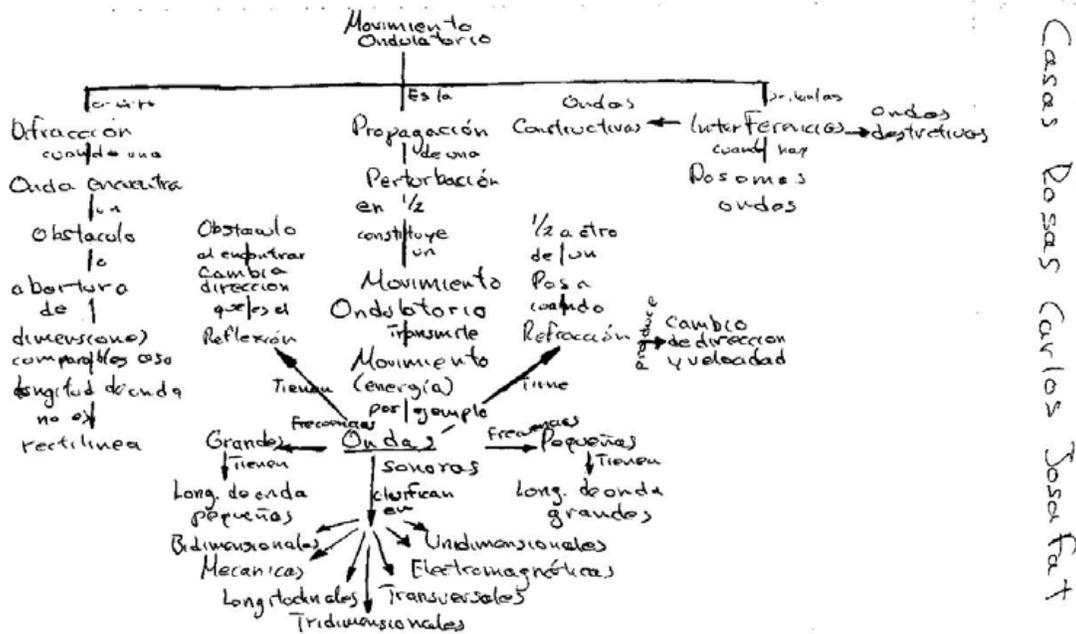
Resumen elaborado por un alumno en relación con una lectura sobre el tema de ondas tomado del libro de Einstein Infeld.

Los mapas conceptuales.

La experiencia de quien suscribe este trabajo, en la elaboración de mapas conceptuales en el aula, en general es escasa, por ello en la PDII, se optó por incluir como una estrategia de aprendizaje éste tipo de actividad. Se les pidió a los estudiantes que elaboraran un mapa conceptual, específicamente, a partir de una lectura que realizaron en clase sobre el tema de ondas. Se les entregó la guía para elaborar mapas conceptuales de la Internet (ver anexo 1); varios lo entregaron, con muy buenos resultados (ver la figura 12). Como una segunda exploración de ésta actividad, se les sugirió a todos los alumnos, en la sesión previa a la entrega del examen final, que quienes tuvieran problemas en la entrega de actividades y

trabajos y quisieran realizar una actividad complementaria, realizaran un mapa conceptual de la Unidad de Óptica que trabajamos. Sólo dos alumnos lo hicieron (por cierto uno de ellos no necesitaba hacerlo, dado su avance y calificación).

Cabe mencionar que en éste rubro, faltó contar con mayor información de cómo evaluar un mapa conceptual, aunque está claro que con sólo verlo, se detecta en cierto grado, el nivel de comprensión de conceptos o del procesado de la información analizada en un texto.



Los informes de laboratorio.

Aunque se realizaron, de forma completa, dos “actividades experimentales”; considerando la poca disposición al trabajo, no se pidió a los alumnos el reporte formal de los experimentos. Aun cuando ya se les había entregado previamente a todos y por escrito, los criterios para elaborar un informe, así como los de evaluación del mismo (ver anexo 1).

Explicación de fenómenos y dispositivos tecnológicos.

Como una actividad de aplicación de lo aprendido en el tema de Óptica Geométrica, se les solicitó desde la segunda clase, que por equipo, prepararan la explicación del funcionamiento de los siguientes aparatos ópticos:

- El telescopio
- El Microscopio
- El proyector de acetatos
- El ojo y sus defectos
- El proyector de transparencias

En nuestra opinión, el desempeño de los alumnos fue muy bueno en general, (aunque solo presentaron exposición tres equipos, de cinco). Cabe mencionar que para ésta valoración se tomó en consideración también, la evaluación que los alumnos hicieron de las exposiciones.

Los alumnos evaluaron las exposiciones, con el instrumento (se presenta en el anexo 6) mencionado anteriormente, y se asignaron calificaciones. En general, se notó una actitud honesta al evaluar, así como cierta objetividad en la evaluación de la forma de la exposición y sobre la información presentada. Existiendo casi una coincidencia total, entre la evaluación del profesor y la coevaluación que hicieron los demás compañeros, de cada alumno que presentó la exposición (ver figura a continuación).

Aguilar Vázquez Hugo Cesar

CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO (Todo el grupo) Calificaciones: 1: No ; 2: Regularmente; 3: Si

CONOCIMIENTOS TEÓRICOS	CALIFICACION 1, 2 ó 3														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. ¿Crees que tus compañeros han expuesto los contenidos del tema con la suficiente profundidad y claridad?	2	2	2	2	2										
2. ¿Has comprendido los contenidos de este tema?	2	2	2	2	1										
3. ¿Crees que ellos entienden esos contenidos?	2	2	2	2	2										
4. ¿Ha sido clara y concisa la introducción del trabajo?	3	3	3	3	2										
5. ¿Han hablado lo justo y necesario para poder entender lo que han hecho?	3	3	2	2	2										
6. ¿Los mensajes orales han sido claros e inteligibles?	2	3	2	2	2										
7. ¿Se han ayudado de un guión, sin leer todo el discurso?	3	3	2	1	2										
8. ¿El discurso y las imágenes estaban bien relacionados?	3	3	3	3	2										
9. ¿Las imágenes estaban colocadas en un orden adecuado?	3	3	3	3	2										
10. ¿Crees que han utilizado los medios adecuados (computadora, retroproyector, material de laboratorio, actividades demostrativas, etc.	2	2	3	3	2										

Carlos
 Arturo
 Nancy
 Humberto
 Jose Luis

Instrumento de coevaluación utilizado en la exposición oral realizada por estudiantes

Aunque se había considerado como un aspecto de la evaluación, la autoevaluación del trabajo del equipo, finalmente no se considero necesaria, ya que durante la exposición se vio, en forma evidente, cuál fue la organización en el trabajo de los equipos

Empleo de autocuestionarios.

Se aplicaron específicamente a dos lecturas:

De la primera lectura, secciones I, II y III del libro de Virgilio Beltrán, "Para atrapar a un fotón"

I. Los rayos táctiles.

II. Los rayos luminosos.

III. La óptica geométrica.

De la segunda lectura, casi al final de la unidad, la sección IX del mismo libro ¿Ondas o partículas?

El autocuestionario, consideramos, es un excelente instrumento de tipo metacognitivo, que permite detectar, de manera individual, la comprensión obtenida por el alumno en relación con una lectura; detectar el grado de dificultad de la misma, así como el nivel del lenguaje utilizado por el autor sobre la información. Lo anterior se desprende de la revisión realizada de los trabajos entregados en clase por parte de los alumnos. A partir de lo que los estudiantes respondieron, se pudo reconocer que es necesario hacer algunos ajustes al instrumento, para recabar mejor la información requerida.

Resolución de problemas de lápiz y papel.

La orientación de la propuesta, es predominantemente conceptual y cualitativa, por lo que no se incluyeron problemas de tipo numérico, lo que llamaríamos ejercicios, salvo en una ocasión y relacionado con el tema de la velocidad de la luz. Aquí nuevamente se presentó el problema del tiempo disponible para trabajo en clase y extraclase.

Uso del Internet

Se uso en dos formas: Para establecer comunicación con los alumnos por Internet a través del correo electrónico, blogspots, plataformas de aprendizaje virtuales y como herramienta auxiliar en el desarrollo del tema de ondas electromagnéticas, en particular.

En el caso de la comunicación con los alumnos, ésta fue escasa y con pocos alumnos. No obstante la insistencia en que enviaran tareas por Internet, sólo algunos lo hicieron (aquellos que trabajaron de manera continua y sin problemas en el desarrollo de la Práctica Docente). Consideramos que ésta forma de establecer comunicación es útil y puede apoyar el aspecto de la motivación, aunque sólo haya funcionado con algunos, debido a que con las características ya mencionadas, en éste grupo fue muy difícil de atacar.

La segunda forma de uso del Internet, fue el trabajo realizado en una sesión de exploración de la página, www.maloka.org/fisica.htm; en la cual, entre muchos temas que se desarrollan de forma didáctica y con un lenguaje accesible a los alumnos, se encuentra el de ondas electromagnéticas.

Dadas las dificultades del uso del laboratorio de cómputo, ésta actividad permitió ver, de qué otra forma se podría usar ese recurso, encontrando que es útil, en particular si el profesor usa en forma expositiva algunos temas del programa mediante el uso de los applets, siempre y cuando se puedan descargar los programas en CD o se cuente con el recurso de acceso a la Internet en el aula.

Como fue poco el tiempo dedicado a la actividad, sólo se solicitó que entregaran la respuesta a una pregunta: ¿Cómo se relacionan las ondas electromagnéticas con la luz? No obstante, nadie entregó la respuesta.

La evaluación y la calificación final

En los apartados anteriores, se ha descrito cómo se evaluaron los aprendizajes realizados por cada alumno, de una forma cualitativa y tomando como criterio los contenidos establecidos de antemano en la Unidad Didáctica, que fueron dados a conocer a los alumnos.

Sintetizando diremos que, para ésta Unidad Didáctica, y para realizar la evaluación de aprendizajes y calificación usamos prioritariamente, los siguientes instrumentos:

1. Cuestionario de conocimientos previos aplicado al principio y al final de la Unidad.
2. Observación en clase, por parte del profesor, de actividades puntuales intercaladas entre los de aprendizaje, que serían realizados por los alumnos individualmente en el aula o fuera de ella.
3. Las actividades realizadas a lo largo del desarrollo de la unidad y reportadas por escrito en su cuaderno de apuntes.
4. La autoevaluación, a través de una guía en la que se presentaron a los(as) alumnos(as) los contenidos propuestos, que se realizó mediante entregas parciales y una final.
5. La presentación oral de trabajos de investigación. (Sólo una presentación)
6. Una prueba por tema y una prueba general, al finalizar de la Unidad Didáctica, realizada individualmente.

Adicionalmente, se realizó la evaluación de la actitud individual del alumno con respecto a la asignatura y al grupo, es decir, si asistió regularmente a clase, si realizó las tareas propuestas en la misma o fuera de clase, si participó en las discusiones grupales, si respetó la opinión de sus compañeros, si cumplió con las normas de seguridad en el laboratorio, etc.; asociada con los puntos anteriores, se asignó una calificación final.

Criterios de calificación

En la asignación de calificación final de la Unidad, se consideró tanto la evaluación del profesor, como la autoevaluación de los alumnos. En la sesión de entrega del examen final, se les solicitó, adicionalmente, que calificaran de 0 a 10 sus aprendizajes y con la misma escala, su contribución para conseguirlos, es decir, su trabajo en toda la Unidad. Con esos elementos: la calificación asignada por el profesor a la evaluación individual, la evaluación del trabajo realizado en forma individual (incluyendo actitudes) y la calificación de la autoevaluación, se asignó a cada alumno una calificación final. Dicha calificación fue notificada en una sesión posterior, indicándoles que si existía alguna objeción a la misma, lo manifestaran y lo revisaríamos en forma individual. Es importante comentar que nadie puso objeción a la calificación obtenida.

Es de resaltar que:

En la asignación de calificación en los indicadores de logro, en la autoevaluación final de toda la Unidad, en los tres temas considerados: Óptica Geométrica, Óptica Ondulatoria y

Cuántica; la mayoría se calificaron en promedio con un tres, lo que corresponde con el logro “lo alcance bien” y que coincide con nuestra apreciación de aprovechamiento general del grupo (sólo una alumna lo hizo con dos punto seis, equivalente a cinco punto dos, ver figura).

"FICHA DE AUTOEVALUACIÓN"

¿ESTAMOS SEGUROS DE LO APRENDIDO?

INDICADORES DE LOGRO

Es importante que llevemos a cabo una pequeña reflexión a través de un cuestionario. Este cuestionario te servirá para que tu mismo te des cuenta de lo que ha sucedido en tu estudio de una parte de la unidad. Con ello buscamos que estés seguro de que lo que has aprendido, así que tómale tu tiempo y reflexiona.

Califica cada uno de los logros que de acuerdo con tu criterio se haya cumplido, para lo cual deberás poner el número correspondiente a tu calificación que consideres merecer:

1. NO ALCANZE EL LOGRO
2. LO ALCANZE DE FORMA REGULAR
3. LO ALCANZE BIEN
4. LO ALCANZE MUY BIEN
5. LO ALCANZE DE FORMA EXCELENTE

Cada uno de ellos responde a un nivel de entendimiento tanto conceptual como procedimental o actitudinal.

UNIDAD IV
FENOMENOS OPTICOS: OPTICA GEOMETRICA

OBJETIVOS	CALIFICACION
1. Óptica geométrica: La luz como partícula.	
1. Comparo las distintas teorías utilizadas a lo largo de la historia para explicar los fenómenos luminosos.	A
2. Describo genéricamente como es que se pueden ver los objetos, a partir del modelo de la luz de rayos o de partículas.	A
3. Defino los distintos elementos que forman los sistemas ópticos.	2
4. Realizo esquemas que muestren el trazado de rayos en espejos PLANOS y CONCAVOS.	2
5. Uso la ley de reflexión para explicar por que podemos vernos en un espejo.	A
6. Aplico el hecho que la luz se refleja, refracta o absorbe al pasar de un medio a otro para explicar fenómenos de la vida	2

7. Conozco e interpreto el enunciado matemático de la ley de reflexión.	A
8. Conozco e interpreto el enunciado matemático de la ley de refracción.	A
9. Explico las diferencias existentes entre las imágenes reales y las imágenes virtuales producidas en espejos planos y cóncavos.	2
10. Explico con mis palabras algunos fenómenos luminosos producidos cuando la luz cambia de medio, utilizando las leyes de la reflexión y de la refracción.	3
11. Represento e interpreto esquemas sobre la propagación de la luz.	3
12. Explico algún método conocido para medir la velocidad de la luz y conozco su valor aproximado.	3
13. Resuelvo problemas cualitativos en los que se apliquen las leyes de la reflexión y de la refracción.	3
14. Identifico el modelo corpuscular de la luz para explicar los fenómenos de reflexión, refracción de la luz.	2
15. He realizado las actividades en forma completa y en tiempo de acuerdo a las indicaciones del profesor.	2
16. He participado colaborativamente con mis compañeros de equipo en las actividades que se realizan en clase.	3
17. Asumo una actitud crítica sobre lo que el profesor dice y explica.	2
18. Participo regularmente formulando preguntas o comentarios en la clase.	2
19. Me intereso por aprender lo que el profesor me propone en clase y como actividad extracurricular.	2
20. He realizado las tareas y en tiempo y forma de manera que si detecto aprendizajes nuevos.	3
CALIFICACION FINAL PROMEDIO	

Arturo Corona Trujillo

Instrumento de autoevaluación contestado por un alumno y correspondiente a los aprendizajes de óptica geométrica.

Al solicitar que indicaran la calificación final que se asignarían, de acuerdo con los aprendizajes adquiridos, casi todos se calificaron por encima de lo que indicaron en su autoevaluación; salvo dos alumnos, que se calificaron igual que en la autoevaluación y quienes, por cierto, fueron los que trabajaron más. Esto se puede interpretar de dos formas: o bien los alumnos en su autoevaluación puntual, asignada en los criterios considerados, tienen claro lo que han aprendido y lo califican “objetivamente” y de forma honesta, o bien lo usan como un mecanismo de negociación con el profesor, en el sentido de que el calificarse bajo, les pudiera resultar mejor que calificarse alto.

En la planificación del curso se tenía previsto solicitar a los alumnos que realizaran el ejercicio de autoevaluación, pero con el agregado de una justificación de la calificación asignada en cada aprendizaje. Por razones de tiempo, no fue posible hacerlo y que consideramos, daría mayor información sobre lo que realmente estaban avanzando, no obstante su poca disposición en la entrega de productos.

La evaluación de los alumnos al profesor

Para recabar la opinión en relación con el trabajo docente, se aplicó al final de la Unidad, y en una clase adicional, el cuestionario que permite valorar el trabajo del profesor desde la

perspectiva del alumno.

En general los alumnos, que contestaron anónimamente, (sólo 11 encuestados de los doce evaluados), calificaron positivamente a quien suscribe éste trabajo en todos los rubros, ya que las calificaciones, salvo tres o cuatro casos, están en el intervalo de ocho a diez, con una media general de aproximadamente 9.1, tomando como puntajes una calificación de 2 a 10 (ver anexo 1). Dos para el caso de estar completamente en desacuerdo y 10 para totalmente de acuerdo. En la opción indiferente, sólo hubo algunos que contestaron así en algunas preguntas.

En los rubros en los que el resultado es “bajo” en calificación promedio son:

INDICADOR	CALIFICACIÓN
1. Las actitudes personales del profesor y sus explicaciones, te ayudaron a mantenerte atento	8.2
2. Se expresa claramente en las explicaciones	8.5
3. Usa ejemplos personales o habla sobre experiencias externas a la clase	8.4

Los mapas conceptuales.

Se usaron en tres o cuatro ocasiones, a lo largo del desarrollo de los temas, y es de notar que los estudiantes, aunque dicen saber en qué consiste un mapa conceptual, a la hora de realizarlo, lo elaboran con una idea muy personal de lo que para ellos representa. Por tal motivo, como ejercicio grupal, en el tema de ondas, elaboramos el inicio del mapa conceptual relativo a dicho tema, tomando como referencia la lectura ¿Qué es una onda? Del libro de Infeld y Einstein (1993). De él se establecieron los conceptos centrales de la lectura y se organizaron en forma jerárquica. Se acordó, que de forma individual, ellos elaborarían las frases conectoras que establecieran relaciones significativas en los conceptos. A continuación se presenta un ejemplo de los mapas realizados por los alumnos. Dicho ejercicio permitió valorar de forma general la comprensión en la temática considerada.

No obstante la poca experiencia en elaboración de mapas conceptuales de quien suscribe éste trabajo, el ejercicio resultó ser una actividad provechosa para ambos profesor y alumnos.

Después de una búsqueda de información sobre mapas conceptuales, me fue posible contar con una herramienta excelente para elaborarlos de una forma práctica y sencilla. Dicha herramienta es un programa para elaborar mapas conceptuales que se llama CmapTools y

se encuentra disponible en la Web en la página: <http://cmap.ihmc.us/>. Se sugiere su utilización ampliamente, para promover el uso de mapas conceptuales como una estrategia de aprendizaje.

Los informes de laboratorio.

Aunque se tenía considerado inicialmente, por la falta de tiempo, no se realizaron actividades experimentales de manera “formal”, en su lugar, se presentaron actividades experimentales demostrativas y lo que se les solicitó en su momento, fue la explicación de lo observado en cada actividad, a partir de la discusión conceptual previamente realizada.

Explicación de fenómenos y dispositivos tecnológicos.

Esta actividad no se realizó por parte de los alumnos, salvo en algunos casos simples, relacionados con los lentes; la falta de tiempo no permitió hacerlo. Sin embargo, sí se realizaron una serie de demostraciones de cátedra expuestas por quien suscribe y pretendían, presentar, complementar o mostrar alguna aplicación de los conceptos estudiados en cada unidad. Esas demostraciones, buscaban un segundo fin: despertar el interés y motivar a los alumnos por el estudio de los fenómenos y ayudar a relacionar los conceptos estudiados con fenómenos observables, así como relacionarlos con situaciones conocidas en la vida cotidiana, objetivo que a nuestro juicio se cumplió.

Empleo de autocuestionarios

Se usaron en cada una de las lecturas realizadas, a lo largo de cada unidad a estudiar. Permitieron conocer, de forma explícita, el grado de comprensión de lo estudiado en el texto. Sin embargo, si bien es cierto que como estrategia metacognitiva resultó de utilidad, nos pareció que debía ser modificada para que sea de mayor provecho como estrategia de aprendizaje. Al final de la propuesta, se presenta el instrumento con las modificaciones adecuadas que resuelven ésta situación. Un ejemplo de las respuestas elaboradas por un alumno, asociadas con una lectura particular se muestra a continuación.

AUTOQUESTIONARIO

27.09.05

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
Se habla principalmente sobre las características de la luz, su movimiento en el vacío y en aire, también habla de algunas ideas de como se trataba de encontrar la velocidad de la luz.
2. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto?
no, por que lo que nos plantean del hecho de que al principio hacian experimentos muy sencillos (actualmente) en esa época eran muy difíciles de plantear conclusiones.
3. ¿Puedo repetir las ideas centrales del texto con mis propias palabras?
- Nunca ha sido facil estudiar la luz.
- Aunque se propaga en linea recta, no es su unica característica, existe la refracción y la reflexión.
4. ¿Son razonables las afirmaciones o los resultados a los que se llega?
Los principales si tienen ahora buenas bases para no contradecirlas o negarlas pero antes nadie tenia algo en que basar sus estudios.
5. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él?
no, la mayoría ya habia sido estudiada, pero hay ideas nuevas.
6. ¿Que problemas de comprensión he encontrado?
no, comprendo como algunos se atrevian a darle la velocidad hidraulica de una milla por segundo y también tal vez por que no he hecho los experimentos de las pantallas no ubico bien cuales serian las conclusiones del experimento.

7.- ¿ Puedo relacionar el contenido del texto con el de otras lecciones o unidades estudiadas anteriormente?
tal vez tenga relación con el tema del vacío, el movimiento rectilíneo uniforme, y algunas medidas como velocidad, distancia, tiempo.

8.- ¿ Se plantea explícitamente algún problema conceptual en el texto o es una mera exposición de información?

Se podría decir que tiene la mayor parte de exposición de información, como problema conceptual podría ser la velocidad ya que se llega a un instante en que se da la velocidad "real" de la luz.

9.- ¿ Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o teorías que se presentan?

basicamente sí, ya que la aplicabilidad menciona conceptos matemáticos, físicos al igual que principios.

Autocuestionario elaborado por un alumno, relativo a la lectura sobre la luz del libro de Infeld

Resolución de problemas de lápiz y papel.

Aquí, como ya se mencionó, se presentaron dos factores que no permitieron que esto ocurriera: los problemas que presentaron los alumnos en los prerrequisitos matemáticos, por una parte y por otra, la falta de tiempo para poder hacerlo. Por éstas razones, éste tipo de actividad no se realizó.

Uso de la Internet

Se usó solamente para enviar y recibir información, tareas, preguntas, y actividades, sobre todo al final del curso. Los alumnos, salvo algunos contados casos, todavía no están convencidos de las ventajas de establecer comunicación para tener seguimiento de lo que están aprendiendo. Aunque se pidió una actividad de exploración en Internet en el tema de Ondas Electromagnéticas (visita a la página www.maloka.org/fisica.htm), sólo un estudiante realizó la actividad y elaboró el reporte correspondiente, el resto argumentaron la falta del recurso o de tiempo.

La evaluación y la calificación final

Todas las actividades mencionadas anteriormente, se tomaron como instrumentos de evaluación. La calificación correspondiente, se pudo obtener por un análisis cualitativo de los resultados, estudiando hacia dónde convergen, mejor que por cálculo numérico, motivo por el cual, para ésta Unidad Didáctica, y para realizar la evaluación de aprendizajes y

calificación, se utilizaron prioritariamente los siguientes instrumentos:

Observación en clase, por parte del profesor; actividades puntuales intercaladas entre las de aprendizaje, que fueron realizadas por los alumno/as individualmente en el aula o fuera de ella y reportadas en su cuaderno.

Entrega de actividades extraclase

La autoevaluación a través de una guía, en la que se presentaron a los(as) alumnos(as) los objetivos propuestos, que se realizaron mediante entregas parciales y una final. En esta ocasión si se realizó la actividad con la respectiva justificación.

El cuaderno, donde el (la) alumno(a) recogió la realización de las actividades y presentación de productos desarrollados en clase.

Lectura del libro: “Para atrapar un Fotón” de Virgilio Beltrán (1998): junto con la elaboración de un resumen y comentario crítico.

Se evaluó también, la actitud individual del alumno con respecto a la asignatura y al grupo, es decir, si asistió regularmente a clase, si realizó las tareas propuestas en la misma, si llevó a cabo las actividades extraclase en tiempo y forma, si participó en las discusiones grupales, si respetó la opinión de sus compañeros, si cumplió con las normas de seguridad en el laboratorio, etc.

Criterios de calificación

Usamos una sesión adicional, a las diez consideradas para el curso, y en ella se les pidió que valoraran su participación en el mismo, considerando lo siguiente:

Calificar de 0 a 10 sus aprendizajes

Con la misma escala, calificar su contribución para conseguirlos, es decir su trabajo

Por último, que se asignaran la calificación que consideraban merecer, autoevaluación, con base a los criterios establecidos y conocidos por ellos.

A partir de ahí, se les asignó una nota promedio. Para tomar en cuenta su autoevaluación se promediaron las notas establecidas por el alumno con las del profesor. La nota final fue el promedio redondeado a entero que se obtuvo. Se informó a los alumnos que en caso de existir diferencia o inconformidad con la calificación obtenida, se podían revisar todas las actividades realizadas y explorar verbalmente los conocimientos del estudiante. Esto último sólo ocurrió en tres casos.

Forma de evaluación del curso

En esta ocasión el desempeño de quien suscribe este trabajo se evaluó oficialmente a través del Cuestionario de Actividad Docente (CAD) aplicado a los alumnos, después de aplicado el instrumento, se recibe la información, si ello ocurre, mucho después de la fecha de aplicación.

Por ello fue necesario, con el fin de contar con información de los alumnos sobre el

desempeño del profesor, así como el detectar posibles cambios en las actitudes hacia la Física, realizar las siguientes actividades:

En Primer lugar, una entrevista a mitad del curso, con las siguientes preguntas:

1. ¿Te ha servido de algo lo que has estudiado hasta ahora en el curso de Física? ¿de qué manera? explica detalladamente.
2. ¿Qué has aprendido, hasta éste momento, del curso de Física que estás llevando?
3. ¿Cuáles son las ideas más importantes que, a tu juicio, se han desarrollado en el curso?
4. ¿Ha cambiado la idea que tenías de la Física en el tiempo que has trabajado en éste curso? ¿Cuál era antes? ¿Cuál es ahora?
5. ¿Qué te ha gustado del curso? ¿Qué te ha disgustado?

Dadas las dificultades para realizar la entrevista, por falta de tiempo, y ya que sólo cuatro alumnos se presentaron a la(s) cita(s), se optó por pedirles que las preguntas fueran contestadas por escrito.

En Segundo lugar, la aplicación de un cuestionario sobre actitudes, del tipo de diferencial semántico (Figuerola, et. al. ,1994), que incluye un cuestionario sobre la opinión de los alumnos, en relación con las demostraciones experimentales de Física y su importancia en el aprendizaje de la misma, cuyos resultados se presentan a continuación.

Análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de los cuestionarios.

De la entrevista y de la revisión de los cuestionarios, se obtiene que de las preguntas 1, 4 y 5, las respuestas que prevalecieron son:

- Si, me ha servido para tener mejor idea de cómo entender lo que me rodea y me ha servido en otras materias
- Ha cambiado mi imagen de la Física, para mi la Física era aburrida, difícil y de poca importancia.
- Las actividades y los experimentos que el profesor ha presentado ya que ayudan a entender.
- La dinámica de trabajo: Nada me disgusta.

A continuación se muestra un ejemplo de respuestas dadas por una alumna (ver figura

Con lo anterior en mente, se exploraron ambos aspectos: la actitud de los alumnos hacia la Física antes y después del curso y la opinión de los alumnos en relación con la importancia de las demostraciones en el aprendizaje de la Física.

El cuestionario fue contestado por 17 alumnos de los 19 que terminaron el curso, en una sesión extra, en forma anónima. Al término del mismo fue depositado en un sobre, que no fue abierto sino hasta terminar de entregar las calificaciones, de tal forma que no se viera influida esa opinión por la calificación recibida.

Tabla 3

Nada(1)-----Mucho(5)	Calificación Promedio
Relacionan la teoría y el mundo físico real	4.4
Desarrollas tu capacidad de observación.	4.8
Aclaran tu comprensión de conceptos.	4.5
Ayudan a conocer el mundo físico real.	4.8
Afianzan lo aprendido en la clase teórica.	4.7
Evidencian aparentes discrepancias entre la teoría y la realidad.	3.6
Permiten detectar conceptos aprendidos en forma errada.	3.9
Estimulan tu interés por la Física.	4.2
Incitan a formular preguntas en clase.	3.9
Aumentan tu confianza en la teoría.	4.1
Ayudan a definir tu interés vocacional	4.3

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este trabajo, hemos presentado una adaptación de la propuesta de enseñanza de la ciencia vía resolución de problemas como investigación dirigida. Dicha propuesta, que ha sido elaborada por un grupo de investigadores españoles, encabezados por Daniel Gil, implica una revisión de lo que durante mucho tiempo ha sido el trabajo docente en las aulas de Física, en muchos lugares del mundo, específicamente en las formas tradicionales de enfocar la enseñanza de la misma por medio de: el aprendizaje de conceptos, los problemas de lápiz y papel y las prácticas de laboratorio.

Asimismo, se presenta el modelo de diseño de Unidades Didácticas en ciencias experimentales de Sánchez y Valcárcel (1993), como una herramienta de carácter teórico-metodológica, fundamental en la elaboración de la propuesta. La revisión de los elementos requeridos para el diseño de la Unidad Didáctica que aquí se presenta, ha servido para conocer y reconocer (aun cuando no se hallan desarrollado como temáticas específicas de este trabajo), la importancia que tienen tres elementos fundamentales en la formación profesional de todo profesor: El conocimiento pedagógico general, el conocimiento pedagógico del contenido y el conocimiento de la disciplina.

A partir de ellos, se ha podido elaborar la Propuesta Didáctica que se presenta, y que aborda la temática asociada con la Unidad del programa Fenómenos Ópticos, de los cursos de Física en el CCH, con el objetivo central de apoyar la comprensión del concepto de fotón en una primera aproximación. En ella se presentan un conjunto de actividades diseñadas con la orientación de la propuesta de investigación dirigida, por supuesto adaptadas a la orientación general de lo que se propone en los programas de Física del CCH y tomando en cuenta las condiciones reales de operación de la actividad docente.

La propuesta es útil para su aplicación directa en aula, previa revisión y adaptación, por los profesores que imparten Física III y IV en el Colegio de Ciencias y Humanidades, aunque no está limitada sólo a ese ámbito de aplicación, ya que es adaptable, con relativa facilidad, a programas de bachillerato que consideren como temática, el estudio de la luz en sus diferentes modelos.

El desarrollo de este trabajo, ha permitido reconocer la posibilidad real de mejoramiento, de las formas para promover la enseñanza-aprendizaje-evaluación de la Física, de quien lo suscribe, al resolver dos debilidades detectadas en las Prácticas Docentes y el desarrollo de la maestría: La planificación de las Unidades Didácticas y la evaluación de los aprendizajes.

La planificación de UD, realizada desde una propuesta teórico-metodológica, permite ubicar de forma detallada la complejidad del proceso de enseñanza aprendizaje y, al mismo tiempo, contar con un diseño de UD en ciencias experimentales que sea viable en el aula. Asimismo, una vez diseñada en forma completa, en una temática particular, se convierte en un instrumento de seguimiento del trabajo docente, que propicia el que se pueda realizar un trabajo de investigación sistemática.

El profesor que la elabora, así como de otros que puedan conocer la propuesta. El trabajo

así orientado, promueve la investigación-acción, de manera tal que el profesor, pueda dar evidencias del mejoramiento real del aprendizaje de los estudiantes.

Un aspecto que se ha analizado con cierto detalle en este trabajo, es el relacionado con la evaluación de los aprendizajes. Se ha podido constatar, en la aplicación de la propuesta (en sus versiones previas en la PD), que al promover una evaluación consistente con el enfoque “constructivista”, se obtienen ciertos avances importantes sobre todo en el área conceptual y actitudinal, aunque no sin dificultades. La inercia que se presenta con los estudiantes en relación con la evaluación, cuando la conciben como un instrumento de “calificación”, dificulta el poder realizar la evaluación formativa como un recurso más que apoye al aprendizaje.

En el caso de la elaboración del programa-guía de actividades, se observa que aun cuando se cuenta con un marco teórico y un marco metodológico para diseñar una UD en ciencias experimentales, la forma de concretar la propuesta en una temática específica y en un contexto determinado, es un trabajo que deben de realizar los profesores completamente, es decir, no existen formas específicas ya diseñadas, que le faciliten el trabajo de planificación en las temáticas que usualmente se trabajan en el bachillerato.

Por lo anterior, la propuesta elaborada presenta un valor agregado que permite contar con un ejemplo, aunque con limitaciones, que apoye a otros profesores a trabajar la temática considerada. Asimismo consideramos que, el desarrollo de las clases mediante el uso de programas-guía de actividades, permite superar una de las dificultades importantes que se asocia con la actitud negativa de los estudiantes hacia la Física y permite avanzar en el logro de su aprendizaje en los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

En relación con los problemas de tesis considerados podemos decir lo siguiente:

Sí es posible introducir los conceptos que dieron origen al desarrollo de la teoría cuántica, en el bachillerato, como el de cuantización de la energía y el del modelo cuántico de la luz, con ciertas evidencias de comprensión a nivel elemental, a partir del uso de un programa guía de actividades en el que se incorporan como actividades de aprendizaje la lectura reflexiva (mediante el uso de autocuestionarios) y de las demostraciones experimentales, entre otras. Queda como tarea el probar que la propuesta elaborada es aún mejor que aquellas que se exploraron en las Prácticas Docentes.

De la revisión bibliográfica y vinculada con la evolución de los modelos de la luz, se percibe en la literatura (por lo menos en libros de nivel bachillerato) un alto grado de vaguedad cuando se habla de los modelos de partículas y de ondas, ambos relacionados con la explicación del comportamiento de la luz y su interacción con la materia. Lo anterior provoca que no se oriente con claridad, en el salón de clase, el estudio de la luz y de sus modelos.

De acuerdo con lo obtenido como producto, es posible promover la comprensión de los fenómenos asociados con la luz y su interacción con la materia, si se parte de la revisión histórica de los conceptos que dieron lugar a los modelos corpuscular y ondulatorio, aunque

sea de forma introductoria (siguiendo a sus principales constructores: Newton y Huygens). Asimismo y en un segundo nivel, se avanza también siguiendo una línea histórica, en el modelo ondulatorio electromagnético (Maxwell) y se cierra con la explicación cuántica del fenómeno, en especial en los procesos de interacción de la luz con la materia (Planck-Einstein). De esta forma se llega a “construir” una primera versión del concepto de fotón que creamos esta al alcance de los estudiantes de bachillerato.

Las principales estrategias de enseñanza-aprendizaje-evaluación, exploradas en este trabajo, aunque no exclusivas de la física moderna: la lectura reflexiva y las demostraciones experimentales, pueden ser ubicadas como buenas formas para promover el aprendizaje de los conceptos que dan lugar a la construcción de, por una parte, los modelos corpuscular y ondulatorio de la luz y del concepto de fotón por otra.

En el caso particular de las actividades demostrativas presentan, adicionalmente, un elemento central en el proceso de enseñanza aprendizaje: la motivación.

De la información recabada en la encuesta aplicada a los alumnos, se desprende que el introducir las demostraciones en el desarrollo de las actividades de aprendizaje, representa una motivación muy importante para los estudiantes, ya que permite darle sentido a algunos conceptos que se pretenden construir y promover un clima de aula en el que se despierta la curiosidad, se invita a la reflexión y se propicia la contextualización de los aprendizajes en el ámbito de la vida cotidiana o de la tecnología.

Si bien es cierto que la propuesta que aquí se presenta conlleva una serie de dificultades a superar, es necesario recalcar que cuando se tiene un material con el nivel de elaboración como el que aquí se presenta, propicia una oportunidad para realizar una labor de investigación, que tendrá como meta promover una actividad docente eficaz y profesional.

Dentro de las posibles dificultades que se pueden presentar para la aplicación y comprensión de esta propuesta, podemos mencionar que:

De la revisión conceptual del tema que se desarrolla en éste trabajo, se puede concluir que no existe una referencia que desarrolle de forma exhaustiva la evolución de la construcción del concepto de fotón, por lo que, si la revisión del concepto se hace en una sola referencia (usualmente los libros de Física de bachillerato o licenciatura), su comprensión queda seriamente reducida. Por lo anterior, el profesor que desarrolle una Unidad Didáctica similar a la que aquí se presenta, deberá realizar la revisión teórica del concepto de fotón, a través de las referencias propuestas en éste trabajo como mínimo, a fin de llegar a una conceptualización lo más completa posible del mismo.

La Unidad Didáctica diseñada, que se concretiza en el programa-guía de actividades, puede presentar dificultades en relación con su aplicación en el aula. Por una parte, debido a que obedece a una elaboración individual desde una “visión” de lo que es la ciencia, la enseñanza de la Física, y su importancia social. Por otra, la aplicación de la misma, requiere de cambios importantes, al mismo tiempo, en las formas de actuar en el aula de los profesores y de los alumnos. Uno muy importante es el papel del profesor, que ahora se

propone sea quien apoye el aprendizaje de los estudiantes y llevar, a que sean ellos los protagonistas del trabajo en el aula y, como consecuencia, de su propio aprendizaje. Para los alumnos, implica asumirse como protagonistas de su propio aprendizaje e involucrarse con ayuda del profesor en el compromiso de trabajar para aprender.

En relación con posibles desarrollos futuros que se pueden desprender del trabajo realizado en esta tesis se puede afirmar que:

La exploración de la propuesta en su segunda versión, que se aplicó en la práctica docente III, permite contar con ciertas líneas de cómo enfrentar las temáticas de los cursos de Física I y II, con las respectivas adecuaciones. En éste caso, a partir del estudio de la luz, permite un tratamiento que aborda una temática de interés para los estudiantes y que facilita el estudio de un conjunto de ideas, requeridas para la comprensión de las teorías sobre la naturaleza de la luz, pasando por el estudio de las ondas, el electromagnetismo y la Física Moderna (la Física Cuántica en particular). De la misma manera, es posible hacerlo en programas de bachillerato que consideren las temáticas mencionadas.

Aunque no fue considerado en el diseño de la UD, el estudio de la luz como onda electromagnética, permitiría incursionar un poco sobre las ideas básicas de la teoría de la relatividad, y de esa forma, presentar a los estudiantes una visión más completa, aunque incipiente, de los fundamentos de la Física Moderna .

Como consecuencia de la aplicación de la propuesta en la Práctica Docente se concluye que, con el fin de lograr los aprendizajes que se plantean como meta en los programas de Física, es necesario realizar ajustes al mismo, en relación con el tiempo asignado para el desarrollo de las unidades, ya que en el programa vigente de Física IV, se plantea cumplir con la unidad de Fenómenos Ópticos en 24 horas y el diseño requiere de cuarenta horas (aproximadamente) para desarrollarla. También deberán revisarse, tanto la orientación como la cantidad de los contenidos de los programas, a fin de promover el cumplimiento de logros en los aprendizajes (cambios en los alumnos en sus visiones espontáneas, actitudinales y relativas a la naturaleza de la ciencia y de la Física en particular) que redunden en una mejor formación de los estudiantes.

A fin de que la propuesta teórica de “investigación dirigida”, sea conocida por un número importante de profesores, conviene organizar grupos de trabajo que, una vez convencidos de su viabilidad, se organicen con el fin de desarrollar trabajos equivalentes en las diferentes temáticas que se abordan en cada una de las unidades del programa. Paralelamente a éste tipo de actividades, la formación y actualización de los profesores, en los temas que su formación es débil, es posible si se realiza de manera cotidiana, como un trabajo colegiado, en el que se discuten tópicos de la Física, que son útiles para apoyar la comprensión profunda de los conceptos por parte de los profesores, así como abarcar el

campo de conocimientos que, por su formación, no es cubierto en sus estudios, como es el caso de la Física Moderna. Todo ello con el fin de lograr cambios en la forma tradicional de abordar la enseñanza de la Física en el bachillerato y que los profesores realicen su actividad docente de forma más eficiente.

En general, la constatación de los aprendizajes logrados por los estudiantes, no es un asunto que pueda ser resuelto con facilidad desde la óptica que se ha abordado en éste trabajo, como consecuencia, se requiere continuar con la búsqueda de formas específicas y probadas en estudios de aula, que permitan apoyar el logro de los aprendizajes en sus diferentes aspectos: conceptuales, procedimentales y actitudinales. Lo anterior implica, ubicar la evaluación de manera diferente a como usualmente se realiza, no como forma de calificación y por tanto de control hacia los alumnos, sino como una forma de promover en los estudiantes un cambio de actitud hacia el aprendizaje y el papel de la escuela en su formación y desarrollo como personas y ciudadanos responsables.

Asimismo se requiere continuar con la evaluación del desempeño del profesor así como la búsqueda de formas específicas de evaluar los programas-guía de actividades, involucrando a los profesores que trabajan las mismas asignaturas y la evaluación que los estudiantes realicen de los programas-guía respectivos. Dicha actividad redundará en una mejor elaboración del diseño de las Unidades Didácticas y permitirá evaluar el currículo escolar correspondiente.

Finalmente es necesario resaltar, el papel jugado por las actividades realizadas en la maestría en Física Educativa del Instituto Politécnico Nacional, ya que es a partir de muchas de ellas que es posible generar un producto como el que aquí se presenta. Asimismo el propiciar una formación general, desde el punto de vista teórico, que permite ubicar con más claridad nuestra labor docente y promover que ella se realice en una forma profesional.

- **REFERENCIAS**

- **REFERENCIAS BÁSICAS.**

AAAS (1989). Science for all Americans. A Project 2061 Report on Literacy Goals in Science, Mathematics and Technology. American Association for the Advancement of Science. Disponible también en [http://www.aaas.org/ project 2061](http://www.aaas.org/project_2061)

ALONSO, M. & FINN, E. (1976) Física: Campos y Ondas Vol. II. Fondo Educativo Interamericano, S.A.

ALONSO, M. GIL, D. & MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1992) Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. Enseñanza de las Ciencias, 10, 127-138.

- ALONSO, M. GIL, D. & MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1995), Actividades de evaluación coherentes con una propuesta de enseñanza de la Física y la Química como investigación. Revista de Enseñanza de la Física, 8 (2), 5-20.

- ALONSO, M., GIL-PÉREZ, D. & MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza “constructivista” de las ciencias, Investigación en la Escuela, 30, 15-26.

- ÁLVAREZ, J. M. (2001) Evaluar para conocer examinar para excluir. Ediciones Morata España.

- AMBROSE, B. S., SHAFFER, P. S. STEINBERG, R. N. AND MCDERMOTT. L. C. (1999) An investigation of student understanding of single slit diffraction and double slit interference, Am. J. Phys. 67,146-155.

- ANDRÉS, M. (2000). El interés hacia la Física: un estudio con participantes de la olimpiada Venezolana de Física. Enseñanza de las Ciencias, 18 (2), 311-318.

- ARENAS, C & GARCIA, P.(2005). El Cognitivismo y el Constructivismo Disponible en: http://www.educar-asesorar.com.ar/pdf/cogni_contru.pdf, consultado en noviembre, 2005

- ARONS, A. B. (1997). Teaching Introductory Physics , John Wiley & Sons New York

- AUSUBEL, D. (1978) citado en Las estrategias de enseñanza y los tipos de aprendizaje significativo en las modalidades de recepción y por descubrimiento guiado y autónomo en la dirección de Internet www.benavente.edu.mx/archivo/mmixta/lect_opc/LOEeza.doc

- AUSUBEL, D., Novak, J. D. & Hannesian, H. (1986). Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. Trillas. México.

- BARELL, J. (1999). El Aprendizaje Basado en Problemas. Un enfoque investigativo. Manantial. Argentina.

- BAROJAS, J. Y PÉREZ R., (2001), Physics and Creativity: Problem Solving and Learning Contexts. *Industry and Higher Education*. 15 (6), 1–9.
- BELENDEZ, A. PASCUAL, I.; ROSADO, L.; et. al. (1989) La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. *Enseñanza de las Ciencias*. 7 (3), 271-275.
- BELTRÁN, V. (1998) Para atrapar a un fotón. Col. La ciencia para todos. FCE. México. Disponible en: <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/html/fisica.html>
- BLACK, P. J. (1998) Evaluation and assessment en *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education* , editado por Andrée Tiberghien, E. Leonard Jossem, Jorge Barojas, 1998, disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/TOC.html. consultado en mayo de 2004.
- BODNER G. M. Y DOMIN D. S. , *Mental Models: the Role of Representations in Problem Solving in Chemistry*, *University Chemistry Education*, 2000, 4, 24-30
- BRADLEY S.AMBROSE, PETER S. SHAFER, RICHARD N STEINBERG, Y LILIAN MC DERMOTT (1999). An Investigation of student understanding of single- slit diffraction and double slit interference. *Am. J. Phys.* 67 (2).
- CABALLER, M. J. & OÑORBE, A. (1997) Resolución de problemas y actividades de laboratorio. en Luis del Carmen (Coord.) *La Enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. ICE/Honsori, Universitat de Barcelona: Barcelona.
- CALATAYUD, M. L. CARBONELL, F.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; & GIL, D. (1988) *La Construcción de las Ciencias Físico-Químicas Programas - Guía de trabajo* Editorial NAU Libres, España.
- CAMPANARIO, J. M. & OTERO, JOSÉ C. (2000) Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.
- CAMPANARIO, J. M. (2000) El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 369-380. Disponible en <http://www.uah.es/otrosweb/jmc>.
- CAMPANARIO, J. M.; Moya, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 17, 179-192. Disponible en <http://www.uah.es/otrosweb/jmc>
- CARRASCOSA, A. J (2005) El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 2 (2),183-208. Disponible en <http://www.apac-eureka.org/revista/> . Consultado en septiembre. 2005.
- CARRETERO, M (1997).”¿Qué es el constructivismo? Desarrollo cognitivo y aprendizaje” en: *Constructivismo y educación*, Carretero, Mario. Disponible en: http://www.uls.edu.mx/~estrategias/constructivismo_educacion.doc

- 27. CARRETERO, M. & LEÓN J. A. (2000) Del pensamiento formal al cambio conceptual en la adolescencia. en Desarrollo Psicológico y Educación Coll et. al. Comp. Vol. 1 Madrid. Alianza.
- 28. CCH, (2003) Programas ajustados de Física I a IV. UNAM. México.
- 29. CCH, (1996) Plan de Estudios Actualizado. Comisión de Síntesis. UNAM México.
- 30. CCH, (2002). Programa de Estudios para las asignaturas Física I y II UNAM. México
- 31. CHAMIZO J. A. (2000). La enseñanza de las ciencias en México. El paradójico papel central del profesor. Revista de Educación en Química 11(1), 132-136
- 32. COLEMAN, J.C.(1998). Psicología de la adolescencia. cap. VI y VII. Madrid. Morata.
- 33. COLÍN-SCHERER, L. (1987). La Naturaleza Estadística de la Teoría de los Cuantos. UAM. Iztapalapa, División de CBI, México.
- 34. COLOMBO DE CUDMANI, L. et. al. (1986). La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física. Enseñanza de las Ciencias, 4 (2), 122-128.
- 35. CRUZ, H. (1996). El Desarrollo de la Física en México. Anaya. México.
- 36. DE IBARROLA, M. (2000). Panorama general de la educación en México. Disponible en: http://anuario.ajusco.upn.mx/site/static/Panorama_general_de_la_educacion_en_Mexico_en_el_ano_2000.doc. Consultado en enero. 2005
- 37. DE LA FUENTE, A. M., DE, PERROTTA, M.T., DIMA, G., GUTIÉRREZ, E., CAPUANO, V. & FOLLARI, B. (2003). Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8° de EGB) Enseñanza de las Ciencias, 21 (1) 123-134.
- 38. DE LA PEÑA, L. (2001). Planck, Einstein y el fotón. Bol. Soc. Mex Fis.15 (3), 101-110.
- 39. DEL RÍO, J. L. (2001). Los trabajos originales de Planck. Bol. Soc. Méx. Fis.15 (3), 119-126
- 40. DIAZ, F. & HERNANDEZ, G. (2002). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación “constructivista”. Ed. Mc Graw Hill, México.
- 41. DÍAZ, F. (1993). El aprendizaje significativo desde una perspectiva “constructivista”. en Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación “constructivista”. Díaz y Hernández, (2002).
- 42. DOBSON K., LAURENCE I, BRITON P. (2000) The A to B of quantum physics . Phys. Educ. 35 (6), ; 401-405
- 43. DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. Enseñanza de las Ciencias, 4 (1), 3-15.
- 44. DRIVER, R. (1988). Un enfoque “constructivista” para el desarrollo del currículo en ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 6 (2), 109-120.
- EINSTEIN, A. (1967). On a Heuristic Point of View about of Creation and

Conversion of Light, en D. ter Haar The Old Quantum Theory Pergamon. Oxford.

- EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1993). La Evolución de la Física. Barcelona: Biblioteca Científica Salvat.
- EISBERG, R. & RESNICK, R. (2005). Física Cuántica. Limusa. México
- ESTÉVEZ, E. H. (2004). Enseñar a aprender. (estrategias cognitivas). Paidós. México.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D. VILCHES, A. & VALDES, P. (2002). La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: un requisito esencial para la renovación de la educación científica. Enseñanza de las Ciencias, 20 (3), p. 477-488. Disponible en: http://www.unesco.cl/pagina_ciencia_02/Documentos.htm.
- FEYNMAN, R. (1963), The Feynman Lectures on Physics Vol III, Capítulo 1. Addison-Wesley. USA.
- FIGUEROA, D. (1994) ¿Demostraciones de Física para qué? Enseñanza de las ciencias 12 (3), 443-447
- FLORES, F. (1994) Epistemología y enseñanza de la ciencia. Departamento de enseñanza experimental de las ciencias centro de instrumentos, UNAM.
- ANGOSO, Z. (2005). Investigaciones en resolución de problemas en ciencias, publicado en www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n1
- GARCIA, J. (2003). Didáctica de las Ciencias. Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad. Magisterio. Colombia.
- GARRETT, M. R. (1988). Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias, Enseñanza de las Ciencias. 6 (3), 224-230.
- GIL, D. (2005). Enseñanza de las Ciencias y la Matemática en <http://www.campus-oei.org/oeivirt/gil01.htm> consultado en mayo de 2005
- GIL, D. CARRASCOSA J., FURIÓ, C., y MTNEZ-TORREGROSA, J., (1991). La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Colección: Cuadernos de educación. ICE/HORSORI. Barcelona.
- GIL, D. y SOLBES, J., (1993). The introduction of modern physics: Overcoming a deformed vision of science. International Journal of Science Education. Vol. 15 (3), pp.225-260.
- GIL, D.; SENENT, F. y SOLBES, J. (1986). Análisis crítico de la introducción de la Física Moderna en la enseñanza media. Revista de Enseñanza de la Física, Vol. 2, pp. 16-21.
- GIL-PÉREZ, D. & CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. European Journal of Science Education, 7 (3), 231-236.

- GIL-PÉREZ, D. & VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. Enseñanza de las Ciencias, 14 (2),

155-163.

- GIL-PÉREZ, D. & MTNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5 (4), 447-455.
- GIL-PÉREZ, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.
- GIL-PÉREZ, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77
- GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la Historia y Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- GIL-PÉREZ, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 12 (2). 154-164.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGO, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTINEZ, J., PESSOA, A. SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso “constructivista” en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 503-512. [2]
- GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 311-320.
- GIL-PÉREZ, D., MARTINEZ TORREGROSA, J. & SENENT, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 131-146.
- GOLDBERG F. M. & MCDERMOTT L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or a concave mirror *Am. J. Phys.* 55, 108-119.
- GRUP RECERCA-FARADAY, (1988). Física- Faraday: Un enfoque conceptual experimental e histórico. Teide. España.
- GRUP RECERCA-FARADAY, (1988). Física- Faraday: Guía del Profesor. Teide. España.
- HECHT, E. & ZAJAC, A. (1977). Óptica. Fondo Educativo Interamericano. México.
- HERNÁNDEZ, R. G. (1998). Paradigmas en psicología de la educación. Paidós. México.
- HEWSON, P. W. & THORLEY, N.R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11, 541-553.
- HIERREZUELO, J. & A. MONTERO (1989). La ciencia de los alumnos: su

utilización en la didáctica de la Física y Química. Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía. España.

- HOBDEN, P. (1998). The Role of Routine Problem Task in Science Teaching. En International Handbook of Science Education Part One. Edited by Fraser B.J. & Tobin G. K. p.p. 219-229 Kluwer Academic Publishers. London
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, 12 (3) ,299-313.
- HODSON, D. (1997). Filosofía de la Ciencia y Educación científica. en Constructivismo y enseñanza de las Ciencias, compilada por Porlam, García y Cañal. Díada. España.
- HOLTON, G.(1976). Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias Físicas. Reverté. Barcelona.
- HUYGENS, C. (2005), Treatise on Light, Disponible en <http://www.gutenberg.org/browse/authors/h#a5648>.
- IRESON G. (2000) The quantum understanding of preuniversity physics students. Phys. Educ. 35 (1); 15-21
- JIMÉNEZ, E. & SEGARRA, M. (2001). La formación de formadores de bachillerato en sus propios centros docentes., Enseñanza de las Ciencias, 19 (1), 163-170. Disponible en <http://www.bib.uab.es/pub/ensenanzadelasciencias/02124521v19n1p163.pdf>
- KNIGHT, R. D. (2004). Five Easy Lessons, strategies for successful Physics Teaching. Addison Wesley. USA.
- KRAGH, H. Introducción a la historia de la ciencia. Barcelona: Crítica, 1989.
- KUHN, T. (1974). ¿Qué son las revoluciones científicas? Y otros ensayos. Fondo de Cultura Económica. México.
- KUHN, T. (1974). La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica. México.
- LATAPÍ, P. (2004). ¿Cómo aprenden los maestros?, conferencia magistral publicada en Internet. <http://www.observatorio.org/colaboraciones/latapi2.html>
- LAWS, P.W. (1997). Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses. AJP, 65, 13-21.
- LEGAÑO FERRÁ Ma., PORTUONDO R. (1999) Los medios Didácticos en las clases de Física. Ingenierías, enero-abril Vol. II, No 3.
- LITWIN, E. (1998). La evaluación: campo de controversias y paradojas o un nuevo lugar para la buena enseñanza. en, La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo. Paidós. España.
- LOMBARDI, O. (1997), La pertinencia de la Historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contrargumentos. Enseñanza de las Ciencias, v. 15, nº 3, p. 343 – 349,.
- LOPES, B. & COSTA, N. (1996). Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la

resolución de problemas: Fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 45-61.

- LORSBACH, A. & TOBIN, K. (2004). Constructivism as a Referent for Science Teaching, en Internet <http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/research/constructivism.html>, diciembre del 2004.

- LUCERO Ma. M. (2004). Entre el trabajo colaborativo y el aprendizaje colaborativo, en la página de internet, <http://www.campusoei.org/revista/deloslectores/528Lucero.PDF>, nov., 2004.

- MANASSERO, M. A. & VÁZQUEZ, A. (2001). Actitudes de estudiantes y profesorado sobre las características de los científicos. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2), 255-268

- MARBÁ, ANNA & MÁRQUEZ, C. (2005). El conocimiento científico, los textos de ciencias y la lectura en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. VII Congreso

- MÁRQUEZ R. (1996) Las experiencias de cátedra como apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física. *Revista Española de Física*, V-10, nº 1, pp. 36-40.

- MATTHEWS, M. R. (1994), *Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual*. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, nº 2, p. 255 – 277.

- MATURANO, C., SOLIVERES, Ma. & MACÍAS, A. (2002), Estrategias cognitivas y metacognitivas en la comprensión de un texto de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 415-425.

- MESEGUER, MAS E. (1994) Experiencias de cátedra en las clases de Física del primer cursos de las Escuelas Técnicas. *Enseñanza de las Ciencias*, V-12, nº 3, pp. 381-391.

- MICHELIN, R., SANTI, L. & STEFANEL A. (2000) Proposal for quantum physics in secondary school. *Phys. Educ.* 35 (6); 406-410.

- MILLAR, R. (1998). Students' understanding of the procedures of scientific enquiry en *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, editado por Tiberghien, et. al.. Disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/TOC.html.

- MORAN, P. (2003). *La docencia como actividad profesional*. Gernika. México

- MOREIRA, M. A. (1998). *Mapas conceptuales y aprendizaje significativo*.

Disponible en : <http://www.fiumsa.edu.bo/cursos/presentaciones/moreira/MAPAS%20CONCEPTUALES%20Y%20APRENDIZAJE%20SIGNIFICATIVO.doc>

- MOREIRA, M. A. (2000) *Aprendizaje Significativo: teoría y práctica*, Visor. España.

- MOULTON, F. R. & SCHIFFERS, J. (1988). *Autobiografía de la ciencia*. FCE. México.

1. NEWTON, I. (1704). *Opticks* Dover Publications, New York, 1979.

2. NIETO GIL. & JESÚS, M^a E. (1996) La Autoevaluación del profesor. Editorial Española.
3. NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. Enseñanza de las Ciencias, 6 (3), 213-223.
4. NOVAK, J. D. (1991), Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor investigador. Enseñanza de las Ciencias 9 (3), 215-228.
5. NUTHALL, G. (2000). El razonamiento y el aprendizaje del alumno en el aula. en BIDDLE, B; GOOD, T. y GOODSON, I. La enseñanza y los profesores II, Paidós. 19-114.
6. OÑORBE, A. & SÁNCHEZ, J. M. (1996). Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de Física y Química I. Opiniones de los alumnos. Enseñanza de las Ciencias, 14, 165-170.
7. OSTERMANN, F. & MOREIRA, M. A. Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores Enseñanza de las Ciencias, 2000, 18 (3), 391-404
8. OSUNA, L. & MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005). La enseñanza de la luz y la visión con una estructura problematizada: propuesta de secuencia y puesta a prueba de su validez Enseñanza de las Ciencias Número Extra. VII Congreso
9. PASILLAS, M.; Serrano A. y Ducoing, P. (1996) "Formación de docentes y profesionales de la educación". En Patricia Ducoing Watty y Monique Landesmann Segal, Sujetos de la educación y formación docente, Edit. Consejo Mexicano de Investigación Educativa, México.
10. PERALES, F. J. (1987) Análisis de Contenidos en Óptica Geométrica. Enseñanza de las Ciencias, 5 (3) 211-219.
11. PERALES, F. J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. Enseñanza de las Ciencias, 11, 170-178.
12. PÉREZ, R.; PÉREZ, A. & BASTIÉN, M. (2005) Visualización: etapa fundamental para el aprendizaje de la Física Enseñanza de las Ciencias. NÚMERO EXTRA. VII CONGRESO.
13. PIAGET, J. (1975). El mito del Origen sensorial de los conocimientos científicos, p.p. 82-112, en Psicología y Epistemología. Ariel, España.
14. PIAGET, J. (1981). Los estadios del Desarrollo intelectual del niño y del adolescente. p.p. 59-73, en Problemas de Psicología Genética. Ed. Ariel, España.
15. PLANCK, M. (1900). On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum, en D. ter Haar (1967) The Old Quantum Theory Oxford: Pergamon.
16. POLYÁ, G. (1982). Cómo plantear y resolver problemas. Trillas, México.
17. PORLÁN, R. (1997). El pensamiento científico y pedagógico de maestros en formación, en Constructivismo y enseñanza de las Ciencias, compilada por Porlam, García y Cañal. Díada. España.
1. POSNER, G.J., STRIKE, KA & HEWSON, P. (1982). Acomodación de un

- concepto científico: Hacia una teoría del cambio conceptual, en “Constructivismo y enseñanza de las Ciencias”, compilada por Porlam, García & Cañal. Ed. Díada España. (1997) p.p. 89-112.
2. POZO, J. I. & CARRETERO, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? En Antología de la Psicología Cognoscitiva del Aprendizaje. Castañeda S y Lopez M Comp. UNAM, 1989. México. , p.p. 73-93.
 3. POZO, J. I. & GÓMEZ-CRESPO, M. A. (1998). Aprender y enseñar ciencias, Morata: Madrid
 4. POZO, J. I. (1996). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van... y mientras tanto qué hacemos con ellas. Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales, Barcelona, Enero nº 7,18-26.
 5. PRO BUENO, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? Enseñanza de las Ciencias, 16, 21-41.
 6. REDISH, E.F. AND STEINBERG, R.N. (1999). Teaching physics: Figuring out what works. Physics Today, 52 (1), 24-30.
 7. RICE, F. P. (2000). Adolescencia. Desarrollo, relaciones y cultura. Prentice Hall, España.
 8. ROGER H. STUEWER (2004) History and physics en Connecting Research in Physics Education with Teacher Education , editado por Andréé Tiberghien, E. Leonard Jossem, Jorge Barojas, 1998, disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/TOC.html. consultado en mayo de 2004.
 9. ROMÁN, M. & DIEZ, E. (1992). Currículum y Aprendizaje. Un modelo de diseño curricular de aula en el marco de la reforma. Itaka. Madrid.
 10. RUECKNER, W. & TITCOMB, P. (1996). A lecture demonstration of single photon interference Am. J. Phys. 64 (2), 184-188.
 11. SÁNCHEZ RON, J. M. (2001). Historia de la Física Cuántica: El periodo fundacional (1860-1926), Vol. I. Crítica. España.
 12. SARDÁ, A; MÁRQUEZ, C. & SANMARTÍ, N. (2005) Cómo favorecer la comprensión de textos de ciencias. Enseñanza de las Ciencias, Número extra. VII Congreso.
 13. SATTERLY D. & SWAMM N. (1988). Los exámenes referidos al criterio y al concepto en Ciencias: un nuevo sistema de evaluación. Enseñanza de las ciencias 6 (3), 278-284.
 14. SEGURA, D. (1991). Una premisa para el cambio conceptual: El cambio metodológico. Enseñanza de las Ciencias, 9, 175-180.
 15. SELLERI, F. (1994). Física sin dogma. Alianza. Madrid.
 16. SHAMOS, M. H. (1959). Great Experiments in Physics. Ed. Holt, Rinehart and Winston USA.
 17. SOLBES, J. & TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo la historia

de la ciencia en las clases de Física y

Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 151-162.

142. SOLBES, J. (1996). La Física moderna y su enseñanza. *Alambique*. Vol. 10, pp. 59-67.

143. SOLBES, J. y TRAVER, M.J. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de Física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 19 (1), pp. 151-162.

144. SOLOMON, J. (1991). Teaching about the nature of science in the British National Curriculum. *Science Education*, 75 (1), p.95-103.

145. SOTO LOMBANA C.A. (2002). Metacognición, Cambio conceptual y enseñanza de las ciencias. Cooperativa Editorial Magisterio. Bogotá

146. STEINBERG, R.N. OBEREM, G.E. & MCDERMOTT, L.C. (1996). Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect, *Am. J. Phys.* 64, 1370-1379.

147. STRIKE, K.A. & POSNER, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R.A. Duschl & R.J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. Albany, NY: State University of New York Press.

148. TIBERGHEN, A. LEONARD J E., & BAROJAS, J. (1998). Connecting research in physics education with teacher education, editado por International Commission on Physics Education, editado por American Institute of Physics. Disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/.

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

150. TONOMURA, A., ENDO, J. MATSUDA, T. & KAWASAKI, T. (1989). Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern, *Am. J. Phys.* 57 (2) 117- 120

151. VALLE, L.M. (2005). Los intereses de los alumnos en Física y tecnología en una perspectiva curricular, Disponible en www.campus-oei.org/equidad/rioseco2.PDF, consultado en mayo de 2005.

152. VÁZQUEZ DORRIO, GARCÍA PARADA & GONZÁLEZ FERNÁNDEZ. (1994) Introducción de demostraciones prácticas para la enseñanza de la Física en las aulas universitarias. *Enseñanza de las Ciencias*, V-12, nº 1, pp. 63-65.

153. VÁZQUEZ, A. & MANASSERO, M. A. (1997). Una evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 15, 199- 213

154. VIENNOT, L. (1989). La didáctica en la enseñanza superior ¿para qué? *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1) 3-13.

155. VYGOTSKY, L. (1988). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Critica. Barcelona.

156. VYGOTSKY, L. (1995). Pensamiento y Lenguaje. Paidós. España.
157. WEISZ J. F. (2000) A particle interpretation of optical refraction. Phys. Educ. 35 (5) September; 363

1. WHITE, R. & GUNSTONE, R. (1998). Teacher's attitudes about physics classroom practice en Connecting research in physics education with teacher education, editado por TIBERGHEN, A. et al y el American Institute of Physics. Disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/
2. WOSILAIT, K., HERON, P.R.L. SHAFFER, P.S. AND MCDERMOTT, L.C. (1998). Development and assessment of a research-based tutorial on light and shadow. Am. J. Phys. 66, 906-913
3. ZALAMEA, E. & PARIS, R. (1999) ¿Saben los maestros la Física que enseñan? Enseñanza de las ciencias, 7 (3), 251-256.
4. ZIMAN, J. (1980). La fuerza del conocimiento. Alianza: Madrid
5. ZORRILLA, J. F. (2001). La educación media superior mexicana ante los retos inmediatos. En: La Sociedad Mexicana frente al Tercer Milenio. Vol. II. Págs. 87-97. UNAM. México.

REFERENCIAS COMPLEMENTARIAS

1. BACHELARD, G. (1982) La formación del espíritu científico. Siglo XXI. México.
2. BUNGE, M. (1979). La ciencia. Su método y su filosofía. Buenos Aires: Siglo Veinte.
3. CAMPANARIO, J. M. (2001a) Algunas propuestas para el uso alternativo de los mapas conceptuales y los esquemas como instrumentos metacognitivos. Alambique, 28, 31-38. Disponible en <http://www.uah.es/otrosweb/jmc>
4. CETTO, A. M. & DE LA PEÑA, L. (1992). ¿Cómo entender las ondas de materia? Revista Ciencias Fac. de Ciencias. UNAM, julio No 27.
5. COLL, C. (COMP.) (1983). Psicología genética y aprendizajes escolares. Siglo XXI México.
6. DESCARTES, R. (1986). El Mundo o Tratado de la luz. UNAM. México.
7. DUSCHL, R. (1997). Renovar la enseñanza de las ciencias: Importancia de las teorías y su desarrollo. NARCEA. Madrid.
8. GAGLIARDI, R. (1988). ¿Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias?. Enseñanza de las Ciencias, 6, 291-296.
9. GRIBBIN, J. (2003). Historia de la ciencia (1543-2001). Critica. España
10. KLEIN, E. (2003). La Física Cuántica. Siglo XXI, México.

1. LOZANO J. M. (1982). Historia de la Sociedad Mexicana de Física, Rev. Mex. Fis. 28 277-293
2. LEMKE, J. L. (1997). Aprender a Hablar Ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores.

Paidós. España.

3. MARGIE, J. C., (2006). Resolución de problemas y enseñanza de las ciencias naturales. Disponible en http://www.pedagogica.edu.co/storage/tes/articulos/tes03_05arti.pdf, Consultado en enero de 2006
4. MARTÍNEZ T.J., DOMENECH, JL & VERDÚ CARBONELL, R. (1994). Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de las ciencias como criterio organizador de la enseñanza de las ciencias / Física y Química. Curriculum, núm. 6 y 7, (Extra sobre enseñanza de las ciencias). 67-89.
5. MONEREO, C. (coord.) (2000). Estrategias de aprendizaje. Visor. España
6. MOREIRA, M. A. (1994). Diez años de la revista Enseñanza de las Ciencias: de una ilusión a una realidad. Enseñanza de las Ciencias, 12, 147-153.
7. NEWTON, I. (1972). Selección. Austral. Madrid.
8. NOVAK, J. D. & GOWIN, D. B. (1988). Aprendiendo a aprender, Martínez Roca: Barcelona.
9. PIAGET J, (1970). La epistemología genética. Redondo. Barcelona.
10. PIAGET, J. (1981). Psicología y Pedagogía. Ariel. México
11. SÁNCHEZ RON, J. M. (2000). La cuantización de la Física (1900-1927) Revista Española de Física 14 (1), 6-9.
12. SCHRÖDINGER, E. (1975). ¿Qué es una ley en la naturaleza? FCE. Col Breviarios (243), México.
13. THE OPEN UNIVERSITY (1974). La Naturaleza Ondulatoria de la luz. Ed. Mc Graw Hill, Colombia.
14. THE OPEN UNIVERSITY (1973). Teoría Cuántica: La Física Cuántica y el átomo. Mc Graw Hill. Colombia.
15. VIENNOT, L. (2002). Razonar en Física. La contribución del sentido común, Antonio Machado. Madrid.
16. ZARZAR, C. (2003). La formación integral del alumno: qué es y como propiciarla FCE. México.
17. ZITZEWITZ, P., NEFF, RF DAVIDS M (2002). Física. Principios y problemas. Ed. Mc Graw Hill. México.
18. FLAVELL, J. (1996). El desarrollo cognitivo. España: Prentice Hall.

ANEXOS

8.1 PROGRAMA GUÍA DE ACTIVIDADES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA:
FENÓMENOS ÓPTICOS: ORIGEN DEL CONCEPTO DE FOTÓN

8.2 CRITERIOS DE EVALUACION: FICHA DE AUTOEVALUACIÓN

8.3 AUTOCUESTIONARIO

8.4 EL EXAMEN DIAGNÓSTICO.

8.5 ELEMENTOS DEL INFORME DE LABORATORIO.

8.6 HOJA PARA LA COEVALUACIÓN DE INVESTIGACIONES PRESENTADAS EN
EL GRUPO.

8.7 CRITERIOS PARA EVALUAR INFORMES DE LABORATORIO.

8.8 MAPAS CONCEPTUALES: INFORMACIÓN PARA ALUMNOS

8.9 CUESTIONARIO DE EXPLORACION DE ACTITUDES

8.10 EVALUACION DE LOS ALUMNOS AL PROFESOR

8.11 AUTO EVALUACIÓN DEL PROFESOR.

8.12 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DEMOSTRACIONES INCLUIDAS EN LA
PROPUESTA

PROGRAMA - GUÍA DE ACTIVIDADES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: FENÓMENOS ÓPTICOS: ORIGEN DEL CONCEPTO DE FOTÓN

En esta guía de actividades se desarrollan los modelos de explicación de la luz y los fenómenos relacionados con ella como la reflexión, refracción y el origen del color entre otros. Se inicia con el desarrollo de la versión de Newton, acerca de la explicación de la luz como un chorro de partículas, tratando de dejar claras las ideas más importantes del modelo así como de sus dificultades y lagunas. Para concluir esta primera parte, se desarrollan con cierto detalle, algunas aplicaciones en el funcionamiento de lentes y espejos así como algunos aparatos ópticos simples, de modo que permite ubicar en un primer momento el poder de explicación de la teoría.

Después de ubicar la dificultad central, de explicar el fenómeno de la difracción de la luz, se pasa a revisar el modelo de Huygens, en el que se plantea el carácter ondulatorio de la luz, se esbozan los elementos de la teoría y se concluye con una comparación de los modelos de Newton y de Huygens sus ventajas y desventajas; dejando en claro que lo que se está presentando, son precisamente dos teorías que explican satisfactoriamente un gran número de fenómenos relacionados con el fenómeno luminoso y que cada uno de ellos tienen límites de validez.

A fin de avanzar en la comprensión del fenómeno luminoso, se ubica el avance logrado en la teoría electromagnética de Maxwell al caracterizar a la luz como un fenómeno ondulatorio pero de carácter electromagnético, haciendo énfasis en que el concepto de campo electromagnético, revisado en la unidad anterior del programa, es central para su descripción. Se concluye con la revisión del espectro electromagnético y con algunas de las aplicaciones de la generación y recepción de las ondas electromagnéticas en los diferentes rangos en que existen.

Finalmente la estrategia se cierra, con algunas dificultades que enfrenta la Física clásica para explicar fenómenos como la emisión de radiación por cuerpos calientes, los espectros discontinuos de los elementos y el efecto fotoeléctrico entre otros. Así mismo, se analizan los problemas centrales que dan origen y soporte al concepto de fotón y se termina la unidad con una revisión del fenómeno de interferencia luminosa, representado por el experimento de Young, que en su versión moderna con monofotones, lleva a establecer experimentalmente la naturaleza cuántica, es decir, no clásica de la luz.

La unidad se desarrolla de acuerdo con el siguiente índice:

LOS FENÓMENOS ÓPTICOS

I. MODELOS DE LA LUZ EN LA FÍSICA CLÁSICA

1.1 LA LUZ COMO PARTÍCULA: LA VERSIÓN DE NEWTON

1.1.1 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA DE LA LUZ

1.1.2 LEYES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

1.1.3 DISPERSIÓN Y COLOR

1.1.4 APLICACIONES EN LA EXPLICACIÓN DE INSTRUMENTOS ÓPTICOS.

1.1.4.1 REFRACCIÓN DE LA LUZ: LENTES.

1.1.4.2 ALGUNOS INSTRUMENTOS ÓPTICOS

1.2 LA LUZ COMO ONDA: LA VERSIÓN DE HUYGENS

1.2.1 LAS ONDAS MECÁNICAS Y EL SONIDO.

1.2.2 FENÓMENOS ONDULATORIOS.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE HUYGENS.

1.2.4 COMPARACIÓN DEL MODELO DE NEWTON Y HUYGENS.

1.2.5 TRIUNFO DEL MODELO ONDULATORIO DE LA LUZ: DIFRACCIÓN DE LA LUZ Y EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA DE YOUNG

1.3 LA LUZ ES UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

1.3.1 EL ELECTROMAGNETISMO Y LA LUZ

1.3.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS Y LA LUZ: LA LUZ COMO ONDA

ELECTROMAGNÉTICA

1.3.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y SUS CARACTERÍSTICAS

II. MODELO DE LA LUZ EN LA FÍSICA CONTEMPORANEA

1. LA CAÍDA DE LA FÍSICA CLÁSICA: ORIGEN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

1.1 PROBLEMAS QUE LA FÍSICA CLÁSICA NO PUEDE EXPLICAR: RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO, ESPECTROS DE LOS ELEMENTOS Y EFECTO FOTOELÉCTRICO.

1.2 RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO: ORIGEN DEL CUANTUM DE ENERGÍA

1.3 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO: ORIGEN DEL CUANTUM DE LUZ (FOTÓN)

1.4 EL MODELO DE BOHR DEL ÁTOMO DE HIDRÓGENO. USO DEL CONCEPTO DE FOTÓN PARA EXPLICAR EL ESPECTRO

EL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA EN LA VERSIÓN MODERNA

En esta unidad el aprendizaje se produce alrededor de la resolución de cuatro problemas **que se plantean**, con sus correspondientes preguntas guía:

1. ¿Cuáles son las características del movimiento de la luz?

1.1 ¿Para ti, qué es la luz?

1.2 ¿La luz se mueve? ¿Como se mueve?

1.3 ¿Por qué crees que es posible ver los objetos?

2. ¿Cómo pueden explicarse las características del movimiento de la luz?

2.1 ¿Qué tan rápido se mueve la luz?

2.2 ¿Cómo se propaga la luz?

2.3 ¿Qué sucede cuando la luz llega de un medio a otro?

2.4 ¿Cómo explicarías la aparición del color en el arco iris o en el diamante?

3. El comportamiento conocido de la luz, ¿se explica con el modelo ondulatorio o con el modelo corpuscular?

3.1 ¿Qué son las ondas?

3.2 ¿En qué consisten las ondas luminosas? ¿cuáles son sus características?

3.3 ¿Qué experimentos pueden ser determinantes para decidir sobre la naturaleza ondulatoria de la luz?, ¿cuáles son los resultados?

3.4 ¿Qué son las ondas electromagnéticas? ¿Qué relación existe entre ellas y la luz?

3.5 ¿Cómo se generan las ondas electromagnéticas y qué caracteriza el espectro electromagnético?

3.6 ¿Cuáles son algunas de las aplicaciones del conocimiento de los diferentes rangos del espectro electromagnético?

4. Todas las propiedades de la propagación de la radiación son explicadas mediante el modelo ondulatorio; ¿sirve este mismo modelo para explicar todas las propiedades de la interacción radiación-materia?

4.1 ¿En qué consiste el problema de radiación del cuerpo negro?

4.2 ¿Qué hipótesis propone Planck para explicar el fenómeno?

4.3 ¿En qué consiste la hipótesis de Einstein sobre la naturaleza corpuscular de la luz?

4.4 ¿Qué experimentos confirman la hipótesis de que la luz es un corpúsculo?

4.5 ¿De qué manera usa Bohr la hipótesis corpuscular de la luz para generar su modelo del átomo?

4.6 ¿Es la luz una onda o una partícula?

4.7 ¿En qué consiste el modelo cuántico de la luz?

4.8 ¿En qué consiste el modelo cuántico de la materia?

I. MODELOS DE LA LUZ EN LA FÍSICA CLÁSICA

1.2 La luz como partícula: La versión de Newton

A.1. Responde, individualmente, el siguiente cuestionario. Explica detalladamente tus respuestas.

1. ¿Cuáles son las características del movimiento de la luz?

1.1 ¿Para ti, qué es la luz?

1.2 ¿La luz se mueve? ¿Cómo se mueve? ¿Cómo puedes saber si la luz se mueve?

1.3 ¿Qué tan rápido se mueve?

1.4 ¿Por qué crees que es posible ver los objetos?

A.2. Discusión grupal de las respuestas obtenidas: elaboración de conclusiones

A.3. Proponer en equipo algún diseño experimental adecuado para determinar la velocidad de la luz.

2. ¿Cómo pueden explicarse las características del movimiento de la luz?

2.3 ¿Que tan rápido se mueve la luz?

A.4. Lee el siguiente texto sobre la velocidad de la luz y elabora un resumen a partir de él.

LA VELOCIDAD DE LA LUZ

En el libro de Galileo, Diálogos sobre dos nuevas ciencias, podemos escuchar una conversación del maestro y sus alumnos sobre la velocidad de la luz:

SAGREDO: ¿Pero qué naturaleza y qué magnitud debemos atribuir a la velocidad de la luz? ¿Es instantáneo su desplazamiento o no? ¿No podríamos decidir esta cuestión mediante un experimento?

SIMPLICIO: Las experiencias diarias muestran que la propagación de la luz es instantánea; cuando vemos disparar una bala de cañón a gran distancia, su fogonazo llega a nuestros ojos instantáneamente, mientras que el sonido lo percibimos después de un intervalo notable.

SAGREDO: Bien, Simplicio, lo único que podemos inferir de esta experiencia familiar es que, para alcanzar nuestros oídos, el sonido viaja más lentamente que la luz; esta experiencia no me informa de si la luz se propaga instantáneamente o si, siendo inmensamente rápida, emplea un tiempo muy pequeño en llegar a nuestros ojos...

SALVIATI: Lo poco concluyente de ésta y otras observaciones me ha conducido, una vez, a crear un sistema que permitiría decidir con precisión si la iluminación, o sea, la propagación de la luz, es realmente instantánea...»

Salviati continúa explicando su método. Para entender su idea imaginemos que la velocidad de la luz no sea sólo finita sino, además, que su valor real se reduzca en una proporción apreciable, análogamente a lo que hacemos al pasar un trozo de una película cinematográfica a cámara lenta.

*Dos hombres, **A** y **B**, provistos de sendas linternas cubiertas para que no se perciba la luz, están entre sí a una distancia de una milla. Ambos se ponen de acuerdo en lo siguiente: **A** descubrirá su linterna, y en el momento de percibirla, **B** descubrirá, a su vez, la suya. Atribuyamos al movimiento reducido de la luz una velocidad de una milla por segundo. **A** envía una señal al descubrir su linterna; **B** la percibe un segundo después y envía su señal de respuesta. Ésta es recibida por **A** dos segundos después de haberla emitido él mismo. Luego, si la luz viaja con una velocidad de una milla por segundo, es fácil entender que transcurrirán dos segundos entre los instantes en que **A** envía y recibe la señal devuelta, en el supuesto,*

aceptado, de que A y B están, entre sí, a una milla de distancia.

Al revés, si A desconoce la velocidad de la luz y percibe la señal de B dos segundos después de haber emitido la suya -y admite que B cumplió el convenio- puede inferir que la velocidad de la luz es de una milla por segundo.

Con la técnica experimental conocida en aquel tiempo, Galileo tenía pocas probabilidades, siguiendo el camino esbozado, de determinar la velocidad de la luz. ¡A la distancia real de una milla, tendría que haber podido registrar intervalos de tiempo del orden de una cienmilésima de segundo!

Galileo formuló el problema de la determinación de la velocidad de la luz, pero no lo resolvió. Volviendo a la cuestión relativamente simple de determinar la velocidad de la luz, podemos decir que es sorprendente que Galileo no se hubiera dado cuenta de que su experimento podía haberse realizado en forma más simple y exacta con un solo hombre. En lugar de B, colocado a cierta distancia de A, pudo haber montado un espejo que devolviera automáticamente la señal luminosa en el instante mismo, de recibirla.

Aproximadamente doscientos cincuenta años después, este mismo principio fue aplicado por Fizeau, que fue el primero en determinar la velocidad de la luz mediante experimentos terrestres. Roemer la determinó con mucha anterioridad, aunque con menor precisión, mediante observaciones astronómicas.

A la vista de la enorme magnitud de la velocidad de la luz, resulta claro que sólo pudo ser medida tomando distancias comparables a la que separa la Tierra de otro planeta del sistema solar o por un gran refinamiento de la técnica experimental. El primer método es el de Roemer y el segundo el de Fizeau. A partir de estos primeros experimentos notables, la magnitud de la velocidad de la luz se ha determinado muchas veces con precisión creciente. Michelson, en el siglo XIX, ideó para este fin una técnica altamente refinada. La conclusión a que se llega con estos experimentos es la siguiente: la velocidad de la luz en el vacío es, aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo.

A.5. Contesta las siguientes preguntas relacionadas con la lectura.

1. ¿Qué suposiciones hace Galileo cuando intenta medir la velocidad de la luz?
2. ¿Qué otros métodos existen para medir la velocidad de la luz? Investiga en qué consiste alguno de ellos.
3. ¿Qué tan grande es la velocidad de la luz? Compárala con algún dato conocido de velocidad.
4. Verifica el cálculo del tiempo que se menciona en el texto cuando dice que:

¡A la distancia real de una milla, tendría que haber podido registrar intervalos de tiempo del orden de una cienmilésima de segundo!

1.1.1 Propagación rectilínea de la luz

1.4.1 Leyes de reflexión y refracción de la luz

¿Cómo se propaga la luz?

¿Qué fenómenos ocurren cuando la luz llega de un medio a otro?

A.6. Presentación del profesor, de algunas demostraciones simples relacionadas con el fenómeno de reflexión y refracción de la luz (ver anexo 11):

Describe por escrito cada una de las observaciones y trata de dar una explicación de cada fenómeno presentado. Presentación por escrito de la explicación.

A.7. Lee el texto que se presenta a continuación: “La luz considerada como sustancia” y elabora un resumen a partir de él.

LA LUZ CONSIDERADA COMO SUSTANCIA

Primeramente empezaremos con unos pocos hechos experimentales. La cifra que acabamos de dar concierne a la velocidad de la luz en el vacío. La luz no perturbada viaja con esta velocidad a través del espacio vacío. Se puede ver a través de un recipiente de vidrio después de extraído el aire de su interior. Nosotros vemos planetas, estrellas, nebulosas, aún cuando la luz viene de ellos hasta nosotros a través del espacio vacío. El simple hecho de que podamos ver a través de un recipiente, contenga o no aire en su interior, muestra que la presencia del aire afecta muy poco la transmisión de la luz. Por esta razón es posible realizar experimentos ópticos en una habitación común con el mismo resultado que si en ella no hubiera aire.

Uno de los hechos ópticos más simples es el de la propagación de la luz en línea recta. Describiremos un experimento primitivo e ingenio que así lo demuestra. Frente a una fuente luminosa puntiforme se coloca una pantalla con una pequeña perforación. Una fuente puntiforme es, en realidad, una fuente de luz muy pequeña, por ejemplo, una pequeña abertura en una linterna cubierta.

*Sobre una pared distante, el orificio de nuestra pantalla se verá como una mancha luminosa sobre fondo oscuro. La **figura 1** muestra cómo este fenómeno, está relacionado con el de la propagación rectilínea de la luz. Todos aquellos fenómenos, aún los casos más complicados, en que aparecen luz, sombra y penumbra, pueden interpretarse mediante la suposición de que la luz, en el vacío o en el aire, se propaga en línea recta. Tomemos otro ejemplo: un haz de luz que se propaga en el vacío incide sobre una placa de vidrio. ¿Qué sucede? Si la ley de la propagación rectilínea fuera aún válida, la trayectoria sería la indicada en la **figura 2** por la línea A O C. Pero en realidad no ocurre esto, sino que en el punto O de incidencia, se produce una desviación de la trayectoria, siguiendo una dirección tal como la O B que se indica en la misma figura. Esto constituye el llamado fenómeno de la refracción. El hecho familiar de un bastón que parece doblado en su parte*

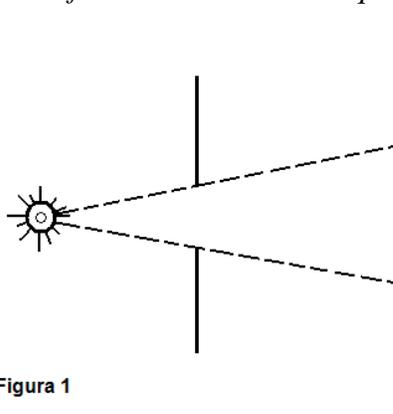


Figura 1

sumergida en agua es una de las muchas manifestaciones de la refracción de la luz. Estos hechos son suficientes para indicar cómo sería posible idear una teoría mecánica simple de la luz. Nos proponemos mostrar a continuación cómo las ideas de sustancias, partículas y fuerzas penetraron en el campo de la óptica y cómo, finalmente, este antiguo punto de vista filosófico se vino abajo.

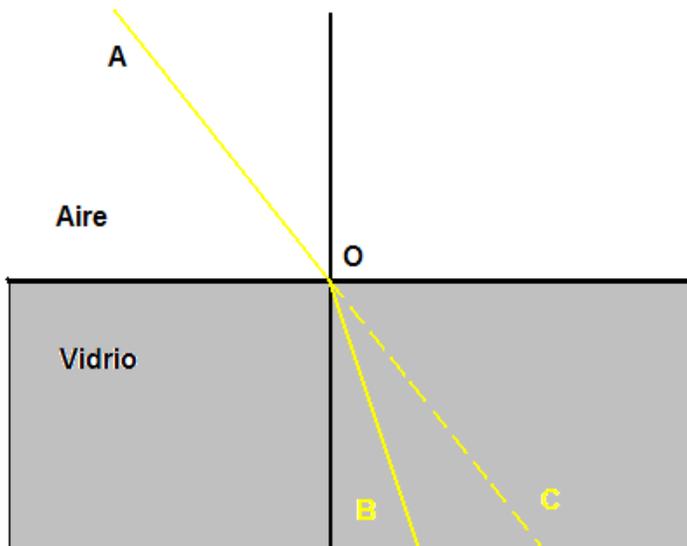


Figura 2

La teoría surge por sí misma en su forma más simple y primitiva. Supongamos que todos los cuerpos luminosos emiten partículas, corpúsculos de luz, los cuales al incidir sobre nuestros ojos dan la sensación de luz... Estos corpúsculos deben desplazarse a lo largo de líneas rectas a través del vacío con la velocidad conocida, trayendo a nuestros ojos los mensajes de los cuerpos que estén emitiendo luz. Todos los fenómenos que demuestran la propagación rectilínea de la luz refuerzan la teoría corpuscular, pues éste es, precisamente, la clase de movimiento que se había atribuido a los corpúsculos. La teoría explica también, muy sencillamente, la reflexión de la luz en los espejos, como una reflexión de la misma clase que la que experimenta una pelota elástica lanzada contra una pared (ver fig. 3).

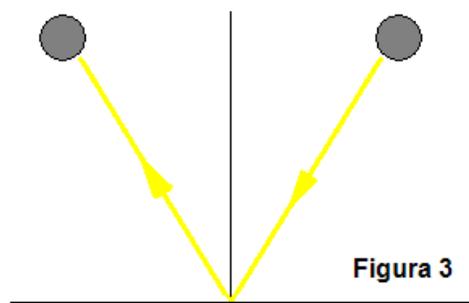


Figura 3

La explicación de la refracción es un poco más difícil. Sin entrar en detalles se puede, sin

embargo, ver la posibilidad de una explicación mecánica de dicho fenómeno. Ésta se basa sobre la suposición de que en la superficie del vidrio, sobre la cual inciden los corpúsculos luminosos, se manifiesta una fuerza que actúa sobre ellos y que procede de la materia, o sea, del vidrio. Una fuerza que -cosa rara- actúa únicamente en la inmediata proximidad de la materia. Toda fuerza que actúa sobre una partícula en movimiento cambia la velocidad de ésta, como ya sabemos. Si la acción resultante sobre los corpúsculos luminosos es una atracción perpendicular a la superficie del vidrio, la nueva trayectoria se encontrará entre su dirección original y la perpendicular en el punto de incidencia. Esta sencilla interpretación del fenómeno que nos ocupa promete éxitos a la teoría corpuscular de la luz. Para determinar la utilidad y el alcance de su validez debemos, sin embargo, exponer hechos más complejos.

A.1. Contesta el autocuestionario siguiente relacionado con la lectura.

Responde detalladamente, justificando ampliamente tus respuestas. Pide a tu profesor que revise tus respuestas.

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
2. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto? ¿Cuáles son?
3. ¿Puedo repetir las ideas centrales del texto con mis propias palabras? Escríbelas.
4. ¿Son «razonables» las afirmaciones o resultados a los que se llega? ¿Por qué creo que lo son?
5. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él? ¿Cuáles son esas diferencias?
6. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado? Algunos términos, o ideas presentadas en el texto que no comprendo son:
7. ¿Puedo relacionar el contenido del texto con el de otras lecciones o unidades estudiadas anteriormente? ¿De qué forma?
8. ¿Se plantea explícitamente algún problema conceptual en el texto o es una mera exposición de información? ¿Qué problema se presenta?
9. ¿Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o teorías que se presentan?

A.9. Cuestionario guía para la discusión de las lecturas. (Autoevaluación)

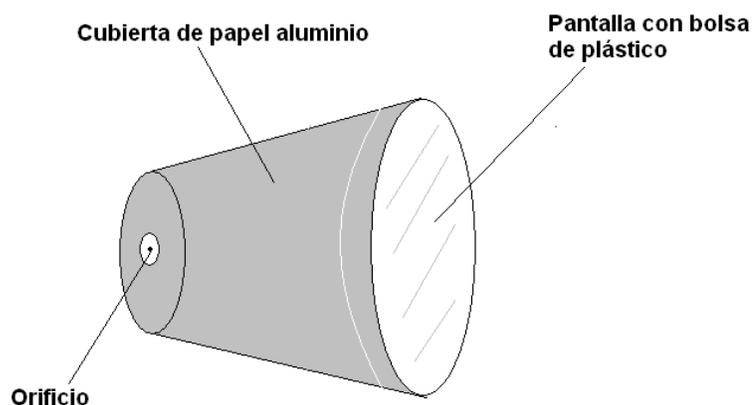
Resolver el siguiente cuestionario (Entrega individual)

1. ¿Cómo sabemos que la luz puede viajar en el vacío?
2. ¿Qué significa que la luz se propague en línea recta?
3. ¿Qué significa que la luz esté compuesta por partículas?
4. ¿Cómo se explica la reflexión y la refracción de la luz cuando consideramos a la luz compuesta por partículas?
5. ¿Qué es la reflexión y refracción de la luz?
6. ¿En qué consiste la hipótesis corpuscular de la luz?
7. Explicar la reflexión de la luz (se puede usar una gráfica) a partir de la concepción corpuscular

8. ¿Cómo se explica la refracción de la luz a partir de la hipótesis corpuscular?

A .1. Exposición del profesor de las leyes de reflexión y refracción mediante el modelo corpuscular y la mecánica.

A.1. Usando una “caja o cámara oscura”, realicen algunas observaciones sobre la propagación rectilínea de la luz. la caja o cámara oscura se puede realizar fácilmente con un vaso de unicel, una bolsa de plástico y una cubierta de papel aluminio para que no permita la entrada de la luz. La bolsa sirve como pantalla en la boca del vaso, como se muestra en el dibujo:



A.1. Observa con tu cámara, un foco o una vela encendida (con el aula a oscuras). La imagen que aparece en la pantalla es:

- a) ¿Derecha o invertida?
- b) ¿En color o en blanco y negro?
- c) ¿Mayor o más pequeña que el foco?

A. Repite la experiencia pero ahora acercándote al foco y luego alejándote. Anota en cada caso las observaciones que realizas de la imagen que se forma en la pantalla.

A. Interpreta las observaciones realizadas, mediante la suposición de propagación rectilínea de la luz, auxíliate de un dibujo.

A. Haz otro orificio, cercano al anterior a tu cámara, y mira de nuevo el foco. ¿Qué observas?

A.16. Repite la experiencia pero cada vez haz un nuevo agujero, hasta seis. Compara el tamaño, luminosidad y nitidez de la imagen al pasar de uno a seis agujeros. ¿Cómo interpretas los resultados obtenidos? Utiliza la suposición de propagación rectilínea de la luz y discútelo con tus compañeros de equipo.

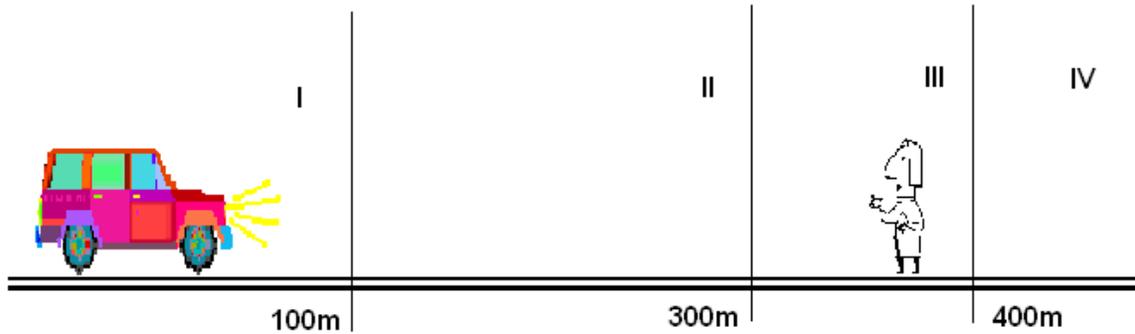
A.17. Observa lo que ocurre al colocar una lupa delante de la cámara con muchos orificios cercanos. ¿Hay diferencia? ¿A qué la atribuyes? ¿Conoces algún dispositivo óptico que funcione como el que has observado en esta actividad?

A.18. Problemas y ejercicios numéricos.

1. ¿Cómo se puede medir el tamaño aparente del sol o de la luna?
2. A partir de tablas de valores, comparar la velocidad de la luz con velocidades habituales en nuestro entorno y con las grandes velocidades que han alcanzado los vehículos espaciales.
3. La propagación de la luz en línea recta permite explicar la formación de sombras y de eclipses. Dibujar un esquema con las posiciones del Sol, Tierra y Luna que permita explicar el eclipse de la Luna. Haz lo mismo para el caso del eclipse de sol.
4. Realizar ejercicios de cálculo con la relación “distancia recorrida = velocidad de la luz x tiempo transcurrido” en situaciones tales como:
 - a) Cuánto tarda la luz en llegar del sol a la tierra, suponga la distancia tierra sol igual a 150 000 000 Km.
 - b) Sabiendo que la estrella más cercana después del Sol se encuentra a 4,3 años luz de distancia, calcula el tiempo que demoraríamos en viajar hasta ella a 30.000 km/h, la velocidad característica de los vehículos espaciales;
 - c) Calcula el tiempo que un rayo de luz tarda en atravesar el vidrio de una ventana;
 - d) Calcula el retraso que puede existir en una conversación radial con astronautas que se encuentren en la Luna.

A.19. Considerando lo visto hasta ahora contesta el siguiente cuestionario (evaluación).

1. ¿Qué es la luz?
2. ¿La luz se mueve? ¿Cómo se mueve?, ¿Cómo puedes saber si la luz se mueve?
3. ¿Qué tan rápido se mueve?
4. ¿Por qué crees que es posible ver los objetos?
5. ¿Por qué nos podemos ver en un espejo?
6. ¿Por qué no podemos vernos en una hoja en blanco?
7. ¿Puede verse el haz de luz que emite una linterna?
8. ¿Qué tan lejos llega este haz?
9. En una noche clara, un coche circula por una carretera recta. El coche tiene encendidas las luces. Un peatón que circula por la carretera, es capaz de ver las luces. El dibujo esta dividido en cuatro secciones. ¿En qué sección hay luz? Explica tu respuesta.



10 ¿Nos parece igual de profunda una piscina, cuando esta vacía que cuando esta llena?

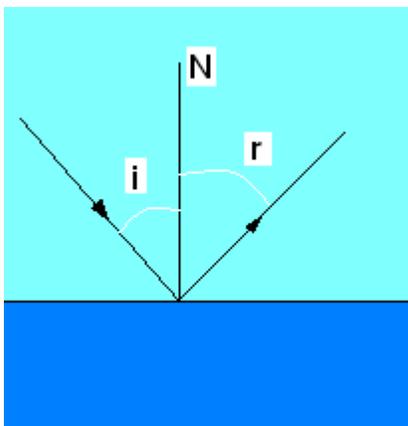
11 ¿Cómo explicas el funcionamiento de una lupa (lente convergente)?

<p>1. Considera el siguiente sistema óptico:</p> <p>¿Qué se espera observar en la pantalla?</p> <p>¿Qué se espera observar si se retira la lente?</p> <p>¿Qué se espera observar en la pantalla si se tapa la mitad de la lente con una tarjeta que no permite el paso de la luz?</p> <p>¿Es posible obtener la imagen del filamento si se retira la pantalla y en su lugar ubicamos adecuadamente el ojo?</p>	<p>The diagram illustrates an optical setup. On the left is a light source labeled 'FOCO' (filament) emitting rays. In the center is a 'LENTE CONVERGENTE' (converging lens). On the right is a vertical rectangular 'PANTALLA' (screen) tilted slightly to the right. The light rays from the filament pass through the lens and converge to form an inverted image on the screen.</p>
---	---

Reflexión de la luz. Espejos planos

A continuación se estudiara brevemente el comportamiento de la luz en espejos planos. Toda superficie pulimentada que refleja la luz constituye un *espejo*. Para estudiar la formación de imágenes en los espejos, sólo es necesario emplear *el concepto de rayo (que es una representación geométrica de una partícula de luz en movimiento)* y tener en cuenta que *el ángulo de incidencia es igual al de reflexión*.

La reflexión de la luz es de gran valor práctico por su empleo en el diseño de diversos instrumentos ópticos.



Cuando un rayo de luz llega a una superficie, se modifica su trayectoria y decimos que se refleja. En la **figura 4**, aparecen un rayo incidente y un rayo reflejado. Se denomina normal (N) a la línea perpendicular a la superficie en un punto. El ángulo que forma el rayo incidente con la normal (N) se denomina ángulo de incidencia (i). El ángulo que forma el rayo reflejado (r) y la normal (N) se llama ángulo de reflexión.

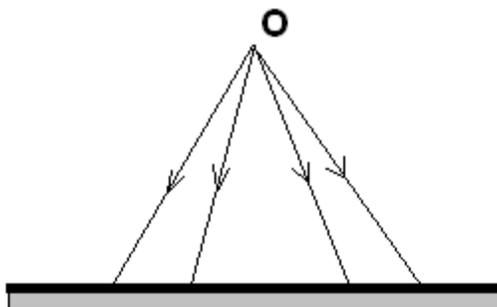
A.20. Proponer un experimento que permita comprobar la relación existente entre el ángulo de incidencia y el de reflexión.

Espejos planos

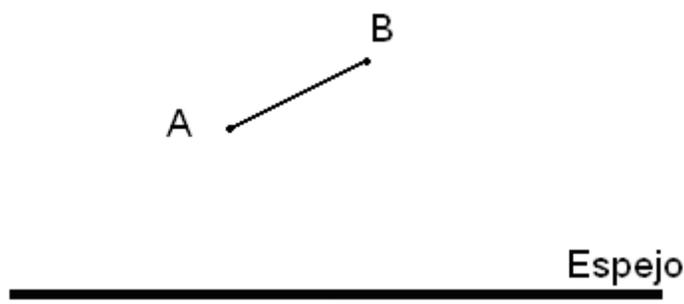
Empleando el concepto de rayo, podemos decir que todos los rayos luminosos provenientes de un objeto, al reflejarse en una superficie plana, parecen provenir de un punto situado detrás del espejo y a la misma distancia de él. Este punto se llama *imagen* del objeto, para ser más precisos, debemos decir que la imagen es *virtual*, porque se forma por la intersección detrás del espejo de las prolongaciones de los rayos reflejados. En cambio, las imágenes *reales* se forman por la intersección delante del espejo de los rayos reflejados.

A.21. ¿De las demostraciones presentadas por el profesor, en qué casos se tienen imágenes reales y en cuáles virtuales? Justifica tu respuesta.

A.22. En la figura adjunta se han trazado varios rayos incidentes sobre un espejo plano y procedente de un punto objeto O. Construye los rayos reflejados, considerando que el ángulo de incidencia y reflexión son iguales. Prolonga los rayos reflejados detrás del espejo y comprueba que todos pasan por un punto situado detrás del espejo y a la misma distancia de él que O. Esta es la forma de construir imágenes en espejos planos de forma geométrica.



A.23. Dibuja la imagen del segmento AB que se forma en el espejo de la figura. ¿Qué relación existe entre los tamaños de la imagen y el de la figura? ¿Cómo es su posición? ¿Qué suposiciones estas haciendo para dibujar la imagen que se forma? Desde donde la estarías observando



A.24. Investiga cómo funcionan los espejos cóncavos y convexos, así como algunas de sus aplicaciones cotidianas.

Refracción de la luz. Ley de Snell

A.25. Diseña con ayuda de tu profesor y realiza una experiencia para investigar la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción, cuando la luz pasa del aire al vidrio. Elabora el reporte correspondiente.

(ver anexos 5 y 7)

Sugerencia: Al observar un objeto recto a través de un vidrio (o acrílico), de caras paralelas o una placa semicircular. Colocar primero el vidrio de modo que sus caras estén perpendiculares a la visual y luego girarlas a otro ángulo. Para los diferentes ángulos describir lo que ocurre con los rayos de luz que van del objeto al ojo pasando por el vidrio. Colocar un prisma rectangular sobre una recta dibujada en un papel, **como se muestra en la figura 5**. Observar la línea a través de dicho prisma. Discutir el resultado de la observación.

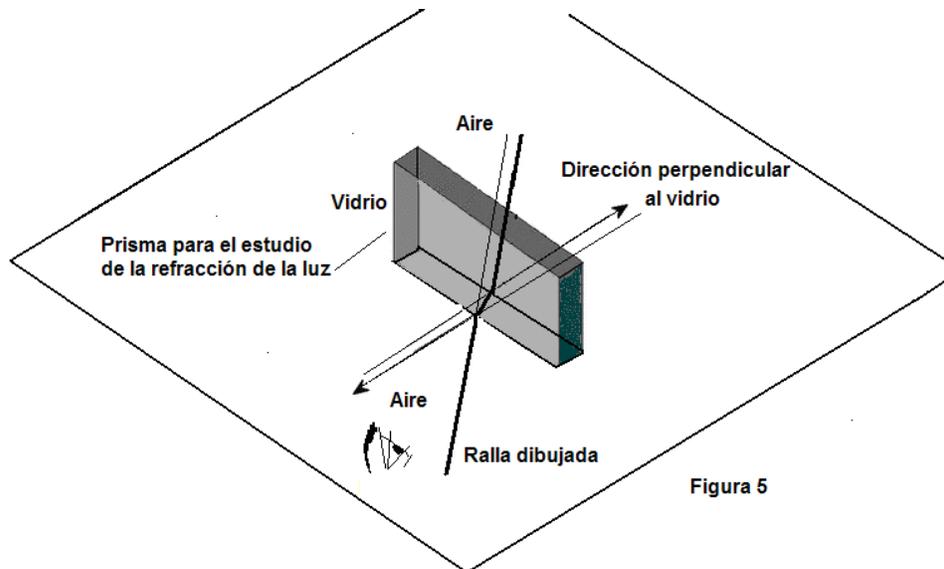


Figura 5

Describe lo que ocurre con los ángulos cuando la luz pasa, por ejemplo, del aire al vidrio o viceversa. Define el ángulo de incidencia y de refracción. **Describe cualitativamente lo que ocurre con el ángulo de refracción al modificar el ángulo de incidencia.**

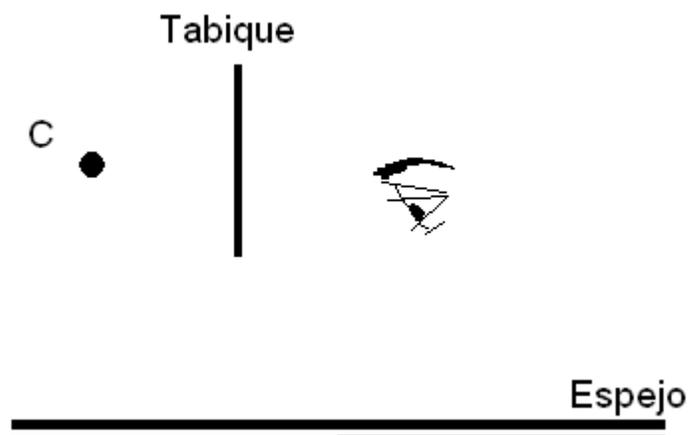
Debido a la desviación experimentada por la luz durante las refracciones, muchas de las cosas que observamos con nuestros ojos no están realmente allí donde las vemos. Por ejemplo, el fondo de una piscina con agua, un lápiz sumergido en un vaso con agua, el paisaje que vemos a través del vidrio de una ventana, las cumbres de las montañas, las estrellas, el Sol y la Luna, observados a través de la atmósfera terrestre, etc.

Preguntas para recapitular sobre la refracción

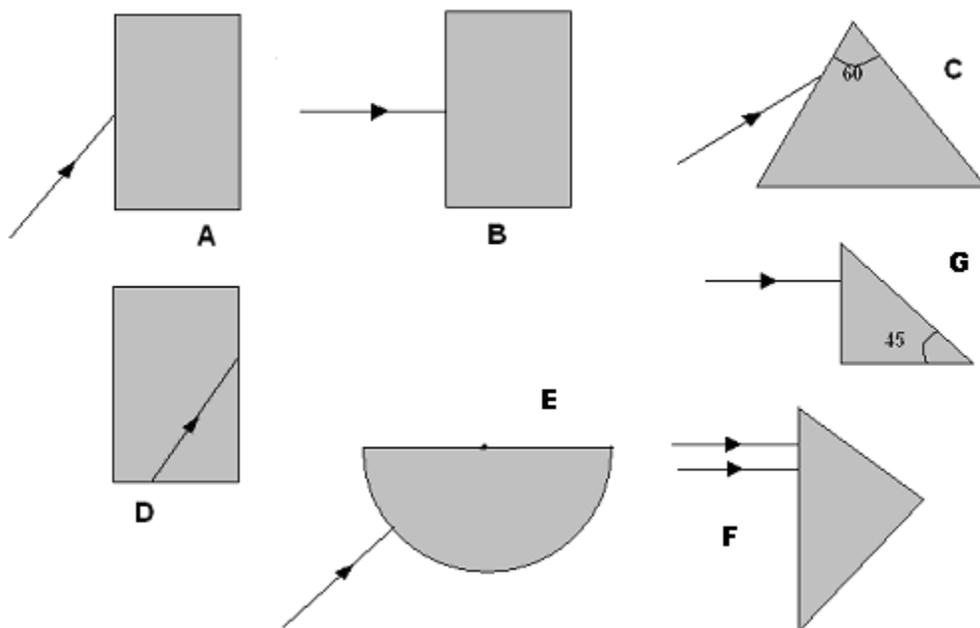
1. ¿Cómo se expresa matemáticamente la ley de refracción? ¿Cómo se verifica experimentalmente?
1. ¿Cómo se explica la refracción de la luz (se puede usar una gráfica) a partir de la concepción corpuscular?
1. ¿Qué es el índice de refracción de una sustancia?

A.26. Las siguientes actividades, son de revisión de la comprensión de la ley de la reflexión y refracción de la luz en forma cualitativa. (Examen)

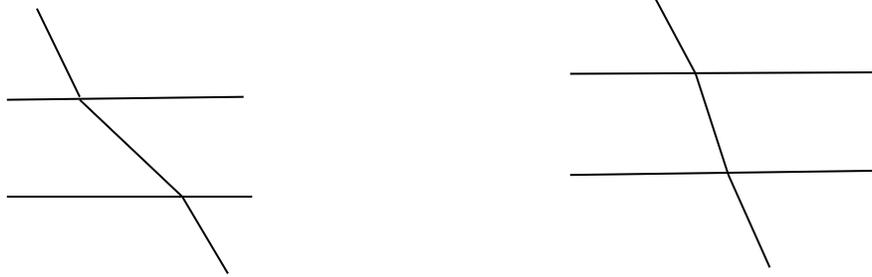
1. ¿Dónde verá el ojo la canica C?



1. Con lo visto hasta ahora, ¿puedes explicar por qué ves tu imagen en el espejo cada vez que te miras en él?
1. Si todos los cuerpos opacos reflejan la luz, ¿por qué no te ves reflejado cuando te miras en una la pared de tu salón de clase?
1. Completa los siguientes diagramas, teniendo en cuenta que los objetos representados, son de vidrio y que la flecha representa un rayo luminoso:



1. De las siguientes figuras, indica cuál muestra un rayo de luz que pasa desde el aire a un bloque de cristal de lados paralelos, y cuál el rayo que atraviesa el espacio de aire intermedio entre dos bloques de cristal paralelos



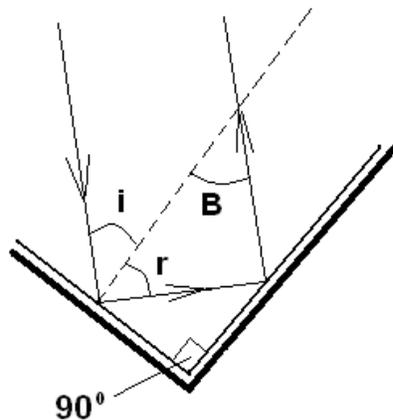
Considera un lápiz cerca de un espejo plano como se muestra en la **figura 6**; indica la región enfrente del espejo donde un observador puede ver:

- a) La imagen de la punta del lápiz
- b) la imagen de la goma
- c) la imagen completa del



7.-En un diagrama que ilustre el interior de un vehículo, la cabeza del chofer y la ventana trasera, indica cuál debe ser el mínimo tamaño de un espejo plano que sirva como retrovisor interno.

8.-Demuestra que al hacer incidir rayo en distintos ángulos en relación a la superficie en que se encuentran los pequeños espejos, los rayos reflejados salen paralelos a los rayos incidentes.



Con base en la ley de reflexión de la luz, predice cómo se comporta un conjunto de rayos que inciden paralelamente sobre un sistema de pequeños espejos planos, distribuidos sobre una superficie plana de modo que formen entre sí ángulos de 90° (ver **figura 7**).

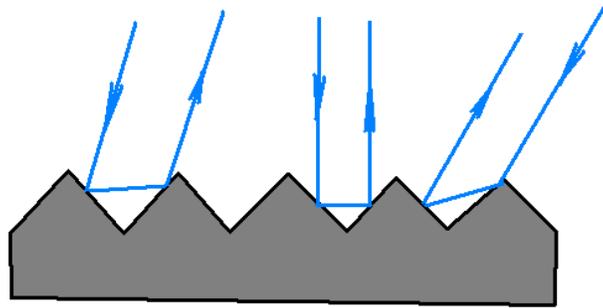
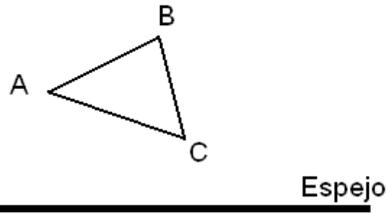


Figura 7

Dibuja la imagen del triangulo ABC que se forma en el espejo de la figura. ¿Qué relación existe entre los tamaños de la imagen y el de la figura? ¿Cómo es su posición? ¿Qué suposiciones estás haciendo para dibujar la imagen que se forma? Desde dónde la estarías observando



A.27. Presentación de las conclusiones sobre las leyes de reflexión y refracción de la luz, índice de refracción. Síntesis presentada por el profesor sobre las leyes de la óptica geométrica hasta este momento.

Opcional.

Resuelve algunos ejercicios numéricos, de algún texto de Física asociados con el uso de la ley de la refracción de la luz

1.4.2 Dispersión y color

A.28. ¿Cómo explicarías la aparición del color en el arco iris o en algunos cristales? ¿Por qué vemos los colores en los cuerpos? Discusión grupal, exponer ante el grupo sus conclusiones.

A.29. Lee cuidadosamente el siguiente texto y elabora un resumen de las ideas centrales. Elabora cinco preguntas que te permitan demostrar, al responderlas, la comprensión de las ideas centrales del texto.

EL ENIGMA DEL COLOR

Fue nuevamente el genial Newton quien explicó, por primera vez, la riqueza de colores de nuestro mundo. A continuación damos una descripción suya de uno de sus propios experimentos.

“En el año 1666 (en el cual me dediqué al pulimento de lentes no esféricas), conseguí hacer un prisma triangular de vidrio con el fin de emplearlo en el estudio del notable fenómeno de los colores. Con este fin, habiendo oscurecido mi habitación y hecho un pequeño orificio en las persianas de la ventana para dejar entrar una cantidad conveniente de luz solar, coloqué mi prisma en la proximidad de la abertura, de modo tal que la luz se refractara en el prisma, hacia la pared opuesta. Resultó desde el principio un entretenimiento muy agradable el ver así producido un haz de luz de vívidos e intensos colores.”

La luz del sol es blanca. Después de pasar por un prisma, muestra todos los colores que existen en el mundo visible. La naturaleza misma reproduce este fenómeno en la hermosa gama de colores del arco iris. Las pretensiones de explicar este fenómeno vienen de antiguo. La referencia bíblica de que el arco iris es, por así decirlo, la firma de Dios a un convenio hecho con el hombre, constituye en cierto sentido una «teoría», pero no explica satisfactoriamente por qué se repite el arco iris de tiempo en tiempo y por qué aparece siempre después de una lluvia. Todo el enigma del color fue por primera vez abordado científicamente por Newton, en cuyos importantes trabajos se indica ya una solución.

Una franja límite del arco iris es siempre roja y la otra violeta. Entre ambos se distribuyen todos los otros colores. He aquí la explicación que da Newton del fenómeno: cada uno de los colores del arco iris existe ya en la luz blanca. Todos juntos atraviesan el espacio interplanetario y la atmósfera y producen el efecto de la luz blanca, que es, por decirlo así, una mezcla de corpúsculos de distintas clases, pertenecientes a los diversos colores. En el caso del experimento de Newton, es el prisma quien los separa en el espacio. De acuerdo con la teoría mecánica, la refracción se debe a fuerzas que actúan sobre los corpúsculos luminosos; fuerzas que tienen su origen en las partículas de vidrio. Estas fuerzas son diferentes para los diferentes corpúsculos de los distintos

colores; son máximas para el color violeta y mínimas para el rojo. Cada color se refracta, por eso, a lo largo de una trayectoria distinta y se separa de los otros colores al emerger del prisma. En el caso del arco iris son las gotitas de agua las que hacen el papel del prisma.

La teoría corpuscular de la luz se complica ahora aún más. No tenemos sólo una sustancia luminosa, sino muchas: una para cada color. Si, sin embargo, hay algo de verdad en la teoría, sus consecuencias deben estar de acuerdo con la observación. La serie de colores en la luz blanca del Sol, revelada por el experimento de Newton, se llama espectro del Sol, o más precisamente su espectro visible. La descomposición de la luz blanca en sus corpúsculos, como la hemos descrito se llama dispersión de la luz. Los colores separados del espectro deben poder mezclarse nuevamente mediante un segundo prisma, colocado en posición conveniente, pues de lo contrario la explicación sería errónea. Este proceso es, justamente, el inverso del anterior, y debe obtenerse así otra vez luz blanca de los colores previamente separados. Newton demostró experimentalmente que es efectivamente posible obtener luz blanca de su espectro, y de ésta por segunda vez el espectro, y así sucesivamente. Estos experimentos constituyen un sólido apoyo para la teoría según la cual los corpúsculos pertenecientes a cada color se comportan como sustancias inmutables. Newton escribió así:

“...tales colores no se generan repentinamente, sino que se revelan al separarse; ya que, al mezclarse por completo de nuevo, componen otra vez el color original. Por la misma razón, la transmutación mediante la reunión de varios colores no es real, porque cuando los distintos rayos se separan nuevamente, reproducen los mismos colores que tenían antes de entrar en la composición; como es sabido, polvos azules y amarillos mezclados íntimamente impresionan nuestros ojos como si fueran verdes, y sin embargo los colores de los corpúsculos no se han transmutado realmente, sino tan sólo mezclado. En efecto, si observamos dicha mezcla con un buen microscopio, veremos entreverados los corpúsculos amarillos y azules.”

Supongamos que hemos aislado una franja muy angosta del espectro. Esto quiere decir que de toda la multitud de colores, sólo se ha dejado pasar uno a través de una ranura apropiada de una pantalla que retiene a los demás. El haz que pasa a través de dicha ranura se llama luz homogénea, o sea, luz que no puede experimentar nueva descomposición. Esto es una consecuencia de la teoría y puede fácilmente confirmarse mediante el experimento. De ninguna manera se puede dividir otra vez tal haz de un solo color. Es fácil obtener fuentes de luz homogénea. Por ejemplo, el sodio incandescente emite luz homogénea de color amarillo. Resulta a menudo conveniente realizar ciertos experimentos ópticos con luz homogénea, pues, como fácilmente se entiende, el resultado será mucho más sencillo.

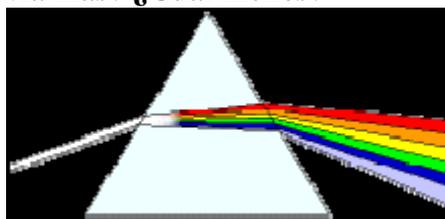
Supongamos que suceda repentinamente una cosa muy extraña: que el Sol comenzara a emitir, únicamente, luz homogénea de un determinado color: sea el amarillo. La gran variedad de colores de la Tierra desaparecería inmediatamente. ¡Todas las cosas se presentarían amarillas o negras! Esta predicción es una consecuencia de la teoría corpuscular de la luz, que no permite la creación de colores nuevos. Su validez puede confirmarse mediante el experimento: en una habitación iluminada únicamente con luz de sodio incandescente, se ve todo amarillo o negro. La riqueza de colores del mundo es reflejo de la variedad de colores que componen la luz blanca. La teoría corpuscular de la

luz parece responder espléndidamente a todos estos casos, aún cuando la necesidad de introducir tantas sustancias como colores nos coloca en una situación

incómoda. La suposición de que todas las partículas de la luz tienen exactamente una misma velocidad en el vacío parece también artificial.

Es imaginable que otro conjunto de suposiciones, una teoría de carácter totalmente distinto, sea capaz de explicar, tan satisfactoriamente como la que expusimos, los fenómenos que nos ocupan ahora. En efecto, pronto veremos el origen de otra teoría basada sobre conceptos enteramente distintos y que sin embargo explica el mismo conjunto de fenómenos ópticos.

A.30. Observa el fenómeno descrito en el texto lectura anterior, mediante un prisma o un disco compacto. La luz blanca ha sido dispersada por el prisma obteniéndose una banda de colores que se denomina espectro visible. ¿En qué orden aparecen los colores?, ¿Qué color se desvía más? ¿Cuál menos?



A.31. Confeccionar un esquema que muestre el orden en que se distribuyen los colores en que se descompone la luz blanca después de pasar por el prisma. Usa lápices de colores para representarlos. Compararlos con el orden con que ocurren en el arco iris. El hecho que cada color se desvíe con un ángulo diferente, se puede interpretar diciendo que el índice de refracción depende del color y es diferente para cada color. *En consecuencia, el índice de refracción se define para un material y para un color específico.*

A.32. Investiga algunos índices de refracción para algunas sustancias, así como con relación a qué color se establecen.

OBSERVACIÓN

La dispersión cromática se produce cada vez que hay refracción, así, aunque en los vidrios de ventanas y en las lentes ópticas, el efecto puede ser poco perceptible, igualmente ocurre. Es decir, los objetos que vemos a través de una ventana, no sólo no están allí donde los vemos, sino que, además, no los vemos exactamente de los mismos colores.

A.33. Indica casos, a través de situaciones de la vida diaria, en que se observe el fenómeno de la dispersión cromática.

A.34. ¿Cómo se explica éste fenómeno desde la teoría corpuscular? ¿Cómo se te ocurre que se puede explicar el fenómeno del color en los cuerpos? Revisa la lectura anterior.

1.4.3 APLICACIONES EN LA EXPLICACIÓN DE INSTRUMENTOS ÓPTICOS

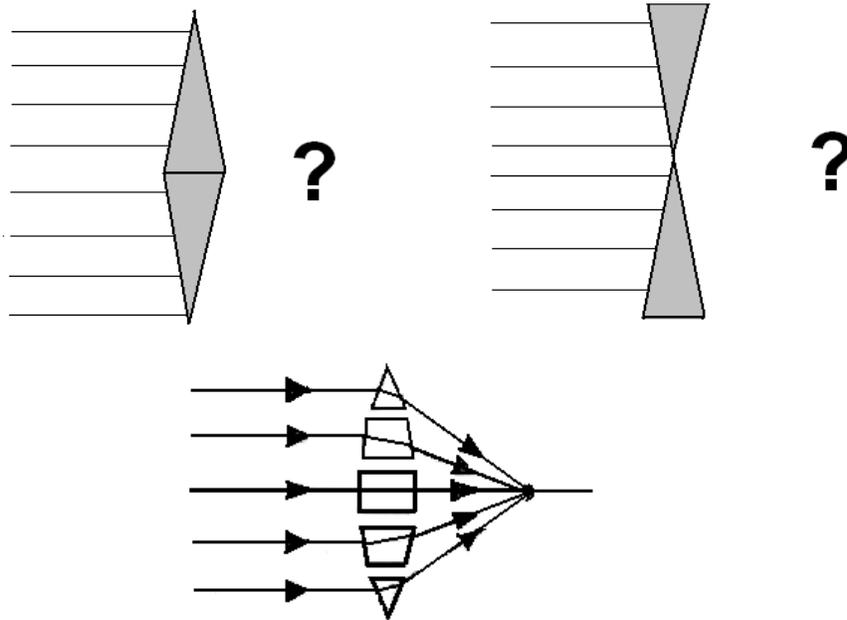
1.4.3.1 Refracción de la luz: Lentes.

1.4.3.2 Algunos instrumentos ópticos

A.35. ¿Qué es una lente? Trata de dar una definición de lente (para ello, considera una lupa o unos anteojos). Clasificalas según su forma y comportamiento en relación a la luz.

A.36. Usa una lente convergente para realizar observaciones cualitativas, observa objetos cercanos y lejanos, acercando y alejando la lupa a tu ojo. Describe tus observaciones. ¿Qué fenómenos ópticos sufre un rayo de luz al atravesar una lente?

A.37. Usando la ley de refracción, en forma cualitativa, trata de explicar por qué una lente hace converger los rayos paralelos en un punto. Haz lo mismo para una lente divergente. Auxíliate de los diagramas que se presentan a continuación.



A.38. Considera la siguiente nomenclatura de una lente. La línea perpendicular a las caras de la lente que pasa por el centro, se le llama eje óptico, y el centro de simetría se le llama centro óptico. Realiza un dibujo para representarlos. Usa unas lentes convergentes delgadas y un láser para contestar las siguientes preguntas: ¿Qué puedes decir del rayo que pasa por el eje óptico, qué le ocurre? ¿Qué ocurre con cualquier rayo que pasa por el centro óptico? ¿Qué le ocurre a cualquier rayo paralelo al eje óptico al pasar por la lente? ¿Qué ocurre con un rayo no paralelo al eje y que no pasa por el centro óptico?

Al punto en que convergen los rayos que llegan paralelos a la lente, se le llama foco F, y la distancia entre el foco y el centro óptico se le llama distancia focal de la lente (f). ¿Cómo definirías el “poder de aumento” o “potencia” de una lente? ¿Conoces la unidad de medida de la potencia de una lente?

A.39. Actividades complementarias

1. ¿Cuál es la distancia focal y la potencia de cada una de las lentes utilizadas?
1. Si usas lentes o tienes unas lentes a la mano, mide su distancia focal y calcula su potencia. ¿Coincide con el dato conocido de las lentes?
1. ¿En una lente también se observa la dispersión de la luz? ¿Por qué?
1. Las lentes se representan de la siguiente forma:

A.34. ¿Cómo se explica éste fenómeno desde la teoría corpuscular? ¿Cómo se te ocurre que se puede explicar el fenómeno del color en los cuerpos? Revisa la lectura anterior.

1.4.3 APLICACIONES EN LA EXPLICACIÓN DE INSTRUMENTOS ÓPTICOS

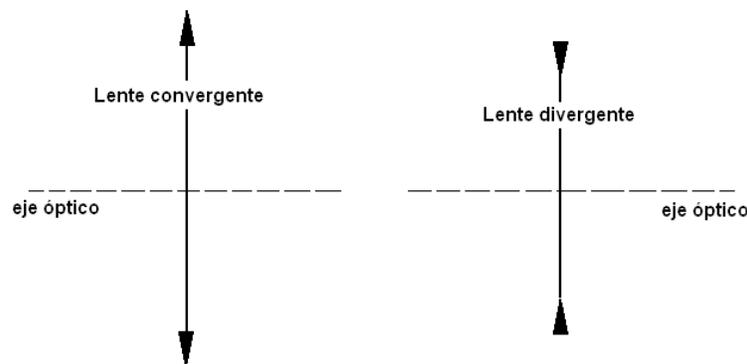
1.4.3.1 Refracción de la luz: Lentes.

1.4.3.2 Algunos instrumentos ópticos

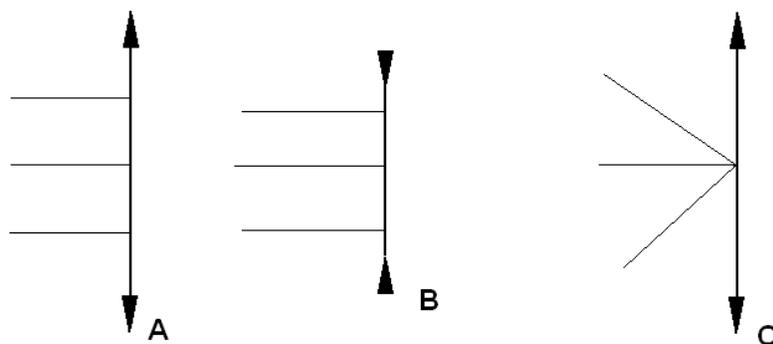
A.35. ¿Qué es una lente? Trata de dar una definición de lente (para ello, considera una lupa o unos anteojos). Clasifícalas según su forma y comportamiento en relación a la luz.

A.36. Usa una lente convergente para realizar observaciones cualitativas, observa objetos cercanos y lejanos, acercando y alejando la lupa a tu ojo. Describe tus observaciones. ¿Qué fenómenos ópticos sufre un rayo de luz al atravesar una lente?

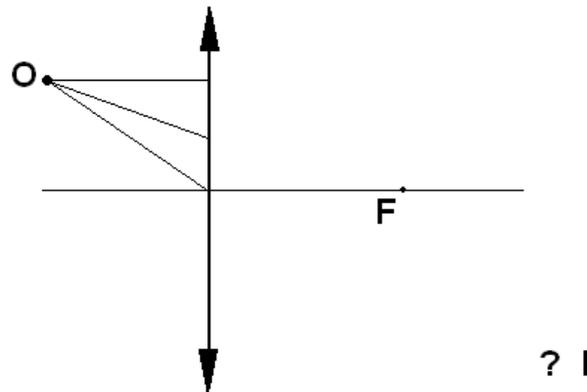
A.37. Usando la ley de refracción, en forma cualitativa, trata de explicar por qué una lente hace converger los rayos paralelos en un punto. Haz lo mismo para una lente divergente. Auxíliate de los diagramas que se presentan a continuación.



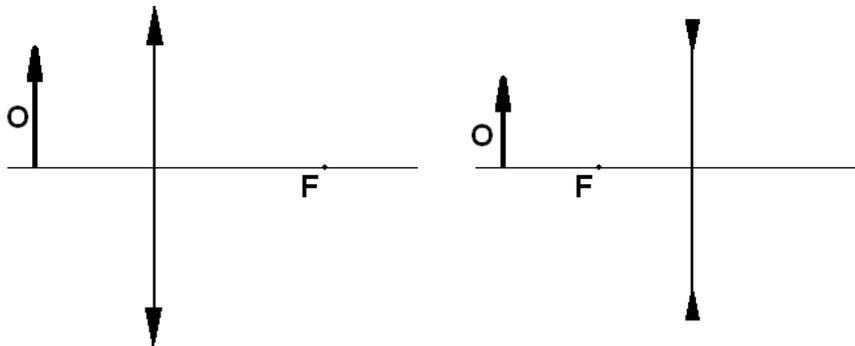
Indica las trayectorias que seguirán los rayos dibujados al atravesar las lentes



- De nuestra experiencia cotidiana al manipular lupas, anteojos, prismáticos, etc. es lógico suponer que a cada objeto solamente le corresponde una imagen. Observa el dibujo adjunto; en el **O** es un punto objeto e **I** su punto imagen respectivo. ¿Qué le ocurre a los rayos que parten de **O** después de atravesar la lente? ¿Dónde se forma la imagen?



- En óptica geométrica, los objetos extensos se representan con flechas. Usando un trazado de rayos, halla la imagen del objeto **O** en los siguientes casos.



- ¿Cómo se explica el arco iris?
- ¿Qué son y cómo se explican los espejismos?

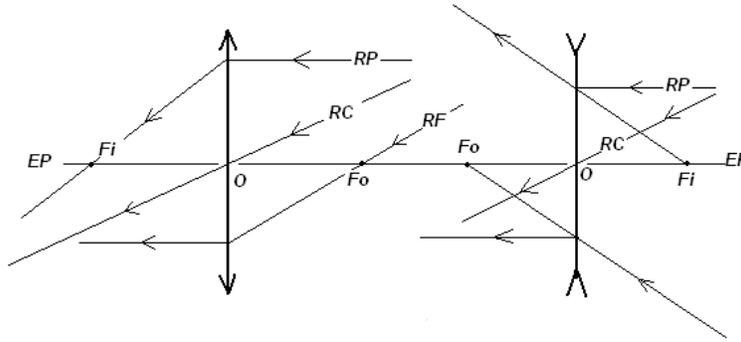
A.40. Continuación del ejercicio sobre lentes: Construcción de imágenes producidas por las lentes y ecuación de las lentes delgadas.

Los rayos empleados en la construcción de imágenes son los siguientes:

1. *Rayo paralelo (RP)*: Es un rayo que incide paralelamente al eje principal; el rayo emergente pasa por el *foco* imagen.

Rayo focal (RF): Es un rayo que llega a la lente pasando por el *foco* objeto; su rayo emergente es paralelo al eje principal.

Rayo central (RC): Es un rayo que pasa por el centro óptico; emerge sin sufrir desviación.



A.41. Halla la imagen de un objeto, a través de una lente convergente, si se encuentra situado:

- objeto entre el doble del *foco* objeto y el infinito,
- objeto en el doble del *foco* objeto,
- objeto entre el *foco* objeto y el doble del *foco* objeto,
- objeto en el *foco* objeto,
- objeto entre el *foco* objeto y el centro óptico.

A.44. Breve exposición del profesor sobre el tema de lentes: ¿Existe una forma matemática de describir el comportamiento de las lentes? Obtención de la ecuación de las lentes delgadas de parte del profesor.

A.45. Ejercicios de lápiz y papel

- Un objeto de 4 cm. de altura, está situado 20 cm. delante de una lente delgada convergente, de distancia focal 12 cm. Determina cualitativa y cuantitativamente:

- . La posición.
- . El tamaño de su imagen
- . La potencia de la lente

- En qué posiciones se podrá colocar una lente convergente de + 15 cm de distancia focal, para obtener la imagen de un objeto sobre una pantalla situada a 80 cm. de él.

1. Halla la imagen de un objeto, a través de una lente **divergente**, si se encuentra situado:

- objeto entre el doble del *foco* objeto y el infinito,
- objeto en el doble del *foco* objeto,
- objeto entre el *foco* objeto y el doble del *foco* objeto,
- objeto en el *foco* objeto,
- objeto entre el *foco* objeto y el centro óptico.

Algunos instrumentos ópticos

A.46. Exposición por equipo de la investigación realizada sobre instrumentos ópticos.

Evaluación parcial, uso de la guía de evaluación de presentaciones orales.

Nota: Esta actividad debe ser propuesta al iniciar la unidad, o de manera tal que los estudiantes avancen en su investigación y se apoyen en lo aprendido de la óptica geométrica en el desarrollo de su presentación con la ayuda de su profesor

Ojo, cámara fotográfica y defectos visuales, Microscopio, Prismáticos, Telescopio galileano, Telescopio Newtoniano, el proyector de acetatos, el proyector cinematográfico, el proyector de transparencias.

Nota: Antes de continuar conviene hacer una síntesis de lo logrado hasta este momento ya sea mediante la elaboración de un mapa conceptual del tema, mediante un reporte escrito donde se muestre lo aprendido por parte de los alumnos o responda una sección (la parte correspondiente al tema) del cuestionario que se presenta en el anexo 4.

1.3 La luz como onda: La versión de Huygens

El comportamiento conocido de la luz, ¿se explica con el modelo ondulatorio o con el modelo corpuscular?

1.3.1 Las ondas mecánicas y el sonido.

¿Qué son las ondas?

A. 47. Discute y responde con tus compañeros de equipo las siguientes preguntas, entrega por escrito y de forma individual el cuestionario elaborado:

1. ¿Qué es el sonido?

1. ¿Cómo se explica el sonido en la mecánica?

1. ¿Qué son las ondas?

1. ¿Qué fenómenos conoces de las ondas?

1. ¿Cuáles fenómenos son característicamente ondulatorios?

1. ¿Cómo se propagan las ondas de sonido? ¿Y en el agua?

1. ¿En qué consistió el experimento de Torricelli? ¿Qué se demostró con él?

1. ¿A qué se le llama ondas sonoras?

1. ¿Será el sonido una forma de energía?

1. ¿El sonido puede viajar en ausencia del aire?
1. ¿Cómo se mide la velocidad del sonido? (ver anexo 11)
1. ¿Cuáles son las características del sonido que llega hasta nuestros oídos?

¿Qué son las ondas?

A.48. A partir de la siguiente lectura, elabora un mapa conceptual sobre el contenido del texto. (Ver anexo 8)

¿QUÉ ES UNA ONDA?

Del texto “La evolución de la Física” de Einstein e Infeld

Un rumor originado en Washington llega a Nueva York muy rápidamente, aún cuando ni una sola persona de las que toman parte en difundirlo haga el viaje para ese fin. Tenemos aquí dos movimientos diferentes: el rumor que va de Washington a Nueva York y el de las personas que lo difunden. El viento que pasa sobre un campo de trigo determina un movimiento en forma de onda, que se difunde a lo largo de toda una extensión. Podemos distinguir en este caso nuevamente los dos movimientos, el de propagación de la onda y el movimiento de cada una de las espigas, las cuales ejecutan sólo pequeños desplazamientos de vaivén; es decir, pequeñas oscilaciones. Todo el mundo ha visto alguna vez las ondas que se propagan en forma de círculos, que se agrandan paulatinamente, cuando se arroja una piedra sobre la superficie tranquila del agua de un río o de un estanque. El movimiento de avance de la onda es una cosa, y otra el movimiento de las partículas del agua. Estas partículas se limitan a subir y bajar en el mismo sitio. En cambio, el movimiento de la onda es la propagación de un estado de perturbación de la materia y no la propagación de la materia misma. Un corcho que flota sobre el agua demuestra lo anterior claramente, pues se mueve de arriba abajo imitando el movimiento verdadero del agua y no se desplaza junto con la onda.

Con el objeto de entender mejor el mecanismo de una onda, vamos a imaginar un experimento ideal. Supongamos cierto espacio lleno completa y uniformemente de agua, aire u otro medio. En algún punto de este medio, exento de movimiento, hay una esfera quieta. De repente, esta esfera comienza a «respirar» rítmicamente, aumentando y disminuyendo de volumen, pero sin cambiar de forma. ¿Qué acontecerá entonces en el medio? Empecemos nuestras observaciones en el preciso momento en que la esfera inicia su dilatación. Las partículas del medio que están en la inmediata vecindad de la esfera resultan empujadas hacia fuera, de tal manera que la densidad de la capa esférica de dicho medio aumenta por encima de su valor normal. Del mismo modo, cuando la esfera se contrae, la densidad de aquella parte del medio que rodea la esfera disminuye. Estos cambios de densidad se propagan a través de todo el medio. Las partículas que lo constituyen ejecutan sólo pequeñas vibraciones, pero el movimiento global resultante es el de una onda progresiva. El asunto esencialmente nuevo aquí, es que por vez primera estamos considerando el movimiento de algo que no es materia, sino energía que se propaga a través de la materia.

Basándonos en el ejemplo de la esfera pulsante, podemos introducir dos conceptos

físicos generales e importantes para la caracterización de las ondas. El primero, que depende del medio, es el de la velocidad con que se propaga la onda; esta velocidad es diferente, por ejemplo, si el medio es agua o aire. El segundo concepto es el de longitud de onda. En el caso de las ondas en el agua, mar o río, es la distancia entre dos valles o dos crestas inmediatas. Las olas del mar tienen en general mayor longitud de onda que las del río. En el caso de las ondas producidas por la esfera pulsante, la longitud de onda es la distancia entre dos superficies esféricas que muestran máximos o mínimos de densidad.

Es evidente que ésta distancia no dependerá del medio solamente. La rapidez de la pulsación de la esfera tendrá, por cierto, su influencia en el asunto, resultando la longitud de onda más corta si la pulsación se hace más rápida y viceversa.

El concepto de onda resultó muy fecundo en la Física. Es decididamente un concepto mecánico. El fenómeno se reduce al movimiento de partículas que, de acuerdo con la teoría cinética, son las que constituyen la materia. Luego, toda teoría que se vale del concepto de onda puede en general considerarse como una teoría mecánica; por ejemplo: la interpretación de los fenómenos acústicos se basa esencialmente en dicho concepto. Los cuerpos vibrantes, tales como las cuerdas vocales o las de un violín, son fuentes de ondas que se propagan a través del aire de una manera análoga a las ondas producidas en el caso de la esfera. Luego, por medio del concepto de onda es posible reducir todos los fenómenos acústicos a fenómenos mecánicos.

Se ha insistido ya en la necesidad de distinguir entre el movimiento de las partículas y el movimiento de la onda en sí, que es una perturbación del estado del medio. Estos dos movimientos son completamente distintos, pero es evidente que, en el ejemplo de la esfera pulsante, ambos movimientos tienen lugar sobre una misma línea recta. Las partículas del medio oscilan a lo largo de cortos segmentos rectilíneos y la densidad del medio aumenta y disminuye periódicamente, de acuerdo con el movimiento de las partículas. La dirección de propagación de la onda y la de las oscilaciones de las partículas son una misma cosa, que está esquemáticamente representada en la **figura 8**. Este tipo de onda se llama longitudinal.

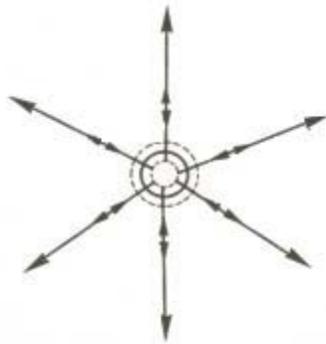


Figura 8

¿Será ésta la única clase de onda posible? Es de importancia para nuestras consideraciones futuras ver la posibilidad de existencia de otro tipo de onda llamada transversal.

Modifiquemos nuestro ejemplo anterior. Supongamos la misma esfera sumergida, esta vez, en un medio de distinta naturaleza; en algo así como una especie de jalea o gelatina, en lugar de aire o agua.

Además, la esfera en este caso no pulsa, sino que gira un pequeño ángulo en determinado sentido y después vuelve a su posición primitiva, repitiéndose este movimiento de una manera rítmica y alrededor de un eje fijo. Dado que la gelatina se adhiere a la esfera, la capa

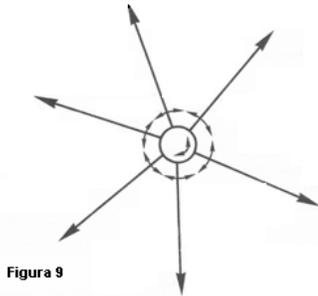


Figura 9

adherida se verá forzada a acompañar a la esfera en su movimiento de vaivén. Esta capa obligará a su vez a la inmediata a entrar en movimiento análogo, y así sucesivamente, estableciéndose una onda en el medio. Si recordamos la distinción en-tre el movimiento de las partículas del medio y el movimiento de la onda, vemos que en este caso no tiene la misma dirección. En efecto, la onda se propaga en la dirección del radio de la esfera, mientras que las partículas del medio se mueven perpendicularmente a esa dirección radial (**fig. 9**). Hemos producido así una onda transversal. Las ondas en el agua son transversales. Un trozo de corcho que flote sobre la superficie del agua sube y baja solamente, pero la onda se difunde a lo largo de un plano horizontal. Las ondas sonoras, por otra parte, constituyen el ejemplo más común de ondas longitudinales.

Hagamos otra observación: la onda producida por una esfera pulsante u oscilante, en un medio homogéneo, es una onda esférica. Se llama así porque en todo momento los puntos que se hallan sobre cualquier superficie esférica concéntrica a la esfera fuente, se comportan de idéntica manera. Consideremos una porción de una tal superficie esférica a gran distancia de la fuente. Cuanto más lejana y de menor tamaño sea la porción considerada, tanto más se asemejará a una superficie plana, como se ve en el esquema de la **figura 10**. Se puede afirmar, sin demasiada pretensión de rigor científico, que no hay una diferencia esencial entre un plano y una porción de esfera de radio suficientemente grande. Muy a menudo se consideran como ondas planas las pequeñas partes de una onda esférica que están muy alejadas de la fuente. El concepto o significado verdadero de una onda plana, como muchos otros conceptos físicos, no es más que una ficción, realizable únicamente con cierto grado de exactitud. Es, sin embargo, un concepto útil que necesitaremos más adelante.

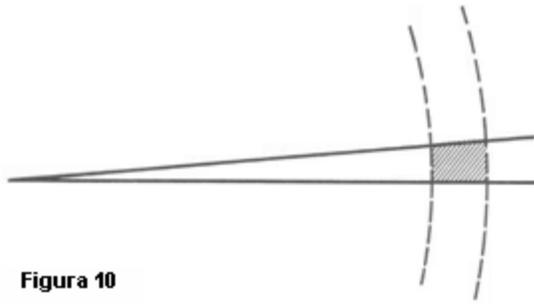


Figura 10

A.49. Repaso de los conceptos relativos a las ondas mecánicas por parte del profesor mediante el uso de demostraciones (ver anexo 11).

1.3.2 Características del modelo de Huygens.

¿En qué consisten las ondas luminosas? ¿Cuáles son sus características?

A.50. Lee con detenimiento el siguiente texto:

LAS ONDAS DEL ETÉR: CAPÍTULO NUEVO DE LA FÍSICA

Cristian Huygens (1629-1695)

No hallo que nadie haya dado una explicación probable de los fenómenos primeros y más notables de la luz, a saber, por qué no se propaga sino en línea recta, y cómo es que los rayos visibles, que proceden de infinitos lugares distintos, se cruzan unos con otros, sin estorbarse mutuamente de ninguna manera...

Inconcebible es dudar que la luz consista en el movimiento de alguna especie de materia. Porque, si miramos su producción, vemos que aquí en la tierra se engendra precipitadamente del fuego y de la llama, los cuales ciertamente contienen cuerpos que están en movimiento veloz, puesto que disuelven y derriten muchos otros cuerpos, aún los más sólidos; y, si consideramos sus efectos, vemos que cuando se concentra la luz, como se hace mediante los espejos cóncavos, posee la propiedad de quemar, lo mismo que el fuego, es decir, disgrega las partículas de los cuerpos. Por cierto es ésta la señal del movimiento, al menos, según la filosofía verdadera, de acuerdo con la cual concebimos las causas de todos los efectos naturales en términos de movimientos mecánicos. A mi juicio, así tenemos que hacerlo forzosamente, o, de lo contrario, hemos de renunciar a toda esperanza de llegar alguna vez a entender algo de Física.

Y, como, según esa filosofía, damos por cierto que la sensación visual se excita únicamente por la impresión de algún movimiento de cierta especie de materia que actúa sobre los nervios de la parte posterior de nuestros ojos, tenemos otra razón más para creer que la luz consiste en el movimiento de la materia existente entre nosotros y el cuerpo luminoso.

Además, cuando consideramos la extremada velocidad con que se desparrama la luz por todas partes, y cómo, cuando viene de regiones diferentes, aún de aquellas que son del todo opuestas entre sí, se atraviesan mutuamente los rayos sin estorbarse, podemos comprender a las claras que cuando vemos un objeto luminoso, ello no puede tener por causa un transporte de materia que nos viene de dicho objeto, al modo como cruza por el aire una bala o una flecha; porque ciertamente tal suposición estaría grandemente en pugna con estas dos propiedades de la luz, sobre todo con la segunda. Quiere decir entonces que la luz se propaga de alguna otra manera; y lo que puede llevarnos a entenderla es el conocimiento que tenemos de la propagación del sonido en el aire.

Sabemos que mediante el aire, es que un cuerpo invisible e impalpable, se esparce el sonido en torno del lugar en que se produce, en virtud de un movimiento que pasa sucesivamente de una parte del aire a otra, y que, como la propagación de tal movimiento se hace con igual rapidez por todas partes, debe de formar superficies esféricas que se van agrandando cada vez más y quedan en nuestros oídos. Ahora bien, no cabe duda de que la luz también viene del cuerpo luminoso a nuestros ojos, en virtud de algún movimiento comunicado a la materia que se halla entre éstos y aquel, puesto que, como ya lo dijimos, no puede ser mediante el traslado de un cuerpo que pase de allá a acá. Si, a mayor abundamiento, la luz necesita tiempo para ir de un punto a otro –cosa que vamos a examinar ahora-, síguese que ese movimiento suyo, comunicado a la materia que esta entre medio, es sucesivo; y que, por lo tanto, la luz se propaga, lo mismo que el sonido, mediante ondas y superficies esféricas; pues las llamo ondas, por la semejanza que tienen con las que vemos que se forman en el agua cuando en ella se arroja una piedra, las cuales se propagan sucesivamente en forma de círculos, aunque éstos tienen otra causa y sólo se dan en una superficie lisa.

Esto supuesto, para ver si la propagación de la luz requiere tiempo, consideremos primeramente si hay o no hechos de experiencia que puedan convencernos de lo contrario. Por lo que toca a los que pueden darse aquí en la tierra, encendiendo luces a gran distancia, aunque prueban que la luz no exige tiempo sensible para recorrer tal

distancia, se podría decir con razón que esa distancia es demasiado pequeña, y que la sola conclusión que de allí puede sacarse es que la velocidad de la luz es extremada. . . como unas cien mil veces mayor que la del sonido. Mas aquello de que he echado mano como de mera hipótesis se ha hecho recientemente, cosa muy plausible como verdad probada, merced a la ingeniosa prueba realizada por el señor [Olaus] Römer[(1644 – 1710), astrónomo danés], la cual voy a referir aquí, esperando que su autor nos brinde cuanto fuere menester para confirmarla. Fúndase. . en observaciones astronómicas, y no sólo demuestra que la luz requiere tiempo para ir de un sitio a otro, sino también hace ver seis veces mayor que aquella que acabo de mencionar.

Para ello se vale [Römer] de los eclipses de los planetas pequeños que giran en torno de Júpiter y que a menudo entran en la sombra de éste. La velocidad de la luz es más de seiscientos mil veces mayor que la del sonido. Y, no obstante, muy lejos anda esto de ser instantáneo, porque entre lo uno y lo otro media toda la diferencia que existe entre lo finito y lo infinito. Confirmado, pues, de esta suerte el movimiento de la luz, síguese, como lo tengo dicho, que la luz se propaga por ondas esféricas, como el movimiento del sonido.

Ahora bien, si examinamos lo que puede ser esta materia en que se propaga el movimiento del cuerpo luminoso, a la cual doy el nombre de materia etérea, veremos que no es la misma que sirve para la propagación del sonido.

Porque hallamos que ésta es la realidad de lo que sentimos y respiramos; quitado lo cual de un sitio, deja allí todavía otra clase de materia que sirve para transportar luz.

Puede probarse esto, golpeando un cuerpo sonoro dentro de un recipiente de cristal del cual se ha extraído el aire mediante la máquina que nos ha dado Boyle y mediante la cual ha llevado él tan hermosos experimentos. Pero al hacer lo que digo hay que tomar la precaución de colocar el cuerpo sonoro encima de algodón o de cuero, de suerte que no pueda comunicar sus vibraciones ni al vidrio que lo encierra ni a la máquina; precaución descuidada hasta lo presente. Pues, en tal caso, después de extraído todo el aire, no se oye sonido alguno del metal, por más que lo golpeen.

Por donde se ve no sólo nuestro aire, que no penetra a través del cristal, es la materia merced a la cual se propaga el sonido, sino también que no es el aire, sino otra materia, aquella en que se propaga la luz, puesto que, quitando el aire del recipiente, la luz no deja de atravesarlo como antes.

Y esto último se demuestra de modo más palmario aún mediante el famoso experimento de Torricelli, en el cual se ve cómo un tubo de vidrio que, al retirarse el mercurio que en él había, queda vacío de aire, sin embargo, sigue transmitiendo luz, lo mismo que cuando había aire en él. Porque esto prueba que en el tubo existe una materia distinta del aire, y que esta materia tiene que haber penetrado el vidrio o el mercurio, aún cuando ambos sean impenetrables para el aire. Y cuando, en el mismo experimento, se hace el vacío, después de poner un poco de agua encima del mercurio, llegamos igualmente al conocimiento de que dicha materia pasa a través del vidrio o del agua, o de entre ambos.

Empero, la extremada velocidad de la luz y otras propiedades que ésta posee no pueden admitir semejante propagación del movimiento, y aquí voy a explicar el modo

como pienso que esto acontece. Para ello es menester hablar de la propiedad que han de poseer los cuerpos duros para transmitirse el movimiento de uno a otro.

Si tomamos cierto número de esferas de igual tamaño, fabricadas de una sustancia muy dura, y las disponemos en línea recta, de modo que mutuamente se toquen, vemos cómo, golpeando con una esfera parecida la primera de las esferas dichas, el movimiento pasa en un momento hasta la última de ellas, la cual se aparta de la hilera sin que podamos percibir que las demás se han movido. Y hasta la misma que nos sirvió para dar el golpe se queda inmóvil junto con las demás. Por donde se ve cómo el movimiento pasa con extremada velocidad; la cual es tanto mayor cuanto mayor es la dureza de la sustancia de las esferas.

Pero con todo y con eso sigue siendo cierto que este avance del movimiento no es instantáneo, sino sucesivo y que, por lo tanto, requiere tiempo. Porque si el movimiento, o, si queréis, la disposición para el movimiento, no pase sucesivamente por todas las esferas, todas ellas cobrarían movimiento a la vez, y, por ende, juntas avanzarían; lo cual no acontece así. Porque la última se aleja de toda la hilera y adquiere la velocidad de la empujada. Además, hay experimentos que demuestran que todos los cuerpos que encontramos entre los más duros, como el acero templado, el vidrio y el ágata, actúan como resortes, no sólo cuando están alargados en forma de varilla, sino también cuando tienen figura esférica u otra. Porque he comprobado que al golpear con una pelota de vidrio o de ágata una superficie plana ligeramente empañada con el aliento o de otro modo cualquiera, quedan marcas redondas, de tamaño mayor o menor según que el golpe haya sido débil o fuerte. Esto prueba con evidencia que las tales sustancias se detienen allí donde se encuentran, y rebotan; y para esto se requiere tiempo.

Ahora bien, al aplicar esta especie de movimiento al que produce luz, nada nos impide pensar que las partículas de éter son de una sustancia tan cercana a la dureza perfecta y dotada de una elasticidad tan pronta como queramos. No hace falta examinar aquí las causas de esa elasticidad ni de esa dureza, lo cual nos alejaría demasiado de nuestro asunto.

Con todo, diré, de paso, que podemos figurarnos que las partículas del éter, no obstante su pequeñez, se componen a su vez de otras partes y que su elasticidad consiste en el movimiento rapidísimo de una materia sutil que las penetra por todos lados y obliga a su estructura a tomar una disposición tal, que de esa materia fluida la salida más abierta y expedita posible. . .

He demostrado, pues, de qué manera puede concebirse que la luz se propague sucesivamente en ondas esféricas, y cómo es posible que ésta propagación se haga a una velocidad tan grande como la que exigen los experimentos y las observaciones astronómicas. Y puede anotarse además que, aún suponiendo que las partículas estén en movimiento continuo (que para ello halla muchas razones), no puede estorbarse por eso la propagación sucesiva de las ondas, porque la propagación no consiste de ninguna manera en el traslado de las tales partículas, sino simplemente de una leve agitación que no pueden menos que comunicar a las que las rodean, pese a cualquier movimiento que actúe sobre ellas, haciéndolas cambiar su posición respectiva.

Del libro Autobiografía de la ciencia de Forest Ray Moulton y Justus J. Schifferes .

A.51. Contesta el autocuestionario siguiente relacionado con la lectura. Responde detalladamente, justificando ampliamente tus respuestas (entrégalo por escrito)

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
1. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto? ¿Cuáles son?
1. ¿Puedo repetir las ideas centrales del texto con mis propias palabras? Escríbelas.
1. ¿Son «razonables» las afirmaciones o resultados a los que se llega? ¿Por qué creo que lo son?
1. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él? ¿Cuáles son esas diferencias?
1. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado? Algunos términos, o ideas presentadas en el texto que no comprendo son:
1. ¿Puedo relacionar el contenido del texto con el de otras lecciones o unidades estudiadas anteriormente? ¿De qué forma?
1. ¿Se plantea explícitamente algún problema conceptual en el texto o es una mera exposición de información? ¿Qué problema se presenta?
1. ¿Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o teorías que se presentan?

A.52. A partir de la elaboración del resumen del texto, elabora un mapa conceptual de la lectura. Evaluación.

A.53. Contesta el siguiente cuestionario relacionado con la lectura.

1. ¿Qué es la luz según la opinión de Huygens? ¿Cuáles son sus argumentos?
1. ¿Cómo se produce la luz?
1. ¿Cómo asocia Huygens la luz con la producción del fuego?

1. ¿Cuál es el argumento de Huygens para hablar del movimiento y la luz?
1. ¿Cómo explica Huygens la visión? ¿Te parece razonable?
1. ¿Por qué Huygens se opone a suponer que la luz se comporta en su movimiento como un chorro de partículas?
1. ¿Cuáles son las características del sonido que se parecen al comportamiento de la luz?
1. ¿Qué tan rápido viaja la luz de acuerdo con la estimación de Huygens?
1. ¿Qué tan rápido viaja la luz de acuerdo con la medición de Römer usando el eclipse de las lunas de Júpiter?
1. ¿Cómo se propaga la luz según Huygens?
1. ¿En qué medio se propaga la luz? ¿Y el sonido?
1. ¿Qué experimento te permite probar la afirmación que hace Huygens sobre el hecho que la luz se propaga aún sin la existencia del aire.(ver anexo 11)
1. ¿Cómo usa el experimento de Torricelli para argumentar su propuesta de la existencia del éter (nombrada por él como materia etérea)?
1. Huygens llama al medio en que se propaga la luz materia etérea ¿qué propiedades tiene ese medio y cómo las explica usando un modelo mecánico?
1. Haz una lista que resuma las propiedades del éter que Huygens le asigna a este medio.

A.54. Usa tus palabras para contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué los rayos de luz que vienen de distancias lejanas no se cruzan o se interfieren entre sí?
2. ¿Consideras razonable la existencia del éter de acuerdo con la argumentación de Huygens? Justifica tu respuesta
3. ¿Qué otras observaciones conoces que te permitan decidir si la luz es un fenómeno ondulatorio parecido al sonido? Explica por qué lo consideras así.
4. Bajo el supuesto de que la luz es un fenómeno ondulatorio ¿Cómo se te ocurre que explicarías, usando el modelo del éter de Huygens, el que la luz se propaga en línea recta?

A.55. ¿Cómo explica Huygens a partir del modelo ondulatorio de la luz los fenómenos de reflexión y refracción?

Trabajo de investigación (evaluación):

A. 56. ¿Cómo se explica la refracción de la luz mediante el modelo de ondas?

a) Investiga en qué consiste el Principio de Huygens. Para apoyarte, revisa algún texto de Física o alguna página de Internet, en el que se presente alguna simulación de la reflexión y refracción de la luz partiendo del modelo de ondas.

b) Analiza algún texto de Física, en el que se demuestre la ley de reflexión o la de refracción usando el principio de Huygens. Trata de reproducir el razonamiento y justificar cada paso de la demostración.

Elabora un reporte escrito de tu investigación, debe ser breve y expresado con tus propias palabras, hasta donde te sea posible.

1.3.3 Comparación del modelo de Newton y Huygens.

A.57. Lee con detenimiento el siguiente texto y realiza las actividades que se indican a continuación (actividad de evaluación y de integración), se trata de discernir sobre si la luz es un fenómeno corpuscular u ondulatorio

Del libro “La evolución de la Física” de Einstein e Infeld

La Teoría Ondulatoria de la Luz.

...Fue Huygens, contemporáneo de Newton, quien emitió una teoría completamente nueva acerca de la luz. En su tratado sobre el asunto puede leerse:

“Si la luz emplea cierto tiempo para recorrer una determinada distancia, resulta que este movimiento, comunicado a la materia en la cual se propaga, es sucesivo y, por consiguiente, se difunde, como el sonido, por superficies esféricas y ondas. Y las llamo ondas por su semejanza con las que se forman sobre el agua cuando se arroja una piedra sobre su superficie; ondas que presentan un ensanchamiento sucesivo en forma de círculos, aún cuando la causa sea distinta de la de las ondas luminosas y estén éstas en una superficie plana.”

*Según la teoría de Huygens, la luz no es una sustancia, sino una transferencia de energía en forma de onda. Hemos visto que la teoría corpuscular explica muchos hechos observados en el campo de la óptica. ¿Puede hacer otro tanto la teoría ondulatoria? Plantaremos nuevamente los problemas que se han explicado mediante la teoría corpuscular, para tratar de ver si la teoría ondulatoria puede, a su vez, explicarlos satisfactoriamente. Haremos esto en forma de diálogo entre **N** y **H**. **N** cree en la teoría corpuscular de Newton y **H** en la ondulatoria de Huygens. A ninguno de ellos le es permitido usar argumentos desarrollados con posterioridad a los trabajos de los grandes sabios.*

***N.** - En la teoría corpuscular, la velocidad de la luz tiene un significado concreto. Es la velocidad con que se propagan los corpúsculos en el vacío. ¿Cuál es la interpretación de dicha velocidad en la teoría ondulatoria?*

150

H. - Significa, naturalmente, la velocidad de la onda luminosa. Toda onda conocida se propaga con una determinada velocidad y lo mismo ocurre con una onda luminosa.

N. - Esto no es tan simple como parece. Las ondas sonoras se propagan en el aire, las olas oceánicas en el agua. Toda onda requiere un medio material a través del cual se propague. Pero la luz atraviesa el vacío, en el cual el sonido no se propaga. Admitir una onda en el vacío es realmente no admitir onda alguna.

H. - Sí, esto es una dificultad, aunque no nueva para mí. Mi maestro pensó detenidamente este asunto y decidió que la única salida es admitir la existencia de una sustancia -el éter-, que es un medio transparente y ubicuo. El Universo está, por decirlo así, sumergido en el éter. Si nos decidimos por la introducción de este concepto, todo resultará claro y convincente.

N. - Pero yo objeto semejante suposición. En primer término, introduce una nueva sustancia hipotética, y ya tenemos demasiadas de esas sustancias en la Física. Hay además una segunda razón para oponerse a tal hipótesis. Es indudable que usted también cree que debemos explicar todos los fenómenos en términos mecánicos. Pero, ¿qué me dice del éter? ¿Puede contestar usted la sencilla cuestión de cómo está constituido de partículas elementales el éter y cómo se manifiesta en otros fenómenos?

H. - La primera objeción está ciertamente justificada. Pero por la introducción de esa materia artificial e imponderable -el éter- nos libramos en el acto de lo mucho más artificiales corpúsculos luminosos. Tenemos aquí sólo una sustancia "misteriosa" en lugar de un número infinito de ellas, correspondientes a otros tantos colores del espectro. ¿No piensa usted que esto constituye un progreso real? Por lo menos todas las dificultades se concentran en un solo punto. No necesitamos ya la suposición artificiosa de que las partículas correspondientes a los distintos colores se propagan todas con una misma velocidad en el vacío. Su segundo argumento también es correcto. No podemos dar una interpretación mecánica del éter. Pero no hay duda de que investigaciones futuras de la óptica, y tal vez de otros fenómenos, revelarán su estructura. Por el momento tenemos que esperar nuevos experimentos y conclusiones. Pero tengo la esperanza de que finalmente seamos capaces de esclarecer el problema de la estructura mecánica del éter.

N. - Dejemos este asunto para otro momento, ya que no podemos resolverlo ahora. Me gustaría saber cómo explica su teoría, dejando de lado las anteriores dificultades, los fenómenos que nos aparecen claros e inteligibles a la luz de la teoría corpuscular. Tomemos, por ejemplo, el hecho de la propagación rectilínea de los rayos luminosos en el vacío. Un trozo de papel colocado enfrente de una lámpara produce sobre la pared una sombra bien delimitada. No sería posible la formación de sombras nítidas si la teoría ondulatoria fuera correcta, porque las ondas bordearían los extremos de la pantalla y aquéllas aparecerían esfumadas. Una pequeña embarcación, como usted sabe, no es un obstáculo insalvable para las olas del mar, ya que la rodean y continúan del otro lado de ella.

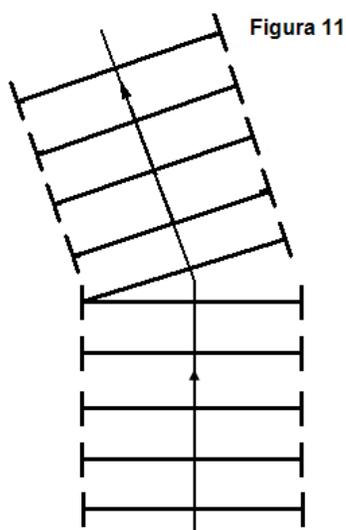
H. - Esto no es un argumento decisivo en contra. Supongamos que ondas cortas de un río incidan sobre el costado de un barco muy grande; se observa que no pasan al otro lado de él. Si las ondas son bastante pequeñas y el buque bastante grande, se puede decir que también en este caso se producen sombras nítidas. Es muy probable que la luz parezca propagarse en línea recta, únicamente porque su longitud de onda es muy

pequeña en comparación con el tamaño de los obstáculos comunes y de las aberturas usadas en los experimentos. Pero si nos fuera posible idear obstáculos bastante pequeños, es probable que no se produjeran sombras nítidas. Comprendemos que la construcción de tales aparatos que prueben que la luz tiene la propiedad de doblarse pueda, experimentalmente, ser muy difícil. Sin embargo, si se pudiera realizar, ello constituiría un experimento crucial para decidir entre la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular de la luz.

N. - La teoría ondulatoria puede conducir al descubrimiento de nuevos hechos en el futuro, pero no conozco ningún dato experimental que la confirme convincentemente. Mientras no se pruebe experimentalmente que la luz puede contornear un obstáculo, no veo ninguna razón para no creer en la teoría corpuscular, que me parece más simple y, por lo tanto, mejor que la teoría ondulatoria.

A esta altura podemos interrumpir el diálogo, aún cuando el asunto no esté agotado.

Nos resta mostrar qué explicación da, de la refracción de la luz y de la gran variedad de colores la teoría ondulatoria; hechos que, como sabemos, explica la teoría corpuscular. Empezaremos con la refracción; pero nos será útil considerar primeramente un ejemplo que nada tiene que ver con la óptica.



Supongamos que dos personas estén caminando por un gran espacio abierto, sosteniendo entre ambas una barra rígida. Al principio caminan en línea recta y con la misma velocidad. Mientras sus velocidades sean iguales, pequeñas o grandes, la barra experimentará desplazamientos paralelos a su posición original, esto es, sin girar ni cambiar de dirección. Todas las posiciones consecutivas de la barra son paralelas entre sí. Ahora, imaginemos que por un momento, que puede ser hasta de una fracción de segundo, las velocidades de ambos hombres no sean las mismas. ¿Qué sucederá? Es evidente que durante este momento la barra girará. Cuando las velocidades se igualen nuevamente, el movimiento se efectuará según una dirección distinta de la primitiva, como se ve, claramente, en la **figura 11**. El cambio de dirección tuvo lugar en el intervalo de tiempo en que las velocidades de los dos caminantes fueron diferentes.

Este ejemplo nos permitirá entender la refracción de una onda. Supongamos que una onda

plana que se propaga en el vacío incide sobre una superficie plana de vidrio. En la **figura 12** hemos representado una onda que presenta, en su avance, un frente relativamente ancho. El frente de onda es un plano sobre el cual, en cualquier instante, todas las partículas del éter se comportan de una misma manera. Como la velocidad depende del medio por el cual viaja la luz, tendrá en el vidrio un valor distinto del que tiene en el vacío. Durante el pequeño intervalo en que el frente de onda penetra en el vidrio, las diferentes partes de dicho frente tendrán diferentes velocidades.

Es claro que la parte del frente de la onda incidente que ha alcanzado la superficie del vidrio cambiará su velocidad primitiva por la que tiene la luz en el vidrio, mientras el resto seguirá moviéndose con la velocidad de la luz en el vacío. A causa de esta variación de la velocidad a lo largo del frente de onda durante el tiempo de su penetración en el vidrio, la dirección de ésta debe cambiar.

Así vemos que la teoría corpuscular no es la única capaz de explicar el fenómeno de la refracción de la luz, también lo es la teoría ondulatoria. Consideraciones ulteriores, empleando un poco de matemáticas, prueban que la explicación de la teoría ondulatoria es más sencilla y mejor, y que las consecuencias de la interpretación ondulatoria están en perfecto acuerdo con la observación. Dichas consideraciones matemáticas o métodos cuantitativos de razonamiento nos permiten, por ejemplo, deducir la velocidad de la luz en un medio refringente, conociendo cómo se refracta un haz luminoso al atravesarlo. Mediciones directas confirman espléndidamente esas deducciones y, en consecuencia, la teoría ondulatoria de la luz.

Queda aún el problema del color.

Recordemos que un movimiento ondulatorio se caracteriza por dos números, el de su velocidad y el de su longitud de onda. Para resolver el problema del color, la teoría ondulatoria postula que a diferentes colores corresponden diferentes longitudes de onda. De acuerdo con esto, la longitud de onda de la luz amarilla será distinta de la longitud de onda de la luz roja o violeta. En lugar de la segregación artificial de los corpúsculos pertenecientes a los distintos colores, tenemos la diferencia natural de longitud de onda. Resulta, pues, que los experimentos de Newton sobre la dispersión de la luz pueden describirse en dos lenguajes distintos: la descripción corpuscular y la descripción ondulatoria. Por ejemplo:

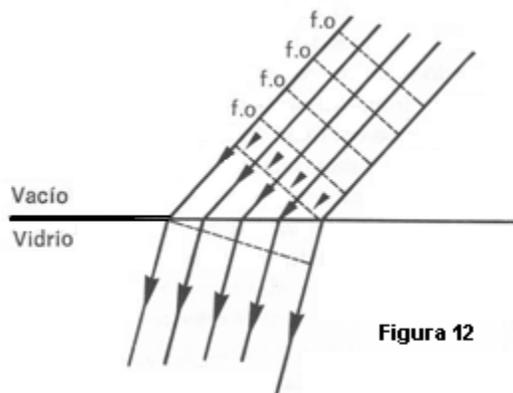


Figura 12

<i>Lenguaje corpuscular</i>	<i>Lenguaje ondulatorio</i>
<i>Los corpúsculos pertenecientes a los distintos colores tienen la misma velocidad en el vacío, pero velocidades distintas en el vidrio.</i>	<i>La luz blanca es una mezcla de corpúsculos de los distintos colores, mientras que en el espectro están separados.</i>
<i>Los rayos de distintas longitudes de ondas, pertenecientes a los distintos colores, tienen una misma velocidad en el éter (o en el vacío). Pero son diferentes en el vidrio.</i>	<i>La luz blanca es una superposición de ondas de distintas longitudes, mientras que en el espectro están separadas.</i>

*Parecería prudente evitar la ambigüedad resultante de la existencia de dos teorías para un mismo fenómeno, decidiéndose en favor de una o de la otra, después de una cuidadosa consideración de los méritos y defectos de cada una. El diálogo entre **N** y **H** muestra que ello no es tan fácil. La decisión, a la altura de los conocimientos de **N** y **H**, sería más bien cuestión de gusto que fruto de una convicción científica. En la época de Newton -e incluso más de cien años después- muchos físicos se inclinaron por la teoría corpuscular. Sólo a mitad del siglo XIX la historia dio su veredicto en favor de la teoría ondulatoria de la luz. En su conversación con **H**, **N** expresa que en principio existe la posibilidad de una decisión experimental entre las dos teorías. La teoría corpuscular implica la existencia de sombras nítidas y no admite, pues, que la luz pueda bordear un obstáculo o cuerpo opaco. Por otro lado, según la teoría ondulatoria, un objeto suficientemente pequeño no producirá sombra alguna. Los trabajos de Young y Fresnel demostraron experimentalmente esto último, extrayendo, además, nuevas consecuencias teóricas para la teoría de la luz.*

Cuestionario

1. ¿Qué significa que una onda es un transporte de energía y no de sustancia?

1. ¿Por qué, como dice **N**, imaginar una onda en un espacio vacío es, en realidad, como no imaginar ninguna?

1. ¿Cómo se pueden explicar los fenómenos de reflexión y refracción de la luz mediante la suposición que la luz es una onda.

1. El éter es una sustancia hipotética. ¿Conoces algunas otras sustancias hipotéticas, que se han propuesto a lo largo de la historia de la ciencia? Enuméralas y comenta para qué se utilizaban.

1.3.4 Triunfo del modelo ondulatorio de la luz: Difracción de la luz y experimento de la doble rendija de Young.

¿Qué experimentos pueden ser determinantes para decidir sobre la naturaleza ondulatoria de la luz?, ¿cuáles son los resultados?

A.58. Considera el siguiente experimento: Se tiene una rendija pequeña en forma rectangular y frente y cerca de ella se coloca una fuente de luz de un solo color. ¿Qué deberá observarse si se coloca una pantalla del otro lado de la rendija a una distancia no muy lejana de ella? Considera el supuesto que:

a) La luz se comporta como un chorro de partículas.

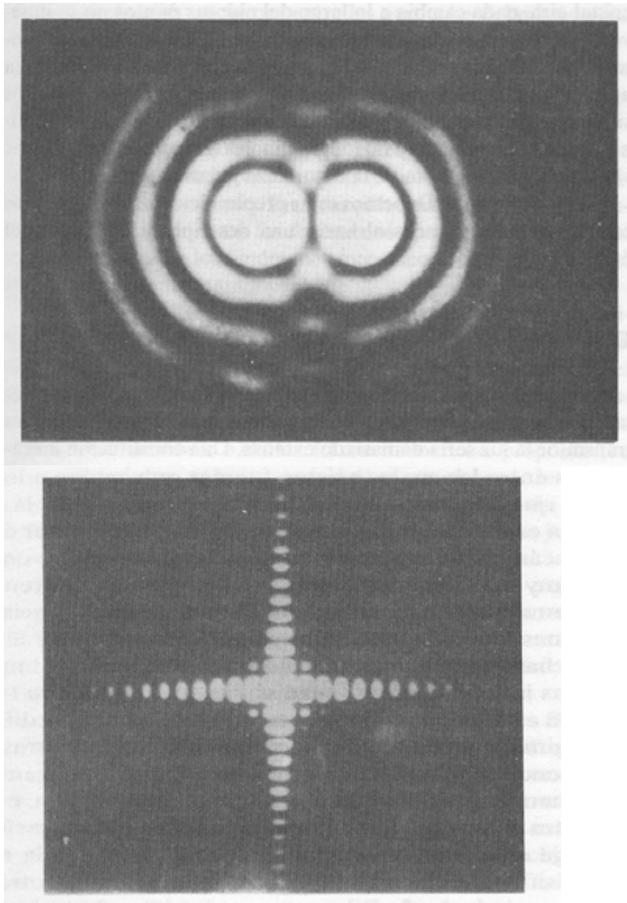
b) La luz se comporta como un fenómeno ondulatorio.

A.59. Lee cuidadosamente el siguiente texto

La Teoría Ondulatoria de la Luz: Continuación.

Ya referimos el sencillo experimento en que una pantalla con un pequeño orificio se colocaba delante de una fuente puntiforme de luz y aparecía una sombra en la pared.

Simplifiquemos nuestro experimento, suponiendo que la fuente emita luz homogénea. Imaginemos que el orificio de la pantalla se reduce gradualmente de tamaño. Si se usa una fuente intensa y se puede llegar a obtener un orificio suficientemente pequeño, se produce un fenómeno nuevo y sorprendente, algo completamente incomprensible desde el punto de vista de la teoría corpuscular: desaparece la distinción nítida entre la zona que correspondería -aparentemente- a la sombra y a la zona iluminada. La luz se esfuma gradualmente hacia el fondo sombreado en una serie alternada de anillos luminosos y oscuros. La aparición de tales anillos es muy característica de la teoría ondulatoria. La explicación del curioso fenómeno que nos ocupa se hará evidente, adoptando una disposición experimental algo distinta. Supongamos una hoja de papel negro con dos orificios hechos con la punta de un alfiler, a través de los cuales puede pasar la luz. Si los orificios están próximos entre sí si la luz es homogénea y de suficiente intensidad, aparecerán muchas bandas luminosas y oscuras sobre la pared que se halle detrás de la pantalla -bandas luminosas que disminuyen de intensidad a medida que se alejan del centro de la zona iluminada- internándose en la zona oscura.



Figuras 13-14. Los fenómenos de difracción, de los que las dos fotografías son un ejemplo, permiten ver con claridad la naturaleza ondulatoria de la luz.

La explicación es sencilla. Se forma una franja oscura en el lugar donde se encuentra la cresta de la onda procedente de uno de los orificios con el valle de la onda luminosa procedente del otro orificio, de manera tal que se anulan recíprocamente. Las bandas luminosas se forman, en cambio, en los lugares donde se encuentran dos valles o dos crestas de ambas ondas reforzándose en esta forma sus efectos. La explicación se complica algo en el caso de los anillos claros y oscuros del ejemplo anterior en que usamos una pantalla con un solo orificio; pero el principio es el mismo. La aparición de franjas y de anillos claros y oscuros alternados en los casos de dos orificios o un orificio iluminado, respectivamente, conviene retenerla en la memoria; más adelante volveremos sobre esto.

Las experiencias descritas aquí constituyen el fenómeno de la difracción de la luz, o sea la desviación de la propagación rectilínea que efectúa la luz, cuando encuentra en su camino orificios u obstáculos suficientemente pequeños.

Con la ayuda de un poco de matemáticas, podemos llegar mucho más lejos. Es posible, así, calcular el valor que debe tener la longitud de onda de cierto color de luz, para que produzca determinada imagen de difracción. Por lo que antecede, vemos que los experimentos descritos nos permiten determinar la longitud de onda de los distintos colores que emite la fuente usada. Para tener una idea de la pequeñez de estos valores, damos a continuación las longitudes de onda que corresponden a los extremos del espectro solar, esto es, el rojo y el violeta.

La longitud de onda de la luz roja es de 0,00006 centímetros. La longitud de onda de la luz violeta es de 0,00004 centímetros. No debemos asombrarnos de la pequeñez de estos números. En efecto, el fenómeno de la formación de las sombras nítidas, o sea el

155

fenómeno de la propagación rectilínea de la luz, se observa en la naturaleza únicamente porque las aberturas y obstáculos comunes son muy grandes comparados con las longitudes de onda de la luz. Únicamente cuando se usan obstáculos u orificios muy pequeños es cuando se revela su naturaleza ondulatoria.

Pero la historia de la búsqueda de una teoría que explique la naturaleza de la luz no acaba aquí. El gran triunfo del siglo XIX, su veredicto favorable a la teoría ondulatoria, no fue la última palabra en esta importante cuestión. Para el físico actual el problema de optar entre corpúsculos y ondas se ha planteado nuevamente, esta vez de una manera mucho más profundo e intrincado. Aceptemos la derrota de la teoría corpuscular de la luz hasta el momento en que se nos revele el carácter problemático del triunfo de la teoría ondulatoria.

Responder las preguntas que siguen.

1. Indica cómo se podría constatar si la luz se difracta o no.
2. Qué papel tiene la longitud de onda en la difracción de la luz.
3. Describe algún experimento, si lo conoces, donde se pueda observar la difracción de la luz.
4. Argumenta qué se vería en la pantalla cuando se hace pasar luz a través de un orificio, si la luz estuviese constituida por partículas.
5. ¿Cuáles son las dificultades que presenta postular la existencia de una sustancia como el “éter” para explicar el fenómeno luminoso como un fenómeno ondulatorio?
6. ¿Qué diferencias existen entre las ondas y las partículas?

A.60. A partir de la revisión de tus notas de clase desarrolla los siguientes puntos.

1. Expón cuáles son las ideas más importantes del modelo corpuscular de Newton e indica qué fenómenos puede explicar y algunos que tú creas no pueda explicar.
2. Expón cuáles son las ideas más importantes del modelo ondulatorio de Huygens e indica qué fenómenos puede explicar y algunos que tú creas no pueda explicar.

A.61. Síntesis del profesor de la explicación de la luz desde la perspectiva de Huygens, discusión del concepto de modelo.

A.62. A partir de la lectura de Infeld elabora un cuadro de recuperación de información en el que se comparen las dos teorías

A.63. Evaluación sumativa:

Elaboración de un mapa conceptual que represente el modelo de la luz de Huygens.

A.64. Demostración del profesor mediante el uso de un apuntador láser del fenómeno de interferencia y difracción de la luz. (Ver anexo 11)

A.65. Después de ver la demostración sobre la difracción y la interferencia de la luz, diseña un experimento, auxiliado por tu profesor, para medir la longitud de onda de la luz roja de un apuntador láser a partir de un patrón de interferencia.

Opcional

A.66. Después de leer el siguiente texto contesta la pregunta que aparece al final del mismo.

¿SON LONGITUDINALES O TRANSVERSALES LAS ONDAS LUMINOSAS?

Todos los fenómenos ópticos que hemos considerado hablan a favor de la teoría ondulatoria. La propiedad de la luz de bordear pequeños obstáculos, y la explicación de la refracción, son los argumentos más sólidos a su favor. Guiados por el punto de vista mecánico, nos damos cuenta de que falta aún resolver un problema: la determinación de las propiedades mecánicas del éter. Para resolver este problema resulta esencial saber si las ondas luminosas en el éter son longitudinales o transversales. En otras palabras: ¿se propaga la luz como el sonido? Es decir: ¿se debe la onda luminosa a cambios de densidad del medio, de manera que las oscilaciones de las partículas se producen en la dirección de la propagación de la onda? ¿O es que el éter se parece a una gelatina elástica-medio en el cual sólo ondas transversales pueden producirse y cuyas partículas se mueven perpendicularmente a la dirección en que se propaga la onda?

Antes de dar una solución a este problema, veamos cuál de los dos casos preferiríamos fuese el verdadero.

Sería una suerte, evidentemente, que las ondas luminosas fueran longitudinales. Las dificultades para imaginar un éter mecánico serían menores en este caso. Nuestra imagen del éter podría ser probablemente algo parecida a la imagen mecánica de un gas que permite la explicación de la propagación de las ondas sonoras. En cambio, las dificultades aumentarían al tratar de idear un éter que propague ondas transversales. No es cosa sencilla imaginar un medio constituido por partículas, parecido a una gelatina, para que sea capaz de transmitir ondas transversales. Huygens era de opinión que el éter tendría una estructura parecida a la del aire y no a la de una gelatina. Pero la naturaleza se preocupa muy poco de nuestras limitaciones. ¿Fue benigna la naturaleza con los físicos que intentaban interpretar todos los hechos desde el punto de vista mecánico? A fin de responder a esta pregunta, debemos referir y discutir algunos experimentos nuevos.

Consideremos en detalle sólo uno de los muchos experimentos capaces de darnos una respuesta. Supongamos una fina placa de cristal llamada turmalina, cortada de una manera particular que no hace falta considerar aquí. La placa de cristal tiene que ser fina, para que pueda verse a través de ella una fuente luminosa. Supongamos ahora que un observador toma dos de estas turmalinas y las coloca entre nuestros ojos y la fuente luminosa. ¿Qué verá? Seguirá viendo la fuente luminosa si las placas son, como dijimos, suficientemente finas. Hay mucha probabilidad de que la experiencia confirme esta predicción.

Sin entrar a discutir si esto es o no muy probable, supongamos que la luz se ve, realmente, a través de los dos cristales. A continuación cambiemos gradualmente la posición de uno de los dos cristales haciéndolo girar. Esto último tiene sentido si se fija el eje alrededor del cual se verifica la rotación. Tomaremos como tal la línea determinada por el rayo incidente (v. fig. 15). Quiere decir que desplazamos todos los puntos del cristal en cuestión, excepto los puntos del eje. En tal caso se da un fenómeno curioso: la luz se hace más y más débil hasta desaparecer totalmente. Reaparece si continúa la rotación, y vuelve a su intensidad primitiva cuando el cristal vuelve, también, su posición inicial.

Sin entrar en los detalles de éste y otros experimentos similares, podemos plantearnos la siguiente proposición: ¿podrían estos fenómenos explicarse si las ondas luminosas fueran longitudinales? En el caso de ondas longitudinales, las partículas del éter se moverían a lo largo del eje que coincide con el rayo incidente. Si el cristal gira, nada cambia a lo largo del eje: sus puntos no se mueven y sólo en su proximidad se producen pequeños desplazamientos. No podría ocurrir un cambio tan radical como el descrito de la aparición y desaparición de la luz. Éste y muchos otros fenómenos similares sólo pueden explicarse admitiendo que las ondas luminosas son transversales y no longitudinales. En otras palabras, nos vemos obligados a admitir la naturaleza gelatinosa del éter.

¡Esto es terrible! Debemos estar preparados para enfrentarnos con dificultades grandes al hacer una descripción mecánica del éter.

¿Qué argumentos existen para afirmar que las ondas luminosas son ondas transversales? Justifica tu respuesta.

1.3 La luz es una onda electromagnética.

1.3.1 El electromagnetismo y la luz

A. 67. Contesta con ayuda de tu profesor las siguientes preguntas.

1. ¿Se puede generar magnetismo a partir de corriente eléctrica?

1. ¿Se puede generar corriente eléctrica a partir del magnetismo?

1. ¿Qué relación existe entre la electricidad y el magnetismo?

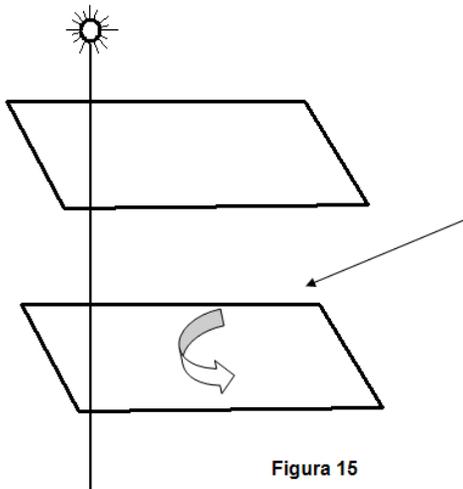


Figura 15

1. ¿En qué consiste la inducción electromagnética?

1. ¿En qué consiste la inducción magnetoeléctrica?

1. ¿Qué sabes de las ondas electromagnéticas?

A.68. Breve exposición del profesor de la teoría electromagnética de Maxwell.

1.3.2 Ondas electromagnéticas y la luz: La luz como onda electromagnética

1.3.3 Espectro electromagnético y sus características

¿Qué son las ondas electromagnéticas? ¿Qué relación existe entre ellas y la luz?

¿Cuáles son algunas de las aplicaciones del conocimiento de los diferentes rangos del espectro electromagnético?

¿Cómo se generan las ondas electromagnéticas y qué caracteriza el espectro electromagnético?

A.69. Lee el siguiente texto y contesta el autocuestionario que se presenta al final de la lectura.

LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Tomada del libro: " Para atrapar un fotón" de Virgilio Beltrán

Muchos fenómenos ópticos, como la difracción y la interferencia, pueden explicarse simplemente con la hipótesis ondulatoria de la luz sin necesidad de precisar la propiedad del medio que es perturbada y se propaga en ondas. La óptica ondulatoria sobrevivió y se desarrolló por casi 200 años, durante los cuales muchos problemas ópticos fueron resueltos y muchos instrumentos ópticos fueron desarrollados sin conocer la naturaleza de las ondas; sólo se necesitaba saber que eran ondas. Tampoco fue necesario en muchos casos precisar la naturaleza del medio en que se propagan las ondas luminosas; bastaba con suponer que existía uno capaz de propagarlas. Este medio fue llamado "éter". Sin embargo, para entender la naturaleza de la luz se hacía necesario conocer las propiedades del medio y determinar la que es perturbada y se propaga ondulatoriamente. Basándose en los valores ya conocidos de la velocidad, de la longitud de onda y de la frecuencia de la luz se determinó que el supuesto éter debía tener características muy especiales que lo hacían diferente a cualquier otro medio conocido, como el aire o el agua. Por ejemplo, como se pensaba en las ondas luminosas en analogía con las acústicas, el éter sería un medio análogo al aire, pero como la frecuencia de las ondas luminosas es miles de millones de veces superior a la de las ondas acústicas, el éter debía ser miles de veces más elástico que el aire, con propiedades parecidas al acero, para poder vibrar tan rápidamente. También debía de ser transparente para dejar pasar la luz, e infinitamente tenue para permitir la circulación indefinida de los cuerpos celestes. Todos los intentos realizados por muchos años para demostrar la existencia del éter fueron inútiles. No sorprende ahora, después de todo, que un medio tan extraordinario no haya sido jamás encontrado.

Mientras la óptica se desarrollaba hasta alcanzar la teoría ondulatoria y se atoraba con las ideas del éter, otras partes de la ciencia también crecieron. En particular, la ciencia de la electricidad y la del magnetismo se habían desarrollado independientemente, desde los fenómenos elementales descubiertos hace siglos por los griegos, frotando con piel objetos de ámbar para producir cargas eléctricas y moviendo objetos de hierro sin tocarlos, con trocitos de un extraño mineral —magnetita— traído de la región de Magnesia en el Asia Central, hasta los experimentos del físico danés Hans Christian Oersted en 1820 y del físico inglés Michael Faraday en 1839, que demostraban una fuerte relación entre la electricidad y el magnetismo. Estos experimentos probaron que las cargas eléctricas que se generan al frotar dos cuerpos y que atraen o rechazan a otras cargas generadas de la misma manera también pueden atraer o rechazar cuerpos magnetizados, como una brújula, **aunque sólo si están en movimiento**. Es decir, que las cargas eléctricas, además de las fuerzas eléctricas que atraen o rechazan a otras cargas eléctricas, si se ponen en movimiento producen también a su alrededor fuerzas magnéticas que mueven cuerpos magnetizados como brújulas e imanes. Este descubrimiento, por lo pronto, dio origen a uno de los inventos más importantes de la civilización moderna —el motor eléctrico—, que consiste esencialmente en un dispositivo para hacer circular cargas eléctricas por un conductor de electricidad y de un cuerpo magnetizado que es puesto en movimiento por las fuerzas magnéticas generadas por esas cargas móviles. El mismo descubrimiento, insospechadamente, también liberó a la óptica de su inútil búsqueda del éter.

La fuerza magnética producida por cargas eléctricas en movimiento aparece alrededor de las cargas, en donde antes no había ninguna fuerza magnética, al empezar éstas a moverse. Es una propiedad del medio, que cambia si las cargas eléctricas se mueven. La magnitud de la fuerza magnética cambia desde el valor cero, cuando las cargas están en reposo, hasta valores distintos de cero, que alcanza cuando las cargas se mueven, y que dependen de la velocidad de las cargas. En otras palabras, las cargas en movimiento perturban el medio en una forma parecida a la manera en que la presión y la densidad del aire son perturbadas por la vibración de una campana. Se puede pensar, entonces, que la fuerza magnética producida por el movimiento de **cargas eléctricas se propaga alrededor de las cargas en forma análoga a como se propagan en el aire los cambios de presión que constituyen el sonido; es decir, por ondas**. Si las cargas vibran cambiando la dirección de su movimiento continuamente, la fuerza magnética que producen también cambia de valor y de dirección continuamente, produciendo a su alrededor zonas de fuerza magnética con distintos valores y direcciones opuestas. Así pues, se puede hablar de ondas de fuerza magnética producidas por cargas en movimiento de la misma forma en que se habla de ondas acústicas de presión, producidas por objetos en vibración como campanas o bocinas. Estas ondas se llaman ondas electromagnéticas porque junto con la fuerza magnética se propaga también la fuerza eléctrica producida por las cargas.

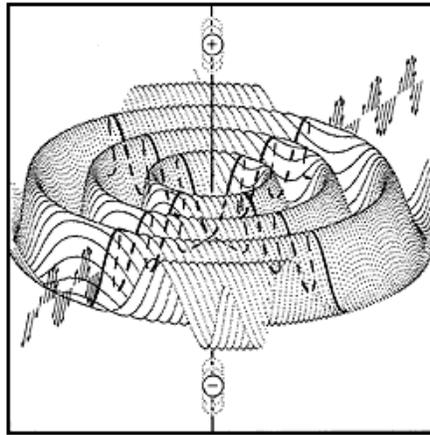


Figura 16. Las cargas eléctricas en movimiento producen fuerzas eléctricas y magnéticas que se propagan a su alrededor a la velocidad de la luz. La propagación de estas fuerzas se llama onda electromagnética. A ciertas frecuencias estas ondas se perciben como luz.

Las fuerzas eléctricas y magnéticas producidas en cierto lugar por cargas en movimiento no aparecen instantáneamente en ese lugar al iniciarse el movimiento de las cargas, sino que toman un cierto tiempo. La velocidad de propagación de la fuerza magnética es igual a la distancia entre las cargas y el lugar, dividida entre el tiempo que tarda en aparecer la fuerza magnética desde que las cargas inician su movimiento. Desde luego, ésta es también la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. El físico escocés James Clerk Maxwell encontró en 1865 la forma de calcular esta velocidad y obtuvo un valor aproximado a 300 000 km/s. ¡El mismo valor de la velocidad de la luz! Esto no podía ser sólo una simple coincidencia, y llevó a Maxwell a declarar que tenía "fuertes razones para concluir que la luz es una perturbación electromagnética en forma de ondas...". Parecía por fin que se habían encontrado la perturbación ondulatoria que constituye la luz, y las ideas acerca del éter fueron sepultadas para siempre.

LAS FUENTES DE LUZ

Las ideas de Maxwell produjeron otro resultado de enorme importancia: explicaron cómo se produce la luz. Ésta se produce moviendo cargas eléctricas. La onda electromagnética más sencilla se produce haciendo oscilar el sistema de cargas más sencillo. Este sistema, llamado dipolo eléctrico, está formado por dos cargas eléctricas iguales y de signos opuestos; esto es, por una carga positiva y otra igual pero negativa. Es el sistema más sencillo porque nuestro universo es eléctricamente neutro y al producirse una carga eléctrica de un signo siempre se produce una carga igual del signo opuesto. La **figura 16** muestra, en cierto momento, las fuerzas eléctricas que se producen alrededor de un dipolo eléctrico oscilante. Estas fuerzas oscilan en cada punto a la misma frecuencia con la que oscila el dipolo. Si uniéramos por una superficie los extremos de todas las fuerzas eléctricas, las veríamos ondular alejándose del dipolo, como las ondas circulares generadas al perturbar la superficie del agua tranquila.

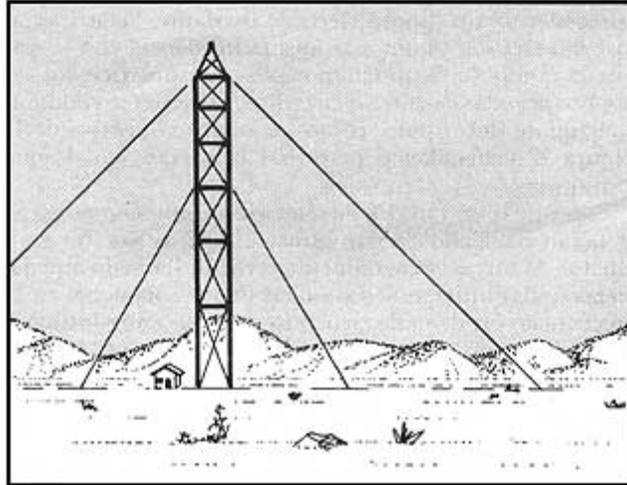


Figura 17. La longitud de las ondas de radio es de cientos de metros y se producen en sistemas de cargas eléctricas en movimiento, llamados antenas, que tienen dimensiones comparables; de unos 100 a 200 m.

Las ondas de radio y de televisión son como éstas. Se generan haciendo oscilar cargas eléctricas por un conductor de cargas, generalmente vertical, llamado antena. Estas ondas difieren de las ondas de luz solamente en la frecuencia; las de radio tienen frecuencias entre millones y miles de millones de hertzios (megahertzios, MHz, a gigahertzios, GHz), y las de luz tiene frecuencias de decenas de billones de hertzios (tera hertzios, THz). Las ondas electromagnéticas de radio fueron producidas artificialmente por primera vez en 1887 por el físico alemán Heinrich Hertz, quien además midió su velocidad de propagación y comprobó que es igual a la de la luz; tal y como había predicho Maxwell.

Las ondas producidas por un cuerpo luminoso, responsables de los fenómenos de difracción y de interferencia, se producen por el movimiento de las partículas con carga eléctrica con que están contruidos los átomos y las moléculas del cuerpo. Debido a que estos movimientos ocurren en todas direcciones y no sólo en una, como sucede en una antena vertical, la onda electromagnética producida por cada punto luminoso es esférica y se propaga en todas direcciones. La perturbación que se propaga está formada por las fuerzas eléctrica y magnética producidas por las cargas en movimiento y no requiere de un medio material para propagarse, ya que puede hacerlo en el espacio vacío. Es difícil representar estas ondas por un dibujo sobre un papel porque las fuerzas eléctrica y magnética son perpendiculares entre sí y perpendiculares, a su vez, a la dirección de propagación de la onda. La **figura 18** muestra cómo se verían, en cierto instante, las fuerzas magnéticas de una onda esférica alrededor de las cargas que las producen. La fuerza en cada punto oscila continuamente de manera que las esferas que pasan, por ejemplo, por los máximos de las fuerzas, se alejan de su centro a la velocidad de propagación de la luz. Excepto porque las fuerzas son perpendiculares a la dirección de propagación, Huygens postuló correctamente la existencia de estas ondas para explicar los fenómenos de refracción de la luz, y Young para explicar los de interferencia y de difracción.

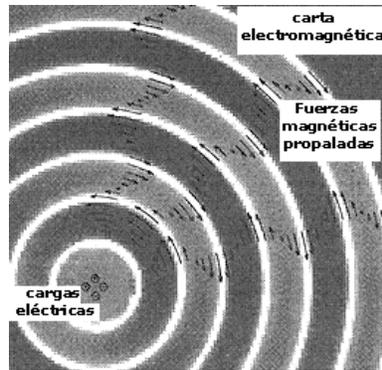


Figura 18. Las fuerzas magnéticas en una onda electromagnética esférica. Las fuerzas avanzan a la velocidad de la luz ocupando esferas cada vez mayores.

Todas las ondas electromagnéticas se generan por sistemas de cargas eléctricas en movimiento. En general, la longitud de la onda producida es comparable a las dimensiones del sistema de cargas; por ejemplo, las ondas de radio tienen longitudes de onda de más o menos 300 m y las antenas de transmisión de radio son también de unos 100 o 200 metros de longitud. La longitud de las ondas electromagnéticas, llamadas comúnmente "microondas", es de unos 12 cm. Las ondas se producen en instrumentos electrónicos, llamados "magnetrones", con esas dimensiones aproximadas. Las ondas electromagnéticas que llamamos luz tienen una longitud de unos 0.0005 mm, lo que indica que se generan en sistemas microscópicos de cargas eléctricas de dimensiones comparables. Estos sistemas tienen un diámetro aproximado de 0.00001 mm y se llaman átomos, o moléculas. Toda la materia está compuesta por átomos o moléculas de distintas especies; todos están compuestos por cargas eléctricas y, por lo tanto, todos son susceptibles de producir ondas electromagnéticas. Además de ondas de luz, estos sistemas pueden producir ondas de mayor longitud, llamadas radiación infrarroja, y ondas de menor longitud llamadas radiación ultravioleta y rayos X, que no pueden ser percibidas directamente por el ojo. En el interior de los átomos y de las moléculas existen además sistemas de cargas eléctricas mucho más pequeños, unas cien mil veces más pequeños, los llamados núcleos atómicos que son susceptibles de producir radiación electromagnética de mucho menor longitud que la de la radiación ultravioleta o que la de los rayos X. Estas ondas electromagnéticas se llaman rayos gamma y tampoco pueden ser percibidos por la vista. Al conjunto de los distintos tipos de ondas electromagnéticas se le llama espectro electromagnético. La figura 19 muestra sus longitudes de onda, sus frecuencias y las dimensiones de los sistemas de cargas eléctricas que las producen.

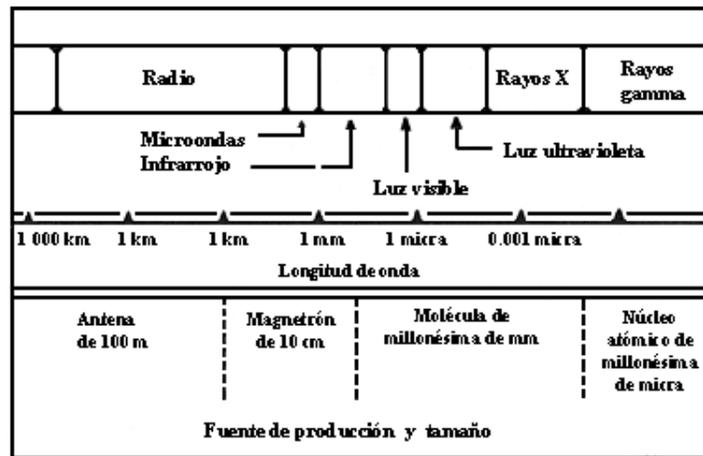


Figura 19 El espectro de las ondas electromagnéticas y las dimensiones de los sistemas de cargas

A.70. Responde detalladamente las siguientes preguntas, justificando ampliamente tus respuestas

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
 1. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto? ¿Cuáles son?
 1. ¿Puedo repetir las ideas centrales del texto con mis propias palabras? Escríbelas.
 1. ¿Son «razonables» las afirmaciones o resultados a los que se llega? ¿Por qué creo que lo son?
 1. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él? ¿Cuáles son esas diferencias?
 1. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado? Algunos términos, o ideas presentadas en el texto que no comprendo son:
1. ¿Puedo relacionar el contenido del texto con el de otras lecciones o unidades estudiadas anteriormente? ¿De qué forma?
 1. ¿Se plantea explícitamente algún problema conceptual en el texto o es una mera exposición de información? ¿Qué problema se presenta?
 1. ¿Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o teorías que se presentan?

A.71. Investiga algunas de las aplicaciones del conocimiento de los diferentes rangos en los que se divide el espectro electromagnético.

A.72. Realiza con tu profesor la demostración sobre ondas electromagnéticas (ver

anexo 11): Ondas de televisión.

A.73. A fin de revisar los conceptos relacionados con las ondas electromagnéticas y la luz contesta el siguiente cuestionario. Discute las respuestas con el grupo con ayuda de tu profesor.

Cuestionario de revisión del tema de ondas electromagnéticas

1. ¿Qué relación existe entre la luz y las ondas electromagnéticas?
 1. ¿Cómo se genera una onda electromagnética?
 1. ¿Qué es el espectro electromagnético?
1. ¿Cómo se relacionan C , λ y f en una onda electromagnética?
1. ¿Cuál es la velocidad de cualquier onda electromagnética?
 1. ¿Qué tiene la luz de eléctrico y magnético?
 1. ¿Cuál es el origen de las ondas electromagnéticas a nivel atómico?
 1. ¿Qué es la polarización de la luz, en qué consiste? ¿qué demuestra de las ondas electromagnéticas?
1. Describe en función de su frecuencia los rangos correspondientes a los siguientes zonas del espectro:

Rayos gamma
Rayos X
Rayos Ultravioleta
Radiación visible
Radiación Infrarroja
Radiación de Radio, TV y Microondas

 1. Haz lo mismo pero ahora para la longitud de onda.
 1. Realiza un cuadro comparativo con las principales características del campo eléctrico y del campo magnético.
 1. Busca información acerca de las propiedades de las ondas electromagnéticas y comenta las semejanzas y las diferencias que encuentres entre éstas y las ondas mecánicas.
 1. Explica cualitativamente el funcionamiento de una antena receptora de ondas electromagnéticas. ¿Qué orientación debe tener esta antena?
 1. ¿Cómo son los campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética?

1. ¿Qué diferencia existe entre un campo magnético y una onda electromagnética?
1. El cuerpo humano es un potente emisor de cierto tipo de ondas electromagnéticas. ¿A qué tipo de ondas nos estamos refiriendo?
1. Las gafas de visión nocturna permiten distinguir, en ausencia de luz, las siluetas y los contornos de los objetos, sobre todo de aquellos que son seres vivos o en los que viven estos. ¿Qué tipo de ondas detectan estas gafas? Formula una hipótesis que pueda explicar el funcionamiento de esas gafas.
1. Explica por qué es más larga la varilla de una antena de radio que las varillas de una antena para la recepción de una señal de televisión.
1. En un horno común, el tiempo de cocción es prácticamente independiente de la cantidad de comida que se cocina. Sin embargo, no ocurre lo mismo en un horno de microondas, en el que el tiempo de cocción está directamente relacionado con la cantidad de comida que queremos preparar. Explica el motivo, teniendo en cuenta la forma en que se calienta la comida en cada uno de estos dos hornos.
1. Investiga cómo se puede medir la energía de una onda electromagnética.
1. De acuerdo con la teoría electromagnética, ¿de qué variables depende la energía de una onda electromagnética?

A.74. En cada una de las preguntas siguientes justifica ampliamente tu respuesta.

1. Señala la respuesta o las respuestas correctas acerca de las ondas electromagnéticas; en cada caso justifica tu respuesta:
 - a) Son transversales.
 - b) Son longitudinales.
 - c) Su longitud de onda es fija.
 - d) Su frecuencia es fija.
 - e) En un mismo medio, se desplazan a la misma velocidad.
 - f) Todas ellas forman el espectro visible.
 - g) No se propagan en el vacío.
1. Para que exista una onda electromagnética, son necesarios un campo eléctrico y un campo magnético. ¿Cómo es la posición relativa entre ambos?
 - a) Son paralelos.
 - b) Forman un ángulo entre ambos comprendido entre 0° y 90° .
 - c) Son perpendiculares.

d) Forman un ángulo entre ambos comprendido entre 90° y 180° .

e) Forman un ángulo de 180° .

1. De los siguientes tipos de ondas que se indican a continuación, señala cuál o cuáles no pertenecen al espectro electromagnético:

a) Rayos gamma.

b) Rayos X.

c) Ondas sonoras.

d) Ondas de radio.

e) Rayos infrarrojos.

1. La velocidad con que se propagan las ondas electromagnéticas en un medio dado:

a) Coincide con la velocidad de propagación del sonido en dicho medio.

b) Coincide con la velocidad de propagación de la luz en dicho medio.

c) Depende de su frecuencia; no podemos dar una respuesta sin ese dato.

d) Depende de su longitud de onda; no podemos dar una respuesta sin ese dato.

e) No podemos conocerla a priori; es necesario medirla experimentalmente, ya que depende de la temperatura.

1. Los rayos X son ondas electromagnéticas y se utilizan ampliamente en medicina para obtener imágenes (radiografías) del interior de nuestro cuerpo, sobre todo de sus partes duras. ¿Por qué, en vez de utilizar rayos X, lo que supone un costo elevadísimo en equipos, no utilizamos otro tipo de ondas electromagnéticas, como los rayos ultravioleta o los infrarrojos, que recibimos directamente del Sol?

1. Contesta a las preguntas que siguen, referidas a los siguientes tipos de onda:

a) Rayos X.

b) Radiación infrarroja.

c) Luz de color verde.

d) Onda de TV.

e) Luz de color violeta.

¿A cuál de ellos le corresponde mayor frecuencia?

¿Para cuál de ellos es menor la frecuencia?

¿A cuál le corresponde mayor longitud de onda?

¿A cuál le corresponde menor longitud de onda?

1. Si tenemos en cuenta tan solo aspectos relacionados con la frecuencia, ¿a cuál de los siguientes tipos de onda le corresponde mayor energía?

- a) Ondas de radio de baja frecuencia.
- b) Radiación infrarroja.
- c) Rayos X.
- d) Rayos ultravioleta.
- e) Ondas de radio de alta frecuencia.

1. Una carga produce un campo magnético si:

- a) Se mueve con velocidad constante.
- b) Permanece en reposo.
- c) Acelera.
- d) Se presenta con una carga negativa.

1. Una carga produce una onda electromagnética si:

- a) Se mueve con velocidad constante.
- b) Permanece en reposo.
- c) Acelera.
- d) Se presenta con una carga negativa.

A.75. Elaborar un mapa conceptual que sintetice las características de las ondas electromagnéticas.

Opcional

A.75bis. Revisa detalladamente el tema de “Ondas electromagnéticas” en el apartado llamado Jornadas de la Ciencia en la página de Internet, www.maloka.org/fisica.htm. Explora las actividades interactivas que se presentan en ella y realiza una síntesis de los conceptos relacionados con el tema. Elabora un cuestionario de cinco preguntas sobre conceptos no comprendidos o explicaciones poco claras dadas en esa página.

Complementariamente revisa en el mismo de la página mencionada la sección de “Polarización” y realiza las mismas actividades citadas en el párrafo anterior.

II. MODELO DE LA LUZ EN LA FÍSICA CONTEMPORANEA

1. La caída de la Física clásica: Origen de la Mecánica Cuántica

1.1 Problemas que la Física clásica no puede explicar: Radiación de cuerpo Negro, Espectros de los elementos y Efecto fotoeléctrico.

Todas las propiedades de la propagación de la radiación son explicadas mediante el modelo ondulatorio; ¿existe algún fenómeno que no se pueda explicar con el modelo?

¿Sirve este mismo modelo para explicar todas las propiedades de la interacción radiación-materia?

A.76. Lee, analiza y discute en equipo, el contenido del siguiente texto, realiza a continuación la actividad señalada al final de la lectura.

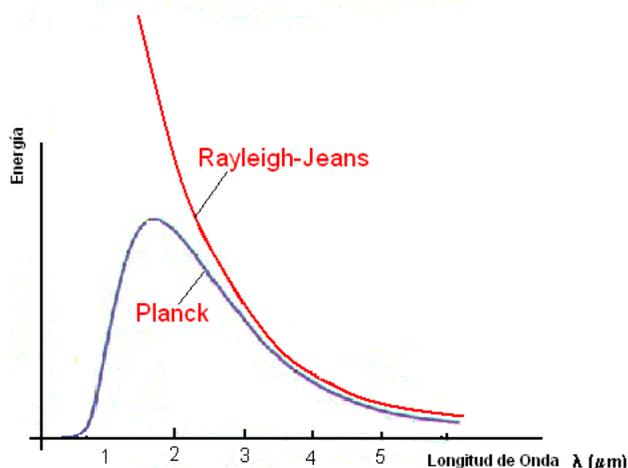


Como hemos podido estudiar, a lo largo de todas las actividades anteriores, desde la antigüedad, los hombres se han preguntado qué es la luz y de qué está hecha la materia. Aún cuando en los siglos XVII y XVIII se contó con un avance importante en el estudio y la explicación de la luz, el avance más importante en la dirección de dar respuesta a la pregunta sobre la naturaleza de la luz lo realizó James Clerck Maxwell. En 1873, Maxwell descubre que la luz debe ser una onda electromagnética, lo que se comprueba algunos años después de forma experimental. La teoría de Maxwell, que daba a la luz carácter de onda electromagnética continua, consiguió explicar muchos fenómenos, dentro de ellos los de la óptica. A finales del siglo XIX se fueron acumulando problemas y preguntas cada vez más difíciles de resolver con el conocimiento de la Física clásica, a pesar de ello había quienes consideraban que la Física estaba ya prácticamente acabada. Pero algunos fenómenos como la fluorescencia, el efecto fotoeléctrico, los espectros ópticos de los elementos, los espectros luminosos de los cuerpos incandescentes, los rayos X, la radiactividad y la existencia del éter, entre otros, no conseguían explicarse. En suma no se contaba con un modelo satisfactorio sobre la naturaleza de la materia ni de la interacción de la radiación con ella. A continuación se describen en forma breve tres de esos problemas:

- La radiación de los cuerpos incandescentes
- El efecto fotoeléctrico
- Los espectros de los elementos

La radiación de los cuerpos incandescentes

A finales de siglo XIX, un problema importante de la Física consistía en explicar el comportamiento de la luz emitida por un cuerpo caliente. Se sabía que la intensidad de esta radiación aumenta con la longitud de onda (color) hasta un valor máximo y, seguidamente, disminuye cuando aumenta la longitud de onda. También se conocía que el origen de esta radiación está en las vibraciones de los átomos del cuerpo caliente. Para un emisor perfecto (el denominado “cuerpo negro”, que emite y absorbe todas las longitudes de onda), la termodinámica debería de ser capaz de proporcionar una expresión teórica para esta radiación de cuerpo negro. Wilhelm Wien había descrito en el año 1896, mediante una ley empírica, el comportamiento luminoso presentado por dicho cuerpo a longitudes de onda cortas (frecuencias largas). Lord Rayleigh y James Jeans dedujeron una ley capaz de explicar los resultados para el caso de longitudes de onda largas (frecuencias cortas), pero predecía que el cuerpo habría de tener una emisión masiva de energía a longitudes de onda cortas (frecuencias largas): un absurdo conocido como “catástrofe ultravioleta”.



El problema fue resuelto por Max Planck, el problema en sí, es muy técnico: se trata de hallar una ecuación que describa correctamente la emisión de radiación para todas las longitudes de onda (hallar una ecuación que se ajustara a los datos experimentales correspondientes a una curva en forma de campana como la de la **figura 20**). Cuando encontró la ecuación, ella contenía automáticamente los límites de Rayleigh-Jeans a longitudes de onda largas (frecuencias cortas) y de Wien a longitudes de onda cortas (frecuencias largas).



En 1900 Max Planck, publicó su trabajo, “*Sobre la teoría de la ley de distribución de energía en el espectro continuo*”, que representó el nacimiento de la teoría cuántica. Dedicó los siguientes años a justificar físicamente esta ley matemática. Para ello necesitó incorporar una idea contraria a la Física clásica: los cuerpos sólo pueden emitir o absorber cantidades discretas de energía. Si ν es la frecuencia de la luz emitida o absorbida, y E su energía, Planck encontró que esa energía es un múltiplo entero de una constante por la frecuencia de la luz emitida o absorbida:

$$E = nh \nu \quad (n=1,2,3,4,\dots)$$

(En la que h es llamada constante de Planck y es igual a 6.62×10^{-34} J.s). La constante de Planck resultó ser la constante fundamental que rige el comportamiento del mundo microscópico como veremos en los puntos siguientes.

El Efecto Fotoeléctrico

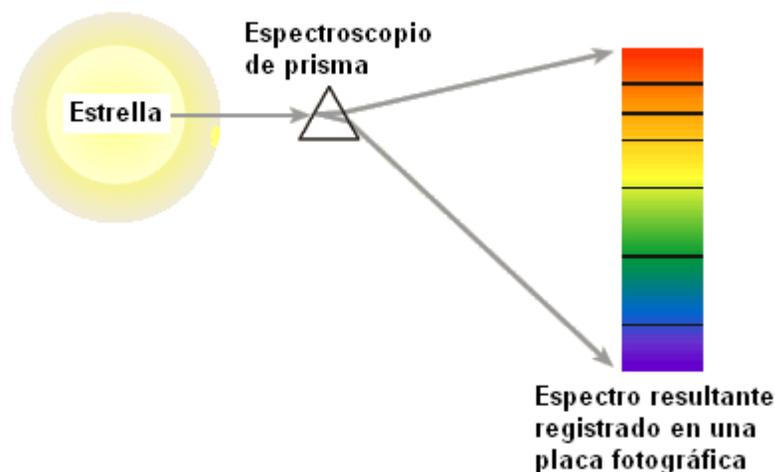
Heinrich Hertz realiza, entre 1886 y 1887, las experiencias que confirman la existencia de las ondas electromagnéticas y, por tanto, que la Teoría de Maxwell es correcta. En esos experimentos observa, además, que la descarga eléctrica, provocada por la detección de las ondas electromagnéticas, entre dos electrodos se produce más fácilmente si sobre uno de ellos se hace incidir luz ultravioleta. Lenard, en 1900, demuestra que el fenómeno observado por Hertz es debido a que la radiación ultravioleta arranca electrones de la superficie metálica del cátodo. A esta emisión de electrones se le conoce como Efecto Fotoeléctrico, y a los electrones arrancados como fotoelectrones; sin embargo las observaciones experimentales no pueden ser explicadas con la teoría electromagnética como se vera mas adelante.



En 1905, Alberto Einstein publica el trabajo sobre el efecto fotoeléctrico. Con este trabajo, da significado físico a la hipótesis de la cuantización de la energía. A Planck no se le ocurrió suponer que también la radiación electromagnética tenía carácter discreto en sí misma (en vez de continuo).

Einstein sugirió que la luz está formada de **cuantos discretos de energía (que posteriormente serían llamados fotones)** lo que explicaría fenómenos que la teoría ondulatoria de la luz todavía no podía explicar, como la fluorescencia y el efecto fotoeléctrico entre otros. Esta conjetura fue confirmada en comprobaciones posteriores.

Los espectros de los elementos



Los espectros se forman por la descomposición de la luz, Hay espectros continuos y discontinuos (discretos). Los *espectros* caracterizan las sustancias, son como su firma (también pueden ser de absorción o de emisión). Así, por ejemplo, en el sodio destaca una franja amarilla. Esto nos permite saber, entre otras cosas, de qué están hechas las estrellas (**fig.21**). Para estudiar los espectros se utiliza el espectroscopio el cual es un aparato que, utilizando un prisma, descompone la luz emitida por cualquier sustancia al calentarse. **Así se descubrió que la luz que emite cada sustancia no forma un espectro continuo de colores, sino que solamente aparecen algunos de ellos. Esto no podía explicarlo la Física clásica.**



En 1913, usando la idea de quantum de energía, y el modelo de Rutherford del átomo, Bohr publica su trabajo sobre la estructura del átomo de hidrógeno. Einstein se refirió a este trabajo como *uno de los más grandes descubrimientos*. Posteriormente, se desarrolló toda una teoría sobre la estructura atómica y los espectros correspondientes

A.77. A partir de la lectura, de manera individual, analiza los términos científicos del texto: distribución, espectro, absorción, emisión, radiación, cuanto, cuerpo negro, constante de Planck, mecánica cuántica, entre otros hallados en el texto. A continuación, tendrás que elaborar un listado con sus definiciones a partir del uso de un diccionario de Física. Finalmente enuncia con tus palabras en qué consiste cada problema planteado y cual fue la solución.

A.78. Contesta las preguntas que se enuncian a continuación y discute sus respuestas con el

profesor y los alumnos del grupo.

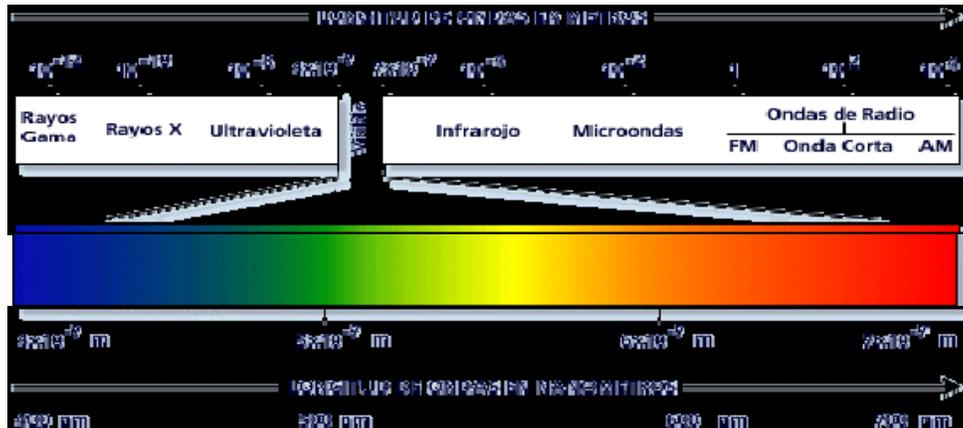
CUESTIONARIO DE REVISIÓN:

1. ¿En qué consiste el problema de radiación del cuerpo negro?

1. ¿Por qué no se podía explicar con la Física clásica?

1. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?

1. ¿Por qué la teoría electromagnética no podía explicarlo?



Por otra parte se sabe que además de responder a la radiación que reciben, los cuerpos también emiten radiación en forma natural (ondas electromagnéticas de alguna frecuencia). Si has estado cerca de una persona de gran volumen que acaba de realizar algo de ejercicio, sentirá una onda de radiación térmica (calor, emitido por el cuerpo en forma de radiación infrarroja). Usualmente esa emisión no se detecta en condiciones normales ya que la radiación se emite en la región no visible del espectro, una aplicación actual se observa en los lentes de visión nocturna (están formados por materiales que convierten la radiación infrarroja en visible).

A finales de siglo XIX, un problema importante de la Física consistía en explicar la radiación emitida por un cuerpo caliente: por ejemplo cuando se calienta un metal pasa de ser, a cierta temperatura, de color rojo a color naranja y a mayor temperatura a color amarillo hasta llegar al blanco. Se sabía que la intensidad de esta radiación aumenta con la longitud de onda hasta un valor máximo y, seguidamente, disminuye cuando aumenta la longitud de onda. También se conocía que el origen de esta radiación está en las vibraciones de los átomos del cuerpo caliente (aunque en ese momento no se contaba aun con un modelo satisfactorio del átomo).

Antes de continuar la lectura trata de contestar la siguiente pregunta: ¿Para conseguir que un cuerpo emita luz visible que se necesita hacer?

La radiación que proviene de un cuerpo esta compuesta por la radiación propia más la que refleja proveniente de otros cuerpos. Si se desea estudiar **solamente la emisión** propia de un cuerpo, es necesario aislarlo de algún modo. Esa dificultad desaparece si el cuerpo no

refleja la radiación que recibe, como sabes los objetos negros son los que cumplen esa condición.

Para describir el fenómeno de radiación de los cuerpos calientes, los físicos inventan un sistema ideal que permite elaborar modelos “sencillos” que se aproximen a la explicación del fenómeno, este es llamado “cuerpo negro”.

El estudio de los cuerpos incandescentes lo realizó Max Planck y para ello usó el modelo de **cuerpo negro ideal**: una cavidad de paredes muy absorbentes con una pequeña abertura en una de sus paredes; de este modo, se puede asegurar que la radiación que salga por la abertura, al calentar la cavidad, tiene su origen en las paredes de la misma, como se muestra en la figura 23.

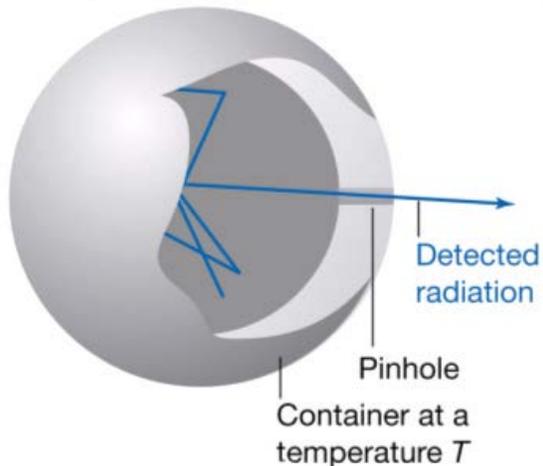
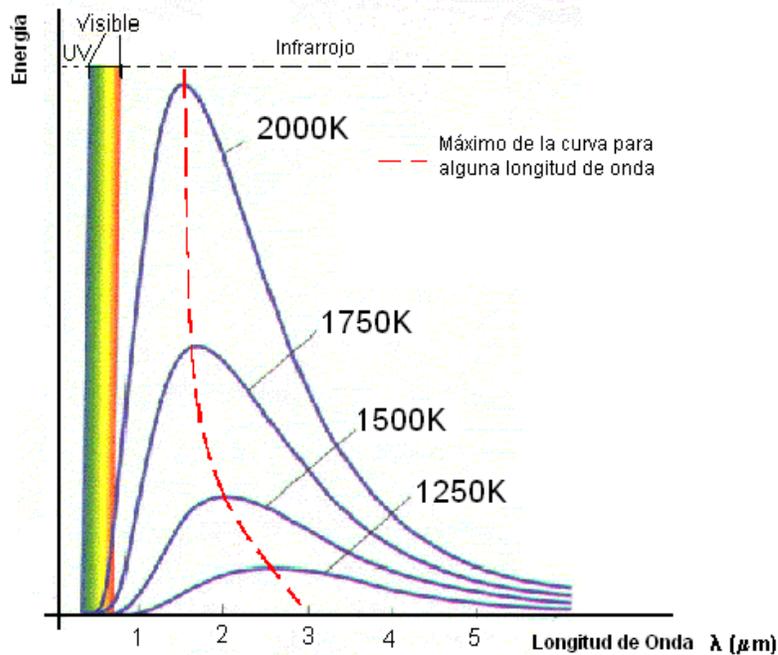


Figura 23

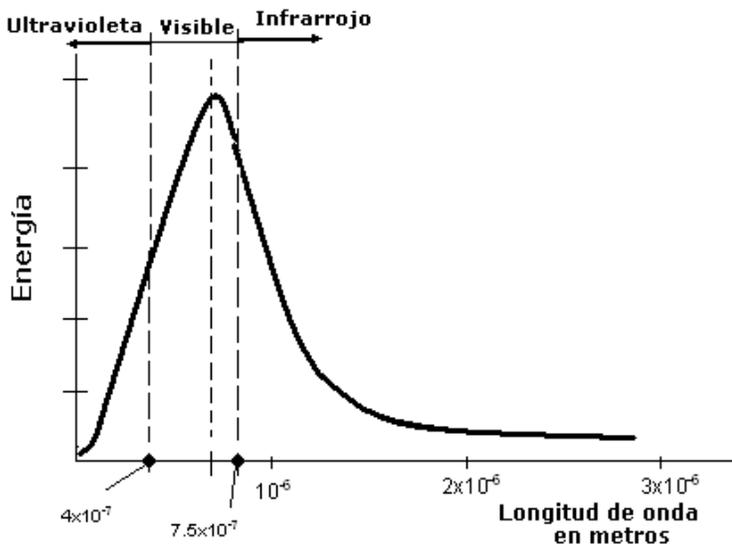
En general el espectro y la cantidad de energía que emite un cuerpo depende del material que está hecho, sin embargo en un cuerpo negro ideal eso no ocurre, es decir no importa ni el material de que están hechas las paredes ni la forma de la cavidad.

Para describir el comportamiento de la radiación emitida por un cuerpo se usa una función llamada **distribución espectral** (ya que se describe como función de la longitud de onda de la luz, como en el espectro electromagnético). Esta función, para un valor fijo de la temperatura nos informa cómo se “distribuye” la intensidad de energía procedente del cuerpo entre los diferentes intervalos de longitudes de onda (**ver figuras 24 y 25**).



Distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro ideal

Figura 24



Hace más de cien años, Max Planck presentó en una reunión de la Sociedad Alemana de Física su trabajo: “*Sobre la teoría de la ley de distribución de energía en el espectro continuo*”, explicando cómo se distribuía la energía cuando un cuerpo a alta temperatura emite radiación dependiendo de la longitud de onda (color) de dicha radiación. El 14 de diciembre de 1900 apareció públicamente por primera vez la idea del **cuantum de energía** y la hoy llamada constante “**h**” de Planck. Unas semanas antes, el 7 de octubre del mismo 1900, su compañero en la universidad Heinrich Rubens y su esposa, pasaron por la casa de los Planck de visita. Rubens acababa de terminar unas mediciones de la emisión de energía en el infrarrojo, por un cuerpo negro a diferentes temperaturas y le mostró los resultados a

Planck, quien esa misma noche encontró una ecuación que describía los datos, pero no tenía fundamentos físicos para explicarla. La ley obtenida por Planck es:

$$E_T(\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)}$$

Y las constantes que ahí aparecen tienen los valores:

$$C_1 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2 \text{ y } C_2 = 1.4388 \times 10^2 \text{ m}^2 \text{ K}$$

En la que $E_T(\lambda)$ es la potencia emisiva espectral del cuerpo negro a la temperatura T en watt/m³.

Antes de continuar con la lectura responde la siguiente pregunta:

¿Cómo se mide la temperatura del sol?

Los datos exactos de curvas reales de distribución, fueron resumidos en forma experimental por el físico alemán Wilhem Wien en 1893 en la denominada ley del desplazamiento, la cual establece que para un emisor perfecto, de espectro continuo, el producto de la longitud de onda λ (en metros) correspondiente a un máximo multiplicado por su temperatura absoluta (en Kelvins) es una constante (ver fig. 24) con el valor empírico de 0.002897mK:

$$\lambda_{max} m x T(K) = 0.002897 mK$$

Dado que la ley de Wien es aproximadamente válida para los intervalos extremos de temperatura, se puede usar como una forma de determinación de la temperatura de las estrellas conociendo su $\lambda_{máxima}$ para ellas. En particular, de esta forma se puede establecer la temperatura del sol.

Igualmente existe otra ley empírica para la radiación del cuerpo negro, denominada ley de Stefan-Boltzman, que nos permite calcular la energía total emitida por un cuerpo caliente por unidad superficie:

$$E_{total} = \sigma T^4$$

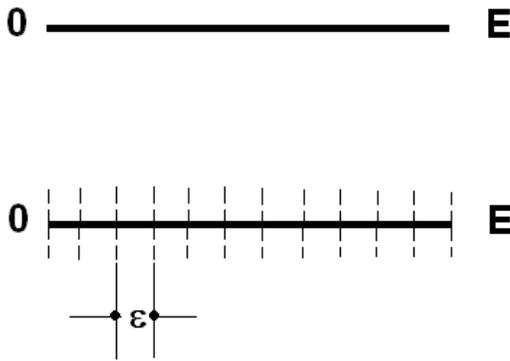
$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$$

Planck logró deducir la ley de distribución espectral de los cuerpos incandescentes, y con ello las leyes de Wien y Stefan_Boltzman. Lo hizo auxiliándose además de una teoría que aún no tenía mucha aceptación, pero que le permitió resolver el problema: *La mecánica estadística*.

La *mecánica estadística*, se desarrollo como una forma teórica de estudiar los sistemas formados por cuerpos como sistemas compuestos por una enorme cantidad de partículas y tiene su antecedente en el estudio de los gases, fue desarrollada por Maxwell, Bernoulli, L. Boltzman y W Gibbs entre otros. A continuación se presenta la versión de cómo llega Planck a su descubrimiento, desde la perspectiva de Thomas Khun en su obra, ¿Qué son las revoluciones científicas?

“...Planck resolvió por primera vez el problema del cuerpo negro en 1900 utilizando un método clásico desarrollado por el físico austriaco Ludwig Boltzmann. Seis años más tarde, se encontró en su derivación un error pequeño pero crucial, y uno de sus elementos centrales debió someterse a revisión. Cuando esto se llevó a cabo, la solución de Planck funcionó, pero rompió radicalmente con la tradición. A la larga, esta hipótesis se generalizó, y provocó la reconstrucción de buena parte de la Física.

Comencemos con Boltzmann, quien había considerado la conducta de un gas concebido como una colección de muchas moléculas diminutas moviéndose de manera, rápida y .desordenada en el interior de un recipiente, y colisionando frecuentemente entre sí y con las paredes del recipiente. A partir del trabajo de otros, Boltzmann conocía la velocidad media de las moléculas (más exactamente, la media del cuadrado de sus velocidades). Pero, por supuesto, muchas de las moléculas se movían mucho más lento que la media y otras mucho más rápidamente. Boltzmann quería saber qué proporción de ellas se movían con, digamos, $1/2$ de la velocidad media, qué proporción con $4/7$ de la media, y así sucesivamente. Ni esa pregunta ni la respuesta que encontró eran nuevas. Pero Boltzmann llegó a la respuesta por un camino nuevo **utilizando la teoría de la probabilidad** y ese camino fue fundamental para Planck, a partir de cuyo trabajo se ha convertido en algo habitual



Sólo un aspecto del método de Boltzmann nos interesa ahora. Él consideró la energía cinética total E de las moléculas, y para permitir la introducción de la teoría de la probabilidad subdividió mentalmente, esa energía en pequeñas celdillas o elementos de tamaño ϵ , como los representados en la **figura 26**

Luego imaginó una distribución al azar de moléculas entre esas celdillas, extrayendo papeletas numeradas de una urna para especificar la asignación de cada molécula y excluyendo todas las distribuciones con energía total diferente de E . Por ejemplo, si la primera molécula era asignada a la última celdilla (energía E), entonces la única distribución aceptable sería la que asignara todas las otras moléculas a la primera celdilla (energía cero). Está claro que esta distribución particular es muy improbable. Es mucho más probable que la mayoría de las moléculas tengan una energía apreciable, y utilizando

la teoría de la probabilidad puede calcularse cuál es la distribución más probable de todas. Boltzmann mostró cómo hacerlo y el resultado fue idéntico al obtenido previamente por él mismo y otros, empleando medios más problemáticos. Ese modo de resolver el problema se inventó en 1877, y veintitrés años más tarde, a fines de 1900, Max Planck lo aplicó a un problema que parecía ser bastante diferente, la radiación del cuerpo negro. Físicamente, el problema consiste en explicar cómo cambia el color de un cuerpo con la temperatura al calentarlo. Piénsese por ejemplo en la radiación de una barra de hierro, la cual, cuando la temperatura aumenta, primero emite calor (radiación infrarroja), luego se pone incandescente y posteriormente pasa a un blanco brillante. Para analizar esta situación, Planck imaginó un recipiente o cavidad lleno de radiación, esto es, luz, calor, ondas de radio, etc. Además, supuso que la cavidad contenía un gran número de lo que llamó «resonadores» (estos pueden imaginarse como diminutos diapasones, cada uno de los cuales es sensible a la radiación de una frecuencia y no a la de otras). Estos resonadores absorben energía de la radiación, y la pregunta de Planck fue: ¿cómo depende la energía absorbida por cada resonador de su frecuencia? ¿Cuál es la distribución de frecuencias de la energía en los resonadores? Así planteado, el problema de Planck era muy similar al de Boltzmann, y Planck aplicó así las técnicas probabilistas de éste. Hablando en términos generales, Planck utilizó la teoría de la probabilidad para calcular la proporción de resonadores que se asignaba a cada una de las distintas celdillas, de la misma manera que Boltzmann había calculado la proporción de las moléculas. Su solución coincidía con los resultados experimentales mejor que cualquier otra conocida entonces, o ahora, pero surgió una inesperada diferencia entre su problema y el de Boltzmann. En el de Boltzmann, el tamaño de la celdilla podía tener muchos valores diferentes sin que cambiara el resultado. Aunque los valores permitidos estaban limitados, es decir, no podían ser demasiado grandes o demasiado pequeños, había disponibles una infinidad de valores satisfactorios entre dichos límites. El problema de Planck resultó ser diferente: otros aspectos de la Física determinaban el tamaño ϵ de la celdilla. Podía tener un único valor, dado por la famosa fórmula $E = hf$, donde f es la frecuencia del resonador, y h es la constante universal conocida en lo sucesivo por el nombre, de Planck. Por supuesto Planck no comprendía por qué había restricciones en el tamaño de la celdilla, pero tuvo una fuerte corazonada al respecto que intentó desarrollar. Sin embargo, exceptuando ese, enigma residual, había resuelto su problema y su manera de enfocar la cuestión seguía siendo muy parecida a la de Boltzmann. En particular, y ese es el aspecto crucial en este momento, en ambas soluciones, la división de la energía total en celdillas de tamaño ϵ , era una división mental efectuada con propósitos estadísticos. Las moléculas y los resonadores podían estar situados en cualquier punto de la línea, y estaban gobernados por todas las leyes ordinarias de la Física clásica.

E

mediados de 1906, otros dos físicos argumentaron que el resultado de Planck no podía alcanzarse siguiendo su método. Se requería una alteración pequeña pero absolutamente crucial. No era posible admitir que los resonadores estuvieran situados en cualquier punto de la línea continua de la energía, sino únicamente en las divisiones entre las celdillas. Esto es, un resonador podría tener energía $0, \epsilon, 2\epsilon, 3\epsilon$, y así sucesivamente, pero no $(1/3)\epsilon$, $(4/5)\epsilon$, etc. Un resonador no cambiaba su energía de forma continua, sino mediante saltos discontinuos de tamaño ϵ o un múltiplo de ϵ . Después de estas alteraciones, el argumento de Planck era a la vez por completo diferente y el mismo. Desde un punto de

vista matemático, era virtualmente idéntico, teniendo como consecuencia que durante años ha sido un procedimiento habitual leer el artículo de Planck de 1900, como si presentara el argumento moderno posterior. Pero físicamente las entidades a las que la derivación se refiere son, muy diferentes. En particular, el elemento ϵ ha pasado de ser una división mental de la energía total a un átomo separable de energía física del cual cada resonador puede tener 0,1,2,3, u otro número.

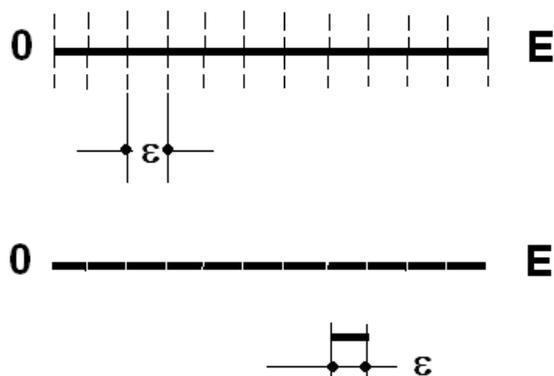


Figura 27

La figura 27 intenta capturar ese cambio,..., el resonador ha sido ya transformado de una clase familiar de entidad gobernada por leyes clásicas ordinarias, a una extraña criatura cuya misma existencia es incompatible con, los modos tradicionales de hacer Física. Como es bien sabido, cambios del mismo tipo, tuvieron lugar durante otros veinte años a medida que se iban descubriendo fenómenos no clásicos, similares en otras partes del campo.

No intentaré discutir esos cambios posteriores; en su lugar, concluiré este ejemplo el último, apuntando otro tipo de cambio que tuvo lugar con el trabajo de Planck.... En este último ejemplo, tuvo lugar realmente un cambio en las palabras mismas, un cambio que subraya esas características de la situación física que la revolución había hecho más importantes. Cuando Planck se persuadió por fin alrededor de 1909, de que la discontinuidad había llegado a la Física para quedarse, pasó a utilizar un vocabulario que ha sido habitual desde entonces. Previamente se había referido al tamaño E de la celdilla como el «elemento de energía». Ahora, en 1909, comenzó a hablar regularmente, en su lugar, del «**cuantum de energía**», y después «cuantum», tal y como se utilizaba en la Física alemana, era un elemento separable, una entidad similar a un átomo que podía existir por sí misma. Mientras que ϵ había sido simplemente el tamaño de una subdivisión mental, no había sido un cuanto sino un elemento. También en 1909 Planck abandonó la analogía acústica. Las entidades que había introducido como «resonador» ahora se convirtieron en «osciladores», un término neutral que sólo se refiere a cualquier entidad que vibra regularmente. Por contraste, «resonador» se refiere en primer lugar a una entidad acústica, o por extensión a un vibrador que responde de manera gradual a la estimulación, aumentando y disminuyendo su vibración con el estímulo aplicado. Para uno que creía que la energía cambia de manera discontinua, «resonador» no era un término precisamente apropiado, y Planck lo abandonó a partir de 1909.”

El trabajo de Planck, supone que la energía se emite o se absorbe en “paquetes” (a los que Planck llamó “cuantum”). En otras palabras la energía intercambiada entre la radiación y la cavidad es “granulosa”, está cuantizada y no se transmite de forma continua sino en múltiplos enteros de esos “cuantos” de valor hf , es decir:

Escriba aquí la ecuación. $E = hf$

(h , llamada constante de Planck, igual a 6.62×10^{-27} erg/s., o lo que es lo mismo, $h = 6.62 \times 10^{-34}$ J.s).

La teoría electromagnética, establece que la energía del campo electromagnético se describe mediante funciones continuas y en particular se sabía que la energía de una onda electromagnética, depende del cuadrado de la amplitud del campo y de su frecuencia (la amplitud de la onda está asociada con la intensidad de la onda). De su expresión matemática se desprende que la energía puede tomar cualquier valor en función de la amplitud de la onda o de la frecuencia.

Durante mucho tiempo y al parecer hasta el final de su vida, Planck consideró que la "discretización" de la energía era solamente un artificio matemático, que se había visto forzado a usar para poder aplicar las ideas de Boltzmann. Recordemos que solamente se puede tener un número finito de distribuciones cuando se tiene un número finito de elementos, en este caso, de "paquetes" de energía. Planck no le adscribió ninguna realidad física a esta cuantización de la energía ya que, en 1931, Planck describió en una carta, el estado en que se encontraba al hacer la hipótesis de la cuantización: *"Fue un acto de desesperación que hice porque se tenía que dar una explicación teórica a toda costa, cualquiera que fuera el precio."* Sin embargo, él mismo no estuvo satisfecho, ya que ésta suposición era contraria a los principios de la mecánica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell, en las cuales la energía era una cantidad continua; no había forma de que ella fuera discreta.

En los años siguientes al trabajo de Planck, recibió poca atención, aunque si se realizó un intenso trabajo experimental para verificar la distribución de Planck en un amplio rango de frecuencias. Todos ellos llegaron a la conclusión de que la distribución obtenida por Planck, describía perfectamente bien la realidad.

A 80. Realiza los siguientes ejercicios.

1. Elabora una tabla de valores a partir de la ley de distribución espectral de Planck para diferentes temperaturas (3000, 5000, 6000, 7000 K) y representa gráficamente esos valores, comprobando cómo se desplaza el máximo de λ .
2. Si $\lambda_{\text{máxima}}$ para el sol es 5.5×10^{-7} m cuánto vale su temperatura.
3. La longitud de onda en la que es máxima la emisión de radiación de Vega, estrella azulada de constelación Lira, es de 282 nm. Calcula, utilizando la ley

del desplazamiento de Wien, la temperatura a la que se encuentra su superficie.

4. Calcula la relación entre la energía emitida por un cuerpo negro a 1500 K y a 300 K.

5. Calcula el número de “cuantos” de luz por unidad de tiempo que emite una lámpara, cuya potencia de emisión es de 60 W, si la longitud de onda de la luz emitida es de 590 nm.

1. Esta actividad de comprensión consiste en completar el siguiente cuadro, tras leer atentamente el texto de referencia y efectuar la actividad anterior. Señala si son **verdaderas** (V) o **falsas** (F) las afirmaciones que se realizan, en una sección aparte justifica cada una de tus respuestas. En el caso que sea verdadera, indica alguna justificación. Si es falsa menciona un contraejemplo:

1. Planck expuso su Teoría acerca de la emisión energética del cuerpo negro y no la pudo explicar conceptualmente.		
2. Un objeto cuyo color sea blanco, refleja menos radiación que uno de color oscuro.		
3. El hierro, cuando toma un color blanco, se encuentra a una temperatura superior que cuando se encuentra al rojo.		
4. La forma de la distribución espectral, varía con la temperatura del cuerpo.		
5. Cuando aumenta la temperatura, la longitud de onda máxima se desplaza en la gráfica $P-\lambda$ hacia la izquierda: disminuye.		
6. Según las hipótesis de Planck, la energía de los cuantos depende del color de la luz.		

7.La constante de Planck juega un papel fundamental en el nacimiento de la Física Cuántica.		
8.La hipótesis de cuantización de Planck, nos dice que la energía de un “cuanto” disminuye al aumentar la frecuencia.		
9.La temperatura de las estrellas, se puede determinar de forma aproximada a partir de la ley de desplazamiento de Wien		
10.De la ley de distribución de Planck se puede obtener la ley de desplazamiento de Wien		

OPCIONAL

A. 81.bis. Revisa cuidadosamente la actividad interactiva que se presenta en el tema de Mecánica Cuántica, relacionada con el tema: “La luz como partícula”, el apartado “Radiación del Cuerpo negro” de Planck, en la pagina: <http://newton.cnice.mecd.es/2bach/cuantica/index.htm>. Describe lo que se representa en dicha actividad en forma detallada. ¿Cómo se relacionan las actividades ahí descritas con el problema de radiación de cuerpo negro?

1.3 El efecto fotoeléctrico: origen del quantum de luz (fotón)

¿En qué consiste la hipótesis de Einstein sobre la naturaleza corpuscular de la luz?

¿Qué experimentos confirman la hipótesis de que la luz es un corpúsculo?

A.81. Preguntas para iniciar la discusión sobre el tema:

1. ¿En dónde se emplean celdas fotoeléctricas? ¿Para qué las usan?

1. ¿Cómo funciona el sistema de cierre en una puerta de elevador?

1. ¿De qué manera se aprovecha la energía solar en la actualidad?

1. ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico?

A.82. Observa el efecto fotoeléctrico (ver anexo 11) y discute acerca de cómo explicarías dicho fenómeno, usando la información de lo que has aprendido hasta ahora.

Como pudiste estudiar en la unidad de electromagnetismo, cuando un electrón abandona un pedazo de metal, el metal adquiere una carga eléctrica neta positiva (como resultado del hecho de que el electrón tiene carga negativa); esto da origen a una fuerza de atracción que hace que el electrón regrese. Sin embargo, si el metal se calienta, las energías de los electrones aumentan y algunos adquieren ahora la "velocidad de escape" necesaria. El calentamiento del metal es sólo una forma de emitir electrones (este fenómeno fue descubierto por Edison y fue llamado efecto termoiónico). También se encuentra que los electrones pueden ser emitidos cuando se hace incidir luz sobre la superficie. ¿Qué deben estar ganando los electrones de la luz?

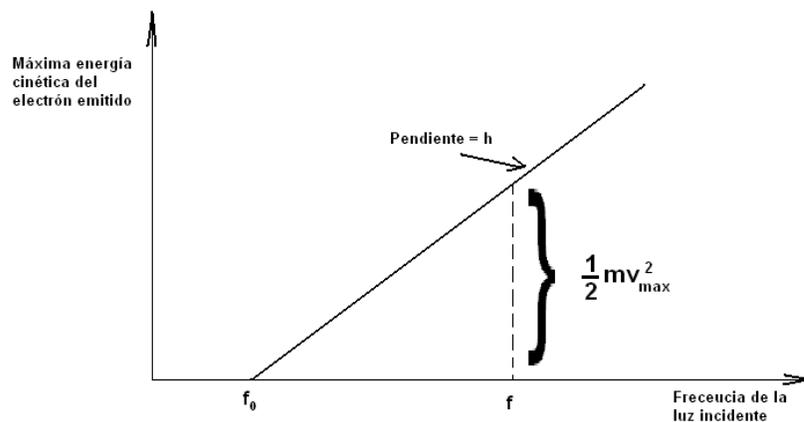
Los electrones que escapan deben absorber energía de la radiación incidente. La emisión de electrones de este tipo se llama efecto fotoeléctrico. Una de sus características útiles es que permite convertir la luz en un flujo de carga eléctrica (esto es, una corriente) y esta propiedad es el fundamento de instrumentos, por ejemplo, un exposímetro fotográfico, un tubo fotomultiplicador, un colorímetro, una fotocelda, una celda solar, etc.

Damos en seguida, algunas de las observaciones experimentales básicas del efecto fotoeléctrico; algunas de las cuales fueron efectuadas de forma cualitativa, en la demostración que realizaste con tu profesor.

Resultados experimentales conocidos sobre el efecto fotoeléctrico:

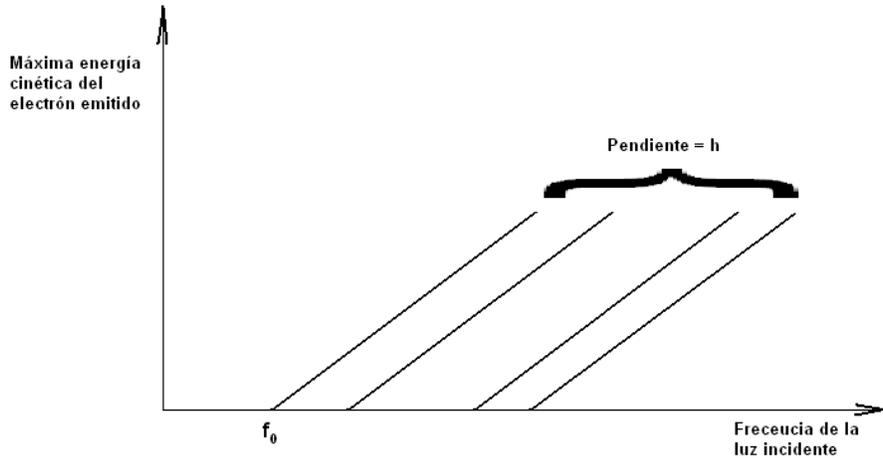
Cuando la luz de cierta frecuencia incide a una placa metálica:

1. Los electrones son expulsados del metal casi instantáneamente.
2. El número de electrones emitidos en cada segundo por luz de una frecuencia dada, es directamente proporcional a la intensidad de la luz.
3. Los electrones se emiten con energía cinética, que va desde cero hasta algún valor máximo.
4. Esta energía máxima de los electrones emitidos es independiente de la intensidad de la luz; pero en cambio depende de la frecuencia de la luz en la forma que se muestra en la **figura 28**.



5.

6. Por debajo de la frecuencia, f_0 (**figura 28**), no se emiten electrones, no importa cuál sea la intensidad de la luz. Por encima de f_0 los electrones son emitidos tan pronto llega la luz a la superficie, no importa cuán débil sea su intensidad.
7. Los electrones emitidos desde metales diferentes muestran un comportamiento similar al representado en la **figura anterior**, con la excepción de que la frecuencia umbral o de corte, f_0 , varía de un metal a otro (figura 29). La pendiente de la línea es independiente de la naturaleza del metal, y se encuentra que es en efecto igual a h , la constante de Planck, que es la misma constante que aparece en la ley de radiación de cuerpo negro de Planck.



A.83. Revisa los resultados experimentales y compara con cuáles de ellos se asocian las demostraciones realizadas por ti, sobre el efecto fotoeléctrico. ¿Cuáles no se realizaron?

A. 84. Con base en esta información experimental, ¿cuál de los siguientes modelos describe satisfactoriamente la interacción de la luz con los electrones del metal?

(A) La energía luminosa llega al metal en pequeños paquetes localizados. Los electrones individuales, absorben estos paquetes de energía y son emitidos. La energía en cada paquete es proporcional a la frecuencia de la luz.

(B) Como en (A) excepto que la energía de cada paquete es proporcional a la intensidad de la luz.

(C) La energía luminosa llega difusamente (como onda) a toda el área de la superficie metálica. Ciertos electrones recogen la energía de un área relativamente grande y cuando tienen la suficiente energía, ellos escapan.

Elija su modelo antes de continuar con la lectura. Indique que resultados puede explicar y cuales no.

El modelo C no da una explicación de la frecuencia de corte f_0 que observó experimentalmente en (iv). El modelo B también es inconsistente con (i), (iii) Y (iv). (Por ejemplo (iii) dice específicamente que la máxima energía de los electrones es independiente de la intensidad.)

El modelo C no explica el resultado 1.: De acuerdo con la teoría de Maxwell, la energía de la onda, se transfiere de forma continua y si esta llega a un metal, deberá llevar cierto tiempo no pequeño para realizar la emisión de los electrones. Como observaste en el experimento demostrativo, **la descarga del electroscopio es casi instantánea.**

A 85. Discute con tu profesor el contenido del siguiente texto, después de leerlo y comprobar los cálculos que ahí se presentan.

El efecto fotoeléctrico, no puede explicarse en primera instancia, usando la teoría electromagnética de Maxwell. Si consideramos que la luz que llega a la placa metálica es una onda electromagnética, entonces esta será capaz de mover a los electrones que se encuentran en su superficie y arrancarlos eventualmente.

Calculemos qué tiempo se requiere para ello: se sabe que para arrancar un electrón se necesita de forma típica alrededor de 3eV, consideremos que un foco de 100 watt, emite luz en todas direcciones de manera tal que la energía se distribuye en una esfera de área igual a $4\pi r^2$. Suponiendo que la placa se encuentra a 10cm de la fuente y que un átomo ocupa un área de 10^{-16} cm^2 (del orden del tamaño de un átomo). En este caso la energía recibida por el átomo es de:

$$100\text{Watt}/4\pi (10\text{cm})^2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2 = (1/12)\text{watt} \times 10^{-16} = 10^{-17}\text{joules/seg} = 10^{-17} \times (1/1.602) \times 10^{19} \text{eV/seg} = 1.5 \times 10^2 \text{eV} = 1500 \text{eV/seg}.$$

Con esta energía liberaríamos 500 electrones /segundo.

Una corriente típica del efecto fotoeléctrico es de $10^{-10} \text{ A} = 6 \times 10^8$ electrones por segundo. Por lo que para lograr esa corriente necesitamos $(6 \times 10^8 / 500)$ segundos aprox. 14 horas. Sin embargo el efecto fotoeléctrico se observa de forma instantánea. ($1 \text{ A} = 6.24 \times 10^{18}$ electrone)

Justifica detalladamente el cálculo anterior.

Como ocurrió en la demostración sobre el efecto fotoeléctrico, al colocar un foco de cien watt, se observó que no hay liberación de electrones, sin embargo, basta una lámpara de baja intensidad de luz ultravioleta para lograr la expulsión de los electrones. La teoría electromagnética predice que la energía de una onda electromagnética, depende de su frecuencia y del cuadrado de la amplitud del campo eléctrico. Lo anterior significa que, en principio, la emisión de electrones no depende de la intensidad de la luz que incide sobre la placa y si sobre su frecuencia, pero no como lo indica la teoría electromagnética.

¿Cómo se pueden explicar esos resultados experimentales? ¿Por qué sucede?

Aunque realmente Einstein no pretendía explicar en sí el efecto fotoeléctrico, si fue capaz de obtener un resultado teórico (la predicción de la existencia del quantum de radiación), mediante consideraciones termodinámicas y de la mecánica estadística, que le permitió hacerlo. Mediante ese resultado también logra explicar otros fenómenos que él menciona en su famoso artículo de 1905.

Einstein demostró que esos resultados experimentales, y que en su momento aún no se verificaban con toda precisión, podían entenderse suponiendo que la radiación luminosa no se distribuye de manera continua, como dice el modelo

de Maxwell de la luz, sino en forma cuantizada en paquetes pequeños llamados quantum ¹ de luz, cuya energía está dada por $E = h\nu$ la cual coincide con la relación obtenida por Planck, pero con una interpretación completamente diferente y la cual representa la frecuencia de la luz y h , una constante que posteriormente se demostró ser igual a la constante h de Planck. Para Einstein el campo de radiación electromagnético está formado por “cuanta” de luz (en el latín la palabra “quantum” tiene como plural la palabra “cuanta”)

Con respecto al efecto fotoeléctrico, Einstein escribió en su trabajo:

La concepción usual, de que la luz está distribuida continuamente en el espacio en el que se propaga, encuentra dificultades muy serias cuando uno intenta explicar los fenómenos fotoeléctricos, tal como los apuntó Lenard en su trabajo pionero.

De acuerdo con el concepto de que la luz incidente consiste de cuantos de energía de magnitud igual al producto de una constante por la frecuencia de la luz, sin embargo, uno puede concebir la expulsión de electrones por la luz de la manera siguiente. Cuantos de luz penetran la capa superficial del cuerpo y su energía se transforma, por lo menos en parte, en energía cinética de los electrones. La manera más sencilla de imaginar esto es que un cuanto de luz entrega toda su energía a un solo electrón; supondremos que esto es lo que sucede[...] Un electrón al que se le ha impartido energía cinética dentro del cuerpo, habrá perdido parte de esta energía al tiempo que llegue a la superficie. Además, supondremos que para poder escapar del metal, el electrón tiene que hacer una determinada cantidad de trabajo, característico de la sustancia en cuestión.

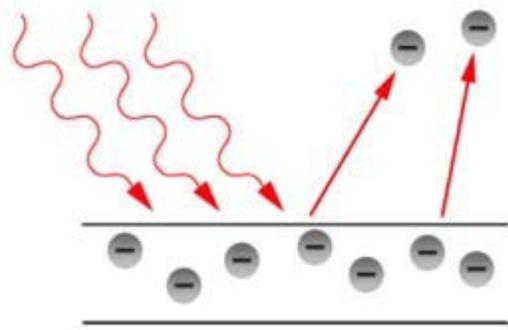
Einstein continúa:

De lo que me puedo cerciorar, no hay contradicción entre estas concepciones y las propiedades del efecto fotoeléctrico observadas (experimentalmente) por Lenard. Si cada cuanto de energía de la luz incidente, independientemente de todo lo demás, entrega toda su energía a un solo electrón, entonces la distribución de la energía cinética de los electrones expulsados será independiente de la intensidad de la luz incidente.

A.86. Después de leer y discutir con tus compañeros de equipo el contenido del siguiente texto, elabora una serie de preguntas formuladas sobre el contenido del texto (que tú no puedas contestar o sobre explicaciones no entendidas) y en forma grupal discútelas con ayuda del profesor.

¹ En 1926 son nombrados con la palabra fotón, en un artículo escrito por Gilbert N. Lewis y publicado en la revista Nature.

Explicación de la dependencia de la energía cinética máxima de emisión de los electrones de la frecuencia de la luz



Como ya se mencionó, el efecto fotoeléctrico consiste en el hecho de que, cuando se ilumina una superficie metálica limpia, bajo ciertas condiciones, se emiten electrones (**fig.30**). Estos electrones pueden ser detectados, al relacionar su emisión con algo fácilmente medible, como es la corriente producida o la energía con la que se emiten los electrones.

Analicemos qué sucede en el circuito de la **figura 31**. Cuando la luz incide sobre el cátodo C se emiten electrones. Si alguno de ellos choca con el ánodo, existirá cierta corriente eléctrica por el circuito que será registrada en el amperímetro A. El número de electrones emitidos que alcanzan el ánodo, puede variarse haciendo el ánodo positivo o negativo respecto al cátodo, es decir, creando una diferencia de potencial V entre ellos (colocando un campo eléctrico en dirección conveniente). Cuando V es positivo los electrones arrancados por la luz son atraídos por el ánodo. Para un valor lo suficientemente alto de V todos los electrones "arrancados" por la luz alcanzan el ánodo y la corriente logra su valor máximo; si aumentamos más V descubriremos que la corriente ya no aumenta, se mantiene en su valor máximo, ya que V no influye en que se liberen más electrones del cátodo, sino sólo en que todos los que son liberados se acerquen hacia el ánodo. Si variamos V al revés, haciéndolo negativo, los electrones serán repelidos por el ánodo, y sólo aquellos que tengan una energía cinética ($1/2mv^2$) suficientemente alta lograrán llegar al ánodo y generar corriente. Ahora bien, cuando bajamos V y lo hacemos menor que un cierto valor $-V_0$ no existe corriente alguna, lo cual significa que ningún electrón alcanza el ánodo. Entonces este potencial V_0 (voltaje o potencial de frenado) estará relacionado con la máxima energía cinética que tendrán los electrones, de manera que podemos poner (recuerda que la carga por el voltaje aplicado, representa el trabajo realizado sobre la partícula y que de acuerdo con la mecánica es el cambio en la energía cinética de cero a un valor máximo)

$$V_0 e = \left[\frac{mv^2}{2} \right] \text{maxima}$$

Lo importante en este experimento es que el valor de V_0 no depende de la intensidad de la radiación, pero si depende del color de la luz con que se ilumine el cátodo, es decir, de su frecuencia o equivalentemente de su longitud de onda. Así pues, aparentemente al aumentar la intensidad, por tanto la energía por unidad de tiempo que cae sobre el cátodo, no aumenta la energía cinética de los electrones emitidos y que, de acuerdo con la teoría electromagnética, debería ocurrir.

De esta manera si la energía necesaria para que se desprenda un electrón de la superficie de un metal es, pongamos, una cierta W (función de trabajo de la superficie del metal), la energía máxima de los electrones debería ser la que queda de la que tenía el electrón ligado, después de haber sido golpeado por un fotón de energía $E=h\nu$ en otras palabras la energía entregada E al electrón, será igual a la energía de ligadura W más la energía cinética máxima que él le imprime, es decir:

$$V_0 e = \left[\frac{mv^2}{2} \right] + W = h\nu$$

y como a su vez, sabemos que energía cinética es eV_0 en el frenado, podemos deducir que este potencial de frenado V_0 será:

$$V_0 = \frac{h\nu - W}{e}$$

Este resultado coincide plenamente con los datos experimentales, y además como ya se señaló, el valor de la constante h , resultó ser igual al obtenido por Planck para explicar la distribución del cuerpo negro. Esto supuso una nueva evidencia sobre la validez universal de la hipótesis de la cuantificación de la energía, ahora aplicado al fenómeno luminoso.

Einstein explicó este fenómeno como la colisión de dos partículas: el fotón y el electrón del átomo. Einstein predijo de esta manera que la energía cinética máxima, que debe tener un electrón emitido por un metal, debe aumentar al aumentar la frecuencia de la radiación incidente y ser independiente de la intensidad de la radiación.

Los datos experimentales disponibles en 1905, solamente sugirieron que las conclusiones de Einstein eran correctas, pero para 1916 la validez de la relación de Einstein, entre la máxima energía cinética de los electrones y la frecuencia de la radiación absorbida se había confirmado plenamente.

Desde entonces, reaparece la dificultad asociada con la comprensión del fenómeno luminoso, como ya se vio, no es posible explicar los fenómenos de interferencia y difracción de la luz desde el punto de vista corpuscular, por lo que es necesario considerar a la luz como onda. Por otra parte para hallar su frecuencia, que es lo que determina el tamaño de los paquetes de energía, también es necesario suponer que la luz se explica como un fenómeno ondulatorio, ya que en la región del espectro en la que ocurre el efecto fotoeléctrico, la frecuencia no se mide, sino que se calcula a partir del conocimiento de la velocidad y de la medición de la longitud de onda por algún método de interferencia. La frecuencia se obtiene de la relación $f = c/\lambda$

A.87. La tabla siguiente, muestra los resultados de las mediciones realizadas por Millikan, al llevar a cabo el experimento del efecto fotoeléctrico en 1916, corresponden a los datos reales publicados por él. (Physical Review 7, 335; 1917).

Frecuencia en Hertz	Voltaje de frenado en Volts
5.49×10^{14}	-2.04
6.93×10^{14}	-1.49
7.41×10^{14}	-1.30
8.22×10^{14}	-0.92
9.58×10^{14}	-0.39
11.81×10^{14}	+0.52

De acuerdo con lo planteado en la parte teórica, la Grafica de la frecuencia contra Voltaje de frenado (ν vs. V_0) debe ser una línea recta si Einstein está en lo correcto:

$$V_0 = (h/e) \nu - (W/e)$$

$$y = mx + b$$

- Verifica lo anterior con los datos de Millikan.
- Determina el valor de la constante de Planck que se obtiene de los datos
- Determina el porcentaje de error de la constante de Planck, obtenida con referencia al valor aceptado
- Determina el valor de la función de trabajo de la superficie del metal W

OPCIONAL

A. 87.bis. Revisa cuidadosamente la actividad interactiva que se presenta en el tema de la Mecánica Cuántica, relacionada con el tema: La luz como partícula, el apartado “El efecto fotoeléctrico”, en la pagina: <http://newton.cnice.mecd.es/2bach/cuantica/index.htm>.

Describe detalladamente lo que en ese experimento se demuestra.

1.4 El modelo de Bohr del átomo de Hidrogeno. Uso del concepto de fotón para explicar el espectro.

¿De qué manera usa Bohr la hipótesis corpuscular de la luz para generar su modelo del átomo?

Los espectros de los elementos.

A.88. Realiza las siguientes actividades: Describe detalladamente, el modelo de átomo que conozcas. ¿Tienes alguna forma de justificarlo teórica o experimentalmente? ¿Cómo se sabe de qué están formadas las estrellas? ¿Cómo se han identificado algunos elementos en las sustancias?

Actividad Demostrativa, presentación del profesor: Los espectros de los elementos (ver anexo 11)

A.89. Después de leer y discutir el contenido del texto siguiente con tus compañeros de equipo y con tu profesor, realiza una síntesis del mismo.

Los espectros de los elementos.

Como hemos señalado en la actividad 1, uno de los problemas no resueltos de la Física fue el de la explicación de los espectros de los átomos, ya que se sabía que cada átomo presenta un espectro de emisión diferente, se podría sospechar lógicamente que los espectros daban información importante sobre la estructura de los átomos pero ¿cuál era ella? El físico Danés Niels Bohr, fue quien dio un primer avance importante en la respuesta a esa pregunta, al elaborar un primer modelo exitoso para explicar el espectro del átomo de Hidrógeno.

Los hechos conocidos de los espectros en la época de Bohr son:

Los “espectros” son característicos de los elementos, nos permite identificarlos.

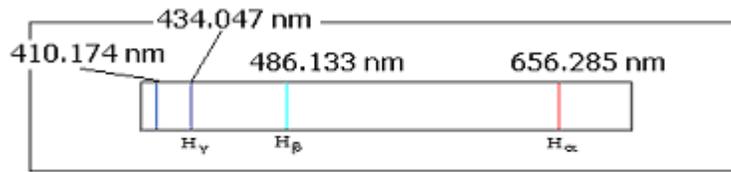
Para algunos elementos (en particular el Hidrógeno), se cuenta con fórmulas que describen la secuencia de las rayas de ese espectro: Formulas de Balmer, Parchen, Bracket , Lyman y Pfund, que se muestran en la tabla siguiente.

<i>Nombre</i>	<i>Intervalo de longitud de onda</i>	<i>Fórmulas</i>
<i>LYMAN</i>	<i>Ultravioleta.</i>	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ <i>Con n=2,3,4,...</i>
<i>BALMER</i>	<i>Ultravioleta y cercano visible</i>	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ <i>Con n=3,4,5,...</i>
<i>PASCHEN</i>	<i>Infrarojo</i>	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ <i>Con n=4,5,6...</i>
<i>BRACKETT</i>	<i>Infrarojo</i>	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ <i>Con n=5,6,7...</i>
<i>PFUND</i>	<i>Infrarojo</i>	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ <i>Con n=6,7,8,...</i>

Tomando en cuenta que $K = \frac{1}{\lambda}$ y $R_H = 1.097 \times 10^7 \frac{1}{m}$ llamada constante de Balmer. En la que lambda se mide de manera similar a como se hace en el experimento de Young.



Espectro del átomo de Hidrógeno



Longitudes de onda de las rayas espectrales para el átomo de Hidrógeno

En relación con los átomos y los modelos atómicos

Se tenía conocimiento de que para los átomos se tenía:

- a) Un número de electrones "Z".
 - b) Un peso atómico "A".
 - c) Una carga eléctrica neutra o bien la carga positiva es igual a la negativa.
 - d) La carga del electrón es "-e" y la carga negativa del átomo es "-Z.e".
- Que la masa del electrón es muy pequeña comparada con la masa del átomo, por lo que la mayor parte de la masa se debe concentrar en la carga positiva.
Que el tamaño del átomo es aproximadamente 10^{-10}m .
Que una partícula cargada acelerada emite radiación electromagnética.
Que los átomos excitados emiten un espectro discreto.

Se cuenta con el modelo de Thompson.

EL MODELO DE THOMPSON

Los electrones cargados negativamente, están localizados dentro de una distribución continua de carga positiva. Entre las características de este modelo están: la distribución de carga positiva tiene un radio de 10^{-10}m .

Debido a la repulsión mutua los electrones, se distribuyen uniformemente en la esfera de carga positiva. En un átomo en su estado de energía posible más bajo, los electrones deberían estar fijos en sus posiciones de equilibrio.

El modelo de Thompson (**fig. 32**), explica la emisión de átomos excitados. La vibración generaría un espectro continuo, que estaría en desacuerdo con lo observado experimentalmente.



Joseph John Thompson

El modelo de Thompson (**fig. 32**), explica la emisión de átomos excitados. La vibración generaría un espectro continuo, que estaría en desacuerdo con lo observado experimentalmente.

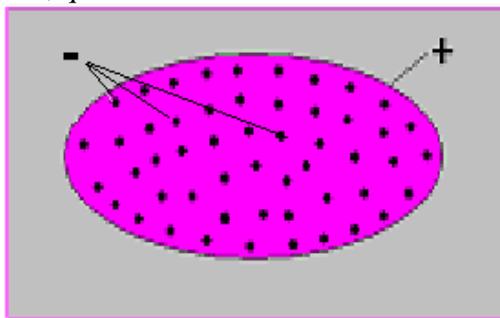
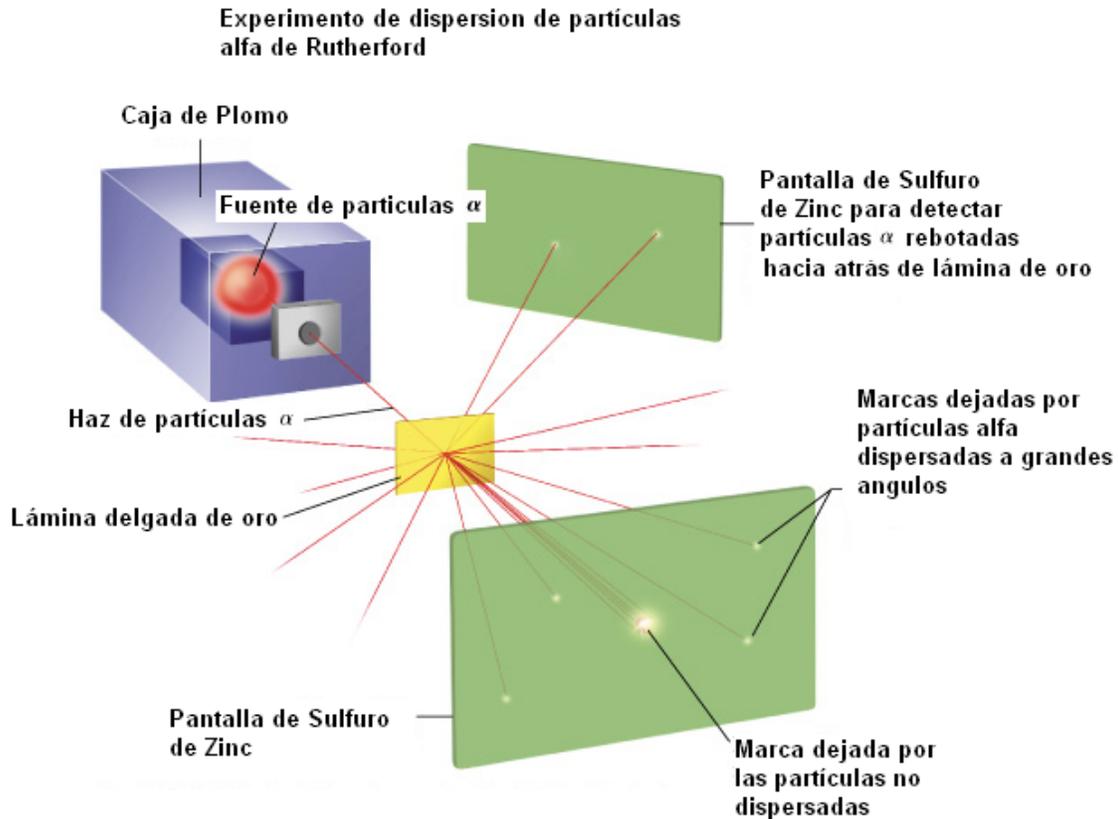


Figura 32

EL MODELO DE RUTHERFORD

Rutherford realizó experimentos de dispersión de partículas α (átomos de Helio doblemente ionizados es decir, He sin dos electrones), al hacerlas pasar a través de láminas delgadas de varias sustancias. Para detectar las partículas uso una pantalla fluorescente. (fig.33)



Predicciones del modelo de Thompson sobre el experimento de partículas α realizados por Rutherford

1. Los electrones sólo pueden producir una deflexión muy pequeña sobre la partícula α . Debido a que la masa del electrón es muy pequeña, comparada con la masa de la partícula α .
2. La fuerza eléctrica de Coulomb del modelo de Thomson, no es capaz de proporcionar una repulsión, ya que la carga positiva está distribuida sobre todo el volumen del átomo de radio aproximadamente igual a 10^{-10} m.

Resultados del experimento de Rutherford



Dificultades del modelo de Rutherford.

1. Los electrones cargados, están acelerados en su movimiento alrededor del núcleo e irradian energía en forma de radiación electromagnética.
2. La energía se emite a expensas de la energía mecánica del electrón y el electrón debería caer en espiral hacia el núcleo. Para un átomo con un radio de 10^{-10} m. ocurriría en 10^{-12} segundos lo que implicaría que el átomo se colapse.
3. Al irradiarse una cantidad de energía constante, se debería obtener un espectro continuo de radiación, lo cual no está de acuerdo con los espectros discretos que emiten los átomos.

MODELO DE BOHR

En 1913, Niels Bohr, retoma el modelo planetario de Rutherford, y usa las ideas de cuantización de la energía de Planck y el concepto de fotón de Einstein; y publica su trabajo sobre la estructura del átomo de hidrógeno. Niels Bohr desarrolló un modelo atómico, a partir de una serie de postulados de no fácil justificación, lo que le permitió construir el primer modelo "exitoso" del átomo de Hidrógeno, que estaba en acuerdo cuantitativo con ciertos datos espectroscópicos, por ejemplo: el espectro del hidrógeno.

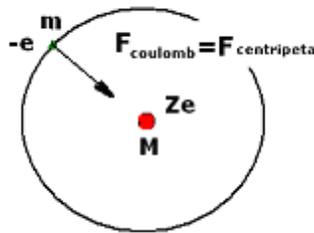


Figura 35

Primer postulado. Existencia del núcleo atómico.

Un electrón en un átomo se mueve en una órbita circular, alrededor del núcleo, bajo la influencia de la atracción de Coulomb entre el electrón y el núcleo, sujetándose a las leyes de la mecánica clásica. (fig.35)

Segundo postulado. La cuantización.

El electrón se mueve en una órbita para la cual su momento angular orbital L , es un múltiplo entero de \hbar con $\hbar = h/2\pi$, y $L = n\hbar$ y $n=1,2,3,4, \dots$

Si la velocidad en la órbita es " V " y el radio de la órbita viene dado por " r ", L se expresa como:

$$L = mVr$$

El segundo postulado de Bohr determina la condición de cuantización siguiente:

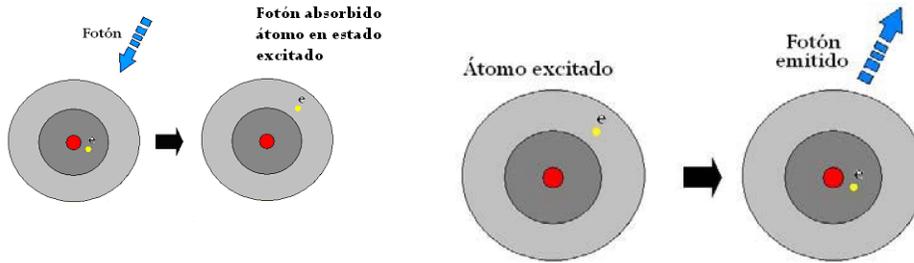
$$mVr = n\hbar$$

$$r = n\hbar / mV$$

Tercer postulado. La estabilidad del electrón.

A pesar de que el electrón se acelera constantemente cuando se mueve en una de estas órbitas permitidas, no irradia energía electromagnética. Su energía total " E_i ", cambia su movimiento de manera discontinua para moverse en una órbita de energía total " E_f ". La frecuencia de la radiación emitida es igual a la cantidad $(E_i - E_f)$ dividida entre la constante de Planck.

$$V = \frac{E_i - E_f}{h}$$



Combinando las versiones matemáticas de los tres postulados, se llega a la cuantización del radio de la órbita. (Figura 35).

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi K m e^2}$$

Por otra parte, dado que la energía del electrón en su órbita es la energía cinética más la potencial eléctrica se llega a:

$$E_{total} = -\frac{ke^2}{r}$$

Después de sustituir el radio de la órbita se obtiene

$$E_{total} = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2} \right)$$

Como se ha supuesto que un electrón que absorbe un fotón, lo hace sólo en el caso que

$$V = \frac{E_i - E_f}{h}$$

$$h\nu = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2 f} - \frac{1}{n^2 i} \right)$$

pero tomando en cuenta que

$$\lambda\nu = c$$

$$h \frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2 f} - \frac{1}{n^2 i} \right)$$

Las limitaciones básicas del modelo

El modelo atómico que Bohr estableció, aunque explicaba algunos aspectos experimentales de la Física de su tiempo, no podía enmarcarse dentro de una concepción clara de la mecánica. Parecía, realmente, como el fruto de una mezcla arbitraria entre la mecánica clásica y la incipiente mecánica cuántica que surgía desde la hipótesis de Planck.

Sin embargo, la limitación fundamental, observada desde el primer momento, es que el modelo no explicaba la estructura espectral de otros átomos distintos al hidrógeno, ni tampoco las leyes del enlace químico

En conclusión con su modelo Niels Bohr:

1. Pudo reproducir idénticamente las formulas espectroscópicas conocidas para el átomo de hidrogeno, en particular aquellas conocidas para el espectro visible de Balmer, y de esta forma dio inicio a una teoría atómica más cercana a la realidad.

1. Permitió construir una Teoría Cuántica Primitiva, con un grado de éxito relativo, ya que sólo funciona para el átomo de Hidrogeno.

1. Posteriormente, se desarrolló toda una teoría sobre la estructura atómica y los espectros correspondientes.

A.90. Realiza las siguientes actividades

1. Elabora un mapa conceptual para los modelos atómicos.

1. Usando una tabla de constantes físicas, y las relaciones obtenidas por Bohr, calcula las longitudes de onda, para las líneas observadas en el espectro del átomo de Hidrogeno.

1. ¿Qué logro consideras que se obtiene del uso del concepto de quantum de energía?

1. Elabora Un mapa conceptual, con las ideas asociadas con el concepto de fotón, a partir de lo estudiado hasta esta etapa.

Revisa en el Átomo Cuántico, en el apartado “Jornadas de la Ciencia” que se encuentra en la página de Internet: www.maloka.org/fisica.htm.

Explora las actividades interactivas que se proponen y realiza un reporte con una síntesis de los conceptos que ahí se exponen. Plantea por lo menos cinco preguntas sobre conceptos o explicaciones que no entiendas

Tabla de algunas constantes fundamentales.

Cantidad	Símbolo	Valor
Carga del electrón	e	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante de gravitación universal de Newton	G	$6,672 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$
Constante de los gases	R	$8,314 \text{ J/K mol}$
Constante de Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Constante de Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Electrón-volt	eV	$1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
Masa del electrón (en reposo)	m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masa del neutrón (en reposo)	m_n	$1,674 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masa del protón (en reposo)	m_p	$1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Número de Avogadro	N	$6,022 \times 10^{23} \text{ 1/(g mol)}$
Radio de Bohr	r_0	$5,29177 \times 10^{-11} \text{ m}$
Velocidad de la luz en el vacío	c	$2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$

A.91. Contesta las siguientes preguntas, con ayuda de tu profesor, y en una discusión grupal:

1. De acuerdo con lo estudiado en el tema de ondas, ¿qué diferencias existen entre una onda y una partícula?
2. Elabora un listado de fenómenos cotidianos, que pueden ser descritos adecuadamente mediante los conceptos de partícula o de onda. Reflexiona acerca de posibles situaciones ambiguas.
3. ¿En qué situaciones la naturaleza ondulatoria o corpuscular de un fenómeno resulta ambigua?
4. Elaborar modelos que simulen el comportamiento dual de la luz, destacando las circunstancias en que se comporta como onda o como partícula.
5. ¿Puede la materia, por ejemplo un electrón, comportarse en ocasiones como una onda?

El experimento de la doble rendija en la versión moderna

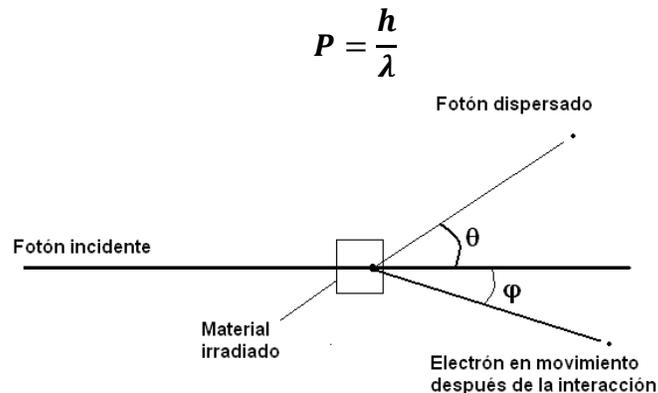
¿Es la luz una onda o una partícula? ¿En qué consiste el modelo cuántico de la luz? ¿En qué consiste el modelo cuántico de la materia?

Naturaleza cuántica de la materia.

A.92. Lee el texto que sigue y discute con tus compañeros, con ayuda de tu profesor, cuáles son las ideas centrales que ahí se expresan.

Efecto Compton

Arthur H. Compton en 1923, realizó un experimento en el que se enviaban rayos X (un tipo de luz muy energética) a una zona con átomos, y posteriormente se medía tanto la frecuencia y ángulo de la luz dispersada, como la velocidad del electrón expulsado tras el choque (**fig.37**). Utilizando los principios de conservación de la energía y del momento lineal en estos choques, todos los resultados eran coherentes, si se suponía que la luz se comportaba como una partícula (un fotón) que colisiona con el electrón, con energía dada por la relación de Planck-Einstein $E = hu$, y con momento lineal igual a:



De acuerdo con la teoría electromagnética clásica, la energía y cantidad de movimiento de una onda electromagnética está dada por:

$$E = pc$$

entonces, relacionando esta E mediante esa ecuación y recordando que $\lambda\nu=c$ se obtiene fácilmente $p = \frac{h}{\lambda}$ Es decir el ímpetu de una onda electromagnética de longitud de onda λ .