



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE CIENCIAS

**PROPUESTA DIDÁCTICA PARA REALIZAR UNA INTRODUCCIÓN DE
LOS MODELOS DE EXPLICACIÓN DE LA LUZ EN UN CURSO DE
FÍSICA EN EL BACHILLERATO: ORIGEN DEL CONCEPTO DE FOTÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR (FÍSICA)**

P R E S E N T A

ENRIQUE ZAMORA ARANGO

DIRECTORA DE TESIS: DRA. BEATRIZ ELIZABETH FUENTES MADARIAGA

MÉXICO, D.F.

AGOSTO, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

A la memoria de mis padres y hermanas.

A Diego, Rodrigo y Leticia.

*A mis hermanos: Ezequiel, Alejandro, Elvira, Guadalupe,
Cortensia, Dolores, Judith y Mario.*

*A los maestros que se ocupan del aprendizaje de sus alumnos y que
tienen claro la relevancia social de su trabajo.*

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los maestros Benilde García Cabrero, Mirna Villavicencio Torres, Rufino Díaz Uribe y Xira Padilla Martínez por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis, por sus atinados comentarios y observaciones, que me han llevado a presentar un trabajo final que, no dudo, será de utilidad para algunos docentes.

En especial agradezco a mi tutora y directora de tesis, Beatriz Elizabeth Fuentes Madariaga por su ayuda, orientación, atinados comentarios y sugerencias, así como su amistad. Su continuo seguimiento y estímulo fue fundamental para el cumplimiento de este trabajo.

"Las preguntas de los estudiantes son no pocas veces fuentes de nuevas investigaciones. Con frecuencia hacen preguntas profundas, en las que he estado reflexionando de cuando en cuando y el las que, por así decirlo, he tenido que darme por vencido..."

Así que a mi parecer es la enseñanza, y los estudiantes, lo que mantiene la vida en marcha, y por eso jamás aceptaré un puesto en el que alguien me haya inventado una feliz situación en la que no tenga que enseñar. Jamás".

Richard P. Feynman (1918-1988), Conversaciones

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	4
2. PROPÓSITOS.	7
3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.	11
3.1 LA PLANIFICACIÓN DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.	11
3.2 LA PROBLEMÁTICA ASOCIADA CON LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA Y EL CONCEPTO DE FOTÓN.	12
3.2.1 PROPUESTAS DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA	12
3.2.2 EL PAPEL DE LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.	15
3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN A QUIEN VA DIRIGIDA LA PROPUESTA DE APRENDIZAJE	17
3.3.1 CARACTERÍSTICAS COGNITIVAS.	18
3.3.2 CARACTERÍSTICAS PSICOSOCIALES.	18
3.3.3 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS Y CULTURALES.	19
4. MARCO TEÓRICO.	23
4.1 CRÍTICA A LAS FORMAS USUALES DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.	24
4.2 LA PROPUESTA INTEGRADORA: LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN DIRIGIDA.	28
4.2.1 EL PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES.	33
4.2.2 LAS DEMOSTRACIONES EXPERIMENTALES EN EL SALÓN DE CLASE.	35
4.2.3 LA LECTURA DE TEXTOS Y LAS ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.	36
4.2.4 LA EVALUACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN DIRIGIDA.	40
5. MARCO METODOLÓGICO.	42
5.1 UN MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.	42

5.1.1 ANALISIS CIENTIFICO RELACIONADO CON EL TEMA DE LA LUZ.	44
5.1.1.1. ÓPTICA GEOMÉTRICA.	45
5.1.1.2. NATURALEZA DE LA LUZ.	46
5.1.1.3. LA CRISIS DE LA FÍSICA CLÁSICA Y EL ORIGEN DE LA FÍSICA CUÁNTICA: EL CONCEPTO DE FOTÓN	46
5.1.2 ANÁLISIS DIDÁCTICO SOBRE EL TEMA DE LA LUZ.	53
5.1.2.1 LOS “CONOCIMIENTOS PREVIOS” DE LOS ESTUDIANTES RELACIONADAS CON EL TEMA DE LA LUZ.	53
5.1.2.1.1 ÓPTICA GEOMÉTRICA	53
5.1.2.1.2 ÓPTICA ONDULATORIA.	56
5.1.2.1.3 FÍSICA CUÁNTICA	57
5.1.2.2 LA CAPACIDAD COGNITIVA DEL ALUMNO: EL ESTADIO DE DESARROLLO OPERATORIO.	59
5.1.3 SELECCIÓN DE OBJETIVOS EN EL TEMA DE LA LUZ	60
5.1.3.1. PROPÓSITOS GENERALES DE LA UNIDAD: FENÓMENOS ÓPTICOS.	60
5.1.3.2. OBJETIVOS DE LA UNIDAD.	60
5.1.3.2.1. CONTENIDOS CONCEPTUALES.	61
5.1.2.2.2. CONTENIDOS PROCEDIMENTALES	61
5.1.2.2.3 CONTENIDOS ACTITUDINALES	62
5.1.4 SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS.	63
5.1.5 SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN: RECURSOS DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE	64
5.2 ELEMENTOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DEL <i>PROGRAMA-GUÍA</i> DE ACTIVIDADES ELABORADO.	71
5.3 LOS DESARROLLOS DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES I, II Y III Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO DE LA UNIDAD.	78

5.3.1 PROPUESTA DIDÁCTICA ELABORADA Y APLICADA EN LA PRÁCTICA DOCENTE II	78
5.3.1.1 LA PLANIFICACIÓN DEL CURSO EN LA PRACTICA DOCENTE II.	79
5.3.1.2 LA EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE II.	80
5.3.2 PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA ELABORADA Y APLICADA EN LA PRÁCTICA DOCENTE III	90
5.3.2.1 LA PLANIFICACIÓN DEL CURSO EN LA PRÁCTICA DOCENTE III.	90
5.3.2.2 RESULTADOS DE LA PRÁCTICA DOCENTE III.	92
5.3.2.3 LA EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE III.	94
5.4 ALGUNAS POSIBLES DIFICULTADES EN LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA.	108
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	110
7. REFERENCIAS	115
7.1 REFERENCIAS BÁSICAS	114
7.2 REFERENCIAS COMPLEMENTARIAS	126
8. ANEXOS	128
8.1 GUÍA DE ACTIVIDADES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: FENÓMENOS ÓPTICOS: ORIGEN DEL CONCEPTO DE FOTÓN	129
8.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN: FICHA DE AUTOEVALUACIÓN.	223
8.3 AUTOCUESTIONARIO.	226
8.4 EL EXAMEN DIAGNÓSTICO.	227
8.5 ELEMENTOS DEL INFORME DE LABORATORIO.	234
8.6 HOJA PARA LA COEVALUACIÓN DE INVESTIGACIONES PRESENTADAS EN EL GRUPO.	236
8.7 CRITERIOS PARA EVALUAR INFORMES DE LABORATORIO.	238
8.8 MAPAS CONCEPTUALES: INFORMACIÓN PARA ALUMNOS.	239
8.9 CUESTIONARIO DE EXPLORACIÓN DE ACTITUDES.	243
8.10 EVALUACIÓN DE LOS ALUMNOS AL PROFESOR.	245
8.11 AUTOEVALUACIÓN DEL PROFESOR.	247
8.12 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DEMOSTRACIONES INCLUIDAS EN LA PROPUESTA.	249

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de este trabajo es, en parte, el resultado de las actividades desarrolladas en las diferentes asignaturas cursadas en la maestría, en particular en las de Práctica Docente. En éste, se desarrolla un diseño de Unidad Didáctica para introducir el concepto de fotón en el Bachillerato (a partir de un modelo específico para el diseño de Unidades Didácticas (UD) en ciencias experimentales; Sánchez y Valcárcel, 1993); se consideran los conceptos antecedentes necesarios para lograrlo y toma en cuenta las “ideas previas” de los estudiantes en relación con la temática considerada.

El producto elaborado también se apega a la orientación de la Maestría en el Programa MADEMS, la cual en su apartado de fundamentación académica menciona que:

Esta Maestría desarrolla conocimientos y habilidades metodológicos para la enseñanza con un alto nivel profesional, proporcionando espacios académicos para la reflexión, la profundización y la elaboración de mejores propuestas y modelos educativos que logren transformar la docencia en la EMS. La MADEMS tiene una orientación profesional y se distingue claramente de los posgrados que persiguen la formación de investigadores y por lo tanto, la generación de conocimiento nuevo.

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., Guisasola, 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 de la UNAM, en particular en el CCH.

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 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 anexo 1) y que es la parte medular de este trabajo, se construyó a partir de los dos intentos diseñados y descritos de forma genérica en el apartado **5.3**. En ella se recoge la experiencia realizada en las Prácticas Docentes (I, II y III) y plantea una nueva forma de abordar el aspecto cuántico de la luz, ligeramente distinta a la que se elaboró y probó en la Prácticas Docentes II y III.

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.

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 la UNAM, 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 CCH, 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.

2. PROPÓSITOS

En el bachillerato en México nadie está preparado, 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. Aún 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 el caso de quien suscribe este trabajo, después de más de diez años de labor docente, se hicieron evidentes algunas debilidades a la hora de planear las actividades de los cursos que realicé, no obstante que, en opinión de los alumnos de mis cursos anteriores, mi desempeño resultaba sobresaliente¹. Dos de ellas corresponden con el proceso de planificación de los cursos (diseño adecuado de las Unidades Didácticas), por una parte, y asociadas con ellas, las formas de evaluación de los aprendizajes propuestos por el programa correspondiente de las asignaturas impartidas que fueran congruentes con el modelo del Colegio en el cual se realiza la labor docente.

Por lo anterior, con la apertura de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) con especialidad en Física, ingrese a ella para realizar los estudios de maestría bajo el supuesto que, en caso de concluirla, resolvería los dos problemas planteados, de manera tal que al regresar a la actividad docente posibilitaría obtener los logros en los aprendizajes de los alumnos requeridos por los programas de estudio y de esa forma realizar esa labor en una forma profesional.

En relación con la problemática del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física, los cambios ocurridos en años recientes, relacionados con la Actualización del Plan y los programas de estudios del Colegio, han generado dificultades para los profesores que impartimos dicha materia. Antes de 1996 los programas de estudios de las asignaturas de Física sólo consideraban prácticamente la Física clásica; a partir de 1996 con la actualización del Plan y los Programas de estudio se agregaron temas de la Física Moderna.

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 en el CCH se han realizado esfuerzos para elaborar materiales y estrategias que faciliten su comprensión en este nivel.

El interés inicial relacionado con este trabajo, consistió en el estudio de la Física Moderna, sin embargo, con el desarrollo de las asignaturas cursadas en la MADEMS se pudo establecer con claridad, el grado de complejidad que implican frases aparentemente tan simples como el que el alumno “logre un

¹ Dicho esto con relación a los resultados que arroja la aplicación del Cuestionario de Actividad Docente (CAD), que se aplica a los estudiantes como evaluación Institucional.

aprendizaje significativo”, “aprenda a aprender”, o “verificar los logros de aprendizaje de los contenidos”, y esto aplicado a la Física Moderna con toda su extensión y complejidad, representaba una dificultad insalvable. Es por ello que fue necesario establecer con mayor precisión, cuál sería el problema a abordar en el tema de Tesis, lo que fue posible a partir de las actividades desarrolladas en los dos primeros semestres de la maestría. Habiendo realizado diferentes aproximaciones a la definición de la temática a abordar, concluí que la temática a desarrollar se asocia con una:

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 Contemporánea (Física atómica, láseres, Física 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 “corpúscular”, “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 y al

mismo tiempo, ubicar con detalle las dificultades conceptuales que puede enfrentar el profesor, para abordar dicha temática en el aula sin dificultad.

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*”. Dicha propuesta se elige debido a que, se aproxima a la forma en que quien suscribe ha explorado la práctica docente en el aula a lo largo de casi veinte años de trabajo, es perfectamente compatible con el modelo educativo del Colegio y permite ubicar la unidad diseñada desde un marco teórico y de una forma más rigurosa.

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”², 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 Colegio, 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.¿Se pueden 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.¿De qué forma es posible?
- 3.¿Cuáles conocimientos antecedentes son necesarios para lograrlo?
- 4.¿Se puede apoyar el aprendizaje de conceptos de la Física Moderna mediante estrategias específicas de enseñanza- aprendizaje? ¿Cuáles?

² 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 Glasersfeld, 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. Para una revisión completa de la corriente constructivista ver: MARTÍNEZ D. A. , *Constructivismo radical, marco teórico de investigación y enseñanza de las ciencias* ; *Enseñanza de las Ciencias*, 1999, 17 (3), 493-502

Suponiendo que la respuesta a la primera pregunta es sí, y que se pueden identificar los conocimientos antecedentes para lograrlo, a partir de una investigación bibliográfica, y de su exploración en las Prácticas Docentes³, 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. Esta orientación será justificada con cierto detalle en el apartado 3.2.2 del siguiente capítulo.

³ La Práctica Docente, es una actividad central en el desarrollo de los estudios de maestría del programa MADEMS, ya que es el ejercicio práctico de lo que se desarrolla en los estudios teóricos de la misma.

3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

3.1 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 Didáctica¹ 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 el capítulo 5.

¹ 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.

3.2 LA PROBLEMÁTICA ASOCIADA CON LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA Y EL CONCEPTO DE FOTÓN

3.2.1 PROPUESTAS DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA.

El conocimiento en Física actualmente, así como el resto de las asignaturas del currículo de ciencias, resulta imprescindible para comprender el desarrollo social, económico y tecnológico en el que nos encontramos; así como para poder participar con una actitud crítica ante algunos de los grandes problemas que la sociedad presenta en la actualidad.

La Física en general, presenta dificultades en su aprendizaje para los alumnos, en los diferentes enfoques de su enseñanza y en las diferentes temáticas que se incluyen en los diferentes currícula del bachillerato. Las investigaciones realizadas sobre la enseñanza de las ciencias, muestran que uno de los temas poco atendidos es el de la Física Moderna (Osterman y Moreira, 2000, Pozo, 1996).

Aún cuando la Física Moderna es considerada especialmente difícil y abstracta por algunos profesores (lo que no es exclusivo de ella), su enseñanza puede contribuir para transmitir a los alumnos una visión más cercana a lo que es la naturaleza de esta ciencia y de la naturaleza del trabajo científico, superando la visión deformada, netamente acumulativa del desarrollo científico, que predomina en los libros de texto utilizados en las aulas, así como las clases tradicionales de Física. Algunas de las razones por la que es necesario el desarrollo de temas relacionados con la Física Moderna, son las siguientes:

- Despertar la curiosidad de los alumnos y ayudarlos a reconocer la Física como una empresa humana y, por lo tanto, cercana a ellos.
- Los estudiantes en muchos casos no tienen contacto con el mundo de la Física actual, pues la Física que ven en sus asignaturas es anterior al siglo XX. Dicha situación es inaceptable en un siglo en el cual ideas revolucionarias han cambiado totalmente la ciencia.
- Es necesario motivar a los jóvenes hacia la elección de carreras científicas, la Física Moderna es la que más puede influenciar a los estudiantes para ello.
- Los estudiantes oyen hablar de temas como agujeros negros y big bang en la televisión o en películas de ficción científica, pero pocas veces en clases de Física.
- A lo largo del siglo XX, la Física ha realizado avances importantes, algunos de los cuales es preciso incorporar, para evitar que se produzca una fragmentación cada vez mayor entre la ciencia escolar y la ciencia presente en la vida cotidiana, entre la ciencia que se enseña en las aulas y los conocimientos que los ciudadanos deberían poseer para comprender mínimamente los avances científicos y tecnológicos y ser capaces de valorar críticamente las implicaciones sociales que estos tienen.

Si no se introducen estos aspectos prácticos y próximos al alumno, la ciencia será tomada por ellos de forma pasiva, como una materia más del Plan de

estudios que hay que acreditar, desconectada de sus áreas de interés más inmediatas.

El aprendizaje de los fundamentos de la Física Moderna, comúnmente se realiza de forma tradicional con los recursos ordinarios. Se requiere, desde nuestra óptica, un cambio en la forma en que los profesores abordan el trabajo en el aula con los estudiantes (Chamizo, 2000), si se quiere lograr el aprendizaje de algunos conceptos de la Física Moderna.

La Física Moderna, aunque es uno de los temas de más interés para los estudiantes de bachillerato (Osterman y Moreira, 2000; Andrés, 2000, Valle, 2005, De la Fuente, 2003), usualmente se trata en los cursos, cuando esto ocurre, de una manera superficial. El porcentaje de estudios realizados en relación con el aprendizaje de la Física Moderna es muy pequeño, adicionalmente y aunque existen algunas ideas de cómo enfocar temas de Física Moderna en el bachillerato (Steinberg, 1996; Ambrose, 1999; Bradley, 1999; Dobson, 2000; Michelin, 2000; Ireson, 2000), estas quedan fuera de los alcances de los profesores y de los alumnos de nuestro bachillerato, debido fundamentalmente a las condiciones prácticas existentes en las escuelas.

A comienzos de la década de los ochenta Gil, Senent y Solbes (1986), presentaron un amplio estudio acerca de la introducción de la Física Moderna en la educación secundaria en España. En dicho estudio concluyen que:

- a) Su enseñanza viene caracterizada por una introducción desestructurada, que mezcla las concepciones clásicas y modernas, que no muestra la existencia de una clara *ruptura* entre ambas, que no deja clara la existencia de dificultades insuperables que originaron la crisis de la Física Clásica, y que no diferencia entre ambas ni señala los límites de validez de la Clásica.
- b) Hay presencia de abundantes errores conceptuales en los textos.
- c) Los alumnos no logran una mínima comprensión de los conceptos e ideas de la Física Moderna.

Por ejemplo, obtuvieron valores superiores al 80% acerca de aspectos tan relevantes como el desconocimiento de la crisis de la Física Clásica o la escasa comprensión de conceptos, algunos tan básicos como el carácter límite de la velocidad de la luz. Por ello proponen una aproximación a la enseñanza de la Física Moderna, que parta de la crisis de las concepciones clásicas, y muestre cualitativamente las características del nuevo paradigma.

En un trabajo posterior (Gil y Solbes, 1993) complementan esta perspectiva indicando que: *“La Física Moderna fue construida contra el paradigma clásico, y su aprendizaje significativo demanda una aproximación similar”*. Concluyen proponiendo programas de actividades de orientación “constructivista”, que superen esa visión deformada de la ciencia, y que produzcan en los alumnos cambios conceptuales similares a los cambios históricos de paradigma.

De acuerdo con Osterman y Moreira (2000), además de la propuesta de Gil, Senent y Solbes (1986) mencionada anteriormente, existen otros dos enfoques

representativos que proponen introducir la Física Moderna en la enseñanza media superior: la no-utilización de referencias a los modelos clásicos y la elección de tópicos esenciales.

La primera línea de investigación se atribuye a las investigaciones de Fischler y Lichtfeldt (1992)², en parte en oposición a la vertiente anterior, ya que consideran que el aprendizaje de la Física Moderna y Contemporánea es dificultado por el uso frecuente de analogías clásicas. Por ejemplo, el átomo de Bohr, una vez aprendido, pasa a ser un obstáculo para el entendimiento de teorías más modernas.

La segunda línea de investigación, la elección de tópicos esenciales, es contribución de Arons (1997), él propone que sólo unos pocos conceptos de Física Moderna y Contemporánea deben ser enseñados en la escuela media. Según Arons, lo más importante en un curso introductorio de Física Moderna y Contemporánea es proporcionar a los alumnos “alguna percepción” respecto a conceptos como *electrones, fotones, núcleos y estructura atómica*. Arons también defiende la búsqueda de apoyo en la Física Clásica para abordar los tópicos modernos y contemporáneos. O sea, es necesario buscar en la Física Clásica los prerrequisitos esenciales para que los nuevos temas sean comprensibles.

Así vemos que los caminos que se propone, respecto a cómo presentar tópicos de Física Moderna en cursos introductorios de Física, son diversos aunque lamentablemente existen pocos estudios en el área. Asimismo, los temas de la formación de los profesores para enseñar esos tópicos y de la preparación de materiales para la enseñanza-aprendizaje adecuados para profesores y alumnos también están poco trabajados.

Tomando en cuenta lo anterior, la meta central de este trabajo, es presentar el diseño de una Unidad Didáctica que describe una forma posible, no tradicional, de introducir un concepto básico en la Física Moderna, en particular de la Física Cuántica: el concepto de fotón, siguiendo un camino paralelo al de la historia de la Física, de forma tal que se logre cierta comprensión conceptual, aunque sea superficial.

La propuesta de Arons, implica la revisión histórica de la evolución de los conceptos de la Física, por ello la propuesta que aquí se presenta, toma en cuenta esa orientación, al estudiar la evolución de los modelos que explican al fenómeno de “la luz”. Lo anterior implica la revisión histórica de la evolución de los conceptos de la Física, que después de pasar por una primera aproximación para la explicación del fenómeno luminoso, dan origen al concepto de fotón. A fin de contar con más elementos para justificar dicha orientación, a continuación se presentan, brevemente, algunas de las razones por la que se incluyen algunos bloques de carácter histórico, vinculados con el estudio de la Física, en esta propuesta.

² FISCHLER, H. y LICHTFELDT, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (2), pp. 181-190. Citado por Osteman y Moreira (2000)

3.2.2 EL PAPEL DE LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.

La Física se presenta usualmente en los cursos ordinarios, como un desfile de éxitos realizado por las grandes mentes de la historia. Libros escolares y maestros, tratan típicamente la historia de la Física de forma lineal, es decir, un desarrollo que va más o menos directamente de un punto culminante teórico o experimental a otro, asociados a ciertos grandes nombres del pasado. De acuerdo con Stuewer (1995), una historia lineal de la Física transmite implícitamente dos mensajes a los alumnos:

- Sugiere que la Física, progresa de manera similar a una máquina programada, arrancar la máquina no importa cuando, y dentro de un futuro próximo, producirá un nuevo descubrimiento; nada puede detener o impedir eso.
- Sugiere que los físicos son personas, principalmente hombres blancos, por supuesto con capacidades intelectuales sobrehumanas; en consecuencia, pueden hacer no importa cuál descubrimiento, simplemente con un poco de dinero y un objetivo: en poco tiempo darán en el blanco.

El incluir elementos de la historia de la Física en su enseñanza, permite promover que los estudiantes conozcan que los humanos dedicados directa o indirectamente a la actividad científica, contribuyen también a su crecimiento. La historia de la Física, enseñada en forma precisa, puede servir para corregir las visiones deformadas que los alumnos tienen de la ciencia: a través del conocimiento de la evolución de los conceptos de la Física, los alumnos pueden adquirir una comprensión de la naturaleza de la misma, tal como la practican quienes la investigan.

Aproximarse a través del desarrollo histórico de los conceptos de la Física, permite promover en los estudiantes la comprensión de algunos de ellos, que usualmente son de difícil comprensión. Hacer ver que la Física es una construcción de conocimiento continuo pero de carácter social, aunque existan los grandes protagonistas, como Newton, Galileo, Faraday, etc. La construcción de la ciencia y de las grandes síntesis ha dependido de muchas pequeñas contribuciones de otras personas dedicadas a esta actividad.

Para Stuewer (1995) a la enseñanza de la Física en el bachillerato, le falta eficacia y significación, es decir, establecer para los estudiantes por qué es importante que conozcan algo de sus conceptos, leyes, teorías y métodos, su desarrollo y el impacto de ella en los grandes cambios ocurridos a lo largo de la historia de la humanidad; en suma, enseñarles de qué trata la Física, cuál es su naturaleza y cómo se ha construido el conocimiento.

La inclusión de la historia de la Física en la enseñanza de la misma, de forma no lineal, es fundamental, al tomar en cuenta que la gran mayoría de estudiantes de bachillerato, no siguen una carrera profesional y si es el caso, pocos eligen una carrera en ciencias. Por ello, los profesores de Física debemos dar una visión más realista de lo que es la investigación en Física

como actividad humana, transmitir la sensación de que la Física es un sujeto vivo que se desarrolla y que ella es el producto de los esfuerzos acumulados de humanos como nosotros mismos, que llegado el momento contribuyen con síntesis o descubrimientos cruciales en ella. De esta forma, el papel de la inclusión de aspectos históricos en la enseñanza de las ciencias, en particular de la Física, presenta algunas ventajas (Matthews, 1994):

- Motiva e interesa a los alumnos.
- Humaniza los contenidos.
- Proporciona una mejor comprensión de los conceptos científicos mostrando su desarrollo y perfeccionamiento.
- Tiene un valor intrínseco la comprensión de ciertos episodios cruciales en la historia de la ciencia.
- Demuestra que la ciencia es mutable y cambiante y que, en consecuencia, el conocimiento científico actual es susceptible de ser transformado; lo que de esta manera, combate las ideas deformadas de la ciencia.
- Permite un conocimiento más rico del proceso científico y muestra las pautas de la metodología aceptada.

A partir de esta visión, en el diseño de Unidad Didáctica, producto de este trabajo, se intenta realizar una aproximación histórica al problema de la construcción del concepto de fotón, de modo tal que se pueda promover, además del conocimiento de los conceptos y principios básicos de la óptica y de la Física, el que los alumnos, a partir de algunos elementos del desarrollo histórico de la Física (Kragh, 1989, Stuewer, 1995):

- Aprendan que el progreso en Física, depende de un gran número de personas, y no solamente de los “gigantes intelectuales” de una época particular.
- Puedan ver que no es posible separar la teoría del experimento.
- Comprendan que el progreso en Física, está fuertemente ligado a las innovaciones técnicas.
- Conozcan algo de la naturaleza de la creatividad científica.
- Aprender que la relación entre teoría y experimentación en Física, está lejos de ser simple y que ella depende de circunstancias históricas particulares en un momento dado y ver a la Física como una búsqueda abierta del conocimiento.
- Los factores psicológicos subjetivos, pueden jugar un papel importante dentro de las observaciones científicas y pueden conducir a errores (Campanario, 1998).
- Que los científicos, en cada momento histórico, no pensaban en nuestros “términos actuales”, ya que utilizaban las herramientas lógicas, metodológicas, epistemológicas y las tradiciones predominantes de su medio y su época.

En suma, el uso de la historia de la ciencia, deberá mostrar a los alumnos que el conocimiento actual es el resultado de un largo proceso, en donde la interrelación teoría–experimento es constante y sobre el cual los factores filosóficos, culturales y sociales, tienen un peso importante. Es importante

aclarar que el uso de la historia de la ciencia como recurso didáctico para estructurar la presentación de un tema, no debe derivar en simplificaciones que distorsionen su sentido, ni el de la propia ciencia (Matthews, 1994 y Lombardi, 1997).

En la elaboración de la propuesta y por tanto de la posibilidad de responder a las preguntas planteadas en el capítulo 2 en forma positiva, resulta más que evidente el hecho de considerar las características de los alumnos a los que va dirigida, con el fin que ella resulte como un producto útil en el desarrollo de la actividad docente en el aula. A continuación se describen en forma somera algunas características de los alumnos que son protagonistas en la aplicación de la propuesta que aquí se presenta.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN A QUIEN VA DIRIGIDA LA PROPUESTA DE APRENDIZAJE

La propuesta que se presenta, va dirigida a alumnos de bachillerato que presentan edades entre los 17 y los 19 años, quienes ya cursaron Física en dos semestres anteriores y que adicionalmente, han seleccionado esta asignatura como optativa, correspondiente al bloque recomendado asociado con la carrera que pretenden estudiar.

Cabe mencionar que en la población atendida en las Prácticas Docentes II y III, los alumnos no eligieron la asignatura de Física por una exigencia relacionada con el área con la que se asocia la carrera que pretenden estudiar, sino porque ellos consideran que les puede ser de utilidad. Lo anterior se justifica al tomar en cuenta que, por una parte, los estudiantes eligen libremente la asignatura de ciencias que deben cursar en quinto y sexto semestre de un bloque de tres asignaturas posibles y, por otra parte, al explorar sobre qué carrera piensan estudiar la mayoría (más del 80%) afirman que lo harán en carreras que no son científicas ni técnicas.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS COGNITIVAS.

De acuerdo con Piaget³ (Pozo y Carretero, 1987; Carretero y Limón, 2000; Piaget, 1981) la adolescencia coincide con la aparición y afianzamiento del que habrá de ser el último de los estadios cognitivos, denominado de las “operaciones formales”, caracterizado desde el punto de vista funcional, por la aparición de las estrategias de resolución de problemas propias del pensamiento formal, cuyas características esenciales son las siguientes:

- Es capaz de razonar no sólo sobre lo real, sino también sobre lo posible.
- Entiende y produce enunciados que se refieren a cosas que no han sucedido y que son puramente hipotéticas y es capaz de examinar las consecuencias de algo que se toma como hipótesis.
- Entiende fenómenos que están alejados en el espacio y en el tiempo.

³ Actualmente, la división que hace Piaget de los estadios del desarrollo cognitivo, no se conservan como él los propone en sus inicios, no obstante, la idea general se sigue aceptando como válida.

- Es capaz de razonar sobre problemas abiertos y complejos, examinando sucesivamente diversas alternativas.

En estas edades, el pensamiento de los jóvenes ya no versa únicamente sobre situaciones y objetos concretos, es decir presentes, sino que es capaz de razonar de una manera más compleja, formando conceptos, deduciendo e induciendo. En pocas palabras, comienza a superar la dependencia de lo concreto que caracterizaba al pensamiento infantil, de manera que ya no está limitado a una mera observación de la realidad sino que empieza a ser capaz de manipular mentalmente la realidad (Pozo y Carretero, 1987, Piaget, 1981)

Aparece un tipo de organización intelectual, que permite a padres y maestros inducir a la reflexión sobre asuntos de su realidad cotidiana, a la contrastación de ideas y opiniones, al análisis de problemáticas actuales, al planteamiento de hipótesis y sus posibles consecuencias. Así resulta una etapa adecuada para continuar con el aprendizaje de las ciencias.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS PSICOSOCIALES.

En esta etapa, los jóvenes experimentan y viven su propio yo como inestable y en continuo cambio; en consecuencia, surge la necesidad de autoafirmarse y de ser posible de forma no convencional (Coleman 1998; Rice, 2000).

Es distintivo en ellos el deseo y la necesidad de ser y tener fisonomía propia, personal, originando el afán de diferenciarse de los demás (concretamente de las personas adultas). La manera de ocupar el ocio, de vestir, de beber alcohol, el lenguaje que utilizan, o el consumo de drogas, pueden cumplir este papel diferenciador del mundo adulto, y a la vez integrador del mundo juvenil.

La consecuencia más inmediata de la progresiva conciencia de sí mismo es el deseo y la necesidad de una creciente independencia respecto a la familia. Pero se debaten entre la dependencia y la independencia de los adultos.

Los adolescentes han de integrar en su personalidad aspectos tales como: su maduración sexual, su pelea por la independencia, el inicio de toma de decisiones claves para su vida, etc. Esta situación, va a producir un proceso de duda y generalmente de insatisfacción consigo mismo, que puede degenerar en conductas conflictivas.

Esta edad se caracteriza también, por la necesidad de una integración social muy fuerte en el grupo de compañeros y comienza el proceso de emancipación respecto a la familia. El grupo de iguales adquiere en este período cada vez más importancia, por ser el espacio privilegiado en el que el adolescente se siente más él mismo, esto es, en el que manifiestan los valores y actitudes propios de esa identidad en fase de desarrollo.

El grupo de iguales tiene, a estas edades, una función de soporte afectivo y protector, juega un papel decisivo como punto de referencia y regulador de actitudes, hábitos, conductas e ideas del adolescente (Coleman, 1998). Pero a cambio, el grupo exige el seguimiento de unas normas de conducta y genera información acerca de las actitudes y de los comportamientos que se

consideran apropiados. Por eso, algunas manifestaciones conflictivas pueden estar motivadas por la necesidad de sentirse aceptado por el grupo, para revalorizarse o por temor al ridículo ante sus compañeros.

Dentro de la cultura adolescente un elemento clave es la manera de ocupar el tiempo de ocio. La influencia de los modelos sociales es algo en principio positivo, pero hoy en día está siendo invadido y manipulado por el “mercado” juvenil con vistas a aprovechar sus amplias potencialidades de consumo. La conciencia del riesgo de ésta situación, afortunadamente, es cada vez más evidente, así como la necesidad de ofrecer recursos personales al joven, desde la perspectiva educativa, para resolver de forma positiva la problemática de este período.

3.3.3 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS Y CULTURALES.

Dado que la aplicación de la exploración de la propuesta didáctica, se desarrollo específicamente en el plantel Naucalpan del CCH, a continuación se presentan algunos datos de carácter general que corresponden a la población de alumnos del CCH, que se obtuvieron a partir del diagnóstico elaborado por la Comisión Especial para el Congreso Universitario en el año 2003⁴. La intención es presentar la información que permita conocer la problemática presente de los estudiantes que han sido atendidos en las Prácticas Docentes de la MADEMS y ubicar de mejor manera los resultados obtenidos en ellas así como el producto que se presenta. La generación 2003 presenta, en promedio, características socioeconómicas y culturales muy similares a las que presentan los estudiantes que participaron en las Prácticas Docentes, ya que ellos pertenecen a esa generación.

Para empezar, una condición que presentan algunos estudiantes del CCH, es que no eligieron al CCH para estudiar como primera opción: sólo el 50% de los alumnos que ingresaron al CCH habían optado por estudiar en él, como la opción primera de su preferencia, mientras que el 72% de los alumnos que ingresaron a la ENP había optado por ésta institución como primera opción.

En los años recientes, ha aumentado el porcentaje de alumnos con menos de 15 años de edad que ingresan al Colegio. El contexto familiar en el que se desarrolla la vida del estudiante, se caracteriza como un núcleo, generalmente compuesto por cinco miembros. Actualmente sólo el 5% de los alumnos declara trabajar.

El Colegio tiene 53% de mujeres y 47% de hombres y en la generación 2003 en el Plantel Naucalpan, ingresaron 56.4% de mujeres y 43.6% hombres del total.

De la ocupación de los padres de los alumnos, resalta que los comerciantes y empleados representan el 70%. El 28% de los padres y el 40% de las madres, tienen un nivel máximo de primaria; mientras que un 25% de ambos grupos llegó hasta la secundaria. El 8% de las madres y el 15% de los padres tienen bachillerato. Ambos padres se diferencian en los estudios superiores: las

⁴ Ver página de Internet: <http://www.congreso.unam.mx/diaginstitu/CCH.htm>

madres tienen un acceso reducido a los estudios superiores, 7% de licenciatura y 1% postgrado; mientras que los padres tienen un nivel de escolaridad mayor, 15% de licenciatura y 2% de postgrado.

De lo anterior se concluye que el 65% de las madres alcanzan un máximo de estudios de secundaria. Esta condición debe relacionarse con la posibilidad de apoyo académico a los estudios de sus hijos.

Antecedentes académicos

El seguimiento de los estudiantes en su estancia en el Colegio, permite reconocer que las condiciones académicas al ingresar en él, son determinantes para su desarrollo en el transcurso del bachillerato. Es posible obtener una visión general de las características académicas de los alumnos cuando ingresan, tomando como indicadores: su calificación al ingresar al Colegio y su promedio en secundaria.

En el concurso de ingreso a la UNAM, en la generación 2003 el 60% de los alumnos obtuvo calificaciones entre 5 y 6, mientras que sólo un 20% obtuvo calificaciones mayores de 6. El examen de ingreso a la UNAM consta de 128 reactivos, en Azcapotzalco y Naucalpan la mayoría de sus alumnos asignados tienen de 50 a 69 aciertos y los otros tres planteles los tienen de 70 a 89.

En función del promedio de egreso de la secundaria, la población estudiantil que ingresa al Colegio se divide en tres grupos. El primer grupo reúne a los alumnos que obtuvieron entre 7 y 8 de promedio de calificación y representa el 42%. El 38% obtuvo un promedio entre 8 y 9 y por último, el 20% obtuvo un promedio superior a 9. Para el plantel Naucalpan corresponde a 43%, 38% y 18% respectivamente.

Aprovechamiento escolar.

De acuerdo con el comportamiento histórico de la acreditación de los alumnos del Colegio, se tiene en términos generales lo siguiente:

1. En el primer semestre aparece un porcentaje importante de alumnos que no ha acreditado la totalidad de las asignaturas.
2. En tercero y cuarto semestres, la reprobación se agrava aún más.
3. En quinto y sexto se muestra un repunte de la acreditación que se refleja finalmente en el egreso.

Para los alumnos, el egreso en tres años resulta cada vez más improbable al no aprobar, concretamente más de dos materias al término del primer semestre y en el caso que acumule asignaturas no acreditadas, le es aún más difícil acreditar las asignaturas ya detectadas como conflictivas.

En el desempeño académico de los estudiantes existen diferencias notables, cuando este se analiza por turnos. Por ejemplo en la generación 2002 en el plantel Naucalpan, se tiene el 74 % de aprobados en el turno matutino contra un 50% de aprobados en el vespertino.

En relación con el egreso, un indicador importante de la eficiencia de una institución, se tiene que, el egreso por generación en tres años es del orden de la tercera parte de los que ingresan.

Un dato histórico para el Colegio , lo representa el hecho que del total de alumnos que han ingresado desde su fundación, han logrado egresar 53 de cada 100, sin tomar en cuenta ningún otro factor, como la deserción, especialmente del turno vespertino de algunos planteles, que ha sido en algunas épocas muy alta.

En conclusión los alumnos del Colegio presentan la siguiente problemática:

- En general, es notoria su falta de hábitos y de estrategias de estudio
- La posibilidad de recibir apoyo familiar en las tareas escolares es irregular; si se toma en cuenta la escolaridad y ocupación de los padres.
- Su capital cultural es muy pobre, poca relación con medios informativos o actividades científicas y artísticas.
- Algunas de las características socioeconómicas, culturales y académicas de los estudiantes que recibe el Colegio de Ciencias y Humanidades, muestran a un joven que enfrentará dificultades para asimilar la cultura universitaria, cuya apropiación es el propósito del Plan de Estudios.
- Otro aspecto de la problemática estudiantil proviene del entorno y del deterioro del ambiente social, producto de los complejos fenómenos urbanos de la ciudad de México.
- Las causas posibles de esta disparidad son múltiples y de naturaleza distinta. Incluyen menores calificaciones en secundaria y en el examen de ingreso a la UNAM, asistencia a un turno no deseado, mayor cansancio de los profesores que trabajan en otras instituciones por la mañana, entre otras.

Las características de los estudiantes que se han descrito con anterioridad, deben ser tomadas en cuenta a la hora de planificar la enseñanza de cualquier asignatura que se desarrolle en el bachillerato a fin de que la misma resulte una propuesta viable en la práctica.

Un elemento más de la problemática que afecta el desarrollo de la formación académica fundamental de los adolescentes, es el cómo se desarrolla la docencia en el aula. En general en el Colegio la que en muchas ocasiones predomina es la forma “tradicional”, no obstante que el Modelo Educativo del Colegio propone un papel del alumno como protagonista de su aprendizaje y el del profesor el de un guía que dirige el aprendizaje (CCH, 1996, 2002, 2003), por ello en este trabajo se presenta una propuesta didáctica que es consistente con el modelo del Colegio y que toma como referencia el modelo de enseñanza de las ciencias como *investigación dirigida*. Los elementos básicos del modelo se presentan en el capítulo siguiente.

4. 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. Aún 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 teóricos¹ 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 tradicional², 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 Vigotsky³,

¹ Para una revisión completa de los paradigmas centrales de la Psicología educativa que permiten, en principio, una mejor lectura de éste trabajo, se sugiere la lectura del libro de Hernández, G. (2004).

² Se sugiere complementar la lectura del libro de Hernández, G. con la del capítulo 4 del libro de Pozo, J. I. & Gómez – Crespo, M. A. (1998).

³ Para una revisión somera de los modelos de Piaget, Ausubel y Vigotski ver MOREIRA, M. A. (2000) *Aprendizaje Significativo: teoría y práctica*, Visor. España.

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 a 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).

4.1 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 o de transmisión-recepción (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 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 presentan 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.

4.2 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”⁴ 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*⁵ simplificadas y dirigidas, que

⁴ La metodología del sentido común, se basa en la utilización del pensamiento ordinario. Dicha forma de pensamiento puede ser útil en la mayoría de las situaciones cotidianas, pero lo es muy poco para el aprendizaje de los conocimientos científicos. Cuando se utiliza para el aprendizaje de las ciencias, se pueden constatar, entre otras, las siguientes características:

- Tendencia a contestar rápidamente, a dar respuestas precipitadas sin analizar el problema realizando una reflexión previa sobre aquello que se pregunta; considerando las distintas variables que intervienen y cómo pueden influir, los conocimientos relacionados con la cuestión, etc.
- Comparar magnitudes distintas. Dicha comparación apoya la existencia de posibles ideas alternativas, así, por ejemplo, si se maneja la idea de fuerza como causa de la velocidad, es habitual que un alumno ante un lanzamiento vertical y hacia arriba, razone que subirá, si la velocidad inicial con que se lanza es mayor que el peso.
- Un formulismo y operativismo extremos al intentar resolver problemas, que lleva a buscar fórmulas en las que estén representados los datos y la incógnita, sin plantearse el campo de validez de la misma, realizando cálculos inmediatamente sin plantearse siquiera la posibilidad de una resolución literal y con el fin de llegar a un resultado numérico lo antes posible.
- Tendencia a relacionar magnitudes mediante reglas de tres (proporcionalidad directa) en cualquier situación.
- Atribuir propiedades anímicas a sistemas que no pueden tenerlas. En el lenguaje cotidiano es frecuente, por ejemplo, afirmar que un coche va con mucha fuerza para decir que va muy rápido.
- Conformarse con explicaciones parciales sin plantearse la búsqueda de coherencia entre lo que se obtiene o se afirma al contestar un problema o una pregunta y el cuerpo de conocimientos teóricos de que se dispone.

⁵ Gil, D. et al. (1988), clasifican los problemas de acuerdo con el objetivo para el cuál se propone su resolución, en las siguientes categorías:

- **Ejercicios de reconocimiento:** Son ejercicios y por tanto no son verdaderos problemas. Sirven para que los estudiantes puedan desarrollar la capacidad de representar datos y acontecimientos.

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,

-
- Ejercicios algorítmicos: Son ejercicios que se le presentan al estudiante para que éste mecanice ciertos procedimientos y patrones de resolución, planteados en forma numérica en cierta disciplina.
 - Problemas de aplicación: Son situaciones que implican que el alumno muestre su capacidad de transferencia de los conocimientos asimilados a situaciones nuevas
 - Problemas de búsqueda: Son verdaderos problemas, cuyo objetivo es la construcción de conocimientos por parte del alumno con base en los que ya posee.
 - **Situaciones problemáticas:** Son problemas reales, se distingue de los casos anteriores en que representa algo nuevo, es decir desconocido para el sujeto ya sea por su novedad o porque provoca el deseo en el estudiante por resolverla, está dentro de su campo de intereses cognoscitivo, presenta un nivel de dificultad adecuado al grado de desarrollo de las habilidades del estudiante y genera la necesidad de transgredir los límites de conocimiento, partiendo de los elementos conceptuales ya asimilados.

(1986)⁶, 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 construidos 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 otros⁷, 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*

⁶ Driver R. y Oldham, V. (1986) A constructivist approach to curriculum development in science. Studies in Science Education. 13, 105-122. Citado por Gil, (2005).

⁷ Está claro que a partir de unos pocos resultados experimentales, como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar, no se puede hablar de verificación de hipótesis (Hodson,1994). Por ello, resulta importante la interacción entre los equipos de trabajo y la participación del profesor, como "representante de otros muchos investigadores", es decir, de lo que la "comunidad científica" ha ido aceptando como resultado de un largo y complejo proceso.

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.

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 (Tibergien, 2000; Millar, 1998; Solomon, 1991), que dificultan en ocasiones la operación de éste tipo de propuestas.

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 científico⁸ (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.

⁸ 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).

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

4.2.1 EL PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES.

La enseñanza de la Física, puede organizarse mediante un *programa-guía de actividades*⁹, 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 un currículo, 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.

⁹ El "*programa-guía*" nos describe la secuencia de enseñanza en términos genéricos, relatando el conjunto de actividades incluidas en ellas (Gil et al. 1991). Debe concebirse como una propuesta de desarrollo de la UD, y como tal, debe ser abierto y sujeto a las modificaciones que se requieran durante su desarrollo, como la supresión de una actividad prevista o la inclusión de una no prevista.

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 elaboró 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.

4.2.2 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”,¹⁰ entre la predicción que hace el alumno de lo que va a suceder y la realidad.

¹⁰ En el modelo Piagetiano, se elaboran una serie de conceptos centrales que le dan cuerpo a la teoría como son: **inteligencia, asimilación, acomodación, esquema y conflicto cognitivo**. El ser humano es un organismo vivo que llega al mundo con una herencia biológica, que afecta a la **inteligencia**. Por una parte, las estructuras biológicas limitan aquello que podemos percibir, y por otra hacen posible el progreso intelectual. La **asimilación** se refiere al modo en que un organismo se enfrenta a un estímulo del entorno en términos de organización actual, mientras que la

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 los alumnos que participaron en la Práctica Docente III, en la sección **5.3.2.3** se presenta 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.

acomodación implica una modificación de la organización actual en respuesta a las demandas del medio. Mediante la asimilación y la acomodación vamos reestructurando cognitivamente nuestro aprendizaje a lo largo del desarrollo (reestructuración cognitiva). El **esquema** se establece en relación con el tipo de organización cognitiva que, necesariamente implica la asimilación: los objetos externos son siempre asimilados a algo, a un esquema mental, a una estructura mental organizada, esta puede ser transferida y generalizada. Finalmente el proceso de **equilibración** entre asimilación y acomodación se establece en tres niveles sucesivamente más complejos: entre los esquemas del sujeto y los acontecimientos externos; entre los propios esquemas del sujeto; se traduce en una integración jerárquica de esquemas diferenciados. Cuando el equilibrio se rompe se genera lo que se llama **conflicto cognitivo**

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).

4.2.3 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 pseudociencia (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 metacognitiva¹¹, 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 DiGisi¹² 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 cognitivas¹³ 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.

¹¹ La metacognición se refiere, al conocimiento que uno tiene sobre los propios procesos y productos cognitivos o sobre cualquier cosa relacionada con ellos, es decir, las propiedades de la información o los datos relevantes para el aprendizaje. Por ejemplo, estoy implicado en metacognición (metamemoria, metaaprendizaje, metaatención, metalenguaje, etc.) si me doy cuenta de que tengo más problemas al aprender A que al aprender B, si se me ocurre que debo comprobar C antes de aceptarlo como un hecho... La metacognición se refiere, entre otras cosas, al control y la orquestación y regulación subsiguiente de estos procesos. Flavell, (1976). Algunos autores enumeran estrategias cognitivas y metacognitivas estableciendo diferencias entre ellas. Sin embargo, otros piensan que la frontera se desdibuja y algunas estrategias pueden desempeñar funciones cognitivas o metacognitivas, dependiendo de la situación en que se apliquen.

¹² Di Gisi y Yore, L (1992). “*Reading comprehension and metacognition in science: Status, potential and future direction*”, citado por Soto, (2002).

¹³ La cognición implica conocimiento, acción y efecto de conocer. El conocer es definido, en su acepción de sentido común, como averiguar por el ejercicio de las facultades intelectuales la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas (Diccionario de la Real Academia Española, 1992).

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.

Tabla I

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">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? |
|--|

<p>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.</p>
--

El ejemplo más simple de autocuestionario para fomentar el control de lo que se ha aprendido puede ser la pregunta: “¿Qué he aprendido de ésta lección, tarea, actividad, demostración o práctica de laboratorio?”.

Un autocuestionario más detallado llevaría sin duda a los alumnos a formular, al menos, sus dificultades como problemas, una estrategia básica de control de la propia comprensión y que no siempre se aplica de manera espontánea (Otero y Campanario, 1990).

En una propuesta “constructivista” de enseñanza de las ciencias, todas las estrategias cognitivas y metacognitivas pueden formar parte del proceso de

evaluación del aprendizaje, por lo que conviene desarrollar el tema de cuál es el papel del proceso de evaluación en la propuesta de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida.

4.2.4 LA EVALUACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN DIRIGIDA.

De cuál es el papel de la evaluación en el proceso de enseñanza- aprendizaje, no es una cuestión que los profesores de ciencias suelen plantearse explícitamente, y cuando ello ocurre, es en relación con la función de acreditación que el sistema educativo le exige: la evaluación en la enseñanza ordinaria suele limitarse, a la constatación del "aprovechamiento" del alumno, asignándole una calificación que pretende servir de base "objetiva" para su promoción. Así, evaluación tradicionalmente, se asocia con calificación y acreditación.

Consistente con la orientación de enseñanza de las ciencias como *investigación dirigida*, se debe usar una forma de evaluación que supere las ideas de "sentido común" de los profesores como por ejemplo: la "inevitabilidad del fracaso" de un porcentaje elevado de alumnos, dado que "no todo el mundo está capacitado para las ciencias", la facilidad de evaluar las materias científicas con "objetividad y precisión", etc, que se muestran más persistentes (Gil, et. al., 1991; Gil, 2005; Alonso, et. al., 1992).

Otros elementos importantes que se asocia con el clima generado en la clase y con las expectativas de los profesores sobre el desempeño de los alumnos son:

- El papel que les corresponde en su desempeño a los alumnos o a las alumnas, asignado desde la visión del profesor (Spears, 1984)¹⁴.
- El efecto que se produce en la valoración más alta de aquellos ejercicios atribuidos a alumnos "brillantes".
- Las notables diferencias, entre las puntuaciones dadas por distintos profesores a un mismo ejercicio de Física o Matemáticas.
- Los cambios en las calificaciones que el mismo profesor da a los mismos ejercicios en momentos diferentes

Los señalamientos anteriores, ponen en duda la precisión y objetividad de las pruebas : por una parte, muestran hasta qué punto las valoraciones están sometidas a grandes dosis de subjetividad e incertidumbre y, por otra, hacen ver que la *evaluación se convierte, cuando se realiza en forma tradicional, en un factor que afecta decisivamente a aquello que pretende medir* (Hoyat, 1962)¹⁵. Así, no se puede partir de la evaluación como un proceso de valoración "objetivo" y terminal de la labor realizada por cada alumno, por el contrario, desde la concepción del aprendizaje que se plantea en la propuesta

¹⁴ Spears, M (1984) Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. European Journal of Science Education. 6, 369-367. Citado. por Gil, (1991).

¹⁵ Hoyat, F. (1962) Les Examens. (Institut de l'UNESCO pour l'Education. Ed Bourrellier: Paris). Citado por Gil, 1991.

de *investigación dirigida*, el profesor, como director de investigación, ha de considerarse corresponsable de los resultados que éstos obtengan.

A fin de replantear el proceso de evaluación, se deben cuestionar las concepciones docentes tradicionales relativas a esta actividad, dado que ellas actúan como un obstáculo para el logro de cambios en el mejoramiento del proceso de aprendizaje-enseñanza de las ciencias.

En primer lugar, la evaluación tradicional (que usualmente se asocia con calificar), es quizás el aspecto que más propicia un ambiente de confrontación entre profesores y alumnos, contribuyendo a distorsionar el clima de trabajo en el aula (Black, 1998), por lo que el cambio debe apuntar hacia el planteamiento de una nueva pregunta. La pregunta no será "quién merece una valoración aprobatoria y quién no", sino "qué ayudas específicas requiere cada cual, para seguir avanzando y alcanzar los logros en el aprendizaje deseados", es decir, se parte del supuesto que la generalidad de los alumnos puede tener éxito en el aprendizaje de las ciencias, si son ayudados adecuadamente.

Así, resulta que el papel fundamental de la evaluación, es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, por lo que ha de tratarse de una evaluación a lo largo de todo el proceso y no de valoraciones terminales, es decir, se deben integrar las actividades de evaluación a lo largo de todo el proceso, con el fin de incidir positivamente en el mismo, dando la retroalimentación adecuada y adoptando las medidas necesarias para corregir (Colombo, Pesa y Salinas, 1986).

Al mismo tiempo, se deben planificar revisiones y profundizaciones de aquello que se considere más importante, para que los alumnos refuercen sus conocimientos aunque ello implique eliminar algunos aspectos del programa que, por no contar con el tiempo suficiente, serían mal aprendidos y olvidados muy rápidamente. Lo anterior implica romper con la inercia que la mayoría de los alumnos presenta con las formas de evaluación conocidas y utilizadas a lo largo de su vida escolar y que en algún momento, puede resultar un obstáculo para el avance en el aprendizaje.

Este tipo de evaluación "formativa", debe ser parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, por ello, la evaluación debe concebirse y usarse como un instrumento más que contribuya a la mejora del aprendizaje de los alumnos y a las formas de enseñanza del profesor. En otras palabras, el proceso de enseñanza aprendizaje, debe transformarse en un proceso continuo de enseñanza-aprendizaje-evaluación.

Hasta aquí, hemos expuesto en qué consiste la orientación teórica que sigue la propuesta de UD que aquí se presenta, a continuación se exponen, en forma detallada, los elementos de carácter metodológico que han sido considerados en el diseño y elaboración de dicha Unidad.

5. 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.

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

Como ya se señaló en el capítulo 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	1. Seleccionar los contenidos. 2. Definir el esquema conceptual. 3. Delimitar procedimientos científicos. 4. Delimitar actitudes científicas.

II. ANÁLISIS DIDÁCTICO	
A. La delimitación de los condicionamientos del proceso de E/A, adecuación al alumno.	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.	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	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	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.

5.1.1 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.

5.1.1.1. 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.

5.1.1.2. 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.

5.1.1.3. 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 a 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. Ver el artículo de Moreira M. (2002) *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en ésta área*. Publicado en Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, 7(1), 2002. <http://www.if.ufrgs.br/ienci>. Consultado en nov 2005.

- 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. Aún 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

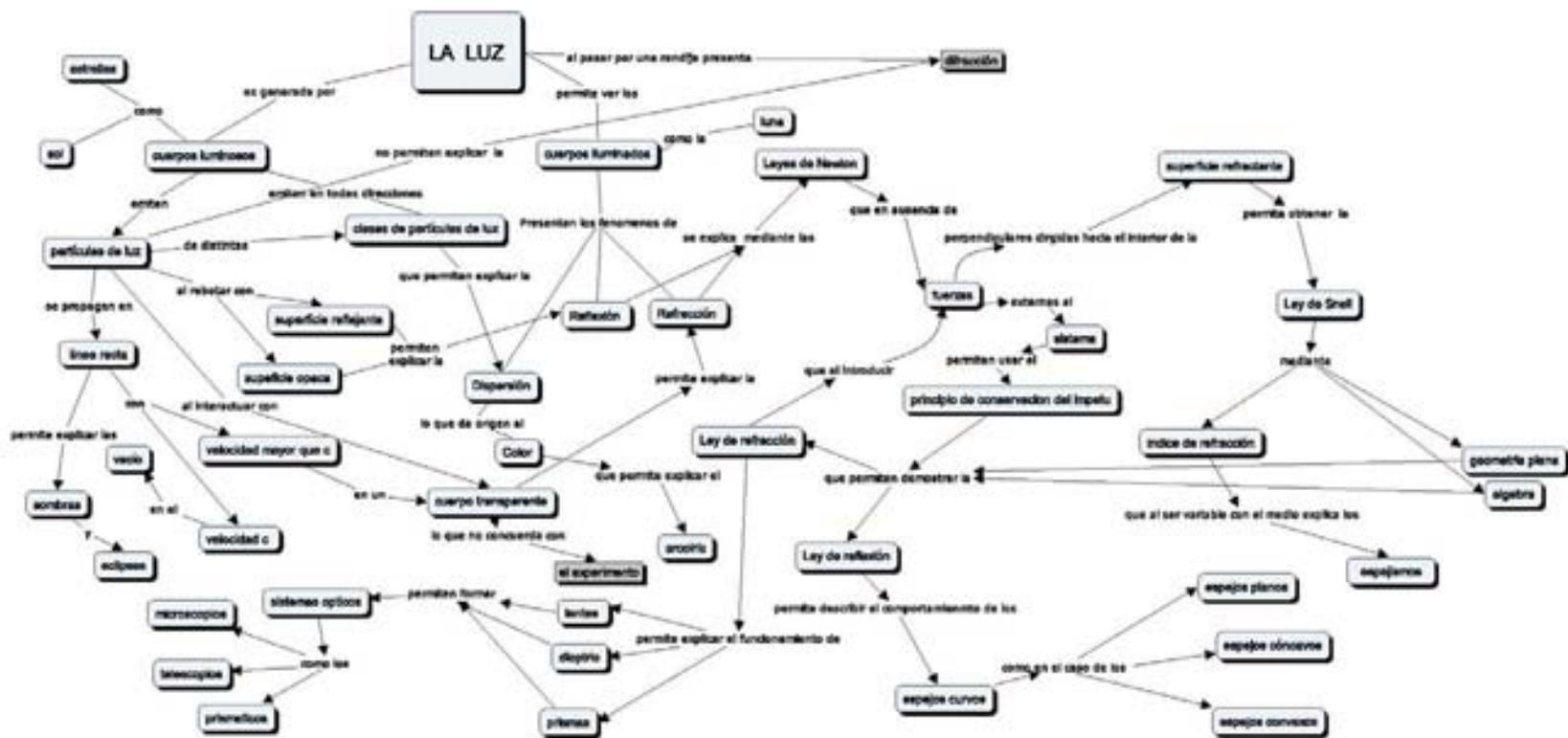
Corresponden con los principios, leyes y conceptos básicos de la Óptica Física y Geométrica, así como de aquellos que dan origen a la Física Moderna y permiten tener una visión moderna de la naturaleza de la luz (ver mapa de conceptos en las páginas siguientes).

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.



La explicación de la luz de acuerdo con la Teoría de corpuscular de Newton



5.1.2 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.

5.1.2.1 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

5.1.2.1.1 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 (Knighth, 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 similares al que se muestra en la figura 5.

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

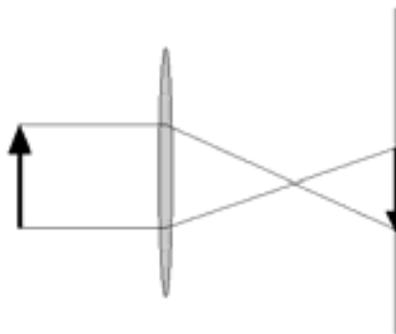


Fig. 5

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.

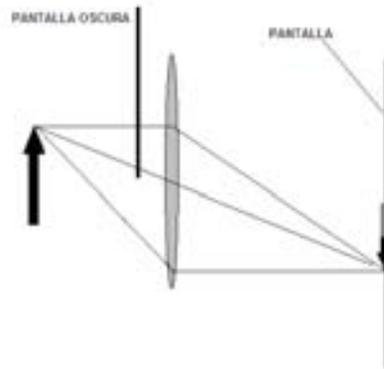


Fig. 6

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.

5.1.2.1.2 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. 7), 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.

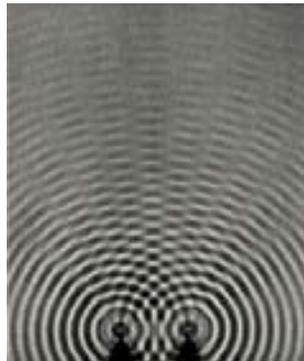


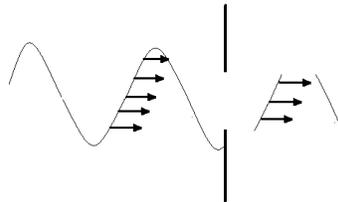
Fig. 7

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 postinstrucción, 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. 8, 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.

Fig.8



5.1.2.1.3 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 (ver figura 9)

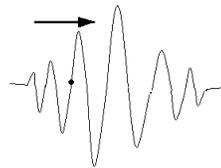


Fig. 9

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.

5.1.2.2 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

Nivel cognitivo	Características asociadas
<i>Concreto avanzado</i>	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”.
<i>Formal inicial</i>	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.
<i>Formal avanzado</i>	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.

5.1.3 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.

5.1.3.1 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**

5.1.3.2 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.

5.1.3.2.1. 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

5.1.3.2.2. 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 acarrearón.
- Interpreta algún experimento asociado con el efecto fotoeléctrico, mediante el concepto de fotón.

5.1.3.2.3 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 del 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.
- Respeto 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.

5.1.3 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 apartado 5.2 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

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

5.1.4 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 aprendizaje².
- 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

² 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.

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 criterios³ 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 conocer⁴ 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

³ 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.

⁴ 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).

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)⁵, 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.

⁵ Op. cit. Citado por Gil, (1991)

- 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 (ver anexo 8).

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.

5.2 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 la sección 5.1 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 IV del programa de Física del CCH y la estrategia que seguiremos para avanzar en la solución del problema de una manera lógica.

En ésta 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. 10, el planteamiento de la propuesta de manera general y de forma específica, en la Fig.11, en un subtema a considerar en la temática a desarrollar (Osuna, y Martínez-Torregrosa, 2005).

Estructura general de un tema

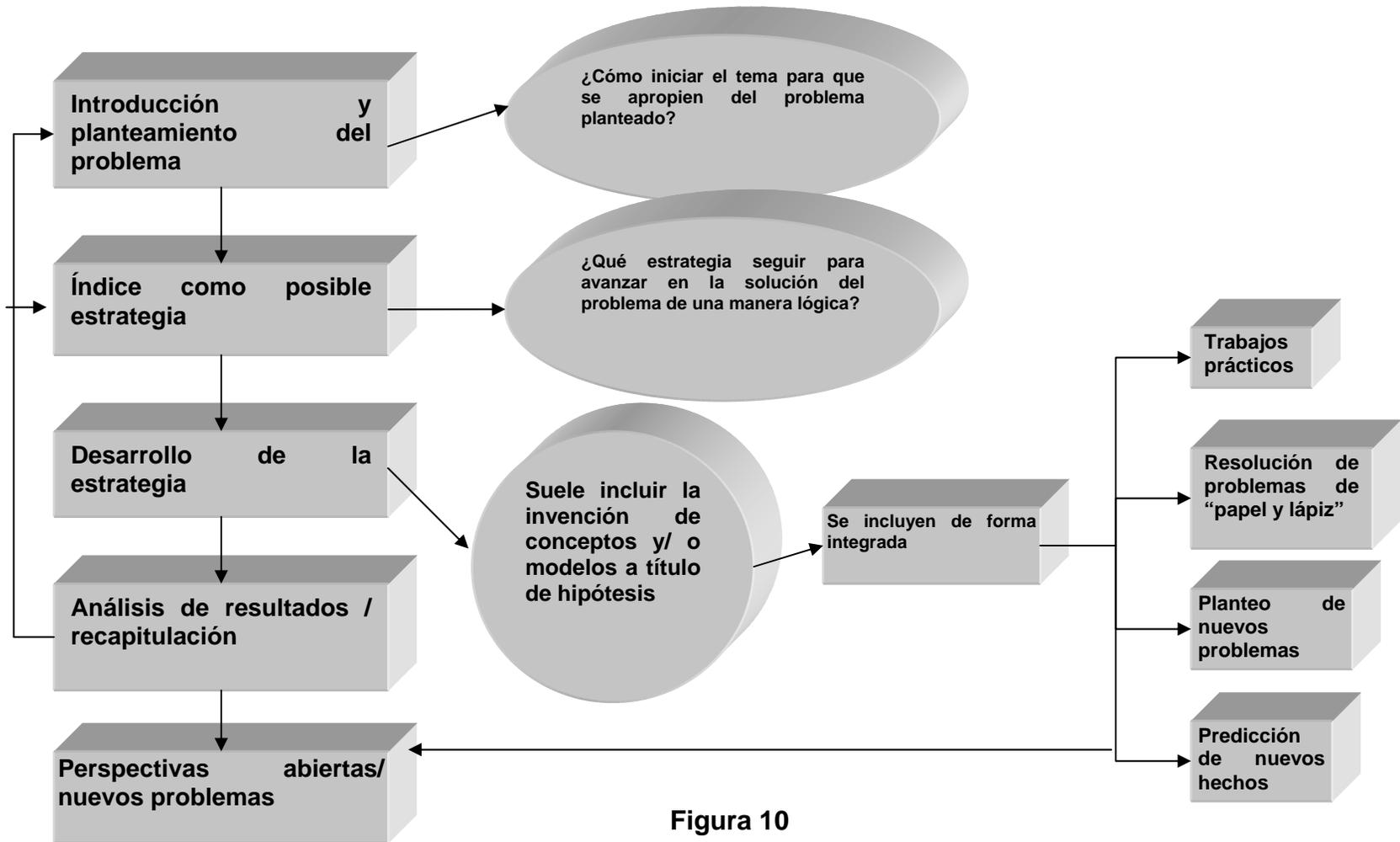


Figura 10

Desarrollo de un subtema

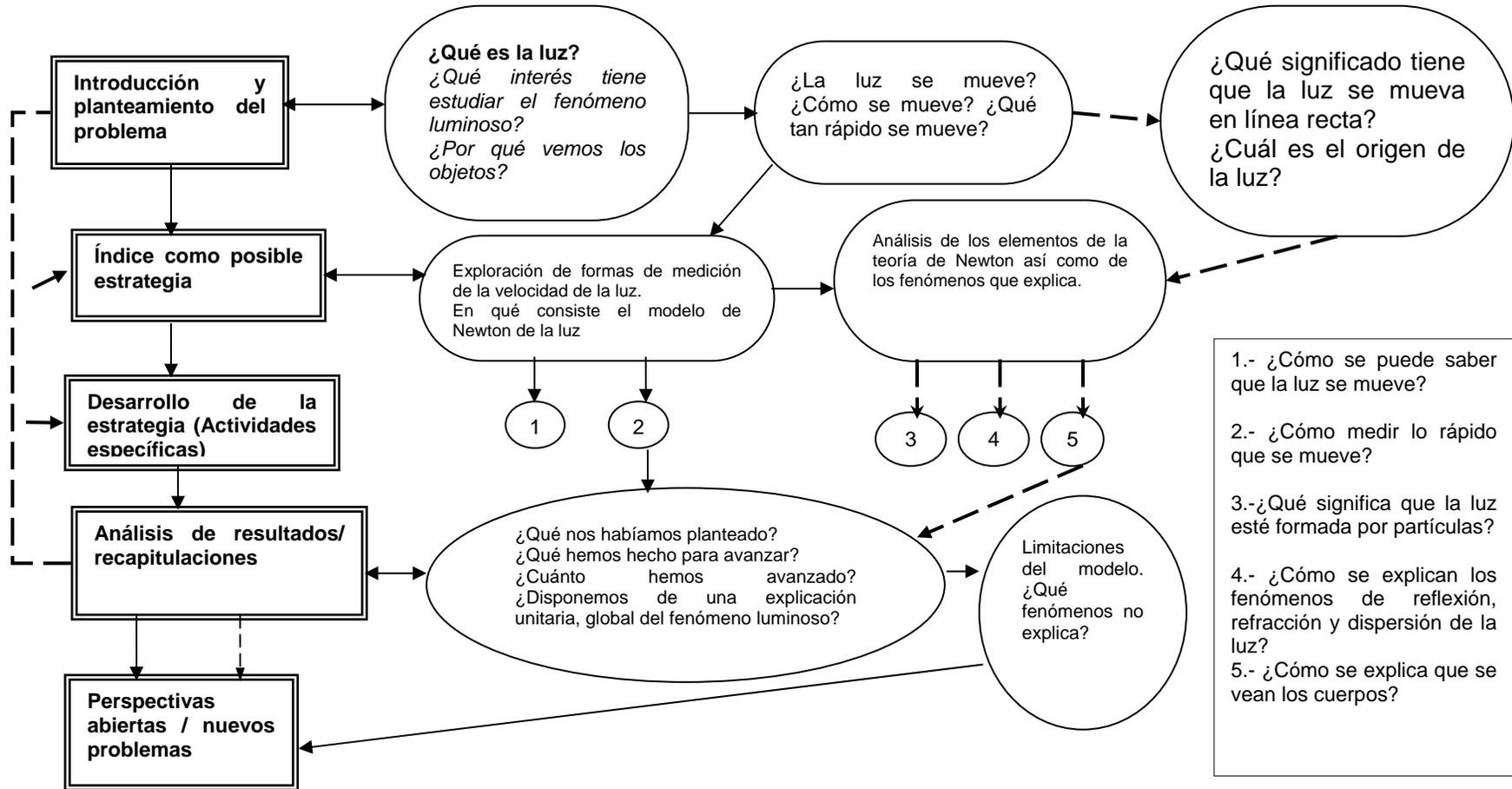


Figura 11

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.

5.3 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

Docente II ⁶ 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.

5.3.1 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.

5.3.1.1 LA PLANIFICACIÓN DEL CURSO EN LA PRÁCTICA DOCENTE II.

Como ya se mencionó al inicio del apartado 5.3, con base en un documento preliminar 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 IV del

⁶ 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.

CCH (Fenómenos Ópticos), 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 unidad IV de Física IV, 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, adicionalmente, resultó ser una de las debilidades detectadas en quien

suscribe éste trabajo, en la Práctica Docente I. Ella se describe a continuación⁷.

5.3.1.2 LA EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE II.

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 del capítulo 5.1.5. 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 2).

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.

⁷ 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 capítulo 4.

- 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 3 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.

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 8); 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. Aún 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 7).

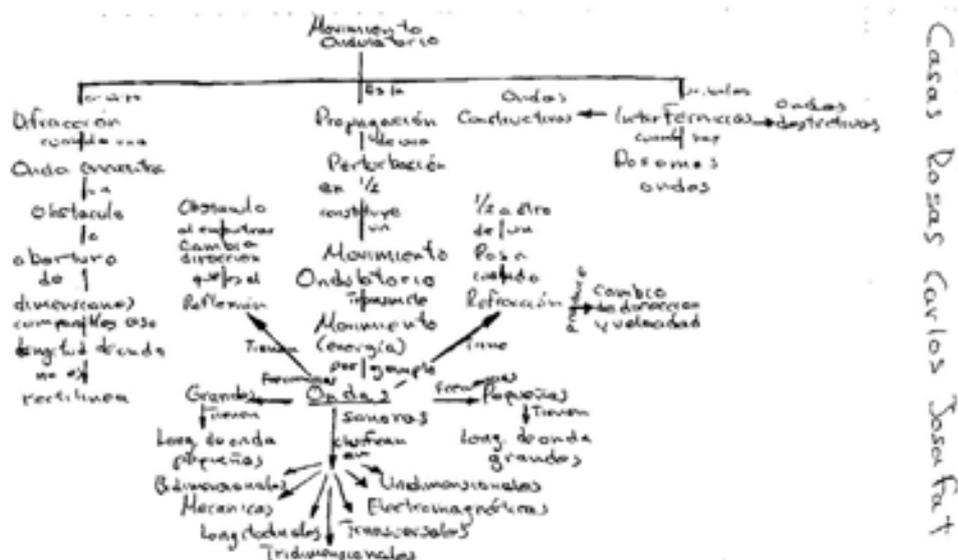


Figura 12. Mapa conceptual elaborado por un alumno en relación con el tema de ondas.

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 presento la exposición (ver figura 13).

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

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
 René y
 Humberto
 José Luis

Figura 13. Instrumento de coevaluación utilizado en la exposición oral realizada por alumnos.

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 de la Internet

Se uso en dos formas: Para establecer comunicación con los alumnos por Internet 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 pagina, 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 14).

"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 buscaremos que estos logros de que lo que has aprendido, así que tenle tu tiempo y reflexión.

Califica cada uno de los logros que te acordó con tu criterio si lo has cumplido, para lo cual deberás poner el número correspondiente a tu calificación que consideres merecer:

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

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

UNIDAD IV
FENÓMENOS ÓPTICOS: ÓPTICA GEOMÉTRICA

OBJETIVOS	CALIFICACIÓN
1. Óptica geométrica. La luz como partícula	
1. Compara los distintos modelos utilizados a lo largo de la historia para explicar los fenómenos luminosos.	4
2. Describe genéricamente cómo es que se pueden ver los objetos a partir del modo de la luz de rayos o de partículas.	4
3. Define los distintos momentos que forman los sistemas ópticos.	2
4. Realiza esquemas que ilustran el tránsito de rayos en espejos PLANOS Y CONVEXOS.	2
5. Uno la ley de reflexión para explicar por qué podemos vernos en un espejo.	4
6. Aplica el hecho que la luz se refleja, refracta o absorbe al pasar de un medio a otro para explicar fenómenos de la vida.	2

CONTENIDO	CALIFICACIÓN
7. Conoce e interpreto el enunciado matemático de la ley de reflexión.	4
8. Conoce e interpreto el enunciado matemático de la ley de refracción.	4
9. Explica las diferencias existentes entre las imágenes reales y las imágenes virtuales producidas en espejos planos y cóncavos.	2
10. Explica con mis palabras algunos fenómenos luminosos producidos cuando la luz cambia de medio, utilizando las leyes de la reflexión y de la refracción.	4
11. Represento e interpreto esquemas sobre la propagación de la luz.	4
12. Explico algún método conocido para medir la velocidad de la luz, y describo su valor aproximado.	3
13. Resuelvo problemas relacionados en los que se aplican las leyes de la reflexión y de la refracción.	3
14. Utilizo 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 explico.	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
CALIFICACIÓN FINAL PROMEDIO	

Arturo Corona Trujillo

Figura 14 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 fue diseñado por el

grupo de MADEMS, en la materia de Didáctica II y 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 10). 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

Las demás puntuaciones están, en todos los casos, por encima de 8.5. No obstante que la calificación promedio en todos los rubros está por encima de 8, ésta calificación siempre se tiene que tomar con reservas, dadas las características de los alumnos, el desarrollo del curso, las calificaciones obtenidas y las condiciones de los estudiantes.

La autoevaluación del profesor

Se realizó el ejercicio de autoevaluación del desempeño docente en el aula, de quien suscribe éste trabajo, tratando de ser lo más objetivo posible. Al calificarse en cada uno de los 26 indicadores que contiene el instrumento (ver anexo 11), y al calcular la media general, tomando como referencia un total de 5 puntos, se obtuvo la calificación de 4.3 (equivalente a ocho punto seis), por debajo de las calificaciones asignadas por los alumnos. Aunque no son comparables los instrumentos, presentan rasgos comunes, que reflejan adecuadamente si la actuación del profesor fue Muy Buena, Buena, Regular o Mala. Haciendo un balance de nuestro desempeño, se puede ubicar en una actuación Buena, aún cuando el esfuerzo en la preparación, desarrollo del curso y evaluación puede considerarse Muy Buena.

Es obvio que una parte de la motivación para el aprendizaje es intrínseca; si no se cuenta con un mínimo de ella no es posible lograr nada. Sin embargo, es innegable que también es fundamental el papel del profesor para promoverla, por ejemplo, si desde el inicio del curso se insiste que el trabajo organizado por él, tiene por objetivo el hacer más eficiente el aprendizaje, de lo cual se

desprende que las tareas a realizar deben ser cumplidas de manera completa, para poder avanzar en el aprendizaje y de allí poder verificar si se está progresando o no. Desgraciadamente, es necesario reconocer, por una parte, que el ambiente que prevalece en la institución, especialmente en el turno vespertino, no es el que apoya el buen funcionamiento de una clase y por otra, que la inercia que predomina en los estudiantes, es la relacionada con la forma de trabajo tradicional, con la que presentan los cursos muchos profesores, así como las formas de evaluación que siempre asocian con exámenes tradicionales y con la relación calificación-acreditación.

Por lo anterior, la propuesta diseñada para ésta Práctica Docente II, no permitió, en lo general, alcanzar las metas planteadas en ella, en relación con los aprendizajes de los alumnos. No obstante, como ejercicio de diseño de una Unidad Didáctica, que presenta los elementos necesarios para un buen desarrollo de la Práctica Docente, resultó ser un avance importante en el aprendizaje y desarrollo de ésta habilidad docente, en quien suscribe éste trabajo.

En conclusión, en ésta PDII, al aplicar la UD diseñada, se pudo determinar lo siguiente:

- Ubicar con claridad, qué conceptos son necesarios e indispensables para promover un aprendizaje significativo de los conceptos de cuantización de la energía, en el caso de la luz y del comportamiento cuántico de la misma.
- Conocer las dificultades que implica presentar los conceptos que dan origen a la Física Cuántica, en éste nivel del bachillerato, para ubicar de una forma más realista la propuesta.
- Contar con ideas para reelaborar la propuesta, considerando las dificultades que se presentaron en el desarrollo específico de ésta parte de la estrategia, elaborada en el tema de Óptica Cuántica.
- Contar con algunos materiales específicos, aplicados en aula, para apoyar el aprendizaje de los conceptos citados del origen de la Física Cuántica.

5.3.2 PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA ELABORADA Y APLICADA EN LA PRÁCTICA DOCENTE III

5.3.2.1 LA PLANIFICACIÓN DEL CURSO EN LA PRÁCTICA DOCENTE III.

En la planificación de las actividades de la Práctica Docente III, se presentó un problema en relación con la ubicación de la temática que se tenía previsto desarrollar en la Práctica Docente, en ese momento los grupos cursarían quinto semestre y en ese caso no sería posible trabajar el tema objeto de la propuesta, ya que éste se ubica en Física IV, correspondiente al sexto semestre del Bachillerato del CCH.

Al no poder aplicarla en un grupo regular, se pensó en una segunda opción, solicitar un grupo de alumnos “recursadores” de Física IV, lamentablemente, el número de alumnos que solicitan inscripción en éstos cursos es muy reducido, por lo que no fue posible hacerlo en Física IV.

La salida final, fue atender un grupo de recursadores de Física II⁸, ya que la temática a desarrollar, se prestaba para hacer una adaptación de la propuesta que se aplicó en el curso de Física IV, en la Practica Docente II, por segunda ocasión. La adaptación se realizó tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los alumnos a quienes va dirigida la propuesta elaborada, son de edades comprendidas entre los 17 y los 19 años y la edad de los alumnos recursadores, salvo algunas excepciones, se encuentra en ese rango.
2. Los alumnos a quienes va dirigida la propuesta, ya cursaron Física I y II. Los alumnos recursadores, ya cursaron también éstas asignaturas (aunque reprobaron la de Física II).
3. Los contenidos temáticos a desarrollar en Física II, se pueden adaptar, siguiendo una línea que tome como tema central a investigar, el fenómeno de la luz⁹. Por otra parte, se tomó también en consideración el hecho de que el curso de Física II se desarrollaría en 40 horas, y que la propuesta aplicada en la PDII, se llevó a cabo en un tiempo de 26 horas aproximadamente.
4. El grupo de alumnos recursadores, se prestó para explorar adicionalmente, el uso de demostraciones experimentales en clase, apoyadas por discusiones grupales y explicaciones del profesor. Cabe mencionar que lo anterior, influyo fuertemente en la motivación para el trabajo en el aula y fuera de ella, así como en un cambio de actitud hacia la Física, como veremos más adelante.

A partir de las consideraciones anteriores, se elaboró una propuesta que permitiría “cubrir” los contenidos del curso, pero a través del estudio de la luz como tema central de investigación. En ésta propuesta, se buscó presentar un panorama de la Física que abordara los siguientes aspectos, consistentes con la propuesta de “Investigación Dirigida”:

- Partiera de un tema cercano a los estudiantes, como el de la luz, y una estructura de secuencia de actividades como investigación dirigida.
- Permitiera revisar los temas de Ondas, Electromagnetismo, Ondas Electromagnéticas y por lo menos una introducción a los problemas que dan origen a la Física Cuántica.

⁸ Estos alumnos participan en un programa de regularización Institucional llamado Programa de Apoyo al Egreso (PAE), que permite que el alumno acredite sus asignaturas en un curso de 40 horas y que es equivalente a presentar un examen extraordinario.

⁹ Esta consideración implica desarrollar la Óptica Geométrica y Óptica Física, hasta el conocimiento de los modelos actuales de la luz

- Presentara una visión de la Física, como una ciencia que se construye, a partir de controversias entre grupos de investigadores.
- Que permitiera reconocer algunos elementos de la metodología científica, como la invención de conceptos, el planteo de Hipótesis y la construcción de teorías.
- Que posibilitara una introducción a los problemas que le dieron origen, identificando aquellos que se asocian con la explicación del fenómeno luminoso.
- Dadas las condiciones de los alumnos, en relación con su actitud hacia la Física y hacia las matemáticas, la propuesta del curso estaría encaminada hacia la búsqueda de comprensión conceptual, específicamente sobre las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz; involucrando un mínimo de matemáticas para ello.
- Hacer uso de la lectura de textos seleccionados, sobre la problemática de la comprensión del fenómeno luminoso, así como de un conjunto de actividades y demostraciones experimentales, que apoyaran ese conjunto de lecturas (acordes con los propósitos del curso)

Sin embargo, es importante mencionar que, se presentaron una serie de condiciones, que no resultaban las mejores a la hora de desarrollar el plan establecido:

- Las carencias de los estudiantes en relación con su conocimiento de las matemáticas básicas, se hicieron evidentes desde el inicio del curso.
- La falta de tiempo disponible, por parte de los alumnos, para realizar actividades extraclase.
- La actitud negativa detectada hacia la Física, en los alumnos.
- Adicionalmente, aunque esto no ha sido explorado explícitamente con los alumnos atendidos, se sabe que los alumnos llegan con expectativas y preconcepciones sobre lo que es: el aprendizaje, la enseñanza, la evaluación y la ciencia; lo que puede resultar un obstáculo a la hora de desarrollar la propuesta.
- El tiempo disponible real fue de tres horas “efectivas” por sesión(dado que se daba un tiempo de descanso y el inicio de la clase se daba en la practica con 20 minutos de retraso), de manera tal que el tiempo efectivo de clases fue de 30 horas y no de 40 como se tenía considerado.

Tomando en cuenta lo anterior, la propuesta de actividades elaborada para ésta Práctica Docente III, que sigue la orientación propuesta de “Investigación Dirigida”, tuvo como meta, por una parte, lograr algún cambio en el aprendizaje de los estudiantes, y en éste caso especialmente, en la actitud de éstos hacia la Física. Por otra, contar con información que permitiera valorar una posible secuencia de actividades, dirigida a establecer un conjunto de conocimientos previos, necesarios para poder llegar a explorar las ideas que dan origen a la

Física Cuántica, en particular al concepto de fotón y de la naturaleza cuántica de la luz.

5.3.2.2 RESULTADOS DE LA PRÁCTICA DOCENTE III.

La propuesta de Planificación de Unidad Didáctica, se desarrollo a partir de las consideraciones anteriores, consistentes con lo planteado en el marco teórico de éste trabajo, así como del ejercicio realizado en la Práctica Docente II. Primeramente, se debe recordar que en ésta Práctica Docente se realizaron, tomando en cuenta las condiciones del grupo y el tiempo disponible:

- Una serie de ajustes al plan original, desarrollado en la Práctica Docente II, en el número de horas asignadas por unidad a desarrollar.
- Algunos cambios en algunas de las actividades a realizar.
- Algunos cambios en la forma de evaluación, en relación con la propuesta original de la Práctica Docente II.

Las horas asignadas quedaron como sigue, ya que intentaron dar una revisión de los grandes temas del curso de Física II, objeto de trabajo de la Práctica Docente III:

LA LUZ

I. MODELOS DE LA LUZ EN LA FÍSICA CLÁSICA (24 horas)

1 La visión mecanicista

1.1 La luz como partícula: La versión de Newton

1.1.1 Leyes de reflexión y refracción de la luz

1.1.2 Dispersión y color

1.1.3 Aplicaciones en la explicación de fenómenos cotidianos

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

2. PRIMERAS DIFICULTADES CON LA VISIÓN MECANICISTA: LA LUZ ES UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA. (8 horas)

2.1 El electromagnetismo y la luz

2.2 Ondas electromagnéticas y la luz

2.3 La luz como onda electromagnética.

2.4 Espectro electromagnético

II. MODELO DE LA LUZ EN LA FÍSICA CONTEMPORANEA (8 horas)

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, Efecto fotoeléctrico.

- 1.2 Radiación de cuerpo negro: Origen del quantum de energía
 - 1.3 El efecto fotoeléctrico: origen del quantum de luz (fotón)
 - 2. El experimento de la doble rendija en la versión moderna: naturaleza cuántica de la luz.
-

Para desarrollar una secuencia de actividades, acorde con la temática y las condiciones señaladas anteriormente, se partió como referencia, de la propuesta elaborada para ser aplicada en la PDII. Sin embargo, las lecturas realizadas, en esta ocasión se seleccionaron del libro de Einstein e Infeld (1993), ya que la concepción de la propuesta desarrollada en ésta parte es similar a la propuesta por esos autores. Adicionalmente, se incluyeron una buena parte de actividades demostrativas, que debido a las limitaciones de tiempo, fueron desarrolladas principalmente por el profesor como experiencias de cátedra.

En sustitución de las actividades grupales de investigación, se les propuso realizar la lectura del libro “Para atrapar un fotón” de Virgilio Beltrán (1998), de la colección la ciencia para todos. De ésta actividad, se les solicitó la elaboración de un resumen y un comentario sobre su opinión del contenido de la lectura. Dicho trabajo serviría para complementar lo estudiado a lo largo del curso, y para que los alumnos contaran con una segunda versión de cómo se desarrollaron los conceptos que dan origen a la Física Cuántica.

De la misma manera que ocurrió en el apartado anterior, en la sección siguiente abordamos el tema de la evaluación en la Práctica Docente III, por ser el mas relevante de la misma.

5.3.2.3 LA EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE III.

La evaluación de los aprendizajes desarrollados en la propuesta, sigue la misma forma que la aplicada en la PDII, con algunos ajustes: Los objetivos y los criterios de evaluación se establecieron en forma de listado (ver anexo 2). Al ser conocidos por los alumnos, se pudo contar con un recurso muy importante de carácter metacognitivo, que permitió a los estudiantes y al profesor, de manera general y cualitativa, verificar los logros y avances en el curso conforme se desarrolló en el aula. Esta actividad se llevó a cabo como una autoevaluación para los estudiantes, se aplicó al final del curso y se les pidió que se entregara con la justificación correspondiente.

No obstante, cabe mencionar que en la entrega de la autoevaluación, la mayoría de los alumnos no elaboraron la correspondiente justificación, aunque si se asignaron una calificación, que en varios casos, después de explorar a través de preguntas, no reflejaba lo que podían expresar verbalmente sobre dicho aprendizaje.

En relación con los exámenes, se optó por no realizarlos de la forma en que se hizo en la Práctica Docente II, fundamentalmente por las limitaciones de tiempo

y por las condiciones señaladas en la sección **5.3.2.1** de éste trabajo. Dentro de las actividades de evaluación se consideraron las siguientes:

El cuaderno de apuntes.

Al alumno se le indicó que para la elaboración del cuaderno de apuntes se requería recoger en él, todo lo trabajado en clase, así como las actividades extraclase. Así mismo, en la resolución de las actividades que se realizaron en clase, se debía incluir la elaboración de sus propias conclusiones por tema, expresadas por escrito, al mismo tiempo y como una forma de empezar a crear sus primeros textos “científicos”, se les pidió que en cada sesión desarrollada en clases, se realizara un resumen de lo trabajado.

De la revisión de las notas elaboradas en sus cuadernos, se observó una enorme dificultad en los alumnos para llevar un seguimiento puntual de todas las actividades en tiempo y forma, por lo que existió flexibilidad para realizar las actividades del curso en dos tiempos específicos: a la mitad del curso y al final del mismo. No obstante de ésta situación, en la mayoría, se notó que sí hubo comprensión de los conceptos abordados, aunque sólo de forma general.

La elaboración de los resúmenes por sesión de clase, permitió observar de qué forma, cada alumno, le fue dando seguimiento a los conceptos, ideas o teorías que se estaban estudiando, a través de las actividades propuestas. En sus desarrollos se observa con claridad lo que cada alumno aprende vinculado con sus conocimientos previos.

Juárez Pérez Jorge

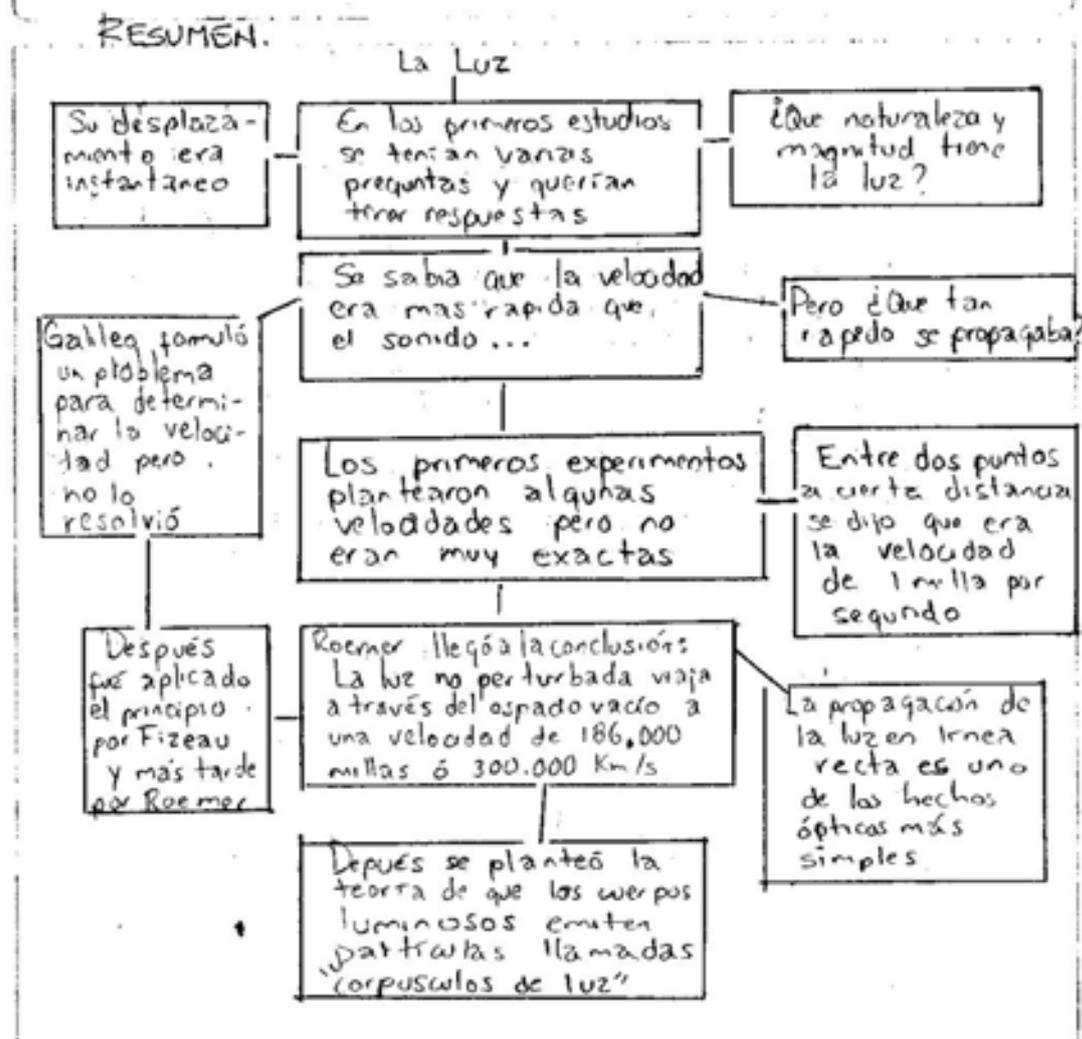


Figura 15. Resumen elaborado por un alumno en relación con una lectura sobre el tema de ondas tomado del libro de Infeld y Einstein.

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.

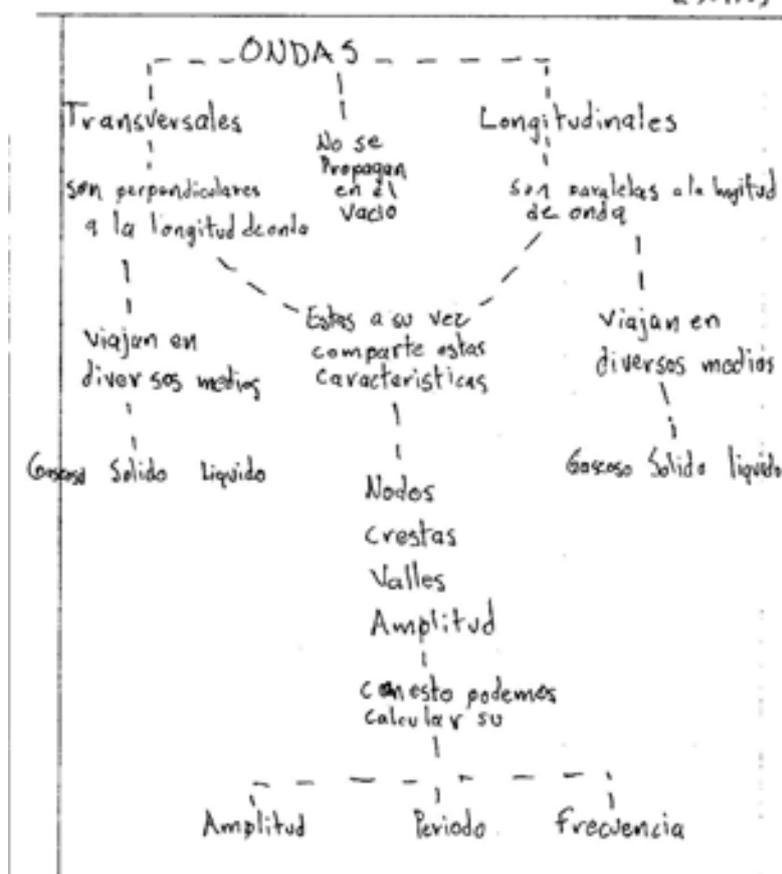


Figura 16. Mapa conceptual elaborado por un alumno sobre el tema de ondas.

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.

AUTOCUESTIONARIO 27.09.03

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 cómo 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 hacían experimentos muy sencillos (actualmente) en esa época eran muy difíciles de plantear condiciones.

3. ¿Puedo repetir las ideas centrales del texto con mis propias palabras?
- Nunca ha sido fácil estudiar la luz.
- Aunque se propaga en línea recta, no es su única característica, existe la refracción y la reflexión.

4. ¿Son razonables las afirmaciones o los resultados a los que se llega?
Los principales sí tienen ahora buenas bases para no contradecirlos o negarlos pero antes nadie tenía 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 había sido estudiada, pero hay ideas nuevas.

6. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado?
No comprendo como algunos se atrevían a dar la velocidad errónea de una milla por segundo y también tal vez por que no he hecho los experimentos de las pantallas no ubico bien cuales serían las conclusiones de experimento.

PAE Física II	
Judrez Pérez, José	27-09-05
<p>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.</p> <p>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 ó teorías que se presentan? básicamente sí, ya que la aplicabilidad rige los conceptos matemáticos físicos al igual que principios.</p>	

Figura 17. 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 (Figuroa, 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 18).

PREGUNTAS DE EXPLORACION SOBRE EL CURSO DE FISICA II DE PAE

1. ¿Te ha servido de algo lo que has estudiado hasta ahora en el curso de física, de que manera? Explica detalladamente.

★ Yo digo que sí, puesto que en el curso que lleve antes en dos o tres semestres, no tenía idea de que era una onda y de que me servía saber como se reflejaba el arcoiris y que ahora se que se le llama haz de luz y que es la descomposición de la luz blanca que refleja el sol en algún medio, que atraviesa.

De igual modo ahora puedo decir que la física no es complicada si no que simplemente se necesita lógica para comprender la mecánica y los temas que hasta ahora ~~hemos~~ hemos tratado como los de Newton (computar) y Huygens y la luz como onda.

2. ¿Qué has aprendido hasta este momento de este curso de física que estas llevando?

★ Como ya lo mencionaba antes la importancia que tiene la física en nuestra vida cotidiana y en la medicina, también sin descartar que esta presente en la naturaleza y que de algún modo lo tenemos siempre por ejemplo, la velocidad de la luz que es ~~300~~ mil millones de veces mayor que la velocidad del sonido y se pueden comparar con la velocidad de los animales más rápidos, como el leopardo, la llama entre otros.

3. ¿Cuáles son las ideas más importantes que, a tu juicio, se han desarrollado en el curso?

★ La cuestión sobre si la luz es onda o partícula, uno que me llamo mucho la atención es el de la definición del Etér ya que este es algo difícil de explicar y se puede comparar su existencia con una gelatina, puesto que este es un medio transparente y ubicuo y la gelatina es transparente, aunque también se puede mantener en cualquier recipiente.

4. ¿Ha cambiado tu idea que tenías de la física en el tiempo que has trabajado en este curso de física? ¿Cuál era antes? ¿Cuál es ahora? (Contesta en la parte de atrás de esta hoja)
5. ¿Qué te ha gustado del curso? ¿Que te ha disgustado? (Contesta en la parte de atrás de esta hoja)

Pregunta A.

Antes - No me agradaba mucho la Física y no le veía mucha importancia ya que, para la carrera que yo escogía estudiar la Física supongo yo nada tiene que ver.

Sin embargo, no dudaba que algún día la hora yo a utilizar pero, como mi maestro dijo que nadie estudia la Física y que mejor sea no perdiera mi tiempo y me hace yo a bajar.

Ahora - No digo que me guste o que me encante, pero ahora no digo que probablemente algún día pueda hacerme, más a la Física y estudiar con más calma todas aquellas cosas que nos involucran diariamente.

Pregunta 5.

Me a gustado el empeño y la actitud de mi maestro y la facilidad con la que enseña y lo que se observado es que confía en que de verdad estamos aprendiendo y que sacara un buen grupo de Física 2.

Lo que no me a gustado es que a veces yo no logro comprender muy bien algunos temas y por que no me abeno a preguntar por pena, ya decidí en fuera todo esta, bien es sólo mi actitud.

Figura 18. Cuestionario de evaluación del curso y del desempeño del profesor

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.

A continuación se muestra un ejemplo de respuestas dadas por un alumno (ver figura 19).

SEXO: *Masculino*

EDAD: *17*

CARRERA A ESTUDIAR: *Ciencias de la Comunicación*

En el siguiente cuadro, marca con una X, en el grado que corresponde con tu opinión acerca de la física. **Primero antes del curso de PAE y en seguida después del curso de física II de PAE.**

OPINIÓN DE LA FÍSICA ANTES DEL CURSO PAE

	Poco(1)	(2)	(3)	(4)	Mucho(5)
Interesante				X	
Fácil			X		
Abstrata	X				
Compleja			X		
Importante					X
Difícil			X		
Interesante		X			
Servible			X		
Útil	X				

OPINIÓN DE LA FÍSICA DESPUÉS DEL CURSO PAE

	Poco(1)	(2)	(3)	(4)	Mucho(5)
Interesante					X
Fácil					X
Abstrata	X			X	
Compleja		X			
Importante					X
Difícil			X		
Interesante		X			
Servible				X	
Útil	X				

En el curso de física II de PAE se usaron frecuentemente las demostraciones de fenómenos o experimentos de física que fueron presentados por el profesor

Indica en que medida, en tu opinión, las demostraciones:

	Nada (1)	(2)	(3)	(4)	Mucho (5)
Relacionan la teoría y el mundo físico real					X
Desarrollan la capacidad de observación					X
Aclaran la comprensión de conceptos					X
Ayudan a conocer el mundo físico real					X
Afianzan el aprendizaje en la clase teórica					X
Evidencian aparentes discrepancias entre la teoría y la realidad					X
Permiten detectar conceptos aprendidos en forma errónea					X
Estimulan tu interés por la física					X
Inician a formular preguntas en clase				X	X
Aumentan tu confianza en la teoría					X
Ayudan a definir tu interés vocacional					X

Indica cuales fueron las tres demostraciones que más te gustaron

1. <i>Compañ de</i>	<i>Demuestra que la luz viaja en el vacío, cosa que el sentido no daba que el sonido viaja en ambos el vacío</i>
2. <i>lectura de</i>	<i>Muestra importancia de las cargas eléctricas, la carga se carga en el objeto y descarga cuando se toca en el aire</i>
3. <i>las resalta</i>	<i>Las ondas se puede demostrar la forma en la que viajan en las longitudes transversales</i>

Expresa brevemente tu opinión en relación con las actividades realizadas en clase (por ejemplo grado de dificultad, interesante, útil, inservible, etc.)

Muy en mi opinión fueron bastante interesantes las actividades debido que en tu forma se puede explicar mejor los fenómenos físicos ya que no solo los dejamos en teoría sino que los llevamos a la práctica.

Expresa tu opinión acerca de las lecturas realizadas a lo largo del curso (por ejemplo grado de dificultad, interesante, útil, inservible, etc.). (No incluyas el texto para atrapar un fotón)

Fueron muy explícitas, en lo personal me gustó mucho leer el libro "para atrapar un fotón" debido a que aparte de ser una lectura muy ligera es fácil de entender y básicamente trata de todo lo que estudiamos durante el curso

Expresa tu opinión acerca de la forma de evaluación del curso y de la actividad de auto evaluación.

Me parece interesante que uno mismo se evalúe debido a que no puedes mentarte a ti mismo y eso te hace dar cuenta de que ocurre con tu aprendizaje.

Como calificarías el desempeño del profesor en los siguientes aspectos usa una escala de cero a diez

Aspecto a evaluar	Calificación
1. Planeación del curso	10
2. Aprovechamiento del tiempo disponible	9
3. Desempeño en clases	10
4. Forma de evaluación	10
5. Uso de recursos para el aprendizaje	10

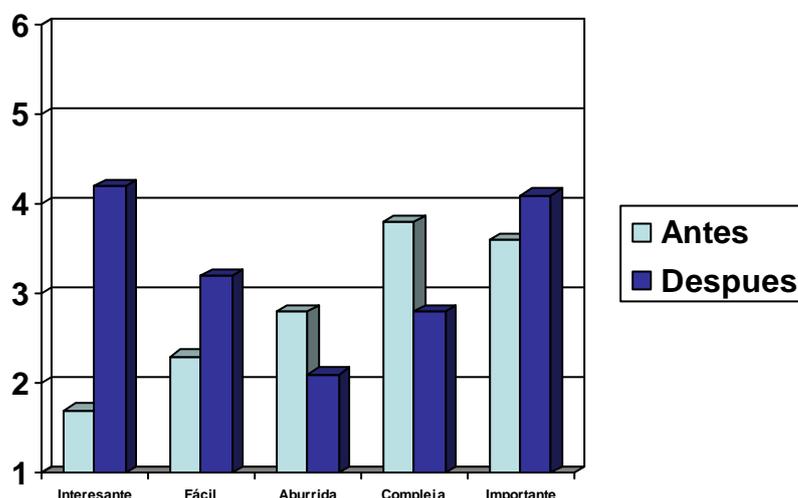
GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

Figura 19 Cuestionario de exploración de actitudes hacia la física y desempeño del profesor.

De esos cuestionarios se obtiene lo siguiente:

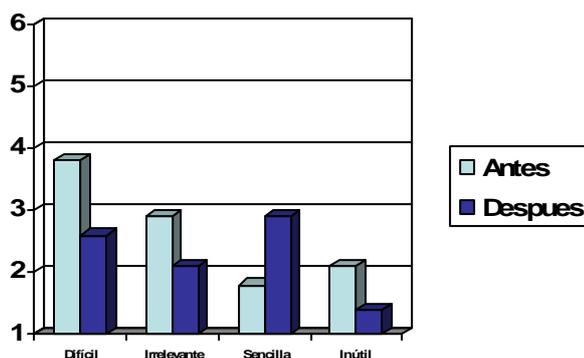
Actitud de los estudiantes hacia la Física.

En relación con la actitud de los estudiantes hacia la Física, antes de llevar el curso, los alumnos opinan que la Física es poco interesante, muy difícil, medianamente aburrida, medio inútil y muy compleja aunque importante (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Opinión de los estudiantes en relación con su actitud hacia la Física antes y después del curso de Física II PAE.

Después de llevar el curso de Física, consideran a la Física muy interesante, no tan difícil (e incluso algo fácil), poco aburrida, medianamente complejo y muy importante. (Ver gráficas 1 y 2) La calificación es de uno a cinco, uno para el calificativo poco y cinco para el calificativo mucho.

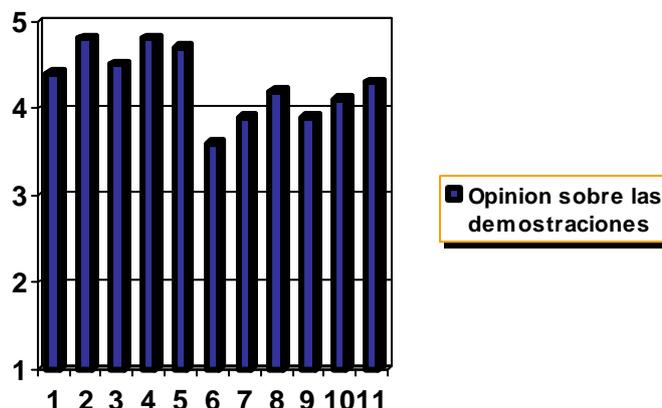


Gráfica 2. Opinión de los estudiantes en relación con su actitud hacia la Física, antes y después del curso de Física II PAE.

El papel de las demostraciones en el aprendizaje (opinión de los alumnos).

En relación con la opinión de los alumnos hacia el papel de las demostraciones como apoyo al aprendizaje, los resultados se muestran en la gráfica 3 con los

datos obtenidos de la encuesta aplicada a los alumnos que se presenta en la tabla 3.



Gráfica 3 Opinión de los alumnos acerca de las demostraciones. Escala: Nada (1)...Mucho (5). Los números en el eje horizontal corresponden a los rubros considerados en la tabla 3.

Tabla 3

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

De la gráfica y la tabla anteriores, se puede observar que los alumnos consideran que:

Las demostraciones ayudan a relacionar la teoría y el mundo físico real, desarrollan su capacidad de observación, aclaran su comprensión de conceptos, los ayudan a conocer el mundo físico real, les afianzan lo aprendido en la clase teórica, les estimula su interés por la Física, aumentan su confianza en la teoría y ayudan a definir su interés vocacional. Lo anterior se desprende de considerar las calificaciones de los rubros que presentaron valores de 4 o 5, puesto que todas las calificaciones están por encima de 3.5, es decir, más cerca del mucho que del nada.

En el cuestionario de actitudes aplicado, también se les pregunto sobre aquellas 3 demostraciones que más les gustaron.

Las respuestas fueron variadas, aunque en la mayoría de los casos la actividad que realizaron con la “cámara oscura”, fue la que más les gustó, junto con la caída de un imán en un tubo de cobre, aunque si mencionan algunas de todas las restantes

Por último y en tercer lugar, se les aplicó un cuestionario breve en el que se les preguntó sobre su opinión en relación con la forma de evaluación así como con el desempeño general del profesor. Al respecto, a los estudiantes les pareció, desde el inicio, una decisión acertada el hecho de no realizar exámenes periódicamente, sino la evaluación a través de las actividades desarrolladas y del trabajo en el curso. El incorporar la autoevaluación al proceso de evaluación y de calificación, también fue tomado en forma positiva. En ésta ocasión no fue posible realizar verificaciones parciales del avance en el logro de los aprendizajes propuestos, no obstante, al final del curso se les pidió que, como una actividad metacognitiva, elaboraran la autoevaluación, pero incluyendo la justificación correspondiente que avala la calificación asignada en cada aprendizaje.

En opinión de los estudiantes, la actividad de autoevaluación, efectivamente les permite hacer consciente lo que “realmente” aprendieron, aunque al entregar la autoevaluación, solamente siete de diecinueve, elaboraron la justificación correspondiente (un posible factor que influyó en que los otros no lo hicieran, fue que estaban en periodo de exámenes finales y se les complicó demasiado el trabajo). Finalmente los estudiantes calificaron numéricamente el desempeño global del profesor, en una escala de cero a diez, la calificación promedio asignada por el grupo fue de 9.4.

Con base en lo anterior se puede afirmar, que se cumplió de forma completa, con una primera parte de las metas establecidas en relación con éste trabajo: contar con una forma de abordar los conocimientos antecedentes que dan origen a la Física Moderna y en particular de la Física Cuántica, a través de los modelos de explicación del fenómeno luminoso.

Aún cuando el trabajo realizado en las Prácticas Docentes II y III, se llevo a cabo con alumnos con serios problemas, se pudo extraer información suficiente como producto de las actividades realizadas, para elaborar el diseño de una Unidad Didáctica, como una propuesta viable para abordar la comprensión del origen del concepto de fotón en el bachillerato, a través del estudio de los modelos de explicación de la luz.

5.4 ALGUNAS POSIBLES DIFICULTADES EN LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA.

El modelo de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida, intenta generar un ambiente de aula, en el que el aprendizaje y la enseñanza, se desarrollan en un contexto problematizado, hipotético-deductivo, en el que los alumnos, trabajando en pequeños grupos, sobre la secuencia de actividades

propuesta por el profesor, tienen oportunidades para pensar, hacer, debatir, argumentar y recapitular.

Esta forma de abordar la enseñanza de las ciencias, implica grandes dificultades para el profesor y para los alumnos. Para los alumnos requiere una gran implicación personal, por lo que, sólo si se presta una atención explícita a generar y cultivar la implicación afectiva de los alumnos, será posible el cambio conceptual y epistemológico. Para el profesor, implica dejar de ser el protagonista en el aula, así también el organizar el aprendizaje de los alumnos, como una construcción de conocimientos, a partir del tratamiento y desarrollo de situaciones problemáticas.

Esa situación no siempre es adecuada para todos los estudiantes, por lo que es necesario el apoyo y la orientación del experto, para involucrar a los estudiantes en la tarea e infundirles seguridad en el desarrollo del trabajo, de modo que superen los obstáculos con ayuda del resto de sus compañeros. Como ya se señaló antes, es necesario favorecer el nivel de participación colectiva, en equipos y de forma grupal, para promover el involucramiento en la solución de los problemas planteados, a partir de las tareas diseñadas.

Adicionalmente, es necesario enfatizar la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos de trabajo, a través de la cual los alumnos pueden conocer en forma incipiente una de las características fundamentales del trabajo científico: La necesidad de cotejar los resultados obtenidos con los obtenidos por otros, a fin de obtener suficiente evidencia para que sean aceptados.

Es muy importante considerar que el "tiempo escolar de aprendizaje", debe ser el máximo posible, es decir, el tiempo en que los alumnos están activamente implicados en las tareas (bajo el supuesto que éstas estén adecuadamente diseñadas), para hacer avanzar a los alumnos en su aprendizaje, sin que disminuya la confianza en sus propias posibilidades.

El propósito de los programas guía, es evitar la tendencia espontánea de centrar la participación de la clase en el profesor, sino por el contrario, en el trabajo de los alumnos, sin que ello signifique que el papel del profesor sea de simple observador y evaluador de las situaciones, al contrario, el papel del profesor es el de un director de "investigación": Como director de investigación, es quien posee la visión global del campo en que se trabaja, y quien, por tanto, problematiza el curso y los temas, sabe los obstáculos más importantes a salvar, y se preocupa de que los alumnos estén orientados, es decir, que sepan cuál es el problema que se había planteado inicialmente, qué es lo que se ha avanzado y lo que queda por hacer (Gil, 1993).

El profesor debe ser consciente de la importancia de generar actitudes positivas en los alumnos y de la influencia que sus propias expectativas y comportamiento ejercen, para que sean posibles una enseñanza y aprendizaje efectivos. En éste sentido, es importante tener claro que trabajar con programas guía, no es garantía para conseguir el entusiasmo de los alumnos y

las actividades pueden carecer de interés o incluso el profesor, puede no lograr transmitir su interés por el trabajo.

Una de las dificultades importantes que siempre se presenta en la enseñanza de la Física se relaciona con la actitud, casi siempre negativa, que los estudiantes presentan hacia las matemáticas. Por ello es importante señalar a los alumnos, al iniciar el desarrollo de las actividades, que si bien son importantes las matemáticas en la resolución de problemas y como forma de representación de muchas ideas en la Física, sólo se hará uso de las necesarias básicas e indispensables, para el desarrollo de la comprensión cualitativa de las ideas, conceptos y teorías desarrolladas en relación con el estudio de la luz.

A cambio, se requerirá un esfuerzo especial en su participación, en el cumplimiento de las actividades, en particular en la realización de las lecturas que se seleccionaron para estudiar el fenómeno luminoso en sus diferentes enfoques. En caso de considerarlo necesario, el profesor deberá acompañar la lectura de los alumnos con comentarios y aclaraciones pertinentes, a fin de no dejar “huecos” en la comprensión de la misma. El profesor, con base a su experiencia y ubicando el avance del grupo y el ritmo de trabajo adecuado, podrá dosificar las actividades, de acuerdo con el tiempo asignado para ello.

Aun cuando se presenten las dificultades mencionadas, el considerar: el papel de la evaluación “continua” del aprendizaje, el interés de los alumnos por la tarea y la adecuación de las actividades sobre la marcha, propicia una oportunidad de realizar una labor de investigación, que tendrá como meta promover una actividad docente eficaz (Moran, 2003; Gil, 1991; Nieto, 1996; Zarzar,2003).

6. 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 (aún 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, que redunde en una mejora del trabajo del

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 aún cuando se cuente 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 creemos 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 (en el CCH), 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, del programa MADEMS, 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 mas claridad nuestra labor docente y promover que ella se realice en una forma profesional.

7. REFERENCIAS

7.1 REFERENCIAS BÁSICAS.

1. 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)
2. ALONSO, M. & FINN, E. (1976) *Física: Campos y Ondas* Vol. II. Fondo Educativo Interamericano, S.A.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. ÁLVAREZ, J. M. (2001) *Evaluar para conocer examinar para excluir.* Ediciones Morata España.
7. AMBROSE, B. S., SHAFFER, P. S. STEINBERG, R. N. AND MCDERMOTT. L. C. (1999) *An investigation of student understanding of single slip diffraction and double slit interference,* Am. J. Phys. **67**,146-155.
8. 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.
9. ARENAS, C & GARCIA, P.(2005). *El Cognitivismo y el Constructivismo* Disponible en: http://www.educar-asesorar.com.ar/pdf/coqni_contru.pdf, consultado en noviembre, 2005
10. ARONS, A. B. (1997). *Teaching Introductory Physics* , John Wiley & Sons New York
11. 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
12. AUSUBEL, D., Novak, J. D. & Hannesian, H. (1986). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo.* Trillas. México.
13. BARELL, J. (1999). *El Aprendizaje Basado en Problemas. Un enfoque investigativo.* Manantial. Argentina.

14. BAROJAS, J. Y PÉREZ R., (2001), *Physics and Creativity: Problem Solving and Learning Contexts*. Industry and Higher Education. **15** (6), 1–9.
15. 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.
16. 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>
17. 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.
18. 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
19. 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).
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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>.
24. 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>
25. 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.
26. 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_año_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 (8º 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.

45. 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.
46. EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1993). *La Evolución de la Física*. Barcelona: Biblioteca Científica Salvat.
47. EISBERG, R. & RESNICK, R. (2005). *Física Cuántica*. Limusa. México
48. ESTÉVEZ, E. H. (2004). *Enseñar a aprender. (estrategias cognitivas)*. Paidós. México.
49. 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.
50. FEYNMAN, R. (1963), *The Feynman Lectures on Physics* Vol III, Capítulo 1. Addison-Wesley. USA.
51. FIGUEROA, D. (1994) *¿Demostraciones de Física para qué?* *Enseñanza de las ciencias* **12** (3), 443-447
52. FLORES, F. (1994) *Epistemología y enseñanza de la ciencia*. Departamento de enseñanza experimental de las ciencias centro de instrumentos, UNAM.
53. GANGOSO, Z. (2005). *Investigaciones en resolución de problemas en ciencias*, publicado en www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n1
54. GARCIA, J. (2003). *Didáctica de las Ciencias. Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad*. Magisterio. Colombia.
55. GARRETT, M. R. (1988). *Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias*, *Enseñanza de las Ciencias*. **6** (3), 224-230.
56. GIL, D. (2005). *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática en* <http://www.campus-oei.org/oeivirt/gil01.htm> consultado en mayo de 2005
57. 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.
58. 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.
59. 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.
60. GIL-PÉREZ, D. & CARRASCOSA, J. (1985). *Science learning as a conceptual and methodological change*. *European Journal of Science Education*, **7** (3), 231-236.

61. 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.
62. 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.
63. GIL-PÉREZ, D. (1986). *La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas*. Enseñanza de las Ciencias, **4** (2), 111-121.
64. GIL-PÉREZ, D. (1991). *¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?* Enseñanza de las Ciencias, **9** (1), 69-77
65. 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.
66. 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.
67. GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGU, 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]
68. 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.
69. 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.
70. 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.
71. GRUP RECERCA-FARADAY, (1988). *Física- Faraday: Un enfoque conceptual experimental e histórico*. Teide. España.
72. GRUP RECERCA-FARADAY, (1988). *Física- Faraday: Guía del Profesor*. Teide. España.
73. HECHT, E. & ZAJAC, A. (1977). *Óptica*. Fondo Educativo Interamericano. México.
74. HERNÁNDEZ, R. G. (1998). *Paradigmas en psicología de la educación*. Paidós. México.
75. HEWSON, P. W. & THORLEY, N.R. (1989). *The conditions of conceptual change in the classroom*. International Journal of Science Education, **11**, 541-553.

76. 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.
77. HOB DEN, 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
78. HODSON, D. (1994). *Hacia un enfoque mas crítico del trabajo de laboratorio*. *Enseñanza de las Ciencias*, **12** (3) ,299-313.
79. 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.
80. HOLT ON, G.(1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias Físicas*. Reverté. Barcelona.
81. HUYGENS, C. (2005), *Treatise on Light*, Disponible en <http://www.gutenberg.org/browse/authors/h#a5648>.
82. IRES ON G. (2000) *The quantum understanding of preuniversity physics students*. *Phys. Educ.* **35** (1); 15-21
83. 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>
84. KNIGHT, R. D. (2004). *Five Easy Lessons, strategies for successful Physics Teaching*. Addison Wesley. USA.
85. KRAGH, H. *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica, 1989.
86. KUHN, T. (1974). *¿Qué son las revoluciones científicas? Y otros ensayos*. Fondo de Cultura Económica. México.
87. KUHN, T. (1974). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica. México.
88. LATAPÍ, P. (2004). *¿Cómo aprenden los maestros?*, conferencia magistral publicada en Internet. <http://www.observatorio.org/colaboraciones/latapi2.html>
89. LAWS, P.W. (1997). Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses. *AJP*, **65**, 13-21.
90. LEGAÑO A FERRÁ Ma., PORTUONDO R. (1999) *Los medios Didácticos en las clases de Física*. Ingenierías, enero-abril Vol. II, No 3.
91. 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.
92. 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,.

93. 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.
94. 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.
95. 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.
96. 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
97. 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
98. 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.
99. 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.
100. 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.
101. 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.
102. MICHELIN, R., SANTI, L. & STEFANEL A. (2000) *Proposal for quantum physics in secondary school*. Phys. Educ. **35** (6); 406-410.
103. 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.
104. MORAN, P. (2003). *La docencia como actividad profesional*. Gernika. México
105. 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>
106. MOREIRA, M. A. (2000) *Aprendizaje Significativo: teoría y práctica*, Visor. España.
107. MOULTON, F. R. & SCHIFFERS, J. (1988). *Autobiografía de la ciencia*. FCE. México.

108. NEWTON, I. (1704). *Opticks* Dover Publications, New York, 1979.
109. NIETO GIL. & JESÚS, M^a E. (1996) *La Autoevaluación del profesor*. Editorial Española.
110. NOVAK, J. D. (1988). *Constructivismo humano: un consenso emergente*. Enseñanza de las Ciencias, **6** (3), 213-223.
111. 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.
112. 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.
113. 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.
114. 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
115. 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
116. 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.
117. PERALES, F. J. (1987) *Análisis de Contenidos en Óptica Geométrica*. Enseñanza de las Ciencias, **5** (3) 211-219.
118. PERALES, F. J. (1993). *La resolución de problemas: Una revisión estructurada*. Enseñanza de las Ciencias, **11**, 170-178.
119. PÉREZ, R.; PÉREZ, A. & BASTIÉN, M. (2005) *Visualización: etapa fundamental para el aprendizaje de la Física* Enseñanza de las Ciencias. NÚMERO EXTRA. VII CONGRESO.
120. PIAGET, J. (1975). *El mito del Origen sensorial de los conocimientos científicos*, p.p. 82-112, en *Psicología y Epistemología*. Ariel, España.
121. 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.
122. 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.
123. POLYÁ, G. (1982). *Cómo plantear y resolver problemas*. Trillas, México.
124. 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.

125. 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.
126. 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.
127. POZO, J. I. & GÓMEZ-CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencias*, Morata: Madrid
128. 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.
129. PRO BUENO, A. (1998). *¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias?* Enseñanza de las Ciencias, **16**, 21-41.
130. REDISH, E.F. AND STEINBERG, R.N. (1999). *Teaching physics: Figuring out what works.* Physics Today, **52** (1), 24-30.
131. RICE, F. P. (2000). *Adolescencia. Desarrollo, relaciones y cultura.* Prentice Hall, España.
132. ROGER H. STUEWER (2004) *History and physics* 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.
133. ROMÁN, M. & DIEZ, E. (1992). *Currículum y Aprendizaje. Un modelo de diseño curricular de aula en el marco de la reforma.* Itaka. Madrid.
134. RUECKNER, W. & TITCOMB, P. (1996). *A lecture demonstration of single photon interference* Am. J. Phys. **64** (2), 184-188.
135. SÁNCHEZ RON, J. M. (2001). *Historia de la Física Cuántica: El periodo fundacional (1860-1926)*, Vol. I. Crítica. España.
136. SARDÁ, A; MÁRQUEZ, C. & SANMARTÍ, N. (2005) *Cómo favorecer la comprensión de textos de ciencias.* Enseñanza de las Ciencias, Número extra. VII Congreso.
137. 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.
138. SEGURA, D. (1991). *Una premisa para el cambio conceptual: El cambio metodológico.* Enseñanza de las Ciencias, **9**, 175-180.
139. SELLERI, F. (1994). *Física sin dogma.* Alianza. Madrid.
140. SHAMOS, M. H. (1959). *Great Experiments in Physics.* Ed. Holt, Rinehart and Winston USA.
141. 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*. Crítica. 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

158. WHITE, R. & GUNSTONE, R. (1998). *Teacher's attitudes about physics classroom practice* en Connecting research in physics education with teacher education, editado por TIBERGHIE, A. et al y el American Institute of Physics. Disponible en www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/
159. 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
160. ZALAMEA, E. & PARIS, R. (1999) *¿Sabén los maestros la Física que enseñan?* Enseñanza de las ciencias, **7** (3), 251-256.
161. ZIMAN, J. (1980). *La fuerza del conocimiento*. Alianza: Madrid
162. 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.

7.2 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.

11. LOZANO J. M. (1982). *Historia de la Sociedad Mexicana de Física*, Rev. Mex. Fis. **28** 277-293
12. LEMKE, J. L. (1997). *Aprender a Hablar Ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Paidós. España.
13. MARGIE, J. C., (2006). *Resolución de problemas y enseñanza de las ciencias naturales*. Disponible en http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted03_05arti.pdf, Consultado en enero de 2006
14. 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.
15. MONEREO, C. (coord.) (2000). *Estrategias de aprendizaje*. Visor. España
16. 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.
17. NEWTON, I. (1972). *Selección*. Austral. Madrid.
18. NOVAK, J. D. & GOWIN, D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca: Barcelona.
19. PIAGET J, (1970). *La epistemología genética*. Redondo. Barcelona.
20. PIAGET, J. (1981). *Psicología y Pedagogía*. Ariel. México
21. SÁNCHEZ RON, J. M. (2000). *La cuantización de la Física (1900-1927)* Revista Española de Física **14** (1), 6-9.
22. SCHRÖDINGER, E. (1975). *¿Qué es una ley en la naturaleza?* FCE. Col Breviarios (243), México.
23. THE OPEN UNIVERSITY (1974). *La Naturaleza Ondulatoria de la luz*. Ed. Mc Graw Hill, Colombia.
24. THE OPEN UNIVERSITY (1973). *Teoría Cuántica: La Física Cuántica y el átomo*. Mc Graw Hill. Colombia.
25. VIENNOT, L. (2002). *Razonar en Física. La contribución del sentido común*, Antonio Machado. Madrid.
26. ZARZAR, C. (2003). *La formación integral del alumno: qué es y como propiciarla* FCE. México.
27. ZITSEWITZ, P., NEFF, RF DAVIDS M (2002). *Física. Principios y problemas*. Ed. Mc Graw Hill. México.
28. FLAVELL, J. (1996). *El desarrollo cognitivo*. España: Prentice Hall.

8. 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

8.1 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

2. 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 ingenuo 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*

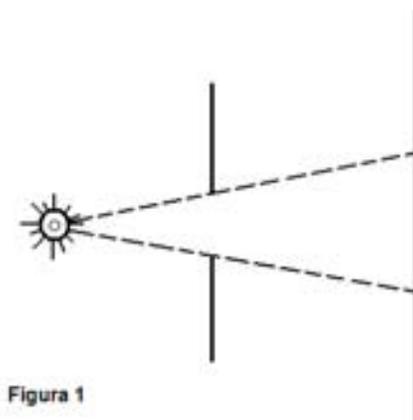


Figura 1

sumergida en agua es una de las muchas manifestaciones de la refracción de la luz.

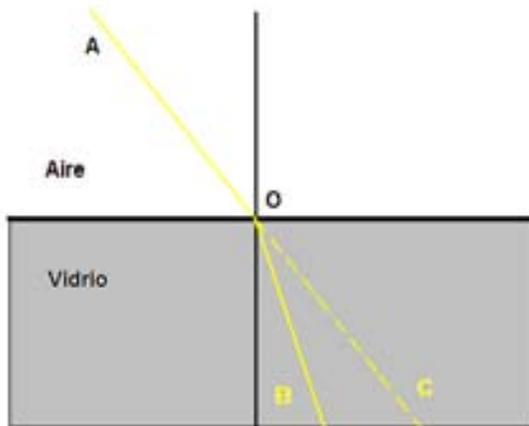


Figura 2

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.

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).

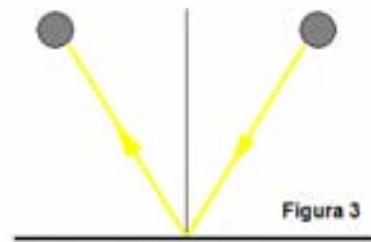


Figura 3

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.8. 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)

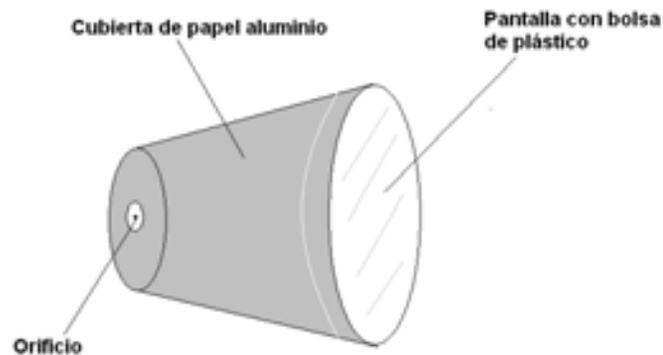
Resolver el siguiente cuestionario (Entrega individual)

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

A.11. 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.12. 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.13. 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.14. Interpreta las observaciones realizadas, mediante la suposición de propagación rectilínea de la luz, auxíliate de un dibujo.

A.15. 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?

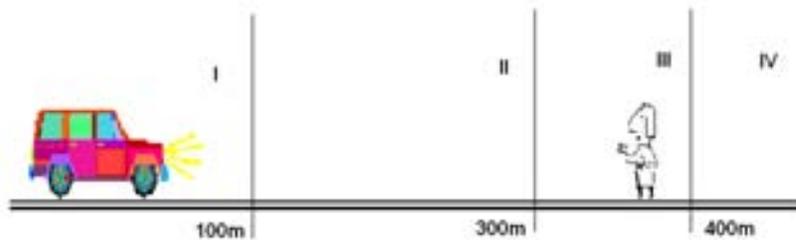
A.18. Problemas y ejercicios numéricos.

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.

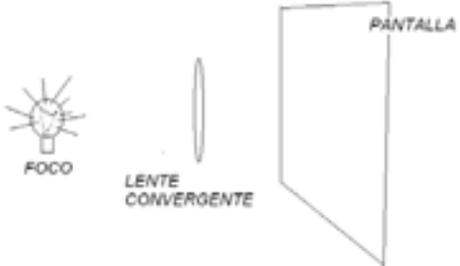
A.19. Considerando lo visto hasta ahora contesta el siguiente cuestionario (evaluación).

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 está 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>a) ¿Qué se espera observar en la pantalla?</p> <p>b) ¿Qué se espera observar si se retira la lente?</p> <p>c) ¿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>d) ¿Es posible obtener la imagen del filamento si se retira la pantalla y en su lugar ubicamos adecuadamente el ojo?</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.

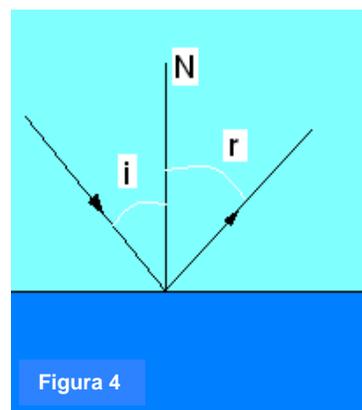


Figura 4

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.

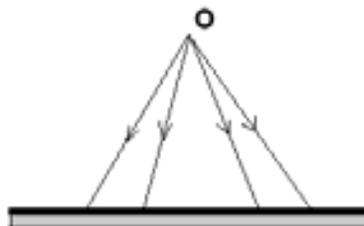
A.20. Proponer un experimento que permita comprobar la relación existente entre el ángulo de incidencia y el de reflexión.

Espejos planos

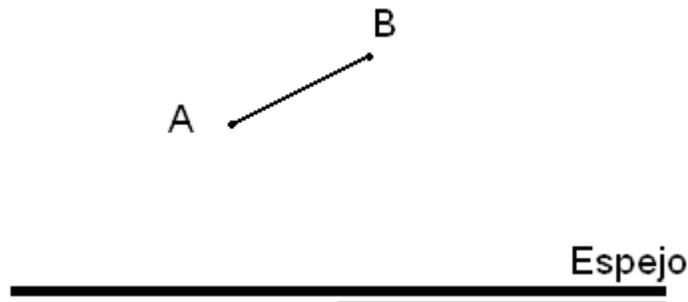
Empleando el concepto de rayo, podemos decir que todos los rayos luminosos provenientes de un objeto, al reflejarse en una superficie plana, parecen provenir de un punto situado detrás del espejo y a la misma distancia de él. Este punto se llama *imagen* del objeto, para ser más precisos, debemos decir 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



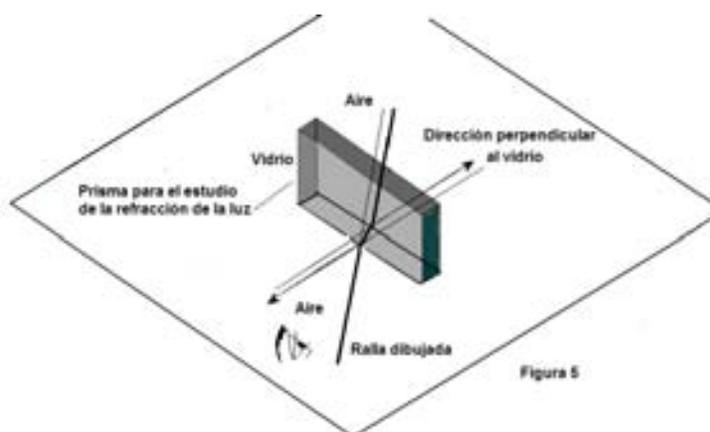
A.24. Investiga cómo funcionan los espejos cóncavos y convexos, así como algunas de sus aplicaciones cotidianas.

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.



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

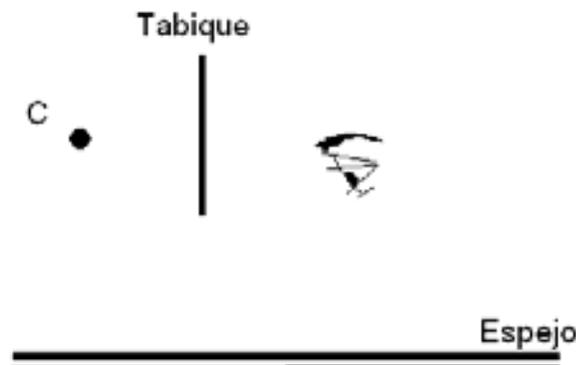
vaso con agua, el paisaje que vemos a través del vidrio de una ventana, las cumbres de las montañas, las estrellas, el Sol y la Luna, observados a través de la atmósfera terrestre, etc.

Preguntas para recapitular sobre la refracción

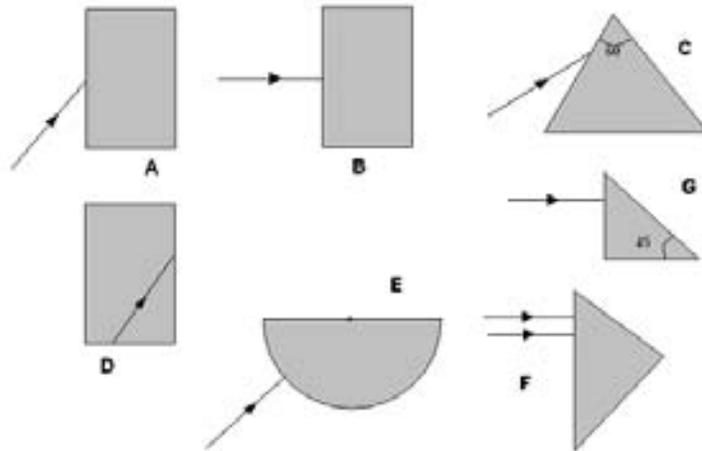
1. ¿Cómo se expresa matemáticamente la ley de refracción? ¿Cómo se verifica experimentalmente?
2. ¿Cómo se explica la refracción de la luz (se puede usar una gráfica) a partir de la concepción corpuscular?
3. ¿Qué es el índice de refracción de una sustancia?

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)

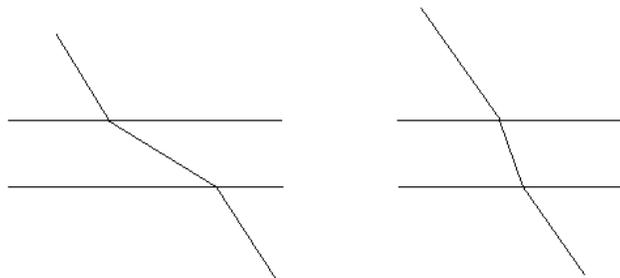
1. ¿Dónde verá el ojo la canica C?



2. Con lo visto hasta ahora, ¿puedes explicar por qué ves tu imagen en el espejo cada vez que te miras en él?
3. 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?
4. Completa los siguientes diagramas, teniendo en cuenta que los objetos representados, son de vidrio y que la flecha representa un rayo luminoso:



5. 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.

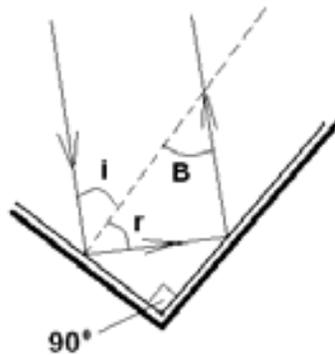


6. Considera un lápiz cerca de un espejo plano como se muestra en la **figura 6**; indica la región enfrente del espejo donde un observador puede ver:



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

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 rayos en distintos ángulos, en relación a la superficie en que se encuentran los pequeños espejos, los rayos reflejados salen paralelos a los rayos incidentes.



9. 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**).

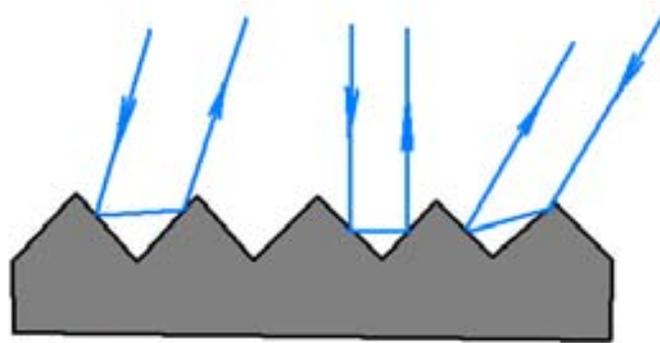
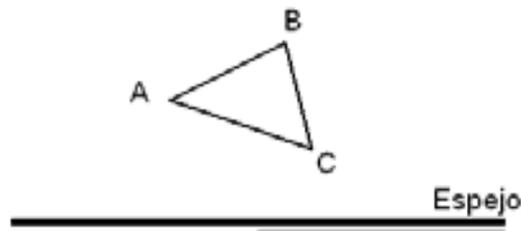


Figura 7

10. Dibuja la imagen del triángulo 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, coloque 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.”

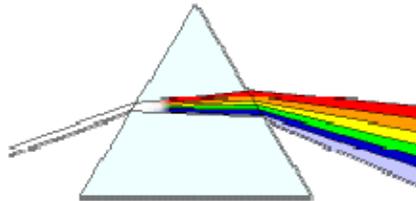
Supongamos que hemos aislado una franja muy angosta del espectro. Esto quiere decir que de toda la multitud de colores, sólo se ha dejado pasar uno a través de una ranura apropiada de una pantalla que retiene a los demás. El haz que pasa a través de dicha ranura se llama luz homogénea, o sea, luz que 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

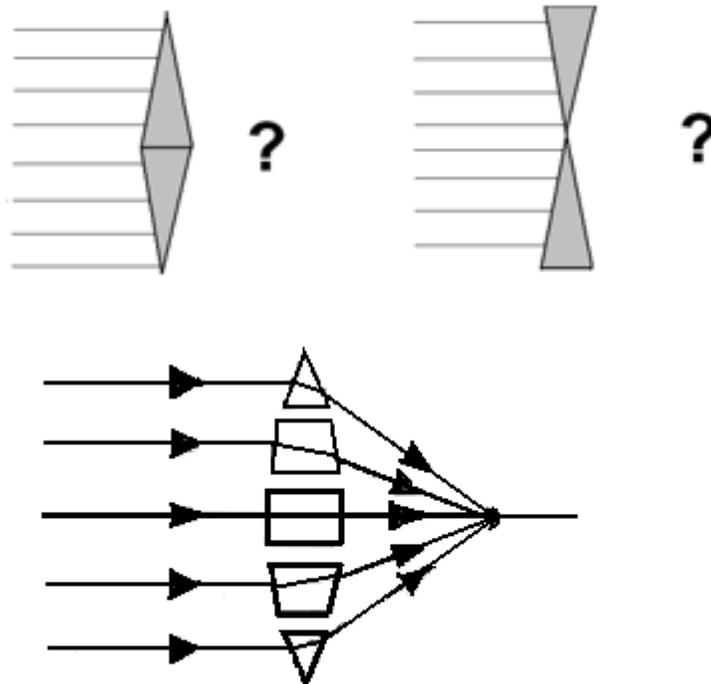
1.4.3.1 Refracción de la luz: Lentes.

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). 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.

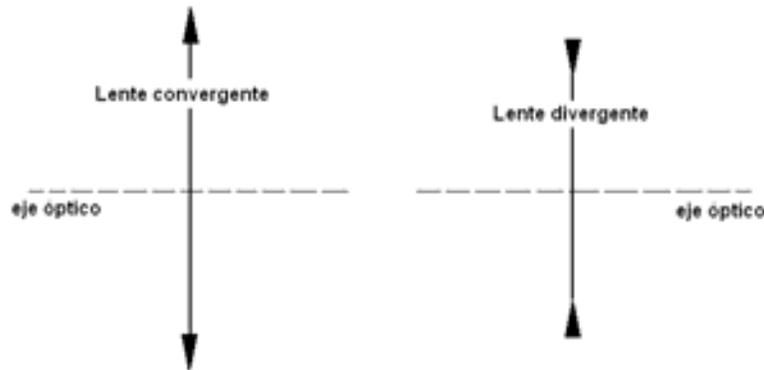


A.38. Considera la siguiente nomenclatura de una lente. La línea perpendicular a las caras de la lente que pasa por el centro, se le llama eje óptico, y el centro de simetría se le llama centro óptico. Realiza un dibujo para representarlos. Usa unas lentes convergentes delgadas y un láser para contestar 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?

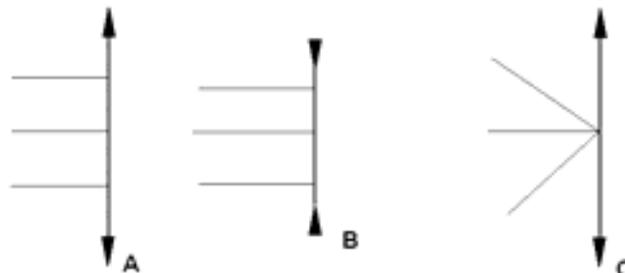
Al punto en que convergen los rayos que llegan paralelos a la lente, se le llama foco F, y la distancia entre el foco y el centro óptico se le llama distancia focal de la lente (f). ¿Cómo definirías el “poder de aumento” o “potencia” de una lente? ¿Conoces la unidad de medida de la potencia de una lente?

A.39. Actividades complementarias

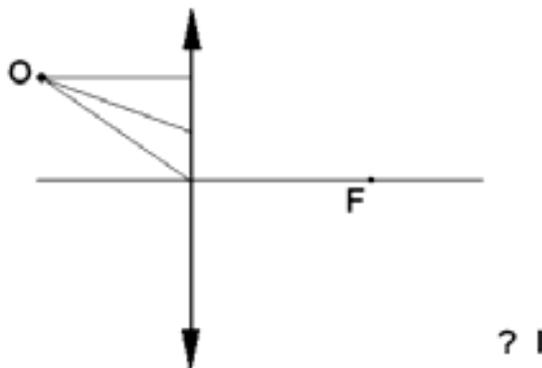
1. ¿Cuál es la distancia focal y la potencia de cada una de las lentes utilizadas?
2. Si usas lentes o tienes unos lentes a la mano, mide su distancia focal y calcula su potencia. ¿Coincide con el dato conocido de los lentes?
3. ¿En una lente también se observa la dispersión de la luz? ¿Por qué?
4. Las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



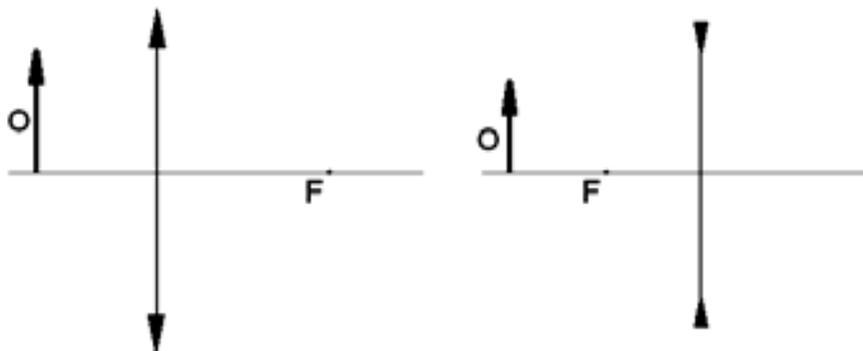
Indica las trayectorias que seguirán los rayos dibujados al atravesar las lentes



5. 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?



6. 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.

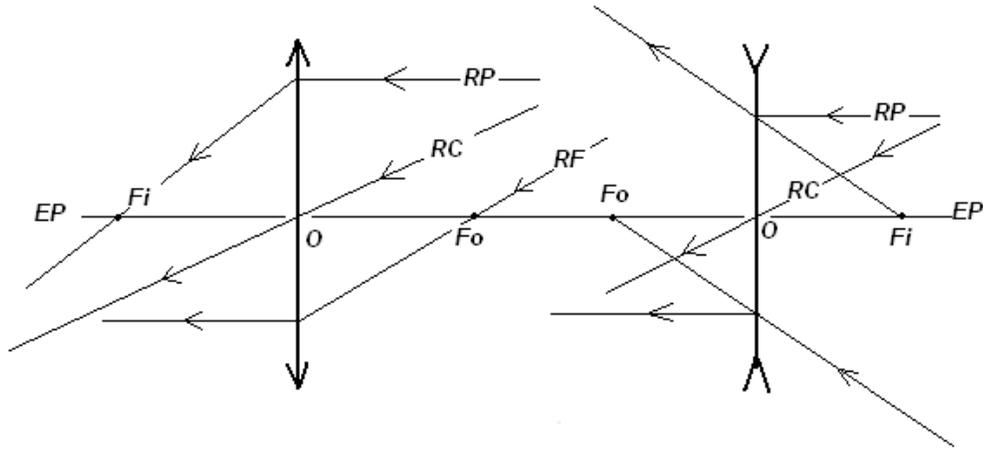


7. ¿Cómo se explica el arco iris?
8. ¿Qué son y cómo se explican los espejismos?

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:

- a) objeto entre el doble del *foco* objeto y el infinito,
- b) objeto en el doble del *foco* objeto,
- c) objeto entre el *foco* objeto y el doble del *foco* objeto,
- d) objeto en el *foco* objeto,
- e) objeto entre el *foco* objeto y el centro óptico.

A.42. Construye una tabla de recuperación de información, para este caso, similar a la siguiente. Revisa tus resultados con tu profesor.

Situación del objeto	Situación de la imagen	Real o virtual	Derecha o invertida	Mayor o menor
a)				
b)				
c)				
d)				
e)				

A.43. Mediante una lupa o lente convergente, verifica experimentalmente los resultados obtenidos mediante el trazado de rayos en el ejercicio anterior.

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

1. 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

2. 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.

3. Halla la imagen de un objeto, a través de una lente **divergente**, si se encuentra situado:
 - a) objeto entre el doble del *foco* objeto y el infinito,
 - b) objeto en el doble del *foco* objeto,
 - c) objeto entre el *foco* objeto y el doble del *foco* objeto,
 - d) objeto en el *foco* objeto,
 - e) objeto entre el *foco* objeto y el centro óptico.

4. Construye una tabla de recuperación de información para este caso, similar a la siguiente

Situación del objeto	Situación de la imagen	Real o virtual	Derecha o invertida	Mayor o menor
a)				
b)				
c)				
d)				
e)				

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?
2. ¿Cómo se explica el sonido en la mecánica?
3. ¿Qué son las ondas?
4. ¿Qué fenómenos conoces de las ondas?
5. ¿Cuáles fenómenos son característicamente ondulatorios?
6. ¿Cómo se propagan las ondas de sonido? ¿Y en el agua?
7. ¿En qué consistió el experimento de Torricelli? ¿Qué se demostró con él?
8. ¿A qué se le llama ondas sonoras?
9. ¿Será el sonido una forma de energía?

10. ¿El sonido puede viajar en ausencia del aire?
11. ¿Cómo se mide la velocidad del sonido? (ver anexo 11)
12. ¿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.

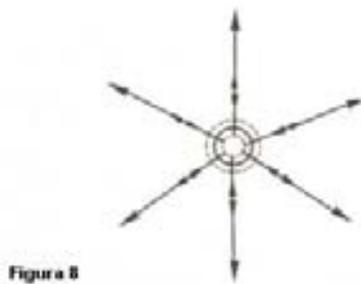


Figura 8

¿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

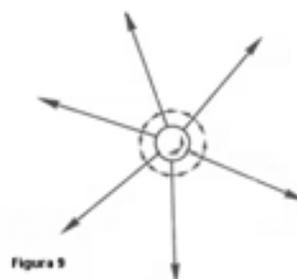


Figura 9

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 entre 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

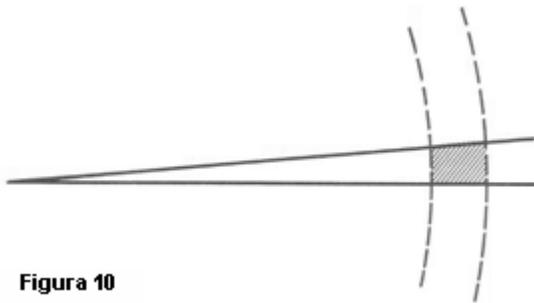


Figura 10

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.

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 ETER: 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 a 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 (entregalo por escrito)

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.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?
2. ¿Cómo se produce la luz?
3. ¿Cómo asocia Huygens la luz con la producción del fuego?

4. ¿Cuál es el argumento de Huygens para hablar del movimiento y la luz?
5. ¿Cómo explica Huygens la visión? ¿Te parece razonable?
6. ¿Por qué Huygens se opone a suponer que la luz se comporta en su movimiento como un chorro de partículas?
7. ¿Cuáles son las características del sonido que se parecen al comportamiento de la luz?
8. ¿Qué tan rápido viaja la luz de acuerdo con la estimación de Huygens?
9. ¿Qué tan rápido viaja la luz de acuerdo con la medición de Römer usando el eclipse de las lunas de Júpiter?
10. ¿Cómo se propaga la luz según Huygens?
11. ¿En qué medio se propaga la luz? ¿Y el sonido?
12. ¿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)
13. ¿Cómo usa el experimento de Torricelli para argumentar su propuesta de la existencia del éter (nombrada por él como materia etérea)?
14. 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?
15. 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? Plan- tearemos 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?*

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.

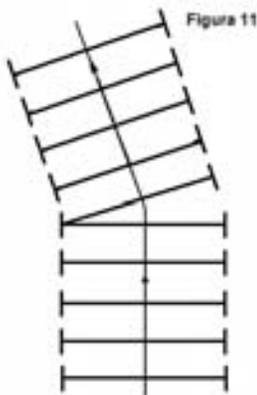
H. - Esto no es un argumento decisivo en contra. Supongamos que ondas cortas de un río incidan sobre el costado de un barco muy grande; se observa que no pasan al otro lado de él. Si las ondas son bastante pequeñas y el buque bastante grande, se puede decir que también en este caso se producen sombras 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.

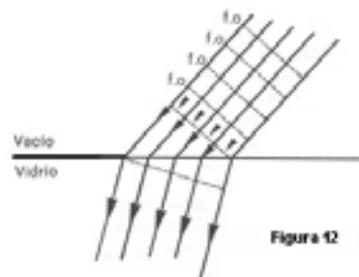
Nos resta mostrar qué explicación da, de la refracción de la luz y de la gran variedad de colores la teoría ondulatoria; hechos que, como sabemos, explica la teoría corpuscular. Empezaremos con la refracción; pero nos será útil considerar primeramente un ejemplo que nada tiene que ver con la óptica.



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:

Lenguaje corpuscular	Lenguaje ondulatorio
<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*

corpúscular. 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 corpúscular 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?
2. ¿Por qué, como dice **N**, imaginar una onda en un espacio vacío es, en realidad, como no imaginar ninguna?
3. ¿Cómo se pueden explicar los fenómenos de reflexión y refracción de la luz mediante la suposición que la luz es una onda.
4. 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:

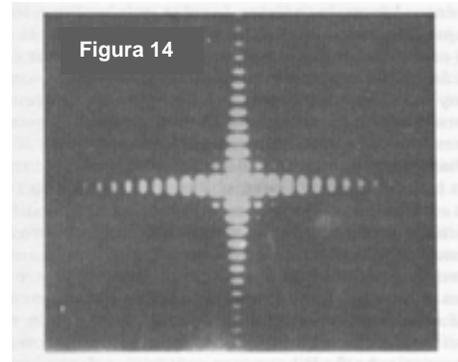
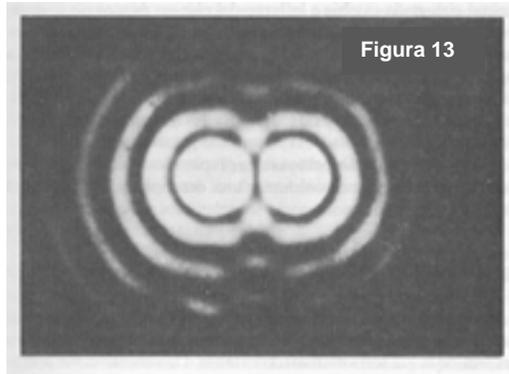
- a) La luz se comporta como un chorro de partículas.
- b) La luz se comporta como un fenómeno ondulatorio.

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 corpúscular: 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

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?

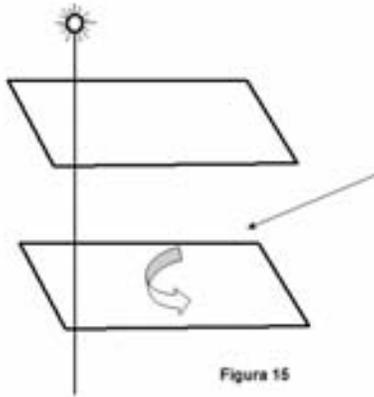
Todos los fenómenos ópticos que hemos considerado hablan a favor de la teoría ondulatoria. La propiedad de la luz de bordear pequeños obstáculos, y la explicación de la refracción, son los argumentos más sólidos a su favor. Guiados por el punto de vista mecánico, nos damos cuenta de que falta aún resolver 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?
2. ¿Se puede generar corriente eléctrica a partir del magnetismo?
3. ¿Qué relación existe entre la electricidad y el magnetismo?

4. ¿En qué consiste la inducción electromagnética?
5. ¿En qué consiste la inducción magnetoeléctrica?
6. ¿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.

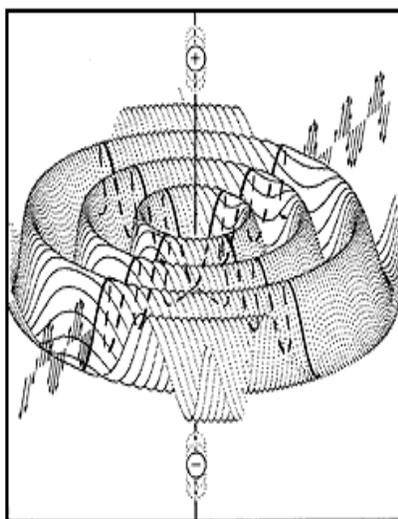


Figura 16. Las cargas eléctricas en movimiento producen fuerzas eléctricas y magnéticas que se propagan a su alrededor a la velocidad de la luz. La propagación de estas fuerzas se llama onda electromagnética. A ciertas frecuencias estas ondas se perciben como luz.

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.

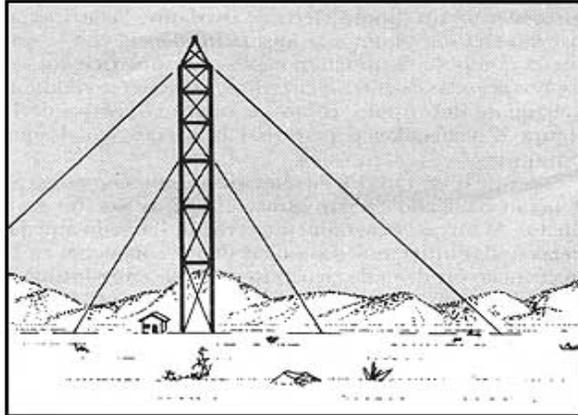


Figura 17. La longitud de las ondas de radio es de cientos de metros y se producen en sistemas de cargas eléctricas en movimiento, llamados antenas, que tienen dimensiones comparables; de unos 100 a 200 m.

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.

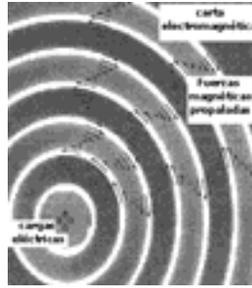


Figura 18. Las fuerzas magnéticas en una onda electromagnética esférica. Las fuerzas avanzan a la velocidad de la luz ocupando esferas cada vez mayores.

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.

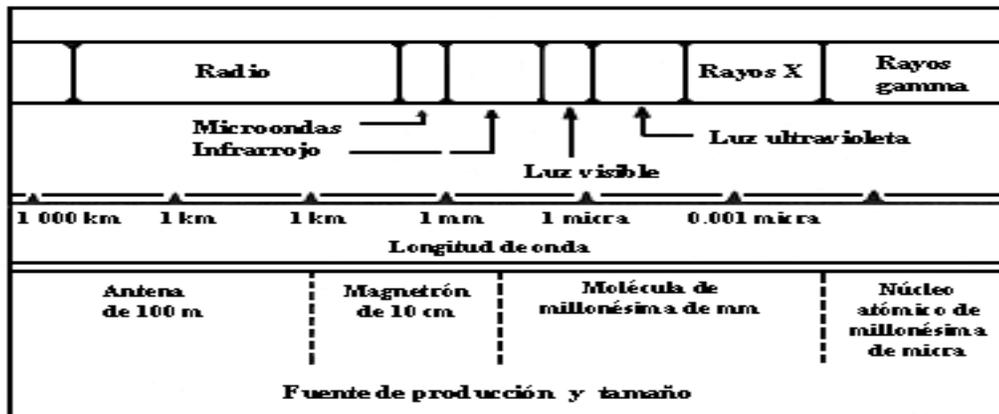


Figura 19 El espectro de las ondas electromagnéticas y las dimensiones de los sistemas de cargas

A.70. Responde detalladamente las siguientes preguntas, justificando ampliamente tus respuestas

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
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.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?
2. ¿Cómo se genera una onda electromagnética?
3. ¿Qué es el espectro electromagnético?

4. ¿Cómo se relacionan C , λ y f en una onda electromagnética?
5. ¿Cuál es la velocidad de cualquier onda electromagnética?
6. ¿Qué tiene la luz de eléctrico y magnético?
7. ¿Cuál es el origen de las ondas electromagnéticas a nivel atómico?
8. ¿Qué es la polarización de la luz, en qué consiste? ¿qué demuestra de las ondas electromagnéticas?
9. 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
10. Haz lo mismo pero ahora para la longitud de onda.
11. Realiza un cuadro comparativo con las principales características del campo eléctrico y del campo magnético.
12. 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.
13. Explica cualitativamente el funcionamiento de una antena receptora de ondas electromagnéticas. ¿Qué orientación debe tener esta antena?
14. ¿Cómo son los campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética?
15. ¿Qué diferencia existe entre un campo magnético y una onda electromagnética?
16. El cuerpo humano es un potente emisor de cierto tipo de ondas electromagnéticas. ¿A qué tipo de ondas nos estamos refiriendo?
17. 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.

18. 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.
19. 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.
20. Investiga cómo se puede medir la energía de una onda electromagnética.
21. 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.
2. 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° .
3. 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.

4. La velocidad con que se propagan las ondas electromagnéticas en un medio dado:
- Coincide con la velocidad de propagación del sonido en dicho medio.
 - Coincide con la velocidad de propagación de la luz en dicho medio.
 - Depende de su frecuencia; no podemos dar una respuesta sin ese dato.
 - Depende de su longitud de onda; no podemos dar una respuesta sin ese dato.
 - No podemos conocerla a priori; es necesario medirla experimentalmente, ya que depende de la temperatura.
5. 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?
6. Contesta a las preguntas que siguen, referidas a los siguientes tipos de onda:
- Rayos X.
 - Radiación infrarroja.
 - Luz de color verde.
 - Onda de TV.
 - 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?
7. Si tenemos en cuenta tan solo aspectos relacionados con la frecuencia, ¿a cuál de los siguientes tipos de onda le corresponde mayor energía?
- Ondas de radio de baja frecuencia.
 - Radiación infrarroja.
 - Rayos X.
 - Rayos ultravioleta.
 - Ondas de radio de alta frecuencia.
8. Una carga produce un campo magnético si:
- Se mueve con velocidad constante.
 - Permanece en reposo.
 - Acelera.
 - Se presenta con una carga negativa.

9. 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.



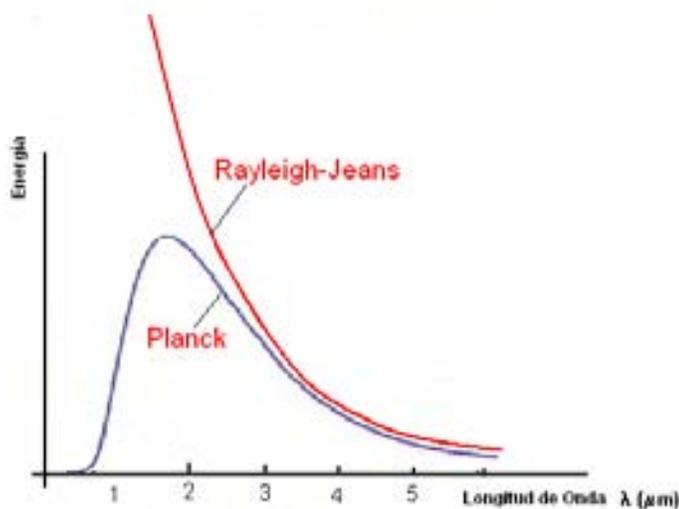
Como hemos podido estudiar, a lo largo de todas las actividades anteriores, desde la antigüedad, los hombres se han preguntado qué es la luz y de qué está hecha la materia. Aún cuando en los siglos XVII y XVIII se contó con un avance importante en el estudio y la explicación de la luz, el avance más 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”.



longitudes de onda largas (frecuencias cortas) y de Wien a longitudes de onda cortas (frecuencias largas).

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



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

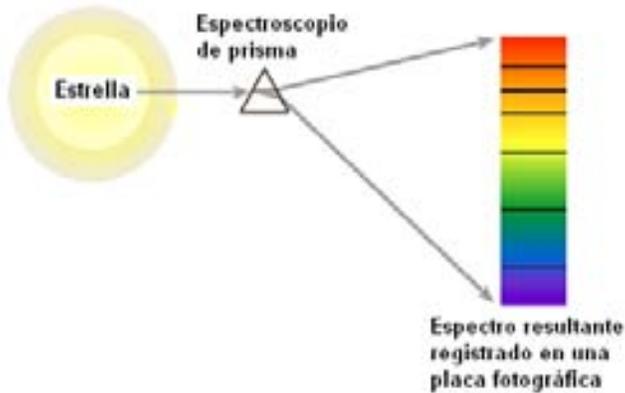
Heinrich Hertz realiza, entre 1886 y 1887, las experiencias que confirman la existencia de las ondas electromagnéticas y, por tanto, que la Teoría de Maxwell es correcta. En esos experimentos observa, además, que la descarga eléctrica, provocada por la detección de las ondas electromagnéticas, entre 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 verá 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?
2. ¿Por qué no se podía explicar con la Física clásica?
3. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?
4. ¿Por qué la teoría electromagnética no podía explicarlo?

5. ¿En qué consiste la hipótesis de Einstein sobre la naturaleza corpuscular de la luz?
6. ¿Cómo explica Einstein el resultado experimental del efecto fotoeléctrico?
7. ¿En qué consiste el modelo atómico de Bohr?
8. ¿Cómo utiliza Bohr la hipótesis del quantum de luz en su modelo?
9. ¿Qué fenómenos es capaz de explicar?
10. ¿Se explica el fenómeno luminoso mediante la hipótesis ondulatoria o corpuscular?

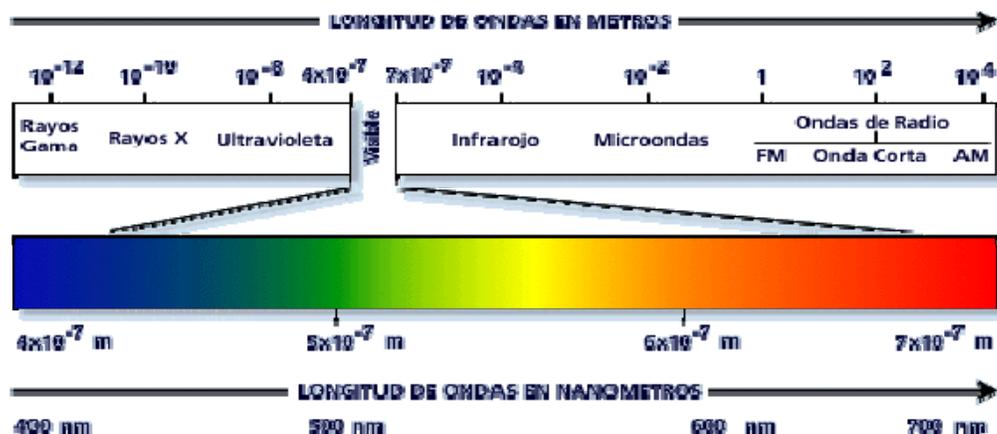
1.2 Radiación de cuerpo negro: Origen del quantum de energía

¿En qué consiste el problema de radiación del cuerpo negro? ¿Qué hipótesis propone Planck para explicar el fenómeno?

A. 79. Después de leer y discutir con tu profesor el texto siguiente, elabora un listado de conceptos asociados con el problema de radiación de cuerpo negro, así como de la solución que obtiene Planck del problema. ¿Cuáles son las conclusiones más importantes que se obtienen de la lectura?

La radiación de los cuerpos incandescentes: Radiación de cuerpo negro

Cuando la luz incide sobre un cuerpo cualquiera, parte de ella es absorbida por él y otra parte es reflejada por el cuerpo o lo atraviesa, este proceso es el origen del color. Un objeto de color blanco refleja casi toda la luz que recibe, mientras que uno de color negro la absorbe casi completamente. La interacción entre los cuerpos y la luz no queda restringida solamente a la luz visible sino a todo el espectro electromagnético. (fig. 22)



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.

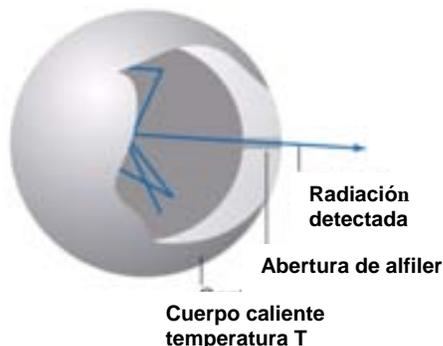


Figura 23

En general el espectro y la cantidad de energía que emite un cuerpo depende del material que esta 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).

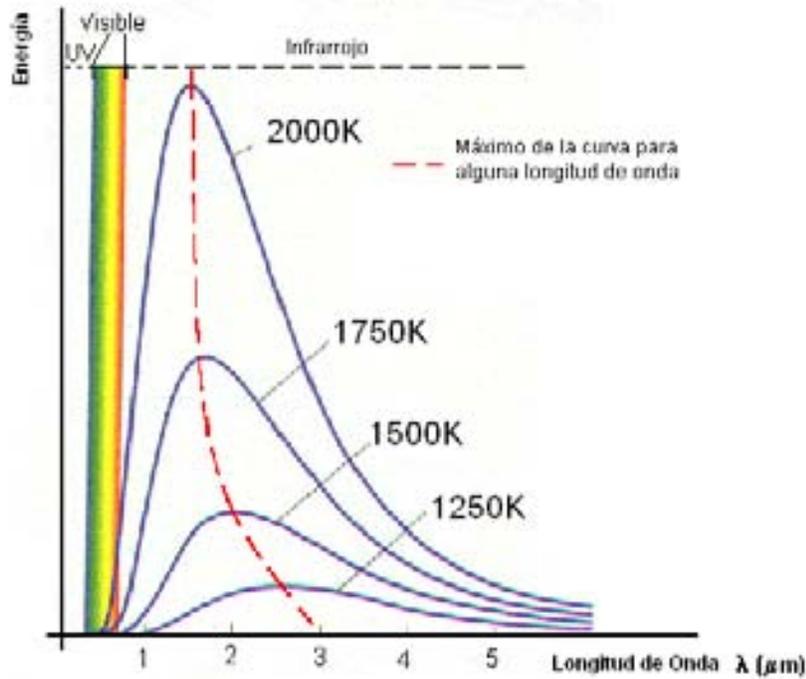


Figura 24

Distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro ideal

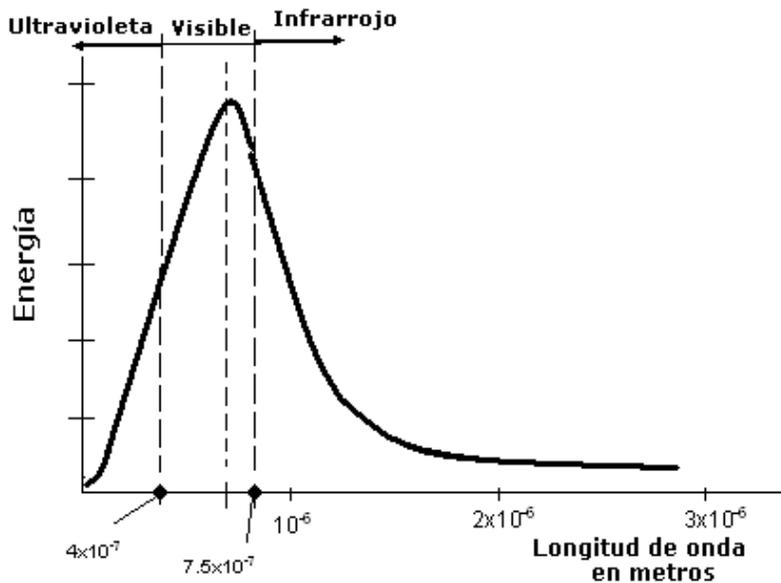


Figura 25

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:

$$C_1 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2 \text{ y } C_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m}^0 \text{ K}$$

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:

$$\lambda_{\text{máx}}(\text{m}) \times T(\text{K}) = 0.002897 \text{ mK}$$

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 $\lambda_{\text{máxima}}$ 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:

$$E_{\text{Total}} = \sigma T^4$$

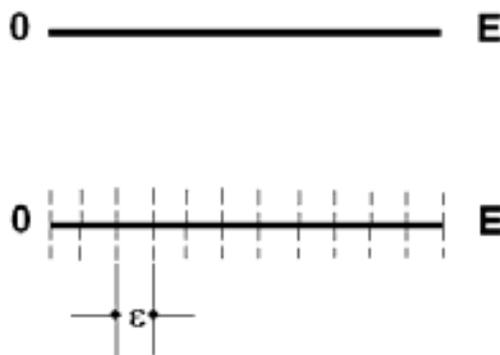
$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

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 austríaco 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.

El trabajo que se acaba de describir se realizó al final de 1900. Seis años más tarde, a 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 , ε , 2ε , 3ε , y así sucesivamente, pero no $(1/3)\varepsilon$, $(4/5)\varepsilon$, 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.

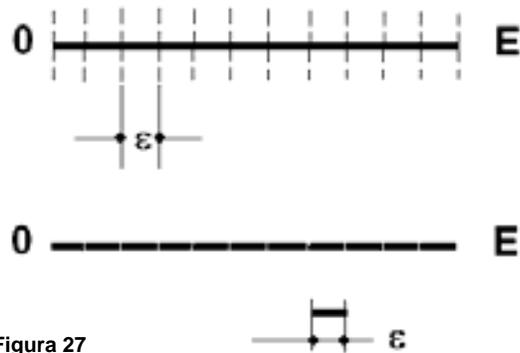


Figura 27

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:

$$E = hf$$

(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.
6. 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:

	V	F
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- λ 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?
2. ¿Cómo funciona el sistema de cierre en una puerta de elevador?
3. ¿De qué manera se aprovecha la energía solar en la actualidad?
4. ¿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**.

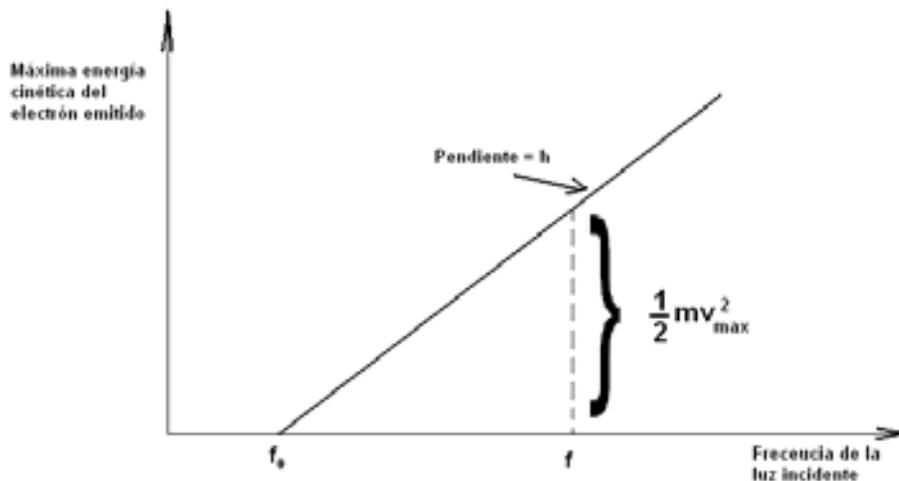


Figura 28

5. 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.

6. 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.

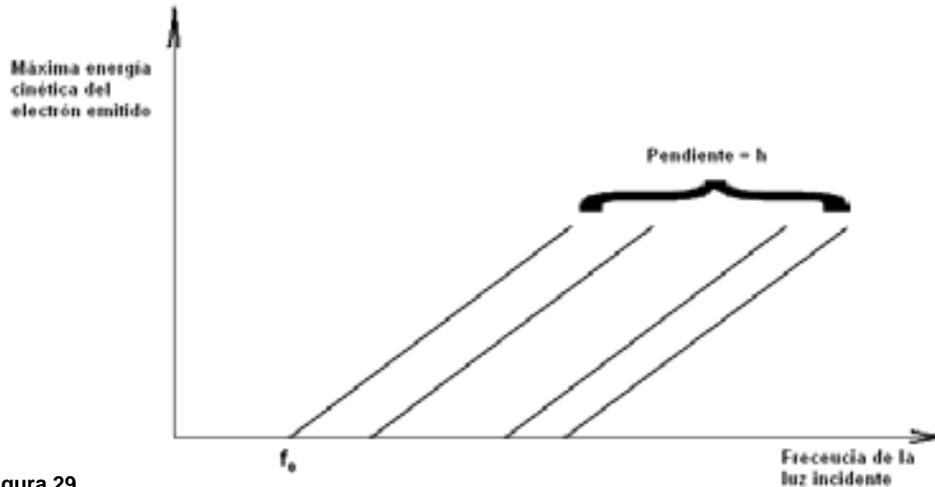


Figura 29

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:

$$100\text{Watt}/4\pi (100\text{cm})^2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2 = (1/12)\text{watt} \times 10^{-16} = 10^{-17} \text{joules/seg} =$$

$$10^{-17} \times (1/1.602) \times 10^{19} \text{eV/seg} = 1.5 \times 10^2 \text{eV} = 1500 \text{eV/seg}.$$

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 sí 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 quantum¹ 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

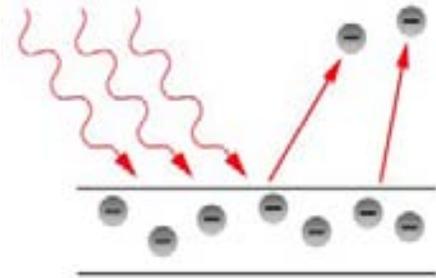
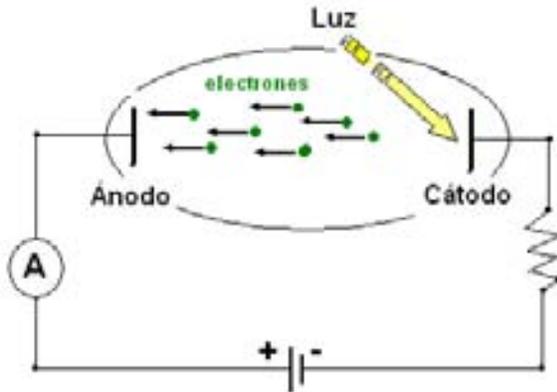


Figura 30

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)



$$V_0 e = \left[\frac{mv^2}{2} \right]_{\text{máxima}}$$

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:

$$\left[\frac{mv^2}{2} \right]_{\text{máxima}} + W = h\nu$$

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).

Datos Experimentales

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

- c. Determina el porcentaje de error de la constante de Planck, obtenida con referencia al valor aceptado
- d. 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.

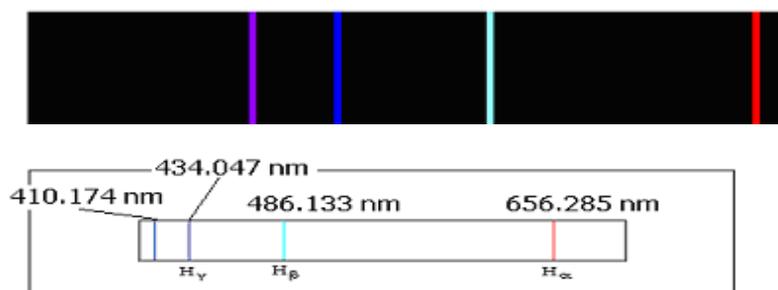
Los hechos conocidos de los espectros en la época de Bohr son:

- 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.

Nombre	Intervalo de longitud de onda	Fórmulas
LYMAN	Ultravioleta.	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ Con $n=2,3,4,\dots$
BALMER	Ultravioleta y cercano visible	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ Con $n=3,4,5,\dots$
PASCHEN	Infrarojo	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ Con $n=4,5,6,\dots$
BRACKETT	Infrarojo	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ Con $n=5,6,7,\dots$
PFUND	Infrarojo	$\kappa = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ Con $n=6,7,8,\dots$

Tomando en cuenta que $\kappa = \frac{1}{\lambda}$ 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.



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.



Joseph John 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.

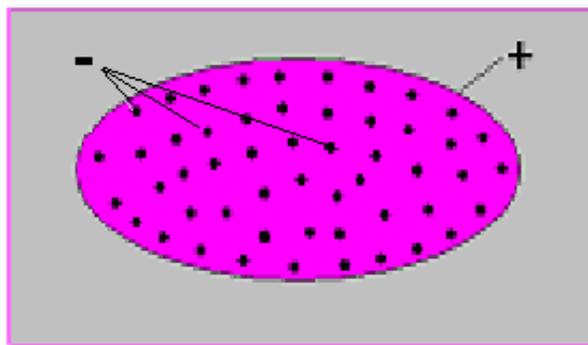


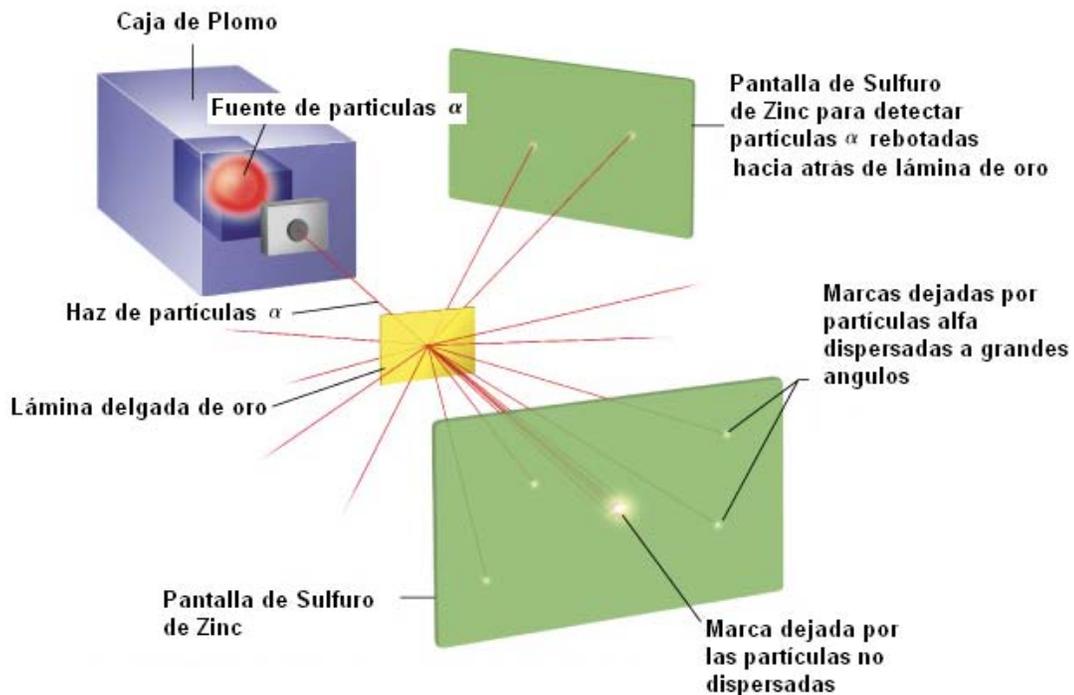
Figura 32 Modelo del átomo de

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)



Figura 33 Experimento de dispersion de partículas alfa de Rutherford



Predicciones del modelo de Thomson 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

1. Observó que, para su sorpresa, aunque la mayoría de las partículas seguían una trayectoria rectilínea, algunas se desviaban, e incluso algunas rebotaban. Las desviaciones de las trayectorias observadas, sólo se podían explicar proponiendo un modelo del átomo con las siguientes características: En el centro del átomo se encuentra un núcleo, cuya masa es aproximadamente la del átomo completo y cuya carga es igual al número atómico Z multiplicado por e .
2. Alrededor del núcleo existen Z electrones, que hace que el átomo sea neutro.
3. Para que el sistema sea mecánicamente estable los electrones circulan alrededor del núcleo en órbitas similares a la de los planetas alrededor del sol (**fig.34**).

Figura 34



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.

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)

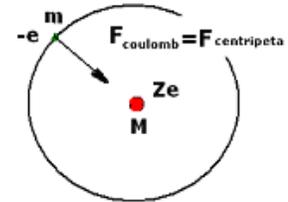


Figura 35

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:

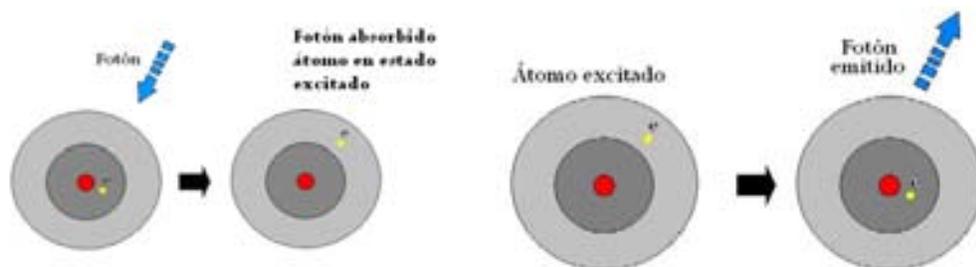
$$mVr = n\hbar$$

$$r = n\hbar / mV$$

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 ν es igual a la cantidad $(E_i - E_f)$ dividida entre la constante de Planck.

$$\nu = \frac{E_i - E_f}{h}$$



Combinando las versiones matemáticas de los tres postulados, se llega a la cuantización del radio de la orbita.

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi k m e^2}$$

Por otra parte, dado que la energía del electrón en su orbita es la energía cinética más la potencial eléctrica se llega a:

$$E_{total} = -\frac{ke^2}{r}$$

Después de sustituir el radio de la orbita 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

$$v = \frac{E_i - E_f}{h}$$

$$h\nu = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

pero tomando en cuenta que

$$\lambda\nu = c$$

$$h\frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi k^2 m e^4}{h^3 c} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

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.
2. Permitió construir una Teoría Cuántica Primitiva, con un grado de éxito relativo, ya que sólo funciona para el átomo de Hidrogeno.
3. 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.
2. 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.
3. ¿Qué logro consideras que se obtiene del uso del concepto de quantum de energía?
4. Elabora Un mapa conceptual, con las ideas asociadas con el concepto de fotón, a partir de lo estudiado hasta esta etapa.

A.90 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:

- De acuerdo con lo estudiado en el tema de ondas, ¿qué diferencias existen entre una onda y una partícula?
 - 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.
 - ¿En qué situaciones la naturaleza ondulatoria o corpuscular de un fenómeno resulta ambigua?
 - Elaborar modelos que simulen el comportamiento dual de la luz, destacando las circunstancias en que se comporta como onda o como partícula.
 - ¿Puede la materia, por ejemplo un electrón, comportarse en ocasiones como una onda?
2. 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.

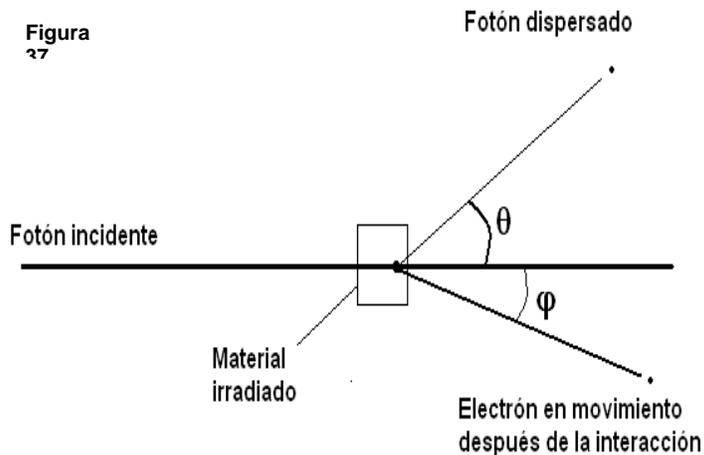


Efecto Compton

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 $E = h\nu$, y con momento lineal igual a:

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



De acuerdo con la conservación de la energía y del momento lineal, la 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 .

Naturaleza ondulatoria de la materia



Louis Victor De Broglie

En 1924, Louis de Broglie² y Einstein, llegan a la idea de que no sólo la luz, sino toda materia, debe tener un comportamiento dual (partículas y ondas). De Broglie considera que si el momento lineal de un fotón, según el experimento de Compton, es igual a $p = \frac{h}{\lambda}$ ¿por qué no utilizar esta relación para encontrar la "longitud de onda de la materia"?

Esto es, para una partícula $p = mv$ y usando que $p = \frac{h}{\lambda}$ se obtiene la expresión para λ :

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

Nota: la argumentación de De Broglie es mucho mas técnica y usa algunos elementos de la teoría de la relatividad que no es posible reproducir en esta breve introducción.

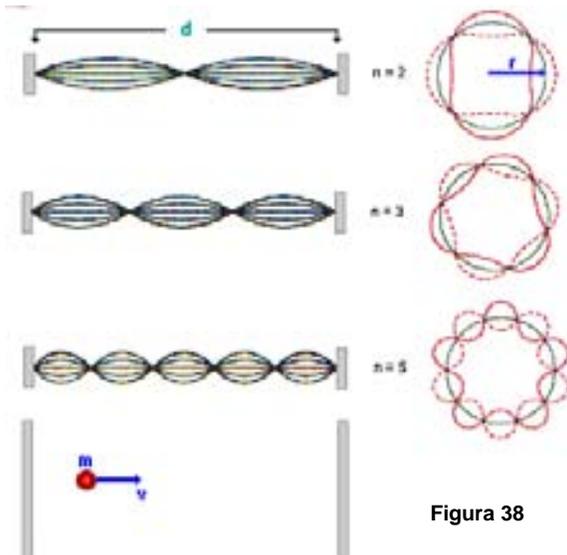


Figura 38

Las Ondas de De Broglie en Átomos

Supongamos que la hipótesis de De Broglie es correcta, y que el electrón que orbita alrededor del núcleo de los átomos de hidrógeno, sigue la relación que se propone en la hipótesis. Ahora, el electrón se encuentra en un átomo en una órbita «circular», de acuerdo con la hipótesis de Bohr (fig.38). En consecuencia, requerimos un **número entero** de las longitudes de onda de De

² Louis de Broglie exploró, en una serie de trabajos que sintetizó en su tesis doctoral presentada en noviembre de 1924, la idea de asociar a la energía en reposo de una partícula, $E = mc^2$, un cierto movimiento periódico interno de frecuencia $f = mc^2/h$. Sin embargo, para hacer consistente esta idea con la dilatación temporal relativista, tuvo que postular la existencia de una onda asociada a las partículas, siempre en fase con el misterioso movimiento interno, por lo que dichas ondas fueron bautizadas como "ondas de fase", de naturaleza diferente a cualquier otro tipo de onda física

Broglie en una órbita de longitud $2\pi r_n$, es decir:

$$n\lambda = \frac{nh}{mv} = 2\pi r_n$$

o también:

$$mvr_n = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar$$

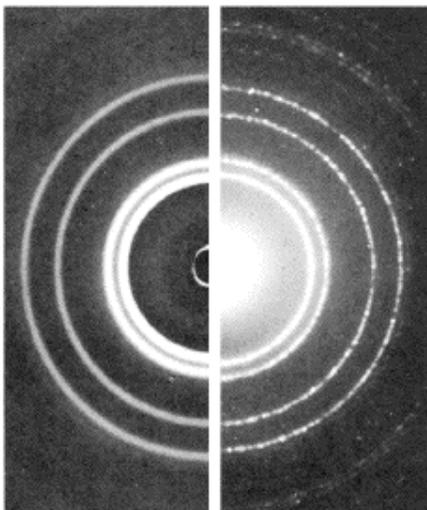
La ecuación corresponde, para una órbita circular, simplemente al momento angular. Así, se recupera en la relación de De Broglie la hipótesis de cuantización de Bohr y ahora cuenta con un fundamento físico .

“Las estimaciones que se obtienen en el desarrollo de las ecuaciones, son más teóricas que prácticas, no obstante, es posible que sean concernientes a la realidad. La naturaleza de la onda del electrón se debe relacionar con la cuantización de los espectros atómicos. Se trata de una cuestión que todavía se encuentra abierta, pero los avances que se han realizado en los últimos años han sido significativos”.

Esas son las ideas de Louis de Broglie, con ellas, se demuestra que es posible establecer una correspondencia entre las ondas y los corpúsculos, sin embargo y por fortuna, la Física cuenta con una forma para decidir cuándo una hipótesis es o no correcta: la experimentación. Uno de los experimentos más directos y conclusivos, fue el llevado a cabo por Davisson y Germer en el año 1927. Aunque realizado después de la creación de la mecánica cuántica, permanece actualmente como el indicador más claro del comportamiento cuántico en el movimiento de las partículas en el microcosmos. En experiencias posteriores se pudo comprobar que efectivamente, partículas como los electrones o los neutrones, pueden producir patrones de difracción, un comportamiento ondulatorio, similares a los que producen los rayos X.

Rayos X

Electrones



En este par de fotografías se muestran la difracción de electrones (mitad derecha) y de rayos X (mitad izquierda) de longitud de onda similar.

De Broglie recibió el premio Nobel en 1929 y años después, en 1937, los físicos experimentales que demostraron el carácter ondulatorio de los electrones.

La dualidad onda-partícula tiene además, algunas aplicaciones importantes, como la

difracción por electrones o por neutrones, que permite averiguar la estructura molecular o cristalina de algunas sustancias, y el microscopio electrónico, que utiliza electrones en lugar de luz. Como la longitud de onda de los electrones es mucho más pequeña que la de la luz visible, el uso de electrones permite construir microscopios con una mayor resolución o número de aumentos.

A.93. Contesta, usando tus notas de clase y lo aprendido en las actividades de esta temática, el siguiente cuestionario, justifica ampliamente tus respuestas

PREGUNTAS DE REVISIÓN: EXAMEN

1. ¿Qué fenómeno deseaba explicar Planck y cómo lo hizo?
2. Explica brevemente la hipótesis cuántica de Planck.
3. Explica de qué factores depende la energía máxima de los electrones emitidos en el efecto fotoeléctrico.
4. Explica el efecto fotoeléctrico, señalando qué resultados experimentales del mismo, no podrían explicarse por la Física clásica y cómo los explica la Física cuántica.
5. Explica el efecto fotoeléctrico mediante la teoría de Einstein, aplicando el principio de conservación de la energía.
6. Describe los modelos atómicos propuestos antes que el de Bohr y alguna de las dificultades que presentan.
7. Describe el modelo de Bohr y de qué manera explica el espectro del hidrogeno.
8. Explica la hipótesis de De Broglie sobre la naturaleza de la luz.
9. Explica en qué consiste la dualidad onda corpúsculo. Hipótesis de De Broglie.
10. En la relación $p = \frac{h}{\lambda}$ ¿Qué representa cada uno de los símbolos que figuran?
11. En qué consiste el efecto Compton. ¿Crees que haya diferencia con el efecto fotoeléctrico?
12. Establece las diferencias más notables entre la Física clásica y la Física moderna, indicando los límites de validez de la Física clásica.
13. Halla la longitud de onda de De Broglie asociada a las siguientes partículas:
 - un neutrón que se mueve a una velocidad de 20 km/s;

- un electrón acelerado mediante una diferencia de potencial de 10^4 V. Datos: Masa del neutrón = $1,67 \cdot 10^{-27}$ Kg; masa del electrón = $9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg; carga del electrón = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C;
- un electrón cuya velocidad es de $0.5 c$ ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg)
- una pelota de tenis de 50 g que se mueve con una velocidad de 400 m/s. Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

14. ¿Cuál es la longitud de onda asociada a un electrón que viaja con una velocidad típica en el ámbito atómico, por ejemplo, 10^7 m/s?

15. ¿Cuál es la longitud de onda asociada a una pelota de fútbol (1 kg) que en un partido típico, en el ámbito cotidiano, viaja con una velocidad de 10 m/s?

16. ¿Qué se puede concluir del resultado obtenido en los problemas anteriores?

17. Si todas las partículas presentan esta dualidad onda y corpúsculo, ¿Cómo explicas que en nuestra vida cotidiana no vemos, por ejemplo, la difracción de una bola de billar o de algún objeto igualmente macroscópico?.

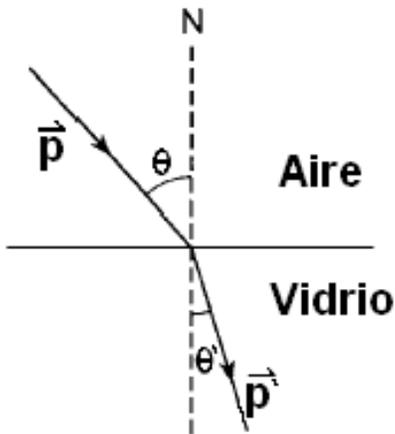
Opcional

A.94. Revisa, con ayuda de tu profesor, el siguiente texto, en el que se justifica la ley de refracción de la luz desde el punto de vista cuántico.

La ley de refracción de la luz y el concepto de fotón.

Hasta ahora hemos visto que la luz se puede explicar usando, tanto la visión corpuscular como la visión ondulatoria, es decir, existen fenómenos que no pueden ser explicados con la visión ondulatoria de la luz y otros que no pueden ser explicados en la visión corpuscular, como en el caso de la visión newtoniana, no puede explicarse satisfactoriamente la refracción de la luz, como vimos en el apartado correspondiente. Sin embargo, podemos preguntarnos sobre qué es lo que permite caracterizar al fotón como partícula y por qué ésta partícula presenta características “ondulatorias” o más concretamente: ¿Cuál es el significado de la dualidad onda-corpúsculo de la luz?

Para empezar, podemos decir que si visualizamos a la luz como partícula, entonces debemos estar en posibilidad de asignarle una energía, un ímpetu y una trayectoria, por lo menos desde la visión de la mecánica clásica. Para los fotones, hemos visto que es posible asignarle una forma de calcular su energía y que está dada por $E = h\nu = hc/\lambda$ y un ímpetu igual a $P = h\nu/c = h/\lambda$. Dejaremos para las actividades siguientes el asunto de la trayectoria.



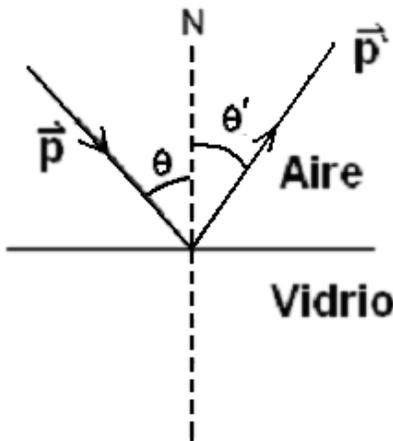
A partir de esas características, podemos ahora “justificar” que es posible obtener las leyes de reflexión y de refracción de la luz, tomando como supuestos los siguientes:

- El índice de refracción de la luz en un medio, es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío (o aproximadamente igual en aire) a la velocidad de la luz en el medio: $\eta = c/v$
- Si un fotón que viaja en el vacío, llega a la superficie de un material refringente, cambia su velocidad (equivalentemente su ímpetu) de p a

p'

- En la refracción de la luz, el ímpetu horizontal se conserva, lo que equivale a decir que $p \sin \theta = p' \sin \theta'$
- En la refracción de la luz, la energía del fotón se conserva, lo que equivale a decir que: $E_{\text{fotón}} = E'_{\text{fotón}}$ o equivalentemente, $h\nu/\lambda = h\nu'/\lambda'$. En la cual v es la velocidad del fotón en el aire y v' es la velocidad del fotón en el vidrio

De donde los puntos anteriores se obtiene:



$$pv = p'v'$$

$$p'/p = v/v'$$

$$p'/p = \sin \theta / \sin \theta' = v/v' = c/v' / c/v = \eta'/\eta$$

$$n \sin \theta = n' \sin \theta'$$

Que es la ley de refracción de la luz de Snell

¿Qué conclusión puedes sacar del razonamiento anterior?

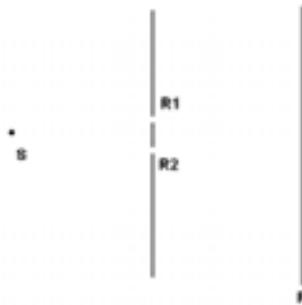
¿Cómo podrías justificar la ley de reflexión, usando un razonamiento

similar?

A. 95. Con ayuda de tu profesor, trata de contestar las siguientes preguntas. ¿Dónde se origina la luz? ¿Se pueden generar los fotones de uno en uno?

A.96. Ya has estudiado que una prueba crucial para determinar el carácter ondulatorio de la luz, fue la experiencia de las dos rendijas de Young. ¿Qué ocurriría si la fuente S emitiese los fotones uno a uno? Considera las posibilidades:

- El fotón es una onda.
- El fotón es un corpúsculo.



A.97. El experimento de la doble rendija con fotones

¿La luz esta formada por ondas o por partículas?

La luz parece tener una naturaleza dual: en el efecto fotoeléctrico se manifiesta como una partícula o corpúsculo, y en los fenómenos de interferencia y difracción se manifiesta como una onda. Cuando se manifiesta como partícula, se comporta, en la detección, como un todo o nada: está localizada en un punto y toda su energía se concentra en ese punto. Cuando se manifiesta como onda, produce interferencias, que sólo pueden explicarse como el resultado de varias “ondulaciones”, que ocupan una región del espacio contrarrestándose en algunos puntos y reforzándose en otros.

El siguiente experimento puede aclararnos más sobre la doble naturaleza de la luz, que de aquí en adelante nombraremos como cuántica. Recordemos el experimento de las dos rendijas, en él se hace pasar la luz monocromática (de un solo color) a través de dos rendijas y se observa en una pantalla un patrón de interferencias en forma de bandas.

Supongamos que la luz proviene de una fuente que emite la luz en fotones de uno en uno. La pantalla es también suficientemente sensible como para detectar un solo fotón. Una pantalla de este tipo funciona de forma parecida al efecto fotoeléctrico: el fotón cede energía a los electrones de la pantalla y provoca una reacción química en cadena, que da lugar a un cambio apreciable en el color o en el brillo de ese punto de la pantalla.

Considerando la disposición de la figura en la actividad anterior, experimentalmente se observa que:

1. Si el tiempo de exposición es muy corto, de manera que sólo incidan unos pocos fotones sobre la placa *P*, se observa que cada fotón produce un impacto localizado y no una figura de interferencia de intensidad muy débil.
2. Si el tiempo de exposición es largo, de manera que incidan un gran número de fotones, se constata que aparecen las franjas de interferencia típicas del comportamiento ondulatorio.



En vista de estos resultados, ¿Qué podemos decir acerca de la naturaleza de la luz? ¿Es una onda o un chorro de partículas?

Los fotones no han podido ponerse de acuerdo para dibujar las bandas sobre la pantalla. El fotón número mil no tiene ni idea de dónde han ido a parar sus predecesores, ni su trayectoria se puede ver afectada por la de sus compañeros. La única explicación posible, es que cada fotón choca con un punto situado al azar, pero no de modo uniforme a lo largo de la pantalla. No todos los puntos de la pantalla, tienen la misma probabilidad de ser alcanzados: los que pertenecen a una banda luminosa del patrón de interferencia, tienen una alta probabilidad mientras, que los que están en una banda oscura tienen una probabilidad muy baja. ¿Qué magnitud física toma valores altos en las zonas luminosas y valores bajos en las zonas oscuras? la intensidad de la luz. Por tanto, la probabilidad de que un fotón alcance un determinado punto de la pantalla es proporcional a la **intensidad de la onda electromagnética en ese punto.**

La naturaleza cuántica de la luz, va cobrando más sentido: existe una onda que ya no puede interpretarse sólo como una ondulación en el campo eléctrico y magnético, sino como **una onda de probabilidad.** Esta onda, sufre interferencias y todo tipo de fenómenos característicos de las ondas. Sin embargo, cuando queremos medir esa onda, cuando queremos detectarla y para ello, hacemos que interaccione con algún aparato de medida, una pantalla,

un detector basado en el efecto fotoeléctrico, etc., en ese momento lo que detectamos es una partícula, el fotón, y la detectamos con una probabilidad proporcional a la intensidad de la onda.

La conclusión parece clara, la luz tienen una naturaleza dual. La descripción de su comportamiento requiere los modelos ondulatorio y corpuscular. Tal como manifestaba Richard Feynman (1965):

"el experimento de la doble rendija, es un fenómeno que es imposible, absolutamente imposible de explicarse clásicamente, y que está en el corazón de la mecánica cuántica. En realidad, contiene el único misterio"

El problema de la trayectoria o ¿por dónde paso el fotón?

A.98. ¿Cómo modificarías el montaje experimental de la actividad anterior, para detectar por cuál de las rendijas pasa el fotón?

*RESULTADO EXPERIMENTAL (Selleri, 1994): Al colocar fotodetectores detrás de las rendijas, podemos comprobar si el fotón pasa por una rendija bien determinada. Se observa que los fotones son detectados por **D1**, o por **D2**, pero nunca por los dos a la vez. También se observa, que si colocamos un fotodetector detrás de la rendija **R1** dejando libre la **R2**, veremos que aproximadamente la mitad de los fotones pasarán por la rendija **R1**, pero no forman una figura de interferencia en la pantalla. Se observa únicamente la figura de difracción de **R2**. Hay que destacar que al intentar predecir la posición de los fotones (si pasan por la rendija **R1** o por la **R2**), se perturba de manera fundamental el sistema (desaparece la figura de interferencia). Esta propiedad es nueva, ya que en el mundo macroscópico, estamos acostumbrados a concebir aparatos de manera que su influencia sobre el sistema a medir sea despreciable. Es imposible conocer al mismo tiempo, por donde ha pasado el fotón y observar la figura de interferencia, este enunciado es equivalente de acuerdo con Feynman al principio de incertidumbre de Heisenberg.*

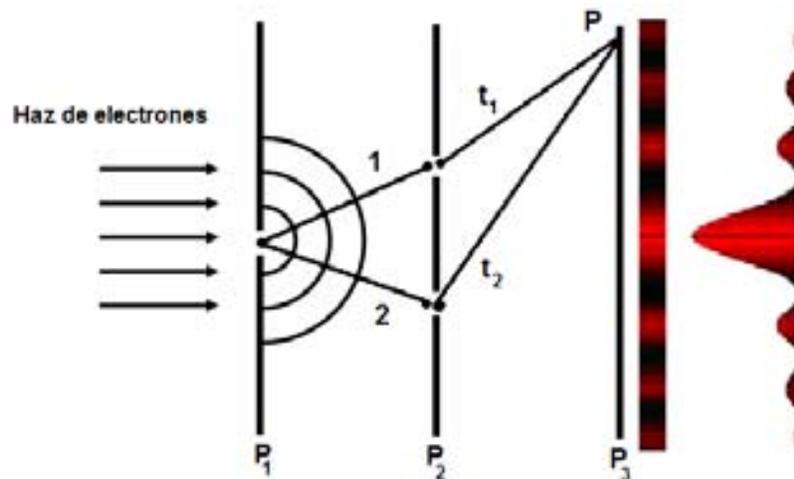
A.99. Opcional

Experimentos de doble rendija con electrones

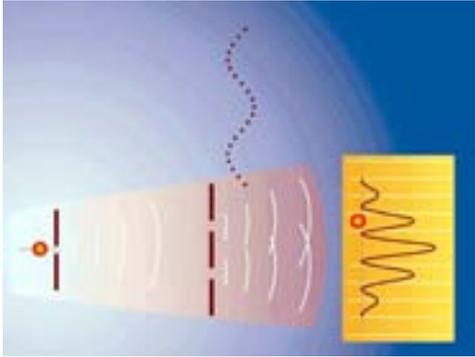
El dualismo onda-partícula de los entes cuánticos, conduce a ciertas paradojas, si pretendemos seguir manteniendo los conceptos clásicos. Los electrones muestran un comportamiento claramente de partícula, por ejemplo, cuando su paso se detecta a través del rastro que dejan en una cámara de niebla. Sin embargo, en un experimento de difracción, cuando los electrones atraviesan un sistema de dos rendijas, su trayectoria no está tan clara. Al detectarse un electrón en el punto P de la pantalla P_3 , no podemos saber por qué rendija ha pasado. Existen dos trayectorias compatibles, la t_1 y la t_2 . Según Feynman, es este desconocimiento de la trayectoria seguida, lo que permite justificar la aparición del diagrama de interferencia. Si tapamos una de las rendijas (lo que equivale a conocer la rendija por la que pasan los electrones), el diagrama de interferencia desaparece.

Los electrones, "detectan" de alguna forma, si ambas rendijas están abiertas (produciendo interferencia) o bien si sólo una de ellas lo está (no aparece interferencia).

Ahora podemos preguntarnos ¿cómo puede producirse el diagrama de interferencia con los electrones, si son partículas que atraviesan sólo una rendija? Quizás la respuesta podría estar relacionada con la existencia de interacciones entre los distintos electrones del haz, es decir surgiendo de un fenómeno colectivo. Un sencillo experimento nos permite comprobar la anterior consideración.



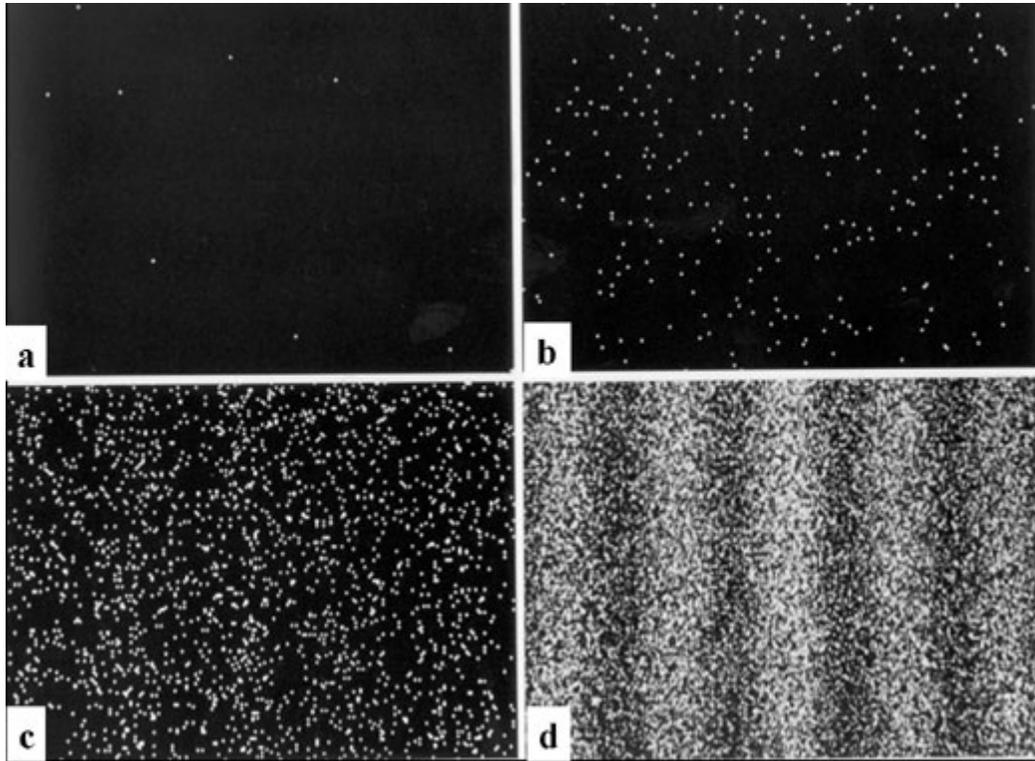
Si realmente la interferencia de un haz de electrones se debe a sus interacciones mutuas, ¿qué pasaría si en lugar de enviar un haz formado por muchos electrones, los enviamos uno a uno? Es decir, sólo una partícula se encuentra, por término medio, dentro del aparato de doble rendija. Cada electrón ya no tiene con quien interactuar, ¿aparecerá interferencia? La respuesta parece desconcertante.



A. Tonomura (en 1989 y trabajando en Hitachi Advanced Research Laboratory de Japón) realizó un experimento de doble rendija con electrones que incidían de forma consecutiva sobre una pantalla. En este experimento se dirigía un haz de electrones de $f = 0.054 \text{ \AA}$ con un flujo de 1000 electrones/s a una velocidad de 10 m/s, sobre un biprisma que consiste en dos placas paralelas con un filamento en el centro. El filamento se mantiene a un potencial positivo

respecto a las placas. Los electrones son desviados al pasar entre el filamento y las placas, añadiéndole una fase a la onda de materia, dependiendo de por qué lado pasan. Los dos haces se focalizan y se les permite interferir. Sobre una pantalla (a 1.5 m de la fuente), se forma un diagrama de interferencia (en unos 20 minutos) con bandas separadas 7000 \AA , que después de aumentarse convenientemente aparecen separadas unos 1.4 mm. La novedad del experimento radica en que el promedio de espacio entre dos electrones consecutivos, lanzados sobre el dispositivo de difracción, es de unos 100 Km. El paquete de ondas que describe a cada electrón tiene un tamaño del orden de 1 micrometro, lo que nos indica que hay una pequeña probabilidad de que dos electrones estén presentes simultáneamente entre el emisor y la pantalla, y mucho menor todavía, de que dos paquetes de onda solapen y los electrones puedan interferir entre sí. Los resultados muestran la aparición de puntos brillantes donde inciden los electrones sobre una pantalla del tipo de TV. Al principio, los puntos parecen situados aleatoriamente, pero con el tiempo van apareciendo regiones claras y regiones oscuras análogas a las de un diagrama de interferencia de la luz. La situación es parecida a los experimentos con luz. Si colocamos detectores en distintos lugares de la pantalla, sólo se detecta un electrón al mismo tiempo, y los electrones llegan enteros y sin dividirse ¿Qué interfiere en este experimento?

La interpretación aceptada de la Mecánica Cuántica, por una buena parte de los físicos de la actualidad considera que cada **electrón interfiere consigo mismo** dando lugar a la autointerferencia de los electrones. La materia presenta un dualismo intrínseco que se manifiesta en experimento de la doble rendija con partículas como los electrones.



Experimento de doble rendija con electrones

El número de electrones acumulados en la pantalla. (a) 8 electrones; (b) 270 electrones; (c) 2000 electrones; (d) 6000. El tiempo total de exposición desde el inicio es de 20 minutos (d).

*En los experimentos descritos, se muestra la naturaleza cuántica de la materia de forma contundente. A nivel microscópico se puede enunciar las partículas son ondas y las ondas son partículas. Para evitar la disyuntiva se puede hablar de objetos con comportamiento nuevo a nivel microscópico y como sugiere Mario Bunge se deben nombrar de un modo nuevo: el sugiere la palabra **cuantón**.*

*La historia aún no termina, recientemente, en el número de octubre de la 1999 de la revista Nature, el grupo de Antón Zelliger de la Universidad de Viena publicó los resultados de un experimento de difracción con una **molécula bastante** “grande” de fullereno de C_{60} . Hasta el 2005, este es el mayor objeto sobre el que se han observado propiedades cuánticas de manera directa.*

A.100. Opcional.

Repite este experimento en la simulación que se presenta en la página de www.maloka.org/f2000 de la Universidad de Colorado.

A.101. Realiza una síntesis de las ideas teóricas y experimentales que dan lugar al concepto de fotón. ¿Con qué imagen mental te quedas del concepto de fotón?

De acuerdo con el punto de vista de A. Einstein, el problema de la naturaleza de la luz aún no está resuelto de forma completa, en 1953 lo expresaba en la forma siguiente:

Estos cincuenta años de reflexión concienzuda no me han llevado más cerca de la respuesta a la pregunta, ¿qué son los cuantos de luz? Hoy día todo Juan, Pepe o Pancho creen que saben, pero están equivocados.

Sigo creyendo en la posibilidad de construir un modelo de la realidad, es decir, de una teoría que represente las cosas en sí mismas y no sólo la probabilidad de su ocurrencia.

Referencias

1. Rueckner Wolfgang y Titcomb Paul. *A lecture demonstration of single photon interference* Am. J. Phys. Vol. 64, No. 2, Feb 1996, Pages 184-188.
2. Richard P. Feynman, Robert B. Leighton and Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison-Wesley, 1963), Vol. III, Chapter 1.
3. Zeilinger A., et. al. *Wave-particle duality of C60*, Nature, Vol. 401, p.p. 680 a 682: 14 de octubre de 1999.
4. Tonomura A., et al. *Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern*, Am. J. Phys. **57**(2) 117(1989)
5. Sélleri F. *El debate de la Teoría Cuántica*, Ed. Alianza Universidad, número 453.

8.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

FICHA DE AUTOEVALUACIÓN.

NOMBRE:

EDAD:

SEXO:

MATERIAS ADEUDADAS:

CARRERA A ESTUDIAR:

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 ALCANCE EL LOGRO, **2** LO ALCANCE DE FORMA REGULAR, **3** LO ALCANCE BIÉN, **4** LO ALCANCE MUY BIEN, **5** LO ALCANCE DE FORMA EXCELENTE

Utiliza unas hojas extra y en cada uno de los indicadores de logro, justifica cuidadosamente cada una de las calificaciones que te asignes para cada indicador. Puedes usar tus notas o libros pero tienes que usar solo tus propias palabras, es decir, no se vale copiar textualmente del libro.

UNIDAD IV FENOMENOS OPTICOS

OBJETIVOS	CALIFICACION
I. Óptica geométrica: La luz como partícula.	
1. Comparo las distintas teorías utilizadas a lo largo de la historia para explicar los fenómenos luminosos.	
2. Describo genéricamente como es que se pueden ver los objetos, a partir del modelo de rayos O de partículas) de la luz	
3. Defino los distintos elementos que forman los sistemas ópticos.	
4. Realizo esquemas que muestran el trazado de rayos en diferentes sistemas ópticos: lentes y espejos.	
5. Deduzco 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.	
6. Comparo la formación de imágenes en los distintos tipos de espejos: planos, cóncavos y convexos.	
7. Aplico el concepto de potencia de una lente a la resolución de problemas numéricos.	
8. Conozco cómo varía el resultado obtenido en un trazado de rayos cuando se modifica el tipo de lente o el tipo de espejo.	
9. Conozco cómo varía el resultado obtenido en un trazado de rayos cuando se modifican las características del objeto.	
10. Sé 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.	
11. Explico las diferencias existentes entre las imágenes reales y las	

imágenes virtuales producidas en diferentes sistemas ópticos.	
12. Comparo una cámara fotográfica con el ojo humano, indicando las similitudes y las diferencias entre ambos «sistemas ópticos».	
13. Explico en forma genérica por que funciona un telescopio	
14. Explico con mis palabras algunos fenómenos luminosos producidos cuando la luz cambia de medio, utilizando las leyes de la reflexión y de la refracción.	
15. Explico en forma genérica por que funciona un microscopio	
16. Represento e interpreto esquemas sobre la propagación de la luz.	
17. Explico algún método conocido para medir la velocidad de la luz, y conozco su valor aproximado.	
18. Explico en que consiste la dispersión de la luz.	
19. Resuelvo problemas numéricos simples en los que se apliquen las leyes de la reflexión y de la refracción.	
20. Identifico el modelo corpuscular de la luz para explicar los fenómenos de reflexión, refracción y dispersión de la luz	
I CALIFICACION PROMEDIO	
II. Naturaleza de la luz: La luz como onda	
21. Conozco algunas características de la luz que la distinguen luz como un fenómeno ondulatorio	
22. Describo con mis palabras los fenómenos de difracción e interferencia de la luz	
23. Conozco que la luz cuando se propaga se comporta como una onda electromagnética.	
24. Conozco en que consiste el fenómeno de polarización de la luz	
25. Describo el espectro electromagnético en todas sus regiones mediante la relación $C = \lambda f$	
26. Conozco las limitaciones y dificultades del modelo ondulatorio y corpuscular de la luz. (que explica y que no explica)	
27. Justifico algunos fenómenos ópticos de observación frecuente en la vida diaria asociados con la difracción, interferencia y polarización de la luz.	
28. Puedo explicar fenómenos luminosos cotidianos con base en el modelo ondulatorio de la luz	
29. Conozco que la luz se puede propagar en el vacío	
II CALIFICACION PROMEDIO	
III. . Naturaleza cuántica de la luz: Origen de la Física Moderna	
30. Conozco las limitaciones de la Física en la explicación de fenómenos que no pueden ser interpretados por las leyes clásicas.	
31. Comprendo que el desarrollo de la Física supone un proceso dinámico que exige una actualización permanente de modelos, leyes y teorías	

32. Conozco en que consiste el efecto fotoeléctrico y al menos una situación que no se puede explicar con el modelo ondulatorio electromagnético de la luz	
33. Conozco la hipótesis de Einstein que explica el efecto fotoeléctrico	
34. Utilizo la fórmula de Planck para calcular la longitud de onda o la frecuencia de un fotón a partir de su energía, o viceversa;	
35. Conozco en que consiste el modelo cuántico de la luz y el por que ni el modelo de onda ni el de partícula da cuenta del fenómeno de la luz	
36. Relaciono las nuevas teorías de la Física con el progreso científico y tecnológico que acarrearón.	
III CALIFICACION PROMEDIO	
CALIFICACION FINAL PROMEDIO	

Indica con un número de cero a diez la calificación que te asignarías en relación con el trabajo realizado en todo el curso. **Calificación ()**

Indica con un número de cero a diez la calificación que te asignarías en relación con los aprendizajes logrados en todo el curso. **Calificación ()**

8.3 AUTOCUESTIONARIO

Contesta el autocuestionario siguiente relacionado con la lectura.

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

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

8.4 EL EXAMEN DIAGNÓSTICO.

El examen diagnóstico tuvo por meta contar con información que me permitiera hacer adecuaciones al plan de clase diseñado, contar con información sobre lo que los alumnos saben o sobre lo que creen saber respecto de algunos conocimientos de la óptica asociados con las preguntas ¿Qué es la luz? ¿Cómo podemos ver? ¿Qué pasa cuando la luz viaja de un medio a otro? ¿Que tan rápido viaja la luz?, etc.

Para su elaboración se tomo en consideración la información relacionada con investigaciones sobre concepciones alternativas en óptica por lo que se esperaban ciertas respuestas típicas coincidentes con lo reportado en la literatura relacionadas con preguntas específicas. Por ejemplo en relación con el “alcance de la luz” o en relación a la explicación de cómo vemos los objetos.

El examen consta de tres partes: Una de preguntas con respuestas de opción múltiple, una segunda con preguntas asociadas con fenómenos específicos relacionados con la luz y la tercera de preguntas abiertas. Lo que se buscó en la tercera parte del examen, fue determinar qué tanto sabían sobre algunos temas y conceptos que supuestamente ya conocían de lo estudiado en su curso de física II.

PARTE I

Selecciona la opción que consideres correcta en cada una de las siguientes preguntas.

1. Cuando un rayo de luz pasa del aire al agua cambia la:

- a) Velocidad de propagación.
- b) Frecuencia.
- c) Longitud de onda.
- d) No sé

2. Para afeitarse, una persona necesita ver su imagen derecha y del mayor tamaño posible. ¿Qué clase de espejo debe usar?

- a) Plano.
- b) Cóncavo.
- c) Convexo
- d) No sé

3. Cuando la luz pasa de un medio a otro de distinto índice de refracción, el ángulo de refracción es:

- a) Siempre mayor que el de incidencia.
- b) Siempre menor que el de incidencia.
- c) Depende de los índices de refracción.
- d) No sé

4. En las lentes divergentes la imagen siempre es:

- a) Derecha, menor y virtual.
- b) Derecha, mayor y real.
- c) Derecha, menor y real.
- d) No sé

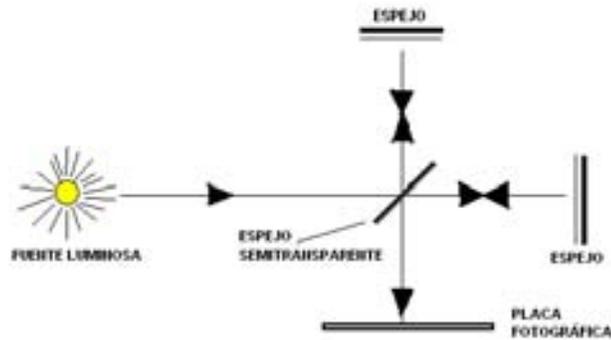
- 5. En las lentes convergentes la imagen es:**
- a) Derecha, menor y virtual.
 - b) Derecha mayor y real.
 - c) Depende de la posición del objeto.
 - d) No sé
- 6. ¿Qué tipo de características de la luz pone de manifiesto el efecto fotoeléctrico?**
- a) Su carácter corpuscular.
 - b) Su carácter ondulatorio.
 - c) Ninguno de los dos.
 - d) No sé
- 7. ¿De que depende la emisión de fotoelectrones en una célula fotoeléctrica?.**
- a) De la intensidad de la luz incidente.
 - b) De la frecuencia de la luz incidente.
 - c) De la distancia entre los electrodos.
 - d) No sé
- 8. Colocamos un objeto a 15 cm de distancia de una lente convergente de 30 cm de distancia focal. La imagen formada es:**
- a) Real, invertida y aumentada.
 - b) Virtual, derecha y aumentada.
 - c) Real, derecha y reducida.
 - d) No sé
- 9. En los autobuses urbanos se coloca un espejo sobre la puerta para que el conductor pueda observar el interior del autobús en su totalidad. ¿Cómo es el espejo?**
- a) Cóncavo.
 - b) Plano.
 - c) Convexo.
 - D) No sé
- 10. Las gafas de corrección de la miopía usan lentes que son:**
- a) Convergentes.
 - b) Divergentes.
 - c) De otro tipo.
 - d) No sé
- 11. Queremos hacer pasar un rayo de luz a través de un vidrio sin que se desvíe. Tendremos que utilizar:**
- a) Una lente plana paralela, en cualquier posición.
 - b) No se puede hacer.
 - c) Cualquier lente, atravesándola por el eje óptico.
 - d) No sé
- 12. Dos rayos de luz inicialmente paralelos se cruzan después de atravesar una lente. Esto puede ocurrir en el caso de que tengamos:**
- a) Una lente de vidrio cóncava en el aire.
 - b) Un hueco cóncavo lleno de aire en el interior de una masa de vidrio.
 - c) Con otra disposición diferente de las anteriores.
 - d) No sé
- 13. El mejor “color” para pintar un radiador, para ser un calentador eficiente es**
- a) Blanco
 - b) No importa el color
 - c) Negro
 - d) No sé

14. Un haz de luz ultravioleta incide sobre una bola metálica de un electroscopio, cual enunciado es verdadero:

- a) Si el electroscopio esta inicialmente cargado positivamente, este se descarga
- b) Si el electroscopio esta inicialmente cargado negativamente, este se descarga
- c) Ambos anteriores son correctos
- d) No sé

15. En un interferómetro de Michelson , un haz de luz es separado en dos partes de igual intensidad, y las dos partes son igualmente recombinadas para que interfieran entre sí. Cuando se envían los fotones de uno en uno, la placa fotográfica muestra:

- a) Solo puntos sobre la placa, ya que los fotones eligen solo una de las dos trayectorias, al atravesar el espejo semitransparente y entonces regresa y alcanza la placa fotográfica, los puntos caen aleatoriamente(al azar) sobre la placa
- b) Solo puntos los cuales caen con mayor probabilidad en unas regiones que en otras como un patrón regular de interferencia
- c) Un patron de interferencia, debido a que el interferometro separa cada foton en dos ondas que posteriormente interfieren en la placa.
- d) No sé

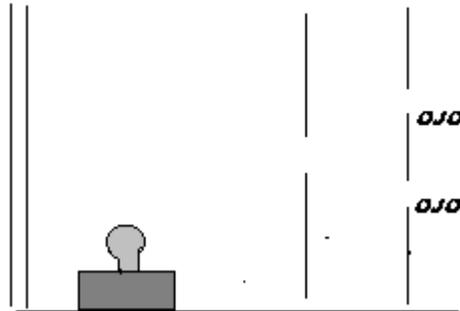


INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

PARTE II

2. Sugieran que aspectos del comportamiento de la luz podemos analizar para decidir si se trata de onda o partícula.

Observar el siguiente esquema:



3. Si encendemos el foco ¿Qué se observará en cada una de las dos hendiduras?. Razone sus respuestas.

4. 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.

5. Mencione las ideas que tenga sobre la velocidad de la luz.

6. Explique por qué pueden verse los objetos. Señale cuáles son los conceptos fundamentales que explican la visión.

Justifique cada una de sus respuestas.

7. ¿Puede verse el haz de luz que emite una linterna?

8. ¿Cuán lejos llega este haz?

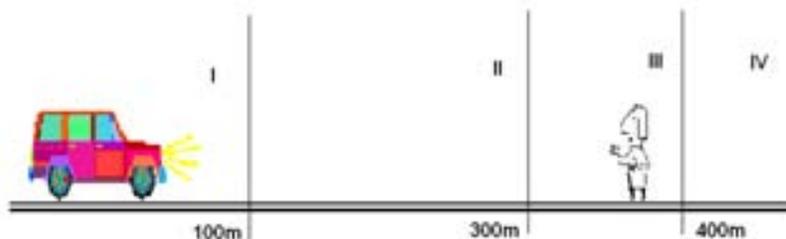
9. ¿Cómo se modificarían sus respuestas si:

- la linterna fuera mucho más potente?,
- si hubiera humo en el ambiente?,
- si en vez de linterna tuviera un haz de luz láser?

9. Califique como verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones y justifique brevemente sus respuestas sean estas afirmativas o negativas:

1. la luz se propaga en línea recta	()
2. una hoja de papel refleja la luz en menor proporción que un espejo ya que si lo hiciese uno podría utilizarlo para ver la imagen de cualquier objeto.	()
3. si un objeto se ve es porque refleja la luz	()
4. el ojo forma imágenes	()
5. el ojo recibe imágenes	()
6. un objeto se ve porque su imagen se traslada como un todo en el espacio	()
7. el fenómeno de difracción de la luz esta a favor de la teoría ondulatoria	()
8. la física moderna presenta una imagen de la luz como onda y partícula simultáneamente	()
9. la luz se puede propagar en el vacío	()
10. la velocidad de la luz es infinita	()
11. el alcance de la luz es infinito	()

10. 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 que sección hay luz? Explica tu respuesta.



10. Luisa y su profesor de física están discutiendo sobre la visión.

Profesor: explica como ves los libros.

Luisa: Señales que van a través de los nervios, entre los ojos y el cerebro.

Profesor: Sí, esto sucede entre los ojos y el cerebro. Pero hay alguna distancia entre el libro y los ojos. ¿Que ocurre entre ellos? ¿Cuál sería tu respuesta? Dibuja y explica.



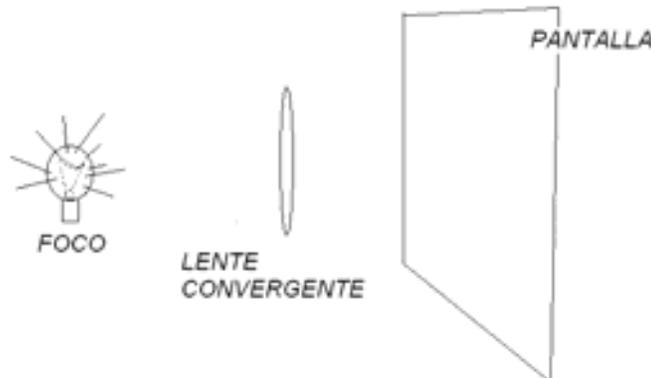
12. Luisa ahora esta mirando dentro de un vaso no transparente . Hay una moneda dentro en el fondo, pero luisa no la alcanza a ver. Explica por que no o usa un diagrama para ayudarte en la explicación.



13. Luisa ahora esta mirando dentro del mismo vaso. Hay una moneda dentro en el fondo, pero ahora se ha colocado agua dentro del vaso de tal modo que, aunque la moneda no se ha movido, luisa ahora si la puede ver. Explica por que: usa un diagrama para ayudarte en la explicación.



14. Considera el siguiente sistema óptico:



- e) ¿que se espera observar en la pantalla?
- f) ¿que se espera observar si se retira la lente?
- g) Que 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?
- h) Es posible obtener la imagen del filamento si se retira la pantalla y en su lugar ubicamos adecuadamente el ojo?

15. ¿Que es una onda?, ¿Qué se mueve en la onda?

16. ¿Que características presentan las ondas?

17. ¿Que se propaga en el movimiento ondulatorio?
18. ¿Que diferencia existe entre una onda y una partícula?
19. Explique en que consiste el fenómeno de interferencia.
20. Describa el fenómeno de difracción de la luz.
21. Explique como se explica el color de los cuerpos y como se puede descomponer la luz blanca.
22. ¿Es la luz una onda o una partícula?
23. Explica brevemente en que consiste la hipótesis cuántica de Planck.
24. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?
25. ¿Qué es un fotón?
26. Describe brevemente en que consiste el modelo del átomo de Bohr.
27. De acuerdo con lo que sabes o lo que tú creas dibuja un modelo del átomo que aceptes como adecuado.
28. Explica algunas aplicaciones tecnológicas que hagan uso de la naturaleza corpuscular de la luz.
29. Establecer las diferencias más notables entre la física clásica y la física moderna indicando los límites de validez de la física clásica.
30. Si te pudieras imaginar como es la luz, intenta hacer un dibujo de cómo te la imaginas.

8.5 ELEMENTOS DEL INFORME DE LABORATORIO.

Un informe de laboratorio sirve para informar a otros de una investigación realizada o para que nosotros mismos recordemos en cualquier momento como realizamos esa investigación: sus resultados, el procedimiento seguido, etc. No obstante un informe de laboratorio no describe literalmente lo que ha ocurrido en una investigación. Para realizar la investigación se siguen unos pasos, pero en un momento determinado podemos volver atrás para revisar o cambiar lo que ya se había realizado. El informe tiene una estructura lineal con una serie de apartados en los que habitualmente no se reflejan esas vueltas atrás que se han dado en la investigación. Para realizar un informe de laboratorio debemos tener muy en cuenta como se realizan las investigaciones en Ciencias, es decir, las estrategias que la Ciencia utiliza para construir soluciones a las situaciones problemáticas de partida. A esas estrategias se les ha denominado "método científico" y se han presentado a veces como una "receta" lineal y rígida a seguir, no se trata de eso, sino de un proceso extraordinariamente complejo con frecuentes saltos y regresiones. Aunque en una investigación científica no se siga un procedimiento rígido para llegar a un resultado, de acuerdo con Gil 1993, podemos señalar una serie de elementos imprescindibles en ese proceso:

Un "**planteamiento del problema**" en el que se acota y simplifica, se deciden las variables relevantes y se traducen siempre que sea posible al lenguaje matemático.

Una "**emisión de hipótesis**", en la que se construyen posibles soluciones al problema planteado, se establecen relaciones esperadas entre las variables y también se traduce siempre que es posible al lenguaje matemático.

Un "**diseño y realización experimental**" (experimentos, observaciones sistemáticas) en el que se analiza las variables a controlar y variar, cómo se van a mantener constantes, cómo se van a medir (forma e instrumentos), el material a utilizar y cómo disponerlo (montaje) y cómo vamos a recoger y ordenar los datos obtenidos.

Un "**análisis de resultados**" en el que se utilizarán unos instrumentos y se hará un tratamiento determinado de los datos (construcción de tablas, gráficos,...), se hará una interpretación de los mismos de acuerdo a las hipótesis emitidas (interpretación de tablas y gráficos, ...).

Una "**elaboración de conclusiones**" en la que se analizará todo el proceso; se verá si se ha verificado la hipótesis y en qué condiciones (posibles revisiones del diseño o replanteamientos del problema) ¿"afecta" esto a los conocimientos de partida?, se verán posibles aplicaciones tecnológicas del proceso o se propondrán nuevos problemas que han surgido y que pueden ser objeto de nuevas investigaciones.

Un "**cuerpo de conocimientos**" que puede ser modificado en el proceso pero es el que en principio nos permite enunciar con precisión el problema, construir soluciones hipotéticas, elaborar estrategias de contrastación e interpretar los resultados. Para elaborar un informe de laboratorio, es decir, para reflejar todo esto en un documento, se pueden seguir diferentes pautas y elaborar documentos con muy diferentes apartados. A modo de ejemplo propondremos los siguientes:

- 1º.- Presentación
- 2º.- El problema a investigar
- 3º.- Conocimientos de partida
- 4º.- Enunciado preciso del problema
- 5º.- Posibles soluciones
- 6º.- Estrategias para la contrastación de la hipótesis
- 7º.- Recolección de datos
- 8º.- Interpretación de los datos obtenidos
- 9º.- Nuevos problemas y perspectivas.
- 10º.- Fuentes consultadas

Que el informe contenga estos apartados u otros dependerá del tipo de trabajo realizado y de la creatividad de cada cual. En todo caso debemos huir de guiones rígidos que siempre incluyen los mismos apartados y con los mismos títulos; lo que si se debe preservar es el contenido y sentido de los diferentes apartados con el objetivo de que el documento tenga coherencia y sea útil.

No todos los informes tienen que contener todos los apartados,. De todas formas, el informe más sencillo de laboratorio debería contener una "Introducción" que resumiera lo realizado; un "planteamiento del problema" en el que se indicaran al menos las variables relevantes para el mismo; unas "hipótesis y su fundamentación teórica" en el sentido de que se formulen como posibles soluciones al problema construidas dentro del cuerpo de conocimientos que estamos manejando; un "Diseño y realización experimental" en la que se describa el procedimiento seguido, con un dibujo del montaje realizado, indicando cómo se han realizado, las medidas, y cómo se han controlado las variables; y un "Análisis de los resultados" en el que se haga un tratamiento adecuado de los registros obtenidos y se comparen éstos con lo previsto en la hipótesis, sugiriendo nuevos problemas a investigar. Así pues el informe más simple se ajustará al siguiente guión:

- Introducción
- Planteamiento del problema
- Hipótesis y su fundamentación teórica
- Diseño y realización experimental
- Análisis de los resultados.

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

Calificaciones: 1: No ; 2: Regularmente; 3: Sí

CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO (Todo el grupo)	
CONOCIMIENTOS TEÓRICOS	Calificación: 1, 2 ó 3
¿Crees que tus compañeros han expuesto los contenidos del tema con la suficiente profundidad y claridad?	
¿Has comprendido los contenidos de este tema?	
¿Crees que ellos entienden esos contenidos?	
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO ¿Crees que el trabajo reúne los apartados necesarios? La información de cada apartado ¿correspondía con el título que tenía?	
¿Ha sido clara y concisa la introducción del trabajo?	
¿Se ha visto un hilo conductor de todos los apartados que tiene el trabajo?	
PRESENTACION DEL DISCURSO.	
¿Han hablado lo justo y necesario para poder entender lo que han hecho?	
¿Los mensajes orales han sido claros e inteligibles?	
¿Se han ayudado de un guión, sin leer todo el discurso?	
¿El discurso y las imágenes estaban bien relacionados?	
¿Las imágenes estaban colocadas en un orden adecuado?	
¿Crees que han utilizado los medios adecuados (computadora , retroproyector, material de laboratorio, actividades demostrativas, etc.	

Sugerencias para mejorar:

**CRITERIOS DE AUTOEVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO
(componentes de cada equipo)**

REALIZACIÓN DEL TRABAJO: Funcionamiento del equipo

¿Todos los componentes del equipo han trabajado por igual?

¿Ha habido un compañero/a que ha actuado como coordinador?

¿La mayor parte de la tarea la han hecho unos pocos?

¿He trabajado a gusto en el equipo?

¿Estoy satisfecho del trabajo realizado?

¿He aprendido?

¿El profesor nos ha proporcionado el material necesario?

¿El profesor nos ha asesorado convenientemente?

¿El profesor nos ha enseñado?

¿El profesor ha tratado por igual a todos los componentes del equipo?

OBSERVACIONES

8.7 CRITERIOS PARA EVALUAR INFORMES DE LABORATORIO.

El primer apartado: **Introducción, Presentación, etc.**, debe servir para hacer un resumen de lo que viene después, así como dar una justificación de por qué y para qué se realiza la investigación, el trabajo práctico.

El segundo apartado: **La situación problemática general, El problema a investigar, etc.**, debe servir para analizar desde una perspectiva general el problema para el que se quiere construir una solución, que después, en el apartado cuarto, se va a enunciar con precisión; seguramente está relacionado con otros, se plantea desde un punto de vista teórico determinado, tal vez con un interés especial, en fin, es una primera aproximación al problema y al cuerpo teórico en el que se plantea, que se describirá con detalle en el apartado tercero.

El tercer apartado: **Cuerpo de conocimientos, Conocimientos de partida, etc.**, contendrá, las teorías, modelos, conceptos que conocemos y que vamos a utilizar para simplificar y acotar el problema, emitir hipótesis como posibles solución al mismo, interpretar los resultados, etc..

El cuarto apartado: **Planteamiento del problema, Enunciado preciso del problema, etc.**, servirá para describir las simplificaciones que hemos hecho de la situación problemática general presentada en el apartado segundo, para presentar las magnitudes que son relevantes, etc.

El apartado quinto: **Emisión de hipótesis, Posibles soluciones, etc.**, recoge las hipótesis construidas como posibles soluciones al problema acotado, especificando la relación con el problema y con el cuerpo teórico en que se fundamentan, siempre que sea posible deberemos operativizar las hipótesis expresándolas en lenguaje matemático algebraico o gráfico;etc.

El apartado sexto: **Diseño experimental, Estrategias para la contrastación de la hipótesis, etc.**, describirá el diseño realizado, relatando las magnitudes que se han manejado y cómo se han medido, el material utilizado y el montaje realizado, con una descripción del procedimiento que se ha seguido, el proceso de registro de datos, etc.

El apartado séptimo: **Realización de la experiencia, Recogida de datos, etc.**, recogerá sobre todo las modificaciones introducidas a la hora de la realización no previstos en el diseño, al mismo tiempo que se describen algunas dificultades y cómo se han superado, junto con los datos registrados, etc.

El apartado octavo: **Análisis de los resultados, Interpretación de los datos obtenidos, etc.**, servirá para hacer una interpretación de los resultados a la luz de las hipótesis emitidas, presentando primero los mismos mediante diferentes instrumentos, tablas, gráficas, etc.

El apartado noveno: **Conclusiones, Nuevos problemas y perspectivas, etc.**, recogerá las conclusiones del trabajo y las nuevas perspectivas que éste abre, posibles aplicaciones tecnológicas que se conozcan, reflexiones personales sobre todo el proceso, problemas nuevos que han surgido, modificaciones del cuerpo teórico de partida, etc.

El apartado décimo: **Bibliografía, Fuentes consultadas, etc.**, cerrará el informe con la bibliografía consultada que puede referirse a libros teóricos sobre los conocimientos abordados, a enciclopedias sobre funcionamiento de aparatos de medida o de aplicaciones tecnológicas, etc.

8.8 MAPAS CONCEPTUALES: INFORMACIÓN PARA ALUMNOS

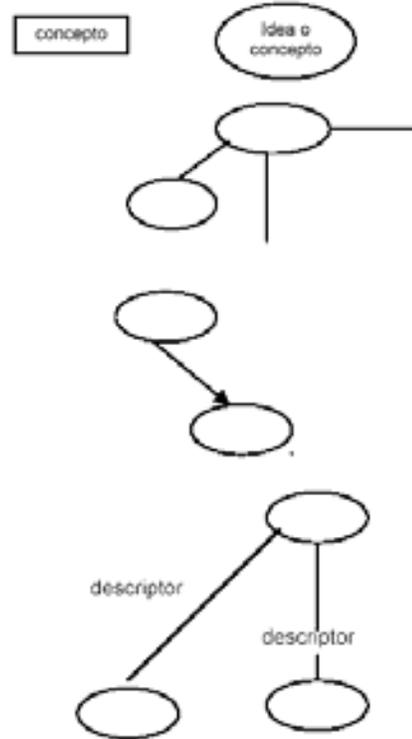
Los mapas conceptuales o mapas de conceptos son un medio para visualizar ideas o conceptos y las relaciones jerárquicas entre los mismos. Con la elaboración de estos mapas se aprovecha la gran capacidad humana para reconocer pautas en las imágenes visuales, con lo que se facilitan el aprendizaje y el recuerdo de lo aprendido. Desde luego que no se trata de memorizar los mapas y reproducirlos con todos sus detalles, sino de usarlos para organizar el contenido del material de estudio y que su aprendizaje sea exitoso.

La técnica de elaboración de mapas conceptuales es un medio didáctico poderoso para organizar información, sintetizarla y presentarla gráficamente. Es muy útil también puesto que nos permite apreciar el conjunto de la información que contiene un texto y las relaciones entre sus componentes, lo que facilita su comprensión, que es el camino más satisfactorio y efectivo para el aprendizaje. Otra utilidad es que pueden servir para relatar oralmente o para redactar textos en los que se maneje lógica y ordenadamente cierta información; de ahí que sean considerables como organizadores de contenido de gran valor para diversas actividades académicas y de la vida práctica.

I. TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS MAPAS CONCEPTUALES

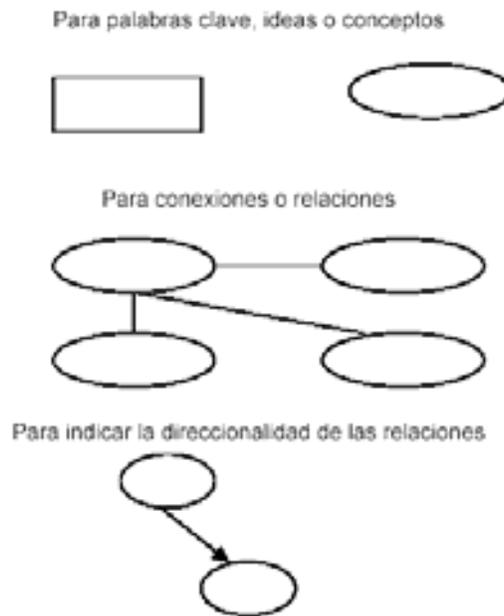
Es muy sencilla pero compleja a la vez, porque requiere realizar varias operaciones mentales. Se puede utilizar didácticamente para desarrollar ideas y mostrar las relaciones que hay entre ellas. La técnica, simplificada para usarla con propósitos didácticos, consta de los siguientes pasos.

1. Leer cuidadosamente el texto y entenderlo claramente. En caso de haber palabras que los alumnos no comprendan o no conozcan, habrá que consultarlas en el diccionario y comprobar cómo funcionan en el contexto en que se encuentran.
2. Localizar y subrayar las ideas o palabras más importantes —palabras clave— con las que se construirá el mapa; por lo general, son nombres o sustantivos.
3. Determinar la jerarquización de dichas ideas o palabras clave.
4. Establecer las relaciones entre ellas
5. Utilizar correctamente la simbología:a) Ideas o conceptos: cada una se presenta escribiéndola encerrada en un óvalo o en un



rectángulo; es preferible utilizar óvalos. b) Conectores: la conexión o relación entre dos ideas se representa por medio de una línea inclinada, vertical u horizontal llamada conector o línea ramal que une ambas ideas. c) Flechas: se pueden utilizar en los conectores para mostrar que la relación de significado entre las ideas o conceptos unidos se expresa primordialmente en un solo sentido; también se usan para acentuar la direccionalidad de las relaciones, cuando se considera indispensable. d) Descriptores: son la palabra o palabras (1, 2 ó 3) que describen la conexión; se escriben cerca de los conectores o sobre ellos. Estos descriptores sirven para "etiquetar" las relaciones. Tiene gran importancia elegir la palabra correcta; o sea, la que mejor caracterice la relación de que se trate, de acuerdo con el matiz de significado que debe darse con precisión.

En resumen, la simbología de un mapa conceptual puede ser:



El contenido o texto del mapa conceptual está formado por: Palabras clave, ideas o conceptos. Descriptores

Procedimiento general para construir un mapa conceptual

Primero: Lea un texto e identifique en él las palabras que expresen las ideas principales o las palabras clave. No se trata de incluir mucha información en el mapa, sino que ésta sea la más relevante o importante que contenga el texto.

Segundo: Cuando haya terminado, subraye las palabras que identificó; asegúrese de que, en realidad, se trata de lo más importante y de que nada falte ni sobre. Recuerde que, por lo general, estas palabras son nombres o sustantivos comunes, términos científicos o técnicos.

Tercero: Identifique el tema o asunto general y escríbalo en la parte superior del

mapa conceptual, encerrado en un óvalo o rectángulo.

Cuarto: Identifique las ideas que constituyen los subtemas ¿qué dice el texto Del tema o asunto principal? Escríbalos en el segundo nivel, también encerados en óvalos.

Quinto: Trace las conexiones correspondientes entre el tema principal y los subtemas.

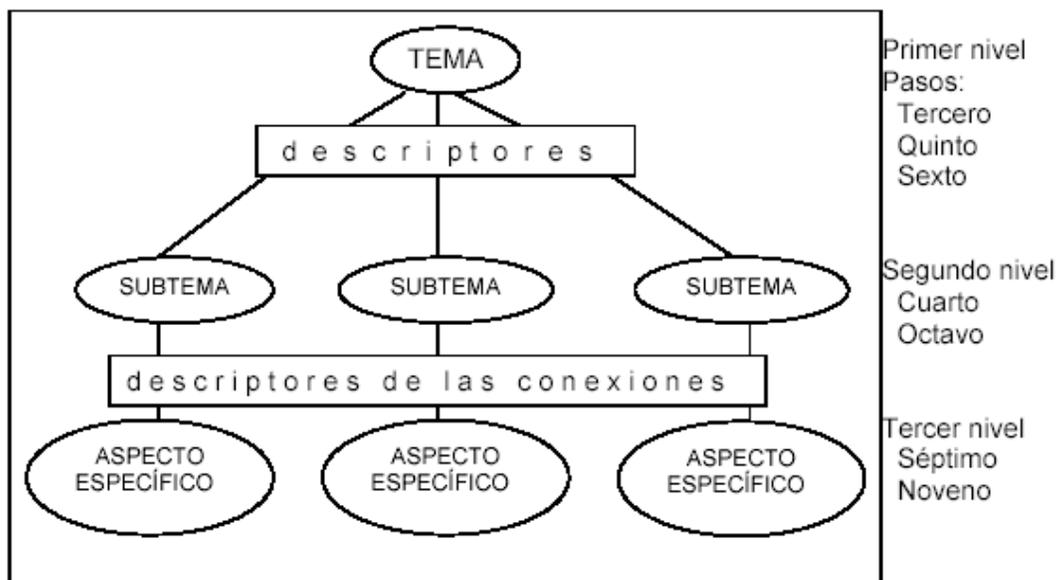
Sexto: Seleccione y escriba el descriptor de cada una de las conexiones que acaba de trazar.

Séptimo: En el tercer nivel coloque los aspectos específicos de cada idea o subtema, encerrados en óvalos.

Octavo: Trace las conexiones entre los subtemas y sus aspectos.

Noveno: Escriba los descriptores correspondientes a este tercer nivel.

Décimo: Considere si se requieren flechas y, en caso afirmativo, trace las cabezas de flecha en los conectores correspondientes. A continuación se incluye el mapa conceptual de este procedimiento simplificado. Las ramificaciones de otros niveles (cuarto, quinto, etc.), podría incluirlos a continuación, si los considera necesarios, de acuerdo con el texto.



Recomendaciones

Es conveniente revisar su mapa varias veces para comprobar si las conexiones son verdaderamente importantes. Al revisarlo es necesario que tome en cuenta lo siguiente:

- Hay ocasiones en que es indispensable o conveniente ubicar juntos dos subtemas o aspectos específicos que lo requieran para no tener que "encimar" o superponer las líneas de conexión que deban figurar cruzadas en el mapa.

- Las ideas pueden estar correctamente representadas en mapas de varias maneras diferentes. De hecho, es poco usual que dos personas construyan mapas idénticos y partir de un mismo texto; por eso no puede haber un modelo único de mapa conceptual aplicable a cualquier texto.
- No obstante que su mapa no sea igual que los de sus compañeros, aunque todos hayan manejado la misma información, estará correcto si comprende las ideas o conceptos más importantes que aparecen en el texto, adecuadamente jerarquizados y con las relaciones entre ellos bien caracterizadas.
- El mapa conceptual también puede estar correctamente construido si tiene significado para quien lo realiza y le ayuda a entender el material analizado.
- Un mapa conceptual será suficiente claro si cualquiera de sus términos —ideas o descriptores— fuera eliminado y pudiera ser repuesto siguiendo la lógica del mismo.
- En todo caso, es necesario construir varias veces el mapa de un mismo texto para suprimir los defectos que hubiesen aparecido en la primera versión; por lo general, en la segunda versión aparecen las relaciones en forma más clara y explícita.

Además de la claridad, en una segunda e incluso en una tercera o cuarta versiones, se ganará en limpieza y corrección; se mejorará la distribución y se evitarán los "amontonamientos". Un mapa conceptual es más claro si está bien distribuido y presentado armónica y equilibradamente.

Pichardo, P. Juan.-Didáctica de los mapas conceptuales, Ed. Jertalhum, México, 1999.

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/biblioteca/articulos/pdf/mapas_conceptuales.pdf

8.9 CUESTIONARIO DE EXPLORACIÓN DE ACTITUDES

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
PLANTEL NAUCALPAN
PROGRAMA DE APOYO AL EGRESO
CURSO DE FÍSICA II**

SEXO:

EDAD:

CARRERA A ESTUDIAR:

En los siguientes cuadros, marca con una **X**, en el grado que corresponde con tu opinión acerca de la física. Primeramente antes del curso de PAE y en seguida después del curso de física II de PAE.

OPINIÓN DE LA FÍSICA ANTES DEL CURSO PAE					
	Poco(1)	(2)	(3)	(4)	Mucho(5)
Interesante					
Fácil					
Aburrida					
Compleja					
Importante					
Difícil					
Irrelevante					
Sencilla					
Inútil					

OPINIÓN DE LA FÍSICA DESPUÉS DEL CURSO PAE					
	Poco(1)	(2)	(3)	(4)	Mucho(5)
Interesante					
Fácil					
Aburrida					
Compleja					
Importante					
Difícil					
Irrelevante					
Sencilla					
Inútil					

En el curso de física II PAE se usaron frecuentemente las demostraciones de fenómenos o experimentos de física que fueron presentados por el profesor

Indica en qué medida, en tu opinión, las demostraciones:

	Nada (1)	(2)	(3)	(4)	Mucho (5)
Relacionan la teoría y el mundo físico real.					
Desarrollan tu capacidad de observación.					
Aclaran tu comprensión de conceptos.					
Ayudan a conocer el mundo físico real.					
Afianzan lo aprendido en la clase teórica.					
Evidencian aparentes discrepancias entre la teoría y la realidad.					
Permiten detectar conceptos aprendidos en forma errada.					
Estimulan tu interés por la física.					
Incitan a formular preguntas en clase.					
Aumentan tu confianza en la teoría.					
Ayudan a definir tu interés vocacional					

Indica cuáles fueron las tres demostraciones que más te gustaron

1.	
2.	
3.	

GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

8.10 EVALUACIÓN DE LOS ALUMNOS AL PROFESOR

CALIFICACIONES DEL GRUPO (11 ALUMNOS)

Este instrumento tiene como finalidad recabar tu opinión sobre el desempeño del profesor durante su práctica docente. Selecciona con veracidad para cada indicador, marcando con una X, el número que te parezca más adecuado.

Escala:

1. Nunca, 2. Casi nunca, 3. Regularmente, 4. Casi siempre, 5. Siempre

Asistí a un ____% de las clases

INDICADOR	PUNTAJE DE UN TOTAL DE 55
1. El profesor dio a conocer los objetivos o propósitos a lograr de los contenidos de las diferentes clases impartidas	51
2. El profesor llegó puntualmente a la clase y utilizó efectivamente el tiempo destinado al desarrollo de los contenidos programados en esa clase	54
3. El profesor expuso ejemplos claros de los temas que se vieron en clase	48
4. El profesor ayudó al grupo a establecer conclusiones congruentes a los temas expuestos en la clase	48
5. Consideras que el profesor organizó adecuadamente los contenidos temáticos expuestos en clase	49
6. En las actividades y discusiones el profesor facilitó y animó a la participación de todos	49
7. El profesor utilizó tus respuestas para reforzar el trabajo de grupo	48
8. Las actitudes personales del profesor y sus explicaciones te ayudaron a mantenerte atento	45
9. El profesor trató por igual a todos los alumnos sin descalificar a nadie	54

10. Se expresa claramente en las explicaciones	47
11. Informa oportunamente el avance académico de los estudiantes	48'
12. Promueve la argumentación razonada entre los miembros del grupo en la búsqueda de acuerdo	48
13. Usa ejemplos personales o habla sobre experiencias externas a la clase	46
14. Hizo la aclaración de dudas de forma amable y cortés (preguntas-respuesta)	51
15. Los experimentos planteados por el profesor te permitieron comprender mejor el tema	53
16. Promovió el cuidado y buen uso de los materiales y equipo	54
17. Estableció criterios de evaluación y calificación desde el inicio del tema o unidad	53
18. Realizó una evaluación diagnóstica (examen de conocimientos previos o ideas previas al tema) al principio del tema o unidad	54
19. El profesor se mostró abierto para considerar tus inconformidades y cuestionamientos sobre tu calificación	50
20. Consideras que tu calificación refleja tus aprendizajes sobre el tema o unidad	51

8.11 AUTO EVALUACIÓN DEL PROFESOR:

Escala:

- 1.- Completamente en desacuerdo
- 2.- Parcialmente en desacuerdo
- 3.- Indiferente
- 4.- Parcialmente de acuerdo
- 5.- Completamente de acuerdo

INDICADOR	1	2	3	4	5
1. Relaciona y organiza los contenidos temáticos					
2. Inicia y termina una explicación					
3. Realiza actividades para enlazar los conocimientos ya poseídos con los nuevos que se pretenden enseñar					
4. Imparte instrucciones -señala- verifica la comprensión de la tarea, garantiza la retroalimentación					
5. Organiza el grupo para cubrir algunos contenidos mediante el trabajo colaborativo					
6. La realización de las prácticas o actividades se relacionan con los contenidos expuestos en clase					
7. Los objetivos planteados al inicio del tema corresponden a los contenidos expuestos					
8. El profesor contagió a los alumnos entusiasmo y ganas de trabajar.					
9. Empleó estrategias de aprendizaje novedosas y atractivas, adecuadas al tema					
10. Se observó interés de los alumnos en las explicaciones, las actividades y los ejemplos de la clase en los diferentes momentos					
11. Utilizó alguna estrategia para incorporar al trabajo a los alumnos desmotivados					
12. Utilizó las ideas y propuestas de los alumnos que surgieron en la clase					
13. Usa ejemplos personales o habla sobre experiencias					

externas a la clase					
14. Plantea cuestiones ó estimula a los estudiantes a hablar					
15. Proporciona retroalimentación sobre el trabajo individual, a través de comentarios o discusiones orales.					
16. Critica o hace observaciones al trabajo de los estudiantes, a sus acciones o comentarios					
17. Usa variedad de expresiones y tonos al hablar a la clase					
18. El profesor respeta las ideas de los alumnos cuando no opinan igual que él.					
19. El profesor empleó los recursos didácticos de manera eficiente.					
20. El profesor utilizó material didáctico innovador y adecuado a los contenidos.					
21. Los recursos didácticos empleados fueron adecuados al nivel cognitivo de los estudiantes.					
22. El recurso didáctico empleado favoreció el aprendizaje significativo.					
23. El profesor al inicio de su tema realizó una evaluación diagnóstica que le llevará a realizar las adecuaciones necesarias a su planeación.					
24. Durante el proceso de enseñanza el profesor realizó actividades enfocadas a la retroalimentación.					
25. El profesor aplicó instrumentos de evaluación de manera sistemática que le permitiera identificar el aprendizaje de los alumnos.					
26. Los mecanismos de evaluación fueron coherentes con los contenidos temáticos y las habilidades cognitivas del estudiante.					

8.12 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DEMOSTRACIONES INCLUIDAS EN LA PROPUESTA

Introducción

Las demostraciones que se sugieren en la propuesta didáctica elaborada, tienen como objetivo introducir a los estudiantes al tema en cuestión, mediante presentación de algunos fenómenos físicos correspondientes. Su intención es despertar el interés por el tema en los estudiantes y provocar la elaboración de preguntas a partir de ellos. El uso puede darse también para ilustrar un concepto o para mostrar alguna consecuencia que se puede obtener desde la teoría. A continuación se presentan solo algunas posibles demostraciones como muestra, ya que el número disponible es enorme y, dependerá del interés del profesor y las condiciones del grupo, si se usan o no en el aula.

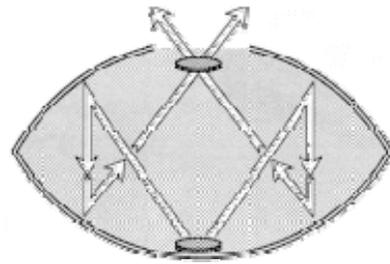
1. Espejos planos: Imágenes virtuales

El objetivo de esta demostración es explorar el comportamiento de imágenes en la reflexión de la luz en el caso de superficies reflectoras como espejos planos o vidrios. En la imagen que se presenta a continuación se coloca la vela detrás del espejo apagada de modo tal que al verla a través del vidrio, cuando se enciende la que esta al frente del vidrio, da la apariencia de estar encendida. Se discute el modelo corpuscular de la luz así como el concepto de imagen virtual en un primer momento.



2. Espejos esféricos: Imagen real

El objetivo de esta demostración es explorar el comportamiento de imágenes en la reflexión de la luz en el caso de superficies reflectoras como espejos esféricos o parabólicos. En la imagen que se presenta a continuación se coloca un objeto dentro de dos espejos esféricos en uno de los cuales se presenta un orificio. El objeto da la apariencia de estar en la superficie exterior del espejo que tiene el orificio. Se discute el modelo corpuscular de la luz y se describe el concepto de imagen real en una primera presentación.

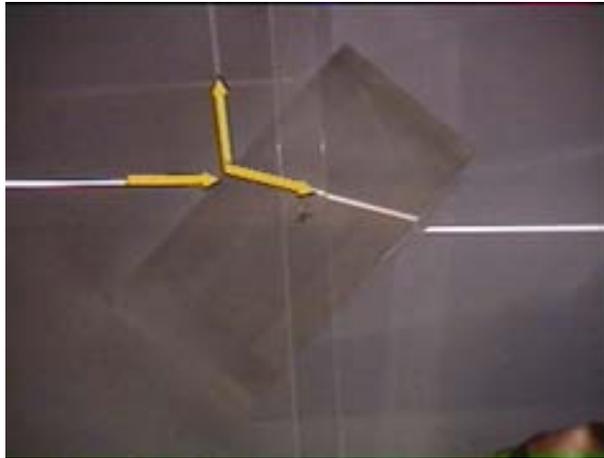


Una variante se presenta usando solo un espejo esférico. Una vela encendida se coloca en posición horizontal frente del espejo y se busca la posición en la cual se proyecta la imagen de la flama que da la apariencia de estar encendida por los dos lados.



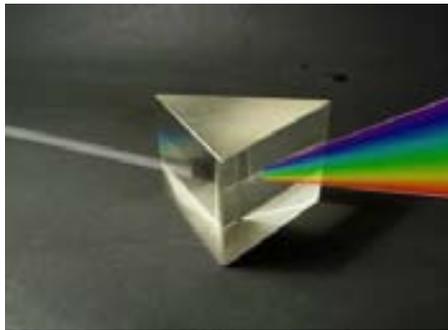
3. Reflexión y refracción de la luz.

Usando un apuntador láser y un prisma de vidrio o de acrílico, se muestra la desviación de la luz en la reflexión y en la refracción: se introduce el concepto de refracción de la luz como la desviación que sufre la misma al pasar de un medio transparente a otro de diferente densidad. Se obtiene una conclusión cualitativa: el rayo refractado se acerca a la normal en el movimiento de la luz de un medio de densidad óptica dada, a uno de mayor densidad óptica o índice de refracción.



4. Dispersión de la luz: Prisma y Disco Compacto

Se presenta el fenómeno de dispersión de la luz mediante un prisma de vidrio a fin de observar la descomposición de la luz blanca en los diferentes colores. Se discute la explicación de Newton sobre el color.

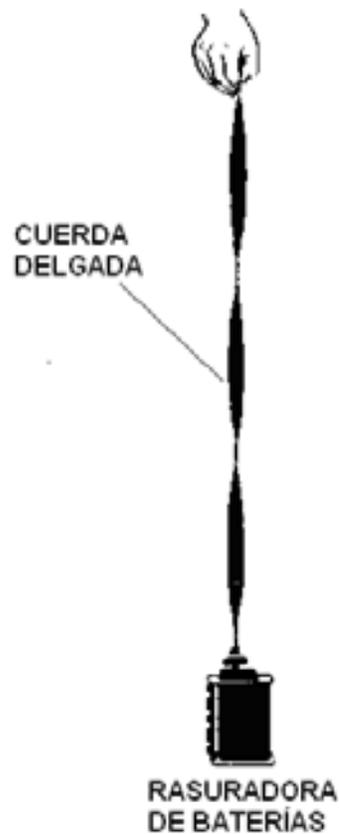


Aunque la explicación del fenómeno es diferente en este caso, también es posible observar la descomposición de la luz mediante un disco compacto (CD) que esta al alcance de cualquier persona en la actualidad. Se puede usar un foco como fuente de luz o si se tiene luz natural y se puede oscurecer el salón se coloca el disco en una posición en la mesa o en el piso de modo que se proyecte en el techo el espectro de la luz visible.



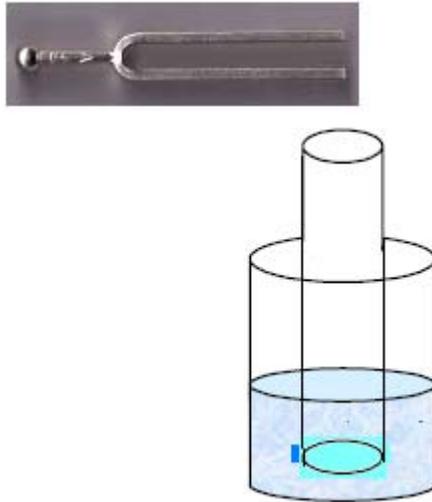
5. Ondas estacionarias en una cuerda: Cuerda y rasuradora.

Mediante una rasuradora y una cuerda o diferentes cuerdas se presenta el fenómeno de ondas estacionarias. Se pueden introducir los conceptos básicos en la descripción de las ondas mecánicas: longitud de onda, frecuencia, amplitud, velocidad de la onda. También es posible describir el comportamiento fenomenológico de las ondas como reflexión, refracción transmisión, transporte de energía, interferencia y superposición de ondas. Si se desea se puede realizar la investigación de forma cuantitativa como una actividad experimental mas elaborada.



6. Medición de la velocidad del sonido mediante un tubo abierto, un diapasón y una columna de agua.

Mediante un recipiente con agua, un tubo abierto por los extremos de longitud adecuada (depende de la frecuencia del diapasón) y un diapasón de frecuencia conocida. Se hace vibrar el diapasón y, moviendo verticalmente dentro del agua el tubo abierto se buscan los puntos en los que el sonido se amplifica. Si se localiza el primer máximo se tendrá en ese momento un cuarto de longitud de onda por lo que la velocidad se obtendrá multiplicando la frecuencia por cuatro veces la longitud medida con una regla graduada en milímetros. Además de mostrar un método de medición de la velocidad del sonido, se presenta el fenómeno de ondas estacionarias en un tubo abierto por los extremos y el fenómeno de resonancia.



7. Verificación de que el sonido no se propaga sin aire y la luz sí.

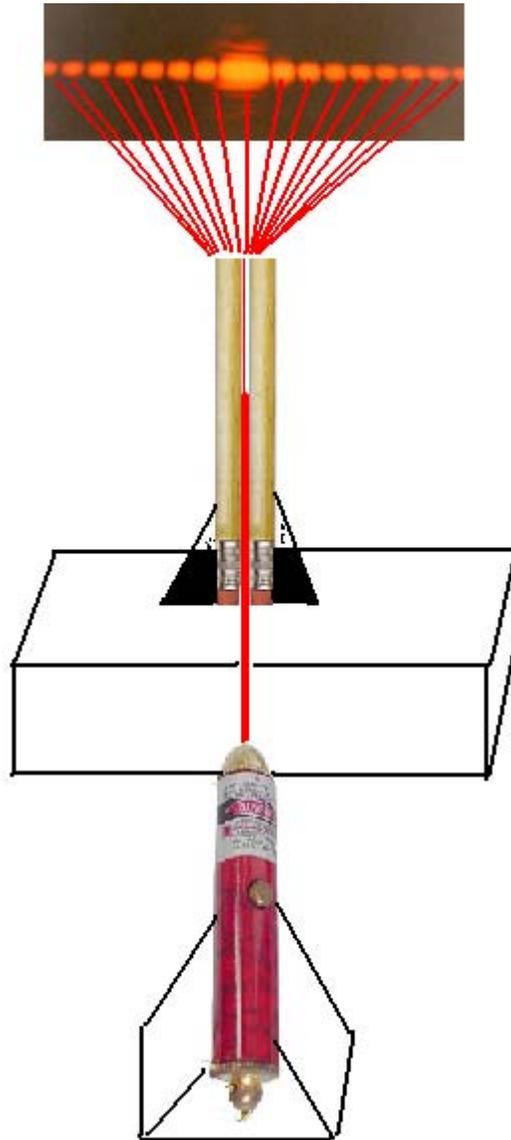
Esta demostración, ampliamente conocida, es de gran impacto en los estudiantes. Aunque depende de que se cuente con una bomba de vacío.



Como se sabe, se colocan una lámpara encendida y un radio de baterías encendido con un volumen alto, se coloca la campana y se sella herméticamente. A continuación se hace el vacío y se observa lo que ocurre. La discusión va en dirección de la propagación de la luz en el vacío y como es que el modelo corpuscular puede explicar dicho fenómeno.

8. Difracción de la luz

El fenómeno de difracción de la luz puede observarse cuando un haz de luz laser pasa por una rendija muy angosta. La rendija puede elaborarse de forma sencilla con dos lápices unidos permitiendo que quede una rendija por la que apenas pase la luz (puede lograrse arrollando uno de los lapices con un poco de cinta adhesiva y uniendolo al otro lápiz con un poco de cinta). El montaje puede lograrse usando un apuntador laser montado en una base (que puede ser un trozo de plastilina). De igual manera los lapices se colocan en forma vertical (tambien usando como base plastilina) de manera tal que el haz pase a traves de la rendija que se forma entre ellos. La luz difractada puede observarse en la pared en la cual se ha colocado previamente una cartulina blanca o una pantalla.



La interferencia de la luz puede demostrarse de manera equivalente pero ahora con una doble rendija . Si no se cuenta con una tarjeta con doble rendija se puede improvisar una como lo sugiere Beltrán(1998) en su libro "Para atrapar un fotón" .

9. Ondas electromagnéticas.

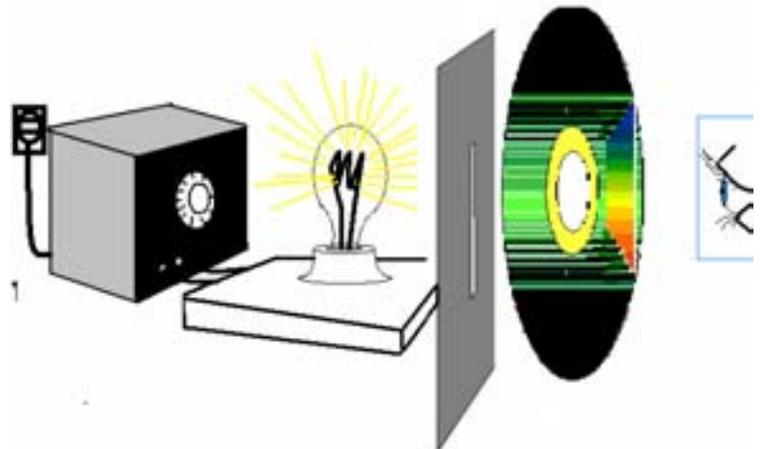
Para mostrar que las ondas electromagnéticas se pueden “observar”, se usan una television dos antenas de conejo y una videocasetera. Primeramente se conectan los aparatos mediante un cable coaxial como se hace regularmente y se presenta una película. En seguida se hace lo mismo pero ahora usando las antenas de conejo una a la antrada del televisor y otra conectada a la salida de la videocasetera. Manteniendo una distancia de dos o tres metros de a cuerdo con los aparatos con que se cuenta. Se muestra la generación de ondas electromagnéticas de cierta frecuencia (videocasetera) y su detección mediante el aparato de TV.



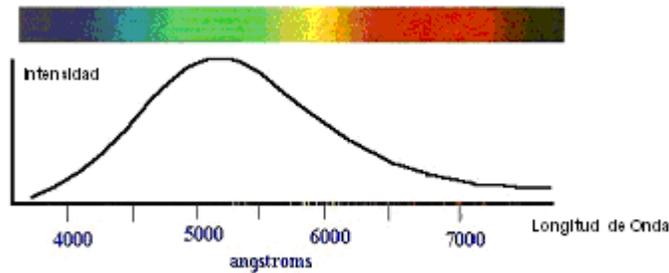
10. Radiación de cuerpo negro

Se usa para observar el espectro de la luz emitida por un cuerpo incandescente (filamento de foco) se usan un foco de 100watts, una fuente de voltaje variable de 0-120volts, un disco compacto, una caja de cartón con una ranura para cubrir el foco

Conecte el foco a la fuente de voltaje variable, y encienda la fuente manteniendo en cero la perilla correspondiente y aumente el voltaje



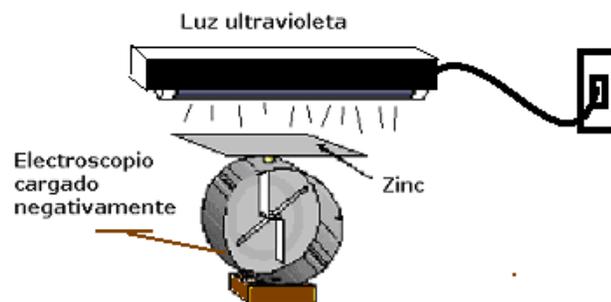
de modo que el foco empiece a brillar con intensidad mínima. Coloque la caja con ranura de modo que cubra el foco y permita observar la luz a través de la abertura. Use su disco compacto y observe. Repita la operación para diferentes intensidades hasta el voltaje máximo que da la fuente considere unos cinco casos entre el mínimo y el máximo. Describa cuidadosamente sus observaciones. Compare, cualitativamente las curvas del diagrama de la derecha con el comportamiento en el corrimiento de la máxima intensidad en el color observado con la temperatura,



11. Efecto fotoeléctrico

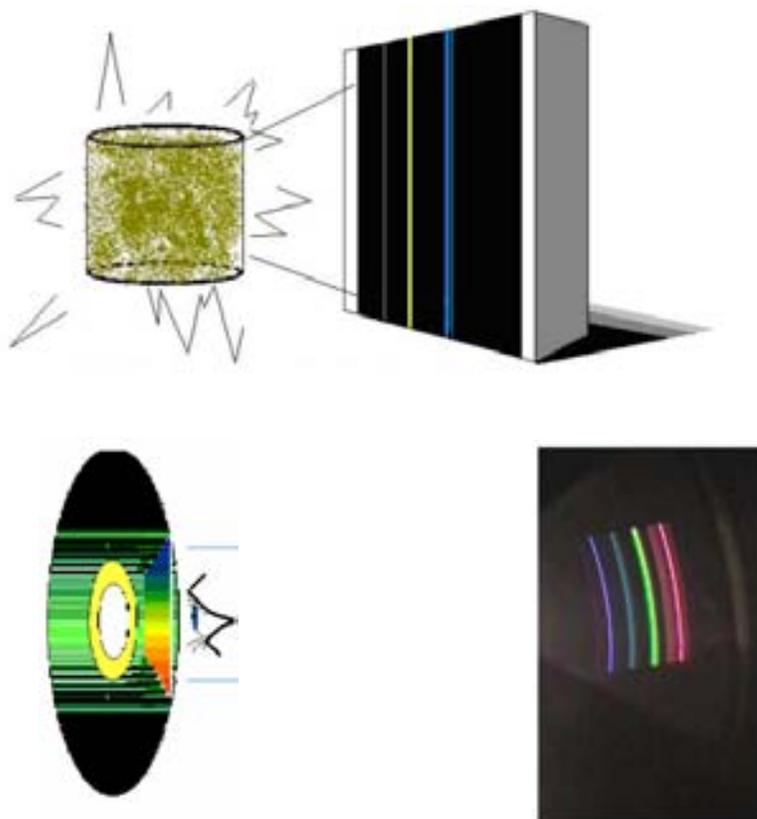
Para esta actividad se requiere un electroscopio, una placa de Zinc o aluminio y una fuente de luz ultravioleta. Si se cuenta con algún dispositivo con celda fotoeléctrica (una calculadora u otro artefacto), primeramente se explora el comportamiento cuando se ilumina (se requiere un foco y una fuente de voltaje variable), variando la intensidad de la fuente y comentar lo que sucede. A continuación se sugiere realizar las siguientes observaciones:

1. Ubicar sobre un electroscopio una placa de zinc o aluminio con la superficie expuesta muy bien pulida.
2. Cargar el electroscopio con carga positiva y hacer incidir luz ultravioleta sobre él, ¿Qué se observa en el espectroscopio?
3. Carga el electroscopio con carga negativa. Hacer incidir luz ultravioleta sobre el zinc. ¿Qué se observa en el electroscopio? ¿Por qué se descarga el electroscopio? ¿Cómo se pueden explicar esas observaciones? ¿Por qué la teoría electromagnética no los puede explicar? ¿Por qué el efecto fotoeléctrico pone en evidencia la naturaleza corpuscular de la luz? ¿Qué pasa si se coloca un vidrio entre la fuente de luz y el espectroscopio cuando este se encuentra cargado y se prende la lámpara? ¿Cómo lo explicas?



12. Espectros continuos y de rayas.

Mediante el uso de discos compactos es posible observar los espectros de emisión de algunos elementos. Se propone discutir de forma general como es que el modelo atómico de Bohr puede explicar en primera aproximación esos espectros. Se requiere la fuente de alto voltaje así como los tubos de descarga correspondientes con elementos como el neón, hidrogeno oxígeno, etc. Se describen las características de los espectros de emisión de los elementos. La observación se realiza con el aula oscurecida y observando mediante el CD el espectro correspondiente. Para observarlo, conviene colocar el CD cerca del ojo, como se muestra en la figura de abajo; se observara una imagen del espectro discreto como el que se presenta en la figura de abajo en la derecha.



Una actividad complementaria que pueden realizar los alumnos con ayuda del CD, es la de observar diferentes fuentes de iluminación en su casa o, en la calle en un ambiente de oscuridad. La finalidad es que observen espectros discretos y continuos y puedan identificar el espectro de algunas fuentes luminosas cuyos componentes que originan la luz son el neón o el sodio.