



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE CIENCIAS

INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE
ÓPTICA BÁSICA Y AVANZADA EN EL C.C.H.
MEDIANTE EL EMPLEO DE UN *KIT* DE
ENSEÑANZA-APRENDIZAJE *NEWPORT*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR (FÍSICA)

PRESENTA

JOSÉ LUIS FLORES TORRES

DIRECTOR DE TESIS: DR. OMAR GUILLERMO MORALES SAAVEDRA

MÉXICO, D. F.

ABRIL, 2007



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.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

En primer lugar, deseo agradecer a mi hermana R. Patricia Flores Torres por el apoyo material y principalmente por el apoyo moral que me dio durante toda la maestría. A ella dedico con mucho cariño este trabajo.

Deseo agradecer al Colegio Nacional de Ciencias y Humanidades (C.C.H.) de la UNAM, el haberme facilitado, en primer término, cursar la maestría, y en segundo lugar, concluir este trabajo de tesis, a través del otorgamiento de licencia como trabajador académico del Plantel “Azcapotzalco”.

Agradezco también al programa de Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (**MADEMS-FÍSICA**) y a la Facultad de Ciencias de la UNAM por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente para beneficio propio y de las nuevas generaciones de estudiantes del C.C.H.-UNAM.

Por último, quiero hacer un especial agradecimiento a mi director de tesis Dr. Omar Guillermo Morales Saavedra por su profesionalismo al dirigir este trabajo de diseño instruccional, así como al CCADET-UNAM por brindarme diversas facilidades en la realización de este trabajo. También quiero mencionar y agradecer a las profesoras: M. en C. Alicia Zarzosa Pérez, M. en C. Mirna Villavicencio Torres, M. en C. María Sabina Ruiz Chavarría, Dra. Benilde García Cabrero, por sus interesantes y constructivas observaciones realizadas al revisar cuidadosamente este trabajo de tesis.

J. L. F. T

ÍNDICE

	<u>Página</u>
Agradecimientos	i
Índice	ii
Prólogo	v
Capítulo 1. ANTECEDENTES, FUNDAMENTACIÓN Y DIRECTRICES PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO INSTRUCCIONAL CORRESPONDIENTE A LA UNIDAD DE FÍSICA IV SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.	1
1.1. Motivación.	1
1.2. Introducción a la problemática del proceso enseñanza-aprendizaje en México.	4
1.3. Reconocimiento de la problemática a abordar y elaboración de directrices.	5
1.4. Referencias.	11
Capítulo 2. FUNDAMENTACIÓN Y MARCO TEÓRICO EN EL QUE SE SITUA EL MODELO INSTRUCCIONAL PROPUESTO PARA LA UNIDAD DE FÍSICA IV (SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.	13
2.1. El triángulo didáctico, sus objetos e inter-relaciones.	13
2.1.1. La perspectiva cognitiva y la perspectiva social (introducción).	14
2.1.2. Estudios sobre la experticia.	15
2.1.3. EL papel del profesor.	15
2.1.4. Comunidad de práctica / aprendizaje.	15
2.2. Las teorías esencialistas contra las teorías del crecimiento, referentes a las visiones que los niños/adolescentes tienen sobre la inteligencia y la mente.	16
2.3. La perspectiva cognitiva y la perspectiva social.	17
2.3.1. Las teorías de procesamiento de la información aplicadas al estudio del desarrollo cognitivo.	17
2.3.2. Una visión de aprendizaje como cambio conceptual y epistemológico.	23
2.3.3. El papel del medio social (herramientas, objetos culturales, gente) como agente en el desarrollo del pensamiento.	26
2.4. Estudios sobre la experticia.	30
2.5. Referencias.	34

Capítulo 3. DESARROLLO DE UN MODELO INSTRUCCIONAL DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE BASADO EN UN ENFOQUE INTEGRADOR PARA LA UNIDAD DE FÍSICA IV (SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.	38
3.1. Síntesis y acotamiento de la problemática educativa en México, a resolver mediante un modelo instruccional.	38
3.2. Planteamiento de las directrices específicas para el modelo instruccional de enseñanza-aprendizaje.	42
3.3. Análisis y planteamiento de objetivos generales y de contenidos a desarrollar en el presente modelo instruccional-integrador	44
3.4. Organización de contenidos en secuencias lógicas operacionales.	49
3.4.1. Organización de contenidos.	49
3.4.2. Secuencia seleccionada de temas específicos y sus contenidos.	51
3.4.3. Desglose de contenidos y planteamiento temático de objetivos particulares.	52
3.5. Planteamiento y ubicación temática específica de las estrategias didácticas sugeridas para el modelo instruccional de enseñanza-aprendizaje.	55
3.5.1. Desarrollo específico de estrategias didácticas.	55
3.6. Planteamiento de tareas específicas de aprendizaje para las estrategias didácticas sugeridas dentro de las temáticas abordadas en el modelo instruccional de enseñanza-aprendizaje.	59
3.6.1. TEMA 1: Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje.	60
3.6.2. TEMA 2: Representación Geométrica de la luz: Óptica geométrica y algunos fenómenos físicos.	67
3.6.3. TEMA 3: Teoría electro-magnética de la Luz.	80
3.6.4. TEMA 4: Polarización.	82
3.6.5. TEMA 5: El principio de superposición de ondas.	93
3.7. Sistema de evaluación del aprendizaje.	100
3.8. Referencias.	104

Capítulo 4.	METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA DOCENTE EN FÍSICA EN EL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES-UNAM.	105
4.1.	<u>Práctica Docente I:</u> Ideas previas del profesor sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje.	106
4.2.	<u>Práctica Docente II:</u> Exploración de una propuesta instruccional de óptica ondulatoria basada en el aprendizaje con comprensión.	108
4.2.1.	Propuesta instruccional desarrollada para la PD-II.	108
4.2.2.	Estructuración de contenidos desarrollados para la PD-II.	109
4.2.3.	Estrategias metodológicas desarrolladas para la PD-II.	109
4.2.4.	Implementación de la propuesta para la PD-II.	109
4.2.5.	Análisis de los resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.	112
4.2.6.	Conclusiones del análisis de los resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.	114
4.2.7.	Conclusiones generales para la PD-II.	115
4.3.	<u>Práctica Docente III:</u> Actividades experimentales de física óptica con el equipo <i>Newport</i> y fomento del conocimiento del aspecto epistemológico del aprendizaje de la ciencia.	116
4.3.1.	Propuesta instruccional desarrollada para la PD-III.	117
4.3.2.	Estructuración de contenidos desarrollados para la PD-III.	118
4.3.3.	Estrategias metodológicas desarrolladas para la PD-III.	118
4.3.4.	Implementación de la propuesta para la PD-III.	118
4.3.5.	Análisis de los resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.	120
4.3.6.	Conclusiones generales para la PD-III.	123
4.4.	Referencias.	126
Capítulo 5.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.	127
Apéndices.		
Apéndice A₁.	Descripción del equipo <i>Newport</i> .	134
Apéndice A₂.	Cuestionarios de evaluación y tablas de resultados de las prácticas docente II y III (diagnóstico y posterior a la instrucción).	150

Prólogo

Al acercarse a la formación estudiantil en ciencias que se imparte en el bachillerato en México, en particular en el Colegio de Ciencias y Humanidades (C.C.H.-UNAM), se encuentra que esta actividad se caracteriza por su énfasis en los contenidos disciplinarios (caso de la física), dejando de lado las **perspectivas contemporáneas** sobre la enseñanza de esta disciplina, desconocidas para un gran número de profesores en este sistema de enseñanza media superior de la UNAM, y probablemente también en los dos bachilleratos oficiales restantes en el Distrito federal (Escuela Nacional Preparatoria y Colegio de Bachilleres) y del país. Con el objetivo de apoyar el conocimiento de algunas de estas temáticas sobre la enseñanza de la ciencia y facilitar el acceso al conocimiento por parte de los estudiantes (destacando su papel de aprendiz activo); en el espacio limitado a la enseñanza-aprendizaje de la física (caso de la óptica) en el Colegio de Ciencias y Humanidades, se realiza este trabajo de tesis. Nuestro interés particular se centra en una guía de aplicación docente (actividades experimentales) con la unidad de enseñanza didáctica “Newport” para todos los profesores de física del citado Colegio (estas unidades didácticas para el aprendizaje de la óptica-física se encuentran disponibles en todos los planteles del C.C.H.-UNAM y no han sido debidamente aprovechadas). Lo anterior nos llevó al planteamiento de la siguiente pregunta fundamental al inicio de dicho proyecto: **¿es posible mediante el aprovechamiento del equipo didáctico diseñado para la enseñanza de óptica física a nivel bachillerato (Kit de enseñanza Newport), el estimular una participación e interacción activa en el proceso de aprendizaje en los estudiantes de los planteles del C.C.H. UNAM?**

Planteado el problema anterior, se procedió a identificar las necesidades de los alumnos y de los profesores para la adopción de un rol activo y participativo en el proceso enseñanza-aprendizaje, por medio de una investigación documental, la cual cubre un amplio espectro de factores (políticos, filosóficos, geográficos, religiosos, disciplinares, psicológicos, y sociales) considerados como obstáculos en el proceso educativo de México, los cuales fundamentan una serie de directrices que guiarán los pasos a seguir en la conformación de las actividades intentadas para hacer posible el aprendizaje de los alumnos y poder responder a la interrogante planteada.

Una vez establecidas las directrices (sobresale el que la instrucción debe partir de las visiones que los adolescentes llevan a la escuela sobre la certeza del conocimiento y la fuente del conocimiento) que pretenden resolver la problemática educacional observada, se avanzó en la dirección marcada por varias líneas teóricas vinculadas y de los contenidos temáticos particulares que se pretenden abordar en una secuencia didáctica específica con el diseño de ambientes instruccionales formales en el nivel bachillerato. Como resultado de la investigación documental, se consideraron relevantes para apoyar el desarrollo del marco de referencia teórico del presente estudio las siguientes perspectivas: **a)** las teorías de la mente, **b)** varias teorías de procesamiento de la información, **c)** la perspectiva de cambio conceptual, **d)** los estudios sobre la experticia, y **e)** el papel del ambiente social en el desarrollo del pensamiento.

La investigación documental antes mencionada y las características de la materia a enseñar (óptica-física) dieron paso a la clasificación de las temáticas en tres tipos de contenidos (**conceptuales, procedimentales, y actitudinales**), los cuales considerados simultáneamente, conforman los objetivos de aprendizaje, estos objetivos fueron

desglosados detalladamente en diversos contenidos en forma de diagramas, para finalmente, y en base a las necesidades estudiantiles, establecer estrategias cognitivas que a la vez que enseñan los contenidos, permitan en el estudiante desarrollar habilidades que les faciliten el aprendizaje.

Varias de las estrategias tanto cognitivas como organizativas desarrolladas en este trabajo de tesis fueron aplicadas a grupos de alumnos en el C.C.H.-UNAM; algunas de estas estrategias son: presentación de experimentos (sorprendentes) que desafían el sentido común, arribar a un conocimiento conciente de las ideas de los estudiantes y las teorías científicas, Aprendizaje Basado en Problemas-ABP, evaluación de cuestionarios intercambiados, cuestionarios sobre la fuente y la estructura del conocimiento, instrumentos de evaluación y **actividades experimentales** entre otros. Las estrategias utilizadas, así como las interpretaciones de los resultados obtenidos a partir de su instrumentación durante el desarrollo de las prácticas docentes, nos permitieron hacer varias modificaciones al modelo instruccional propuesto, desechando algunas temáticas utilizadas e incluyendo otras dentro de las estrategias que se plantean en el modelo instruccional desarrollado en esta tesis.

La aportación de este trabajo de tesis de Maestría en Docencia es fundamentalmente el abrir camino para una transformación del concepto tradicional de enseñanza a una perspectiva que enfatisa la instrucción como un proceso de enseñanza-aprendizaje que implica el papel activo (dinámico) de los tres vértices del triángulo interactivo (estudiante-profesor-campo disciplinar), por medio de la apropiación e interpretación de diferentes conceptos y bases científicas del aprendizaje, que definan interacciones entre los tres vértices para motivar y facilitar el aprendizaje de la óptica y en general, de la física.

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES, FUNDAMENTACIÓN Y DIRECTRICES PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO INSTRUCCIONAL CORRESPONDIENTE A LA UNIDAD DE FÍSICA IV (SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.

Uno de los objetivos principales del presente capítulo es discutir el por qué y el para qué se desarrolla una propuesta de instrucción para la unidad “sistemas ópticos” en el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades (C.C.H.-UNAM). Para ello, se determina tanto la problemática educativa y social en el contexto del bachillerato en México, involucrando a los estudiantes, profesores, y al conocimiento mismo (en este caso: física). En este capítulo se plantean las directrices que guían desde el diseño instruccional, pasando por la práctica educativa hasta su observación en el resultado de la puesta en práctica. En primer lugar se discuten en forma general las ventajas que ofrece la implementación de prácticas experimentales con el equipo de enseñanza en óptica *Newport*, fundamentadas con teorías pedagógicas de enseñanza-aprendizaje; es por medio de estas teorías con bases científicas que se promueve el cambio de paradigma del proceso de enseñanza-aprendizaje basado en el profesor dinámico a otro cuyo foco es el papel activo del alumno a través de su aprendizaje individual sustentado en un aprendizaje colectivo. Dado el carácter activo del alumno en esta nueva concepción, se procede a discutir el incremento de valor a sus propias ideas, así como una revaloración de su papel social en las actividades del salón de clases, para con sus compañeros, la escuela, la comunidad, su ciudad y el país; además se discute el cambio de actitud que debe experimentar el profesor al disminuir su autoridad externa respecto al conocimiento y reconocer en las ideas de los estudiantes aportaciones importantes en el proceso educativo.

1.1 MOTIVACIÓN.

El estudio de los fenómenos ópticos realizado por la humanidad ha sumado ya más de dos mil años entre descubrimientos y modelos propuestos para explicar la naturaleza de la luz, desde el modelo corpuscular favorecido y apoyado por *I. Newton* [1] hasta la atribuida característica dual onda-partícula (*A. Einstein* y *M. Planck* [1-2]), pasando por su aspecto ondulatorio defendido por *Thomas Young* [1] y el principio unificador de la teoría electromagnética con el concepto de luz, elaborado por *J. C. Maxwell* [1]. Esta milenaria tradición para esclarecer científicamente el concepto de “la luz” y su interacción con la materia, aunado con un sin fin de descubrimientos con consecuencias y aplicaciones tecnológicas inmediatas y de gran impacto en la sociedad y en otras disciplinas científicas (desarrollo de espejos, microscopios, telescopios, sistemas fotográficos, holográficos, láseres, sistemas espectroscópicos, sistemas de metrología basados en láser, sistemas de telecomunicaciones y fibra óptica, desarrollo de nuevos conceptos científicos como: fotoquímica, foto-física, dispositivos fotónicos, etc.), han llevado a la ciencia ÓPTICA a situarla en un lugar trascendental dentro de las prioridades de enseñanza científica a nivel mundial, siendo estas enseñadas desde niveles básicos (ocupando unidades de enseñanza en los últimos años de educación tanto primaria como secundaria [3-4]), pasando por unidades de enseñanza en el nivel medio superior (por ejemplo la unidad 4 constituida

dentro del currículo del C.C.H.-UNAM, abordado en el 6° semestre [5]), hasta niveles superiores de enseñanza profesional y de posgrado (principalmente en carreras científicas y de ingeniería).

Dada la importancia en la enseñanza de la ÓPTICA reconocida por el C.C.H.-UNAM, a mediados de la década de los 90 este colegio de educación a nivel medio superior en México, decidió adquirir unidades de enseñanza experimental en óptica (“Kits” de enseñanza) para sus distintos planteles (al menos 4 unidades por plantel, con un valor aproximado por unidad de \$4,000.00 USD) de la compañía *NewPort-USA* (compañía de prestigio internacional dedicada a la manufactura y venta de equipo profesional de enseñanza e investigación para óptica: www.newport.com). Estas unidades son especialmente diseñadas para la enseñanza de la óptica a nivel medio superior en países del llamado primer mundo, mediante el desarrollo de actividades de laboratorio implementadas con equipo didáctico especialmente diseñado así como instrumentos complejos (como láseres) que brindan práctica, destreza y habilidades experimentales de alto nivel técnico que son muy valiosas para los aprendices.

No obstante, se ha reconocido por parte de los distintos planteles y profesores del citado colegio, el hecho de que estas unidades han sido totalmente sub-utilizadas y que su potencial de enseñanza ha sido nulamente explotado. Esto último puede obedecer al hecho de que los manuales y guías respectivas para el uso del equipo se encuentran solamente en idioma inglés (idioma que no necesariamente es dominado por los profesores de este colegio), además la correcta traducción de estos manuales representaría la inversión de tiempos y costos no contemplados por la institución y/o profesor. Esto último representa una razón de peso importante por la cual, la traducción de esos documentos no se había llevado a cabo hasta el momento.

Por otro lado, el hecho de que la mayoría de profesores de este nivel no han contado con un entrenamiento suficiente y adecuado para el uso del equipo *Newport* (no han existido cursos técnicos suficientes dirigidos a los instructores por parte de la compañía *Newport* o representantes), éstos prefieren enseñar la óptica de una manera más tradicional y en forma meramente teórica, sin aprovechar el potencial que esta unidad de enseñanza presenta a nivel experimental. Lo anterior representa en parte, una de las principales diferencias en el nivel académico adquirido por estudiantes de países desarrollados y estudiantes de países en vías de desarrollo: las habilidades y destrezas técnicas y manuales adquiridas por la práctica experimental. Por otra parte, se ha encontrado que la enseñanza tradicional a través de la resolución de problemas numéricos no desarrolla un nivel de entendimiento espontáneo y útil para los estudiantes, en el que se apliquen conceptos científicos a objetos reales y eventos (*Goldberg et al* [6]).

Respecto al plan de estudios del C.C.H., se revisó minuciosamente el plan actualizado [7], el cual pretende en el área de ciencias experimentales lograr los siguientes objetivos:

- “Buscar que el estudiante adquiriera una visión global de las ciencias y de la naturaleza, con elementos comunes a las diferentes disciplinas del área a saber, nociones y conceptos generales presentes en todos los cursos como son cambio, regulación, conservación,

regularidad, energía, materia, interacción, equilibrio, sistema, modelo, predicción, contexto del conocimiento científico, historicidad de la ciencia, y abordar el estudio de los fenómenos en la perspectiva de cada disciplina y de sus vinculaciones con otras áreas del conocimiento”.

- “Buscar un aprendizaje de los conceptos y la metodología en una imbricación, a lo largo de los cursos de las distintas ciencias del área, y evitar considerar un método científico como objeto de conocimiento”.
- “Atribuir, en consecuencia, la importancia y la función adecuada a la **experimentación en el aprendizaje** de las ciencias, según sus relaciones diversas con los contenidos de los programas del área”.

Un análisis de todo lo discutido anteriormente, aunado al hecho de que el tesista aquí involucrado (Físico de carrera, FC-UNAM) es profesor de FÍSICA tiempo completo a nivel medio superior en el C.C.H.-UNAM (plantel Azcapotzalco) y el director de la presente tesis posee amplia experiencia en el área de la investigación y docencia en Óptica (CCADET-UNAM, FC-UNAM), nos condujo a la motivación de plantear una solución para el aprovechamiento de las unidades de enseñanza *Newport* del C.C.H.-UNAM por medio de la realización de la presente tesis. Para esto se plantea un modelo instruccional de enseñanza-aprendizaje que propone el cambio de paradigma del salón de clases, de una comunidad descontextualizada al establecimiento de una comunidad de práctica “escolar legítima” que permitirá formar la estructura de la actividad científica de los estudiantes, es decir, plantear preguntas, teorizar, y argumentar para explorar las implicaciones de las teorías que ellos tienen, examinar hipótesis esenciales, formular y probar hipótesis, desarrollar evidencia EXPERIMENTAL, negociar conflictos en creencia y evidencia, argumentar interpretaciones alternativas, proveer justificaciones para las conclusiones, etc.

El modelo propuesto y fundamentado con teorías pedagógicas en el presente trabajo de tesis para la Maestría en Docencia para la Enseñanza Media Superior, (MADEMS-FC-UNAM, Área: Física) pretende, más que presentar una traducción de prácticas seleccionadas, proporcionar una interpretación y adecuación de los fines de aprendizaje perseguidos con este equipamiento en el contexto nacional, así como ser una guía para todos los profesores de física del C.C.H.-UNAM, con lo cual se aprovecharía y fomentaría la implementación de la unidad de enseñanza *Newport* (con prácticas ya traducidas y ajustadas a necesidades locales).

La población estudiantil a la cual va dirigido el trabajo son adolescentes que cursan el último año del bachillerato y han elegido la asignatura optativa de Física III, es decir, estudiantes que pretenden seguir carreras afines del área Físico-Matemática, y han cursado previamente un año de Física obligatoria. Algunas características observadas en estos estudiantes al finalizar el C.C.H. en esta área son: inseguridad y poca motivación para participar, presión de terminar el bachillerato, carga de trabajo de otras materias, baja autoestima, falta de lenguaje científico, entre otros. Las necesidades de los estudiantes a partir de los cuales se delinea el diseño instruccional propuesto en el presente trabajo son varias, entre las cuales, la comprensión de conceptos de física (caso: óptica) y los modelos que los explican son prioritarios, para lo cual se consideran los requerimientos intelectuales

involucrados para los alumnos en desarrollar o cambiar sus concepciones y predisposiciones.

En este trabajo, se incluyen algunas experiencias adquiridas con estos estudiantes durante el desarrollo de las prácticas docentes y se plantea un modelo instruccional, sugerido para tener éxito en el desarrollo y aprovechamiento del conocimiento a adquirir en el área de física (óptica) a partir de las unidades de aprendizaje *Newport*.

1.2 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DEL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN MEXICO.

La enseñanza tradicionalista se ha determinado como un proceso centrado en el profesor y en el contenido de la asignatura misma; sin embargo, actualmente existen avances respecto de considerar al alumno y sus características (tanto psicológicas, socio-económicas, etc.) como parte integral del proceso aprendizaje-enseñanza, dando esto lugar a nuevas visiones generadoras de metodologías alternas de enseñanza-aprendizaje. Un ejemplo concreto de lo anterior es, según la teoría de las **“inteligencias múltiples”**, *Gardner* [8], que cada estudiante aprenda de distinta forma, dependiendo de sus aptitudes, creencias, conocimientos básicos y experiencias previas (incluyendo vivencias cotidianas). Esto nos llevaría a ofrecerles una atención individualizada lo cual repercutirá trascendentalmente en su proceso de aprendizaje y por ende, el profesor potencializará la eficiencia con la que cada alumno logrará retener información según esta teoría.

La implicación del planteamiento anterior, nos enfocaría sobre las habilidades individuales de los estudiantes, disposición, y posibilidades (prospectos); así como también, sobre la clase de conocimiento que los estudiantes traen previamente consigo y a la clase que ellos necesitarían con el objeto de funcionar expertamente. Por estas razones, en este trabajo se desarrolla un modelo de **“diseño instruccional”** *Dijkstra* [9], el cual contiene un enfoque socio-cognitivo que considera los tres vértices del **triángulo didáctico: conocimiento, estudiantes y maestros**, así como la interacción entre estos dentro del marco del sistema de bachillerato *Andrée Tiberghien et al.* [10]. La interacción entre cada uno de los elementos de este triángulo didáctico en combinación con las actitudes y prácticas de los profesores y alumnos, tiene el objetivo de auxiliar a los alumnos a comprender la naturaleza de los diversos fenómenos bajo estudio, en nuestro caso particular, a nivel bachillerato, lo son la **Óptica-Geométrica y la Óptica-Física** (abordadas ambas, tanto en el marco teórico como en el experimental dentro de la unidad IV correspondiente a física III en el C.C.H.-UNAM) y serán las temáticas a desarrollar con las metodologías expuestas.

En relación al enfoque del diseño instruccional previsto para este trabajo, por socio-cognitivo nos referimos a las perspectivas socioculturales (centradas en la comunidad), y a la constructiva-cognitiva respectivamente. La primera considera al aprendizaje y a la cognición distribuidos en las actividades de los participantes y en los contextos en que se producen (incluyéndose los artefactos, herramientas, personas, entornos, etc.), la segunda trata de los procesos mentales involucrados al interpretar experiencias, integrándolas en los

conocimientos establecidos dentro de los límites de las estructuras cognitivas existentes *Nuthall* [11]. Según *Dijkstra*, por instrucción generalmente se entiende cualquier actividad diseñada para hacer posible el aprendizaje, o bien más fácil el acceso al conocimiento. Específica y clásicamente, la instrucción es una serie de comunicaciones entre un profesor y un aprendiz acerca de objetos en una realidad, y concepciones acerca de éstos; por ejemplo, el como ellos pueden ser categorizados, el porqué cambian dentro de un entorno físico, como diseñarlos, que harían los estudiantes para aprender de estos objetos, que preguntas acerca de los mismos responderían, como operarlos directamente para aprender a usarlos, o bien que tareas hacer con ellos.

Para el desarrollo de nuestra propuesta será necesario, según las teorías a seguir, una **fundamentación** para estructurar y diseñar nuestro camino con las **directrices** convenientes que nos ayuden a atacar y resolver los problemas que surjan dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje (involucrando de igual forma tanto al estudiante, como al profesor y a la disciplina en cuestión) y centrados en nuestro caso particular de enseñanza-aprendizaje (la sub-disciplina de las ciencias físicas: Óptica).

Como parte esencial para reconocer la problemática a que se enfrentan actualmente los profesores de bachillerato en México en la enseñanza de las ciencias físicas, es requerido un estudio profundo de las técnicas y metodologías que estos profesores siguen para llevar a cabo su labor de enseñanza, así como de los problemas socio-económicos al que los estudiantes se enfrentan dentro de su papel de receptores y de los prejuicios mismos que la materia bajo estudio pudiera generar ante la comunidad involucrada. Un profundo reconocimiento de los puntos anteriores, constituirá la **fundamentación** requerida para estructurar y diseñar nuestro plan de actividades.

1.3 RECONOCIMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA A ABORDAR Y ELABORACIÓN DE DIRECTRICES.

En general, se consideran los siguientes antecedentes para tener un amplio panorama de la problemática a atacar:

- a) Generalmente los profesores del bachillerato repiten la forma en que se les enseñó años atrás, en su tiempo de estudiantes, en donde las metodologías tradicionales implantaban un sistema de aprendizaje en el que ellos aprendieron presentando y explicando un contenido, reteniendo y repitiendo la información y las habilidades expuestas por sus profesores *DéSautels et al.* [12]. Este mismo proceso lo reproducen con sus nuevos estudiantes en las actividades del salón de clases, lo cual crea un proceso repetitivo a través del tiempo, algunas veces sin considerar lo que los programas de estudio plantean con prioridad, y el que algunos profesores le dan mayor importancia a ciertos contenidos conceptuales (menospreciando otros según su criterio), y no a la forma en que pueden ser abordados más significativamente por los estudiantes, **acentuando su participación, intereses y creatividad.**
- b) Por otro lado, la etapa adolescente de los estudiantes de bachillerato se precisa en parte por la búsqueda de su autodefinición, que se adquiere del lenguaje introducido en los intercambios con los otros que tienen importancia para ellos (los pares o

compañeros por ejemplo), sin embargo, se tiende a considerar la realización en ellos como algo que concierne sólo al “yo”, sin poner atención a las exigencias que proceden, por ejemplo de la historia, la tradición, la sociedad, la naturaleza o bien exigencias religiosas *Taylor* [13]. Esto representa tradicionalmente un obstáculo que limita la armonía y la comunicación entre el profesor y estudiante e incluso entre los estudiantes mismos, lo cual dificulta enormemente el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

- c) Dado que México es un país con grandes recursos naturales y de gran variedad climática y geográfica, la supervivencia del país se ha centrado básicamente desde épocas coloniales e incluso precolombinas, en la explotación de estos recursos (p. e. explotación de petróleo, gas natural, océanos, flora y fauna de bosques y selvas, etc.), sin que haya habido un desarrollo tecnológico importante para la creación de bienes de consumo necesarios para la supervivencia como fue necesario en otras épocas en países menos favorecidos naturalmente, y que ahora se encuentran en la cabeza de los países altamente tecnificados y avanzados científicamente *Enciclopedia Microsoft* [14]. En gran medida, debido a estas razones la ciencia y la tecnología en esta nación se encuentran en etapas muy inmaduras de desarrollo. Además, existe una marcada dependencia de los países en vías de desarrollo de tecnologías proveniente de países industrializados que **no transfieren** las bases científicas que las sustentan *Basch* [15], sino simplemente crean una red comercio para mercantilizar sus productos, todo esto ha dado como resultado una población **poco instruida e interesada en el aprendizaje y la cultura de la ciencia y de las bases que sustentan el funcionamiento de diversos bienes de consumo conocidos como “desarrollos tecnológicos”**. A esta población solamente le conciernen los beneficios que los productos tecnológicos les aporta (sociedad de consumo). Finalmente, dado que la economía globalizada está fuertemente influenciada por el comercio de tecnologías avanzadas en todas las áreas comerciales, se hace necesario en consecuencia, el dominio real de la ciencia y tecnología por parte de una población, si está quiere ser competitiva tanto económica como culturalmente en un mundo con perspectivas de vanguardia y con visión hacia el futuro.
- d) Usualmente, los estudiantes del bachillerato que tienen problemas con la asignatura de física se cuestionan el para qué les *servirá* estudiar esta disciplina, si ellos no van a ser investigadores físicos. Sin embargo, aunque cursen otras carreras no científicas o de ingeniería, en el futuro pueden llegar a ocupar puestos ejecutivos dentro del sector público o privado, en donde se hará necesario el conocimiento científico y tecnológico que les pueda ayudar a tomar mejores decisiones (como por ejemplo: ¿Qué tipo de tecnología es adecuada transferir o implementar?, ¿Qué tipo de tecnología es más económica o ecológicamente más amigable?, etc.) en beneficio de las entidades y finalmente de la sociedad. Además, el conocimiento científico les permite tener una visión más amplia del entorno circundante para entender y adaptarse mejor a la sociedad que les rodea.
- e) Es bien sabido que el 93 % de los mexicanos profesan el catolicismo [14], religión que con sus fundamentos dogmáticos dificulta el estudio de las leyes (científicamente aceptadas y comprobadas) que rigen al conjunto de la naturaleza, en parte debido a que contradice el papel activo que debe asumir el estudiante en la escolarización, es decir, participativo, observador, reflexivo, crítico. Esto también, obstaculiza

enormemente la tarea de enseñanza-aprendizaje en poblaciones fuertemente influenciadas por la religión. Usualmente, en las ceremonias religiosas católicas el sacerdote discurre en forma autoritaria sin poner a discusión con la concurrencia sus interpretaciones sobre la Biblia, acerca de la regulación de la vida en la sociedad y las creencias sobre la muerte, aduciendo representaciones simbólicas sin bases empíricas que las soporten, contribuyendo con esto al desinterés de la mayoría de las personas en la participación grupal a través del discurso y del debate así como también a que la gente no cuestiona las creencias y se pliega de manera obediente a la autoridad. La generalidad de los estudiantes en el bachillerato público, no escapan de presentar actitudes similares en el aula, estando acostumbrados a seguir las instrucciones de los profesores, sin a veces entender a fondo las actividades que llevan a cabo, por lo cual numerosas actividades son realizadas con mala disposición. Parece ser que la imposición de las actividades que los profesores presentan en el currículo verdadero, es en parte un factor de la oposición a participar de algunos estudiantes en las actividades dentro del aula, debido a que en dichas dinámicas los alumnos reconocen el papel autoritario del profesor, además de que estas prácticas no tienen sentido para algunos de ellos (están descontextualizadas). Finalmente, es importante hacer notar, la influencia del *status* socio-cultural de los padres en el comportamiento “pasivo” de los estudiantes ante actividades intelectualmente demandantes.

- f) Las creencias epistemológicas de los estudiantes del bachillerato están solo empezándose a formar *Strike et al.* [16], de ahí la necesidad de que desarrollen y tomen conciencia en etapas tempranas, de creencias relacionadas con tópicos científicos, en particular con la temática de la física, donde existen conceptos difíciles de entender y sobre los cuales tienen escaso o nulo conocimiento. Para esto es necesario que el alumno fortalezca sus creencias epistemológicas básicas como el cuestionar la relatividad de la verdad, para así llegar a creencias/conceptos avanzados sobre la complejidad y veracidad del conocimiento, la fuente del conocimiento, las formas en que el conocimiento crece y cambia, y la relación entre la teoría científica y la experiencia cotidiana, así como también las creencias sobre el papel de la evidencia y los procesos de justificación en ciencia.
- g) La física, y por consiguiente la óptica, son disciplinas básicamente experimentales que para la mayoría de los científicos constituyen un instrumento maravilloso que ayuda a explicar los fenómenos naturales basándose en el rigor de la metodología científica, abordando su estudio a partir del mundo a nivel atómico y sub-atómico (nanociencias) *Nicolis* [17], hasta el estudio del mismo universo *Hacyan* [18]. Por otra parte, numerosas invenciones tecnológicas han sido desarrolladas a partir de conocimientos fundamentales de fenómenos físicos, en particular, dentro del campo de la óptica, la invención de láser (del inglés: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, “Amplificación de la Luz por Emisión Estimulada de Radiación” *Aboites* [19]). El láser es actualmente muy útil en la vida cotidiana (reproductores de audio, video y CD-ROM, lectora en cajas registradoras de los supermercados, transmisión de información por fibra óptica, generador de imágenes holográficas, usado en diversas técnicas quirúrgicas, para el entretenimiento en salas de baile, etc.) y de gran importancia en la investigación científica. Este instrumento ha causado, en general, gran interés (“sensacionalista”) en la población debido a lo espectacular de sus aplicaciones; sin embargo el entendimiento de los fundamentos

físicos sobre los cuales este instrumento se sustenta, están muy lejos de ser entendidos e incluso de ser de interés, en particular por la población estudiantil. Este hecho se basa primordialmente en el temor de los estudiantes a enfrentar temáticas científicas donde tanto la búsqueda de retos como una alta persistencia son requeridas para lograr el pensamiento abstracto necesario en la comprensión de un fenómeno natural y de tecnología compleja *Dweck et. al* [20-22]. Específicamente, la naturaleza ondulatoria de la luz es la manifestación más común que da origen a los fenómenos ópticos más perceptibles por el ser humano, por lo tanto es requerido que los estudiantes involucrados en el estudio de fenómenos ópticos, manejen conceptos abstractos como lo son: fuente puntual de luz, rayo de luz, frente de onda y su propagación, el principio de superposición ondulatoria (interferencia), el significado de ondas transversales y longitudinales; además del entendimiento y visualización de fenómenos tales como el de refracción, difracción, interferencia y polarización (por no mencionar los efectos cuánticos de emisión de luz involucrados en la generación de radiación láser, *Aboites* [19]). Es importante mencionar aquí que en principio para entender los fenómenos más básicos originados por la luz, como lo son la generación de sombras y de colores, se sugiere que habría una idea clara de propagación en el espacio de un ente físico, invisible y sin color (“luz blanca”), y además entender el proceso que da lugar a la percepción de la luz y del color (*Andersson et al.*) [23].

El análisis de los puntos anteriores, pone en evidencia la necesidad, tanto de profesores como de alumnos de realizar un esfuerzo común para adoptar un rol más activo y participativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Con base en este análisis, se proponen en esta tesis las siguientes **directrices generales** que se pondrán en práctica para abordar el problema central que da origen a la presente propuesta. Las directrices a seguir tanto por el instructor/profesor como por los estudiantes a nivel bachillerato junto con algunas consideraciones de tipo teórico (ver capítulo 2) para mejorar la calidad en el proceso enseñanza-aprendizaje, particularmente en el área de física (subdisciplina: Óptica), serán la base para delinear un diseño instruccional basado en el triángulo didáctico (ver capítulo 2), estas directrices responden puntualmente a las problemáticas planteadas anteriormente entre las cuales destacan:

- a) Los profesores deberán intervenir como autores de sus propias representaciones y conocimiento, sin relegar esto a prácticas y experiencias adquiridas con anterioridad. En consecuencia, los profesores se volverán responsables de estas representaciones y de las acciones que hacen surgir, lo cual conlleva a reconocer la dignidad de los sujetos una vez que se percibe la verdad de creencias diversas, para tener en cuenta la necesaria distancia reflexiva ante las propias creencias, es decir, hacer mejores personas ayudándolos a desarrollar todo su potencial.
- b) Acentuar la participación y actividad del alumno, fomentando el trabajo de grupo, y aspirando al trabajo colaborativo, esto permitirá la crítica argumentada de la validez de la información y de las declaraciones que otros o el mismo individuo viertan sobre un problema/idea, dando lugar al importante y enriquecedor intercambio de experiencias diversas, todo esto con el fin de hacer del conocimiento del grupo el rango de pre-conocimiento, habilidades, creencias y conceptos de los integrantes del mismo grupo (meta-cognición) (véase *Brown*, [24]; *Flavell et al.* [25]), para

finalmente converger a un conocimiento común aceptado por todos. El objeto es contrarrestar la “contradictoria” fragmentación de nuestra sociedad ocasionada por el individualismo predominante, para lo cual se requiere replantear la visión convencional del grupo escolar (donde tradicionalmente, los estudiantes están trabajando individualmente pero todos haciendo la misma actividad o bien están subdivididos de alguna manera arbitraria) en una comunidad de práctica que en parte, aprovecha las diferencias de estatus social, de experiencias referentes al tema bajo estudio, o bien de intereses vocacionales de los estudiantes. Al comunicarse entre ellos los conocimientos y experiencias propias referentes a la temática bajo estudio, y presentarlas a sus pares con el correspondiente esfuerzo y lenguaje, los demás lograrán visualizar esta información desde una perspectiva más afín a su identidad, lográndose así la participación activa de todo el grupo en la generación de conocimiento que mejorara el proceso enseñanza-aprendizaje, donde además el instructor puede dejar de ser la figura central dentro de este proceso en el aula.

- c) En el proceso educativo los estudiantes tomarán conciencia de la situación socio-económica del país para percibir la necesidad de generar ciencia y tecnología enfocadas prioritariamente en suministrar mejores bienes y servicios básicos al total de la población mexicana (salud, alimentación, vestido, comunicaciones, vivienda, agua, energía, transporte, etc.), acordes con las necesidades y características de la población y de su entorno geográfico; esto con el objeto de fortalecer la independencia y la competitividad de la nación. En este caso, la instrucción se guiará por el análisis de la relación ciencia-tecnología, en particular de la óptica, en donde el estudio considerará el **aprendizaje para la comprensión** de los principios físicos en los que se basan el funcionamiento y características de algunos instrumentos ópticos, y a su vez, el plantear que tipo de instrumental científico y que desarrollos tecnológicos son factibles de diseñar/construir con principios físicos (ópticos), los cuales pudieran tener un impacto en la vida social cotidiana.
- d) Los profesores deben incorporar a los estudiantes de bachillerato que presentan problemas de motivación e interés con la asignatura de física, no como adultos jóvenes con una creencia en su inherente incapacidad, sino de una manera más flexible, como seres humanos con un gran potencial de aprendizaje y con autoridad responsable en la toma de decisiones sobre las prácticas escolares.
- e) Por otro lado, se requiere fomentar la cultura científica en la comunidad, siguiendo una estructura de la actividad científica cuyos ejes sean el plantear preguntas, teorizar, argumentar, plantear soluciones por diversas rutas y extrapolar el conocimiento adquirido fuera del aula/laboratorio de clases, en la búsqueda de posibles aplicaciones a la vida cotidiana.
- f) Algunos elementos propuestos para afrontar la problemática correspondiente a la influencia: de las características socio-culturales de los padres, y el pensamiento dogmático impuesto por la religión son: i) La orientación del grupo escolar como una comunidad de práctica “escolar legítima”, donde las interrelaciones entre los integrantes acuse un incremento en sus participaciones durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, y ii) Las prácticas en esta comunidad deberán ser desarrolladas por “motivación” propia, lo cual permitirá que el interés de los estudiantes crezca por si mismos. iii) El aspecto dogmático con que la religión influye en la forma de pensar de los estudiantes deberá ser contrarrestado con el pensamiento científico, es decir, se

deberá habituar a los estudiantes a implementar hipótesis y razonamientos lógicos fundamentados con bases demostrables a base de experimentos reproducibles, lo cual pueda ser enmarcado dentro de un razonamiento que comprenda estructuras explicativas generales.

- g) En la planeación de la instrucción para la correspondiente problemática, los profesores deberán partir de sus propias creencias y principalmente de las visiones que los adolescentes llevan a la escuela sobre la certeza del conocimiento y la fuente del conocimiento. Los profesores deberán desarrollar prácticas y procesos de aprendizaje que permitan a los estudiantes un desarrollo/cambio gradual de sus creencias, en primer lugar, hacia el conocimiento relativo y hacia el conocimiento integrado en estructuras complejas; en segundo lugar hacia la consideración del propio sujeto como constructor de conocimiento.
- h) Por un lado, los profesores requieren entender las creencias que los adolescentes tienen en relación a su potencial de aprendizaje para poder guiarlos a mejores concepciones de aprendizaje. Es importante hacer notar que los factores motivacionales afectan de manera importante. Por otro lado, los instructores deben **fomentar el aprendizaje con entendimiento**, de algún tema científico (en particular en el área de la óptica) partiendo de las ideas que los estudiantes traen al salón de clases acerca de esta temática, en forma tal que ayuden a cada estudiante a alcanzar un entendimiento más maduro. Para lo cual, los profesores necesitan diseñar diversas estrategias de instrucción que contemplen contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, donde los primeros contenidos, se enfocarían en diseñar estrategias de solución de problemas. Respecto a los otros dos contenidos, éstos se prestarían para indagar conexiones entre los contenidos disciplinares específicos y el desarrollo de capacidades integradas.

El desarrollo y estudio de los resultados en el proceso enseñanza-aprendizaje, particularmente en el área de física (subdisciplina: Óptica) por el seguimiento de las **fundamentaciones** y **directrices** enmarcadas anteriormente, será la base que sustenta la presente tesis de maestría, donde una concepción **integrada** buscaría una conexión entre los contenidos específicos y el desarrollo de capacidades integradas. Aquí, la comprensión más que la memorización de conceptos de óptica y los modelos que los explican es prioritario, así como expresar y conocer la clase de conocimiento que los aprendices traen con ellos, conocer la clase de conocimiento necesario con el objeto de funcionar expertamente, identificarse como estudiante dentro de un grupo, construir identidades en relación con sus prácticas (prácticas que son ejecutadas por “motivación” propia).

1.4 REFERENCIAS.

1. *French A. P.* La naturaleza de la física. Departamento de física, Instituto de Tecnología de Massachussets, Cambridge, MA, USA. 1997.
2. *Hecht Eugene-Zajac Alfred.* Óptica, Pg. 472. Addison-Wesley Iberoamericana, S. A., 1986.
3. Barahona Echeverría A., Catalá Rodes R. M., Chamizo Guerrero J. A., Rico Galindo B., Talanquer Artigas V. A. Libros de texto de Ciencias Naturales de cuarto (Pág. 111) y quinto (Pág. 128) grados en la educación primaria. Dirección General de Materiales y Métodos Educativos de la Subsecretaria de Educación Basica y Norma de la Secretaria de Educación Pública, 2002 y 1997 respectivamente.
4. Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Institutos de Geofísica, Astronomía y Física de la U.N.A.M., Dirección General de Conservación de Suelo y Agua de la Secretaria de Agricultura, S.E.P y CONACYT. Libro de texto de Ciencias Naturales sexto (Pág. 202) grado de enseñanza primaria, 1999.
5. Programa de la asignatura de Física IV. Área de ciencias experimentales. Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM.
6. *Goldberg Fred M., Mcdermoth Lillian C.* Grupo en educación en física, Departamento de física. Universidad de Washington, Seattle Washington, 1986.
7. Plan de estudios actualizado. Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica del ciclo de Bachillerato. UNAM.
8. *Gardner, H.* Estados de Animo, Nueva York: Libros Básicos. 1991, La Mente sin Instrucción: Como Piensan los Niños, y Como las Escuelas Enseñarían. Nueva York: Libros Básicos, 1983.
9. *Dijkstra Sanne.* La integración del diseño curricular, Diseño Instruccional, y La Elección de “medios”. Universidad de Twente, Holanda.
10. *Tiberghien Andrée, Jossem E. Leonard, Barojas Jorge.* Conectando la investigación en la educación en física con la educación del profesor. Un libro I.C.P.E. Comisión internacional en educación en física, 1997,1998.
11. *Nuthall Graham.* El razonamiento y el aprendizaje del alumno en el aula. Universidad de Canterbury.
12. *DéSautels Jacques y Laroche Marie.* Acerca de la postura epistemológica de los profesores de ciencia. Departamento de didáctica, psicopedagogía y tecnología. Facultad de educación. Universidad Laval & CIRADE. Universidad de Québec, Montreal, Canadá. 1997.
13. *Taylor Charles.* La ética de la autenticidad. Paidós. Instituto de ciencias de la educación de la Universidad autónoma de Barcelona, 1994.
14. Enciclopedia Microsoft. Edición Básica, 2002.
15. *Basch Paul F.* Transferencia de tecnología y la liberación del cuidado de la salud. Política en Ciencia en Países en desarrollo: El caso de México. Fondo de cultura económica, 1993.
16. *Strike Kenneth A., Posner George J.* Una teoría revisionista del cambio conceptual. Universidad estatal de Nueva York.
17. *Nicolis Gregoire.* La física de sistemas lejanos del equilibrio y autoorganización. New Physics, Cambridge University Press, 1989.

18. *Hacyan Shahen*. El descubrimiento del universo. La ciencia para todos. Fondo de cultura económica. México, D. F., 1999.
19. *Aboites Vicente*, La fusión nuclear con el láser. La ciencia para todos. Fondo de cultura económica. México, D. F., 1993.
20. *Dweck, C.S.* Motivación. Págs. 87–136 en *Fundamentos para una Psicología de la Educación*, A. Lesgold y R. Glaser, editores. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1989.
21. *Dweck C.*, y *E. Elliot*,. Logrando motivación. Págs. 643-691 en el manual de la psicología del niño. Vol. IV: Socialización, Personalidad, y Desarrollo social, P. H. Mussen, ed. Nueva York: Wiley, 1983.
22. *Dweck C.*, y *E. Leggett*. Una aproximación socio-cognitiva a la motivación y a la personalidad. *Revista Psicológica* 95: 256-293, 1988.
23. *Anderson Björn, Kárrqvist Christina*, Universidad de Göteborg, Suecia.
24. *Brown, A. L.* Sabiendo cuando, y como recordar: Un problema de metacognición Págs. 77-165 en *Avances en Psicología Instruccional* (Vol. 1), R. Glaser, ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1978.
25. *Flavell, J. H.* y *H. M. Wellman*. Metamemoria, Págs. 3-33 en *Perspectivas sobre el Desarrollo de la Memoria y la Cognición*, R. V. Kail y J. W. Hagen, eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1977.

CAPÍTULO 2.

FUNDAMENTACIÓN Y MARCO TEÓRICO EN EL QUE SE SITUA EL MODELO INSTRUCCIONAL PROPUESTO PARA LA UNIDAD DE FÍSICA IV (SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.

En este capítulo se lleva a cabo en primer lugar una breve revisión de las **teorías referentes a las creencias que los niños y adolescentes tienen sobre la inteligencia y el aprendizaje**. Se emplea para estructurar uno de los elementos (el proceso de experticia) del marco teórico en el que se sitúa el modelo instruccional a proponer, desde la perspectiva de la enseñanza y el aprendizaje en física (óptica), el conocido triángulo didáctico [1]. Se presenta también un resumen de los avances teóricos y metodológicos encontrados en la literatura especializada, que consideramos tienen mayor relevancia para el desarrollo del modelo instruccional, que se explicará en detalle en el siguiente capítulo. En el modelo instruccional que se desarrolla en esta tesis, el núcleo central se basa en **el aprendizaje, mediante su papel activo**, para lo cual las teorías psicológicas (del desarrollo de la inteligencia de *Piaget* [2], de análisis de la conducta (*Skinner*), humanista, etc.), psicológica y sociológica (zona de desarrollo proximal de *Vigotsky* [3], de la cognición distribuida [4], etc.) y psicopedagógicas (de cambio conceptual [5-7]) centradas en: **a) el procesamiento de la información y b) el papel del medio social como agente en el desarrollo del pensamiento**, juegan un papel preponderante. Finalmente, se presenta información referente al concepto del proceso de experticia (resolución progresiva de problemas), que analiza las visiones acerca de la complejidad del conocimiento.

2.1. EL TRIÁNGULO DIDÁCTICO, SUS OBJETOS E INTER-RELACIONES.

Como se mencionó, en este capítulo se estudian tres aspectos concernientes a las teorías de enseñanza-aprendizaje que consideran el papel activo del estudiante, estas teorías son: **a) Las teorías esencialistas contra las teorías del crecimiento, b) La perspectiva cognitiva y la perspectiva social y c) Estudios sobre la experticia**, (que se describen brevemente en las secciones: 2.2, 2.3 y 2.4, respectivamente). Éstas, están relacionadas directamente con la interacción entre los vértices del triángulo didáctico, al correspondiente al conocimiento en sí mismo, al relativo a los estudiantes, y al papel del profesor respectivamente. En la figura 2.1, se muestra la articulación entre los vértices específicamente para los estudios sobre la experticia, los resultados de estos estudios son propuestos como una serie de estrategias, basadas en comportamientos expertos observados en la solución de problemas, donde el papel de **tutor** del profesor, es el de ayudar a los estudiantes a diferenciar sus ideas presentes e integrarlas en creencias conceptuales parecidas a aquellas de los científicos.



Figura 2.1: Interconexiones entre los estudiantes, los profesores y el conocimiento para los estudios sobre el proceso de la experticia.

Obsérvese el énfasis dado al vértice correspondiente al estudiante, puesto que este aparece en primer término. A continuación, consideraremos de manera introductoria dos de las teorías antes mencionadas.

2.1.1 La perspectiva cognitiva y la perspectiva social.

Los jóvenes estudiantes del bachillerato atraviesan una etapa de desarrollo físico-mental, en particular, sus ideas concernientes a lo que significa “aprender” y “entender” aún siguen desenvolviéndose en su mente (conciencia), podemos tomar ventaja de esta situación al hacerles de su conocimiento (por medio de su interacción con materiales didácticos diseñados para tal propósito) los estudios y resultados de investigaciones sobre el conocimiento y aprendizaje de los estudiantes, obtenidos en otras áreas, como la psicología, sociología, epistemología, pedagogía, etc.

Las secciones 2.2 y 2.3 están dedicadas específicamente a teorías, estudios y perspectivas sobre el conocimiento y aprendizaje de los estudiantes, la primera sección se refiere a las teorías de la mente y de la inteligencia de los jóvenes, la segunda sección presenta una perspectiva socio-cognitiva que enfatiza el papel de aprendiz activo de los estudiantes, núcleo central en que se basa el modelo instruccional desarrollado en esta tesis. Por su importancia en este trabajo, la sección 2.3 es estructurada en tres sub-secciones las cuales se presentan a continuación: **a) la teoría del procesamiento de la información b) una visión de aprendizaje como cambio conceptual y epistemológico y c) el papel del medio social como agente en el desarrollo del pensamiento.**

2.1.2 Estudios sobre la experticia.

Usualmente los profesores noveles de física a nivel bachillerato se basan en los textos como una autoridad externa para desplegar su enseñanza en física, comprendiendo y transmitiendo los contenidos textuales, es entonces que en parte, las posturas epistemológicas de los autores de estos textos sobre el proceso enseñanza-aprendizaje son aceptadas y usadas por los docentes, sin dar oportunidad a sus propias ideas sobre este proceso o a realizar investigaciones documentales que les brinden apoyo en su actividad profesional.

El concepto de experticia (ver segundo vértice del triángulo didáctico) se presenta en la sección 2.4, de donde se aprovecha una de las características de los expertos al establecer aproximaciones para resolver problemas (la discusión de “grandes ideas” o principios y teorías) como criterio en la organización de los contenidos disciplinarios de la propuesta instruccional (véase capítulo 3), lo cual involucra el objetivo de consistencia de la física al relacionar nuestro conocimiento de los fenómenos a un número mínimo de principios generales.

2.1.3 El papel del profesor.

El papel del tercer vértice del triángulo didáctico (el profesor) no es tratado específicamente en este capítulo, no obstante queda relacionado a través de la interacción con los otros vértices ya determinados bajo la teoría respectiva, implicando una transformación profunda del profesor en sus actitudes y prácticas bajo el marco de la nueva perspectiva educativa planteada (véase sección **2.3.3**). Bajo esta representación, el profesor se esfuerza en cambiar la actividad cognitiva estratégica en los estudiantes a través del modelaje (“coucheo”) de varias destrezas cognitivas, con la finalidad de que en algún momento posterior del proceso de enseñanza-aprendizaje, el alumno pueda desarrollar por él mismo tales habilidades, aplicándolas no solo para el tema de Óptica sino a otros tópicos de las ciencias experimentales.

Otro de los papeles del profesor siguiendo esta perspectiva es el de tutor, bajo esta figura, provee “andamiaje” cuando se necesita, adaptando “mini-lecturas” para aclarar puntos de confusión, o si las cosas van bien, simplemente moderar la discusión y permitir a los estudiantes explicar cosas y alcanzar consensos por ellos mismos. Una demanda fundamental más sobre el profesor, cae en crear un ambiente de salón de clases dentro del cual los estudiantes sientan confianza y puedan expresar y discutir sus visiones abiertamente.

2.1.4 Comunidad de práctica / aprendizaje

La interacción de los tres vértices del triángulo didáctico en el marco teórico propuesto puede ser favorablemente acrecentada, con sentido para los integrantes del grupo, por un contexto poderoso en la práctica educativa: una comunidad de aprendizaje;

esta herramienta organizacional de tipo socio-cognitiva es de interés en el papel del medio social como agente en el desarrollo del pensamiento (sección 2.3.3).

2.2. LAS TEORÍAS ESENCIALISTAS CONTRA LAS TEORÍAS DEL CRECIMIENTO, REFERENTES A LAS VISIONES QUE LOS NIÑOS/ADOLESCENTES TIENEN SOBRE LA INTELIGENCIA Y LA MENTE.

Es usual para muchos estudiantes del bachillerato, el considerar la asignatura de física como “tediosa y sin aplicabilidad” en su vida cotidiana y laboral futura. Aunado a esto, el hecho de que los profesores generalmente establecen actividades escolares deterministas basadas únicamente en los contenidos disciplinares y en su experiencia profesional y docente propia, sin tomar en cuenta las ideas que los alumnos llevan a las aulas sobre la inteligencia y el proceso de aprendizaje-enseñanza, determina que los aprendices decidan realizar y seguir las instrucciones y tareas que el profesor pide, con el solo afán de acreditar la asignatura sin ningún otro interés particular en las temáticas que la materia propone.

Mientras maduran, los niños/adolescentes desarrollan comportamientos de lo que significa aprender y entender, lo cual influye profundamente en como se sitúan ellos mismos en ambientes que requieren esfuerzo y aprendizaje intencional, (*Bereiter y Scardamalia*, [8]). Por otro lado, expertos señalan que los niños contemplan varias teorías de la mente y la inteligencia (véase *Wellman*, [9]; *Wellman and Hickey*, [10]; *Gelman*, [11]; *Gopnik*, [12]). Estudios demuestran que los niños/adolescentes tienen una de dos clases de creencias de lo que es aprender y entender, las cuales los expertos enmarcan en diversas teorías que describen la evolución del niño/adolescente en su desarrollo cognitivo: **a) las teorías esencialistas** y **b) las teorías del crecimiento** (*Dweck et al.* [13]). Los niños/adolescentes enmarcados dentro de las teorías esencialistas atribuyen que la inteligencia es una propiedad predeterminada genéticamente de los individuos; los niños/adolescentes enmarcados dentro de las teorías crecientes, creen que la inteligencia es maleable (véase también *Resnick et al.*, [14]). Los niños/adolescentes dentro de la teoría esencialista tienden a mantener propósitos de rendimiento en situaciones de aprendizaje: se esfuerzan por rendir bien o parecer que rinden bien, obteniendo juicios positivos de su competencia, y eluden evaluaciones. Evitan retos que los mostraran en un aspecto pobre. Ellos muestran poca perseverancia ante el fracaso. Su propósito es rendir bien. En contraste, los niños dentro de la teoría del crecimiento asumen objetivos de aprendizaje: creen que la inteligencia puede ser mejorada con esfuerzo y disposición. Ellos prestan atención al aumento de su propia competencia como uno de sus objetivos cognitivos, buscan desafíos y muestran alta persistencia. Es claro que las teorías de los niños/adolescentes en relación al aprendizaje afecta el como aprenden y sus ideas respecto del aprendizaje. Aunque la mayor parte de los niños probablemente se sitúan en el continuo entre las dos teorías, y pueden ser paralelamente teóricos del crecimiento en matemáticas y teóricos esencialistas en arte, los factores motivacionales afectan enormemente a su persistencia, sus objetivos de aprendizaje, su sensibilidad al fracaso, y a la lucha para conseguir el éxito.

Uno de los factores determinantes en la forma de ser del niño/adolescente yace en el medio ambiente circundante, compuesto por el entorno familiar y sus pares principalmente. La búsqueda de ser aceptados en el grupo juvenil, influye en la actitud de los estudiantes ante las situaciones educativas propuestas por el profesor, colocándolos ante la espada y la pared, al tener que elegir entre hacer lo que les indica el profesor o seguir a sus compañeros en su postura ante las actividades escolares. Por la otra parte, los padres pueden significar para el estudiante el tener o no tener, un apoyo en su formación, por lo que es importante el *status* socio-cultural que tienen los familiares, puesto que éste interviene en la actitud que adopte el niño/adolescente ante el esfuerzo requerido en asignaturas de ciencia.

Por lo tanto, basado en los antecedentes previos, es claro que los profesores requieren conocer y entender las creencias que los estudiantes trasladan a la escuela para lograr guiarlos a conceptualizaciones más fuertes de su potencial de aprendizaje. En la propuesta instruccional que se desarrolla en esta tesis, se elaboró un apartado que contempla una introducción al campo de la instrucción y de la óptica (ver sección 3.4.2, capítulo 3), en donde se incluyen en un cuestionario varias preguntas referentes a las creencias sobre la mente y la inteligencia, esto con el propósito de que los alumnos tomen conciencia y reflexionen sobre su posición ante un ambiente que requiere esfuerzo y aprendizaje intencional. En lo que corresponde al profesor, éste podrá entonces conocer las ideas que los alumnos poseen en relación a lo que significa aprender y entender.

Finalmente, es cierto, que no todos los aprendices en las escuelas acuden suficientemente preparados para aprender exactamente al mismo ritmo y con la misma técnica. Puesto que existe más de un forma de aprender, se deben aceptar varias formas de ser “inteligente”, la existencia de estas múltiples inteligencias (lingüística, lógica, percepción auditiva, cinética corporal, interpersonal, e intrapersonal, etc. *Gardner*, [15-16]), sugiere que se pueden proponer distintas estrategias tanto ORGANIZATIVAS como COGNITIVAS que representen rutas de ayuda a los niños/adolescentes para apoyar sus fortalezas y trabajar sus debilidades, y así, adquirir una visión más amplia sobre el aprendizaje. Además, a los profesores les proporciona medios para identificar y considerar las ideas de sus estudiantes, por ejemplo al evaluar su progreso.

2.3. LA PERSPECTIVA COGNITIVA Y LA PERSPECTIVA SOCIAL.

2.3.1 Las teorías de procesamiento de la información aplicada al estudio del desarrollo cognitivo.

Podemos observar fácilmente que tanto el sistema nervioso central como el sistema neuronal del cerebro de un ser humano difiere del sistema de procesamiento de información de una computadora, basado en microcircuitos únicos que procesan la información en código binario (usualmente en transferencias de información bidireccionales). Si por ejemplo, algunas neuronas en el sistema nervioso humano son destruidas, éstas, o bien son regeneradas o bien substituidas por otras que retomen sus funciones, con lo cual éste puede seguir funcionando; sin embargo, si un transistor o micro-procesador en la computadora es arruinado, ésta ya no trabajará y ningún otra componente podrá realizar las tareas asignadas

al “chip” correspondiente. No obstante, una observación más cuidadosa revela alguna similitud entre los dos sistemas: ambos procesan información (*Carver Mead*, 1989 [17]). Mientras las teorías del procesamiento de la información empezaron a emerger, la metáfora de la mente como computadora, procesador de información, y “solucionador” de problemas se uso ampliamente (*Newell et al.*, [18]), y fue aplicada rápidamente al estudio del desarrollo cognitivo.

La teoría del procesado de la información cómo una aproximación a la cognición tiene un enfoque primario sobre la **memoria**, al analizar cómo se codifica y se representa la información en ésta, los procesos que operan sobre ella y como transforma la información con el fin de codificarla, y los aspectos del funcionamiento de la memoria que influyen en cómo se recopila y se recupera la información y su limitación en ambos procesos. Los conocimientos se organizan y se almacenan en la memoria en distintas formas representacionales, llamadas esquemas.

La teoría más ampliamente aceptada es etiquetada como la **“teoría de fases”** basada en el trabajo de *Atkinson y Shiffrin* [19], la cual será abordada más adelante. En adición a este modelo, hay tres más que son ampliamente aceptadas. La primera esta basada en el trabajo de *Craik y Lockhart*, [20] y es etiquetada como la teoría de los **“niveles-de-procesamiento”**. La proposición primordial es que los aprendices utilizan diferentes niveles de elaboración mientras procesan información. Esto es hecho en un continuo desde la percepción, a través de la atención, para etiquetar, y finalmente, el sentido. El punto clave es que todos los estímulos que activan una célula receptora sensorial están permanentemente almacenados en la memoria, pero esos diferentes niveles de procesamiento (*i.e.*, elaboración) contribuyen a una habilidad para acceder, o recuperar, esa memoria. Esta aproximación ha sido extendida por *Bransford*, [21], quien menciona que no es solamente como la información es procesada, sino cómo la información es accedida. Cuando las demandas para acceder información igualan más cercanamente los métodos usados para elaborar o aprender la información, más es recordada.

Otros dos modelos han sido propuestos como alternativos al modelo de *Atkinson y Shiffrin*: **el procesamiento paralelo-distribuido** y el **conexionista**. El modelo de procesamiento paralelo-distribuido establece que la información es procesada simultáneamente por varias partes diferentes del sistema memoria, en lugar de hacerlo en forma secuencial. El modelo conexionista propuesto por *Rumelhart y McClelland* [22], extiende el modelo de procesamiento paralelo-distribuido. Este modelo enfatiza el hecho de que la información es almacenada en locaciones múltiples a través del cerebro en forma de redes de conexiones. Esta es consistente con la aproximación de los niveles-de-procesamiento en que, entre **más conexiones existan para una sola idea o concepto, éste es más probable de ser recordado**.

Es importante señalar aquí, que en la propuesta instruccional de la unidad de óptica (capítulo 3), cada uno de los fenómenos de reflexión, refracción, polarización, etc. son abordados con varias estrategias diferentes, es decir, se diseñan diversas conexiones para uno solo de estos fenómenos por medio de: experiencias cotidianas, investigaciones experimentales, información en analogías, aplicaciones tecnológicas visibles en el entorno, etc., con la finalidad en este caso de estructurar información en la memoria.

El enfoque conexionista anterior que determinó la forma de abordar cada uno de los temas a tratar dentro de la unidad de aprendizaje IV (Sistemas Ópticos) del C.C.H., es sustentado aún más, por la organización de estos temas en redes interconectadas, así los fenómenos físicos, por ejemplo la reflexión y refracción, son vinculados con el tema de polarización a través, por ejemplo, del concepto de la doble refracción (birrefringencia en cristales de calcita, donde los rayos ordinario y extraordinario son polarizados en planos mutuamente perpendiculares), y a su vez, los temas polarización, interferencia y difracción se entrelazan por el principio de superposición de ondas (los detalles se dan en los capítulos 3 y 4, donde se describen minuciosamente las estrategias del modelo instruccional propuesto y sus metodologías, así como los criterios que definieron la elección de estas estrategias y las prioridades que éstas persiguen con la finalidad de alcanzar un óptimo entendimiento de estos temas entre la comunidad aprendiz). Como sugieren *Hiebert y Carpenter* [23], una red de conocimientos interconectados, permite recurrir a los conocimientos y emplearlos de forma más flexible y multi-funcional, además de poder acceder con menor esfuerzo a ellos incluso tras periodos de tiempo prolongados, en los cuales no ha sido necesario el uso de esta información (memoria eficiente a largo plazo).

Las teorías de procesamiento de la información comparten un énfasis en considerar a los niños/adolescentes como aprendices activos quienes pueden establecer propósitos, planes, y revisiones. Los niños/adolescentes son vistos como aprendices quienes ensamblan y organizan material. Como tal, el desarrollo cognitivo involucra la adquisición de estructuras de conocimiento organizado incluyendo, por ejemplo, el entendimiento temprano de la física básica y sus leyes así como el campo de aplicabilidad. En adición, el desarrollo cognitivo involucra la adquisición gradual de estrategias para recordar, entender y resolver problemas. Por lo tanto, es de gran interés conocer e interpretar un modelo de procesamiento de la información que amplíe y/o elabore la visión sobre los procesos de: prestar atención, retener información (no sólo almacenarla sino organizarla), con los cuales se podrá apoyar el desarrollo cognitivo de los estudiantes y el entendimiento (en particular, en el presente enfoque) de la óptica por parte de estos.

En la psicología cognitiva, la visión dominante para el estudio de la memoria es etiquetada como “la teoría en fases”, a continuación se presenta un modelo basado en esta teoría [24].

Modelo de fases del procesamiento de la información: El estudio de la memoria parte de la perspectiva planteada por “la teoría de fases”, basada en el trabajo de *Atkinson y Shiffrin* [19]. Este modelo propone que la información es procesada y almacenada en tres fases, como a continuación se desglosa:

Fase (a): La memoria sensorial. La memoria sensorial está asociada con la transducción de energía (cambio de una energía a otra). El medio circundante presenta una variedad de fuentes de información por medio de luz, sonido, olor, calor, frío, imágenes, etc., que por sí mismos representan a alguna forma de energía dada (eléctrica, acústica o mecánica, química, calorífica, electromagnética, etc.). Sin embargo, el cerebro por sí mismo, solo “entiende/reconoce” a la energía eléctrica, dado que dentro de él (en un sistema de redes neuronales interconectadas), se llevan a cabo transferencias de impulsos eléctricos que se

sabe son la consecuencia directa de procesos de intercambio y análisis de información [25-26]. Ya que el cuerpo humano tiene células sensoriales receptoras especializadas, que transducen estas diversas formas de energía recibidas por los agentes externos, a impulsos eléctricos que el cerebro puede entender, el proceso de transducción en el cuerpo humano es cerrado. Además, en este proceso una memoria sobre la percepción sensorial del individuo es creada. Esta memoria es muy corta (menos de medio segundo para la visión; alrededor de tres segundos para la audición, tres segundos para el tacto, etc.).

En la figura 2.2 se representa el modelo de fases de *W. Hwitt*, [24], en la que se puede observar cómo al recibir el estímulo externo, un individuo puede captar la información que se presenta en la naturaleza en diversas formas, creando así una memoria (la información en esta memoria puede olvidarse si no se pone la debida atención o no existe repetición del evento) para iniciar el procesamiento de la información, el cual consiste en la recuperación de información relacionada con el estímulo externo pudiendo así insertarla, en primera instancia, en la memoria a corto plazo, o bien relacionarla y compararla con alguna extracción de la memoria a largo plazo (si ésta existiese). De esta forma se crea información nueva en la memoria de corto plazo (reestructurando los esquemas existentes), o bien se refuerza información previamente almacenada en la memoria de largo plazo, para enseguida dar una respuesta a ese estímulo externo. También se puede observar que mediante un proceso de elaboración y codificación es factible llevar información de la memoria de corto plazo a la memoria de largo plazo a través de esquemas organizados jerárquicamente (ya sea que esta información existiera previamente o no), dándole así un sentido a la información o bien reforzándola.

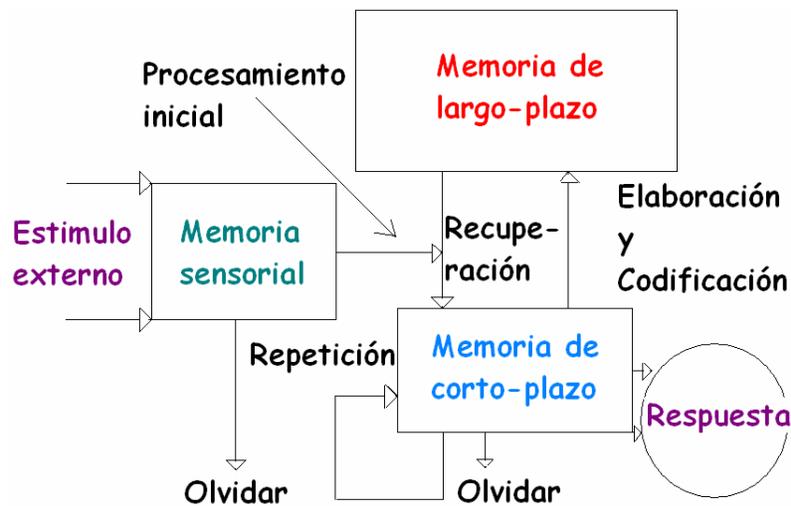


Figura 2.2: Esquema del modelo de fases. Una aproximación del procesamiento de la información a la cognición.

Regresando al marco de la enseñanza, según el modelo de *Atkinson y Shiffrin* [19] es definitivamente crítico que el aprendiz atienda a la información en la fase inicial del proceso de cognición (sensorial), para transferirla a la próxima fase (memoria de corto plazo, MCP). Dentro de este modelo de proceso de información, existen dos conceptos fundamentales para adquirir información:

- 1) Primero, es más probable que los individuos pongan atención a un estímulo externo **si éste tiene una característica interesante**. Así, es factible obtener una respuesta orientadora si esta característica está presente (el profesor debe indagar mediante diversos estímulos para percibir respuestas favorables de los aprendices).
- 2) Segundo, es más probable que las personas pongan atención **si el estímulo activa un patrón conocido**. Al alcance tenemos estudiantes llamando a la mente el aprendizaje anterior relevante relacionado con la temática de aprendizaje, a lo cual, el profesor puede tomar grandes ventajas.

Los conceptos anteriores son muy importantes en el modelo instruccional planteado, por lo que al inicio de cada tema de la unidad de óptica se presentan actividades demostrativas experimentales que desafían el sentido común, con el objetivo de activar las ideas previas e interesar a los estudiantes sobre el tema, es de hacerse notar que el primer tema de la unidad es dedicado a las ideas previas que los alumnos tienen sobre los temas subsecuentes teoría de trazo de rayos de luz en óptica geométrica (abordando los temas de reflexión y refracción), de teoría electromagnética, de polarización y del principio de superposición de ondas (fenómenos de interferencia y difracción de la luz).

Fase (b): Memoria de corto-plazo (MCP). La Memoria de corto-plazo es también llamada memoria de trabajo y relaciona lo que estamos pensando en cualquier momento en el tiempo. En términos *Freudianos*, es la “memoria conciencia” [27]. Esta es creada al poner atención “instantánea” a un estímulo externo, un pensamiento interno, o a ambos. Inicialmente perdurará alrededor de quince a veinte segundos hasta que es repetido (ensayo de mantenimiento) para que en algún punto dado de aprendizaje, puede estar disponible por más de veinte minutos.

Así pues, existen dos **conceptos principales** para retener información en la **MCP: organización y repetición**. Dentro del concepto de organización se tienen cuatro tipos principales, que frecuentemente son usados en el diseño instruccional (y que se aplicarán también en la presente tesis para la elaboración de un modelo instruccional):

1. Componente (parte/todo). Aplicación: clasificación por categoría o concepto.
2. Secuencial – cronológico; causa/efecto. Aplicación: reportar en un estudio de investigación.
3. Relevancia – idea unificadora central o criterio. Aplicación: estrategias de gestión apropiadas para estudiantes de bachillerato.
4. Transicional (conectivo). - experiencias, palabras relacionadas o frases comunes usadas para indicar cambio cualitativo en el tiempo. Aplicación: etapas en la teoría de *Piaget* del desarrollo cognitivo.

En la aproximación (de aplicación) que se propone para el estudio de la óptica (desglosado en el capítulo 3), son considerados los cuatro tipos de organización: en el primero, los conceptos de rayo de luz y ondulatorio representan el todo y la partes constitutivas (relacionadas) las conforman los fenómenos de reflexión-refracción y polarización-difracción-interferencia, respectivamente; en el segundo, por medio del proceso de producción de diarios (apuntes) para apoyar el discurso de construcción de

conocimiento y recrear la actividad en el salón de clases, en el modelo de comunidad de aprendizaje (sección 2.3.3 de este capítulo), se pretende lograr el entendimiento organizado y progresivo (cronológicamente); en el tercero, se sugiere el diseño de estrategias instruccionales que promueven la clase de comportamiento observado en expertos en la resolución de problemas (basada en principios físicos); finalmente en el cuarto, la participación creciente de los alumnos en la comunidad de aprendizaje (el paso de novato a experto) y el aprendizaje de estrategias cognitivas modeladas por el profesor en un principio y ejecutadas por los aprendices en forma gradual, representan el aprendizaje organizado transicionalmente.

Es importante señalar que la organización por relevancia es impulsada fuertemente en la proposición de un modelo de salón de clases como comunidad de aprendizaje, por el hecho de motivar a los integrantes del grupo a hacer el trabajo que intenta la construcción de conocimiento colectivo, donde el conocimiento sería distribuido entre los estudiantes, en lugar de esperar que cada estudiante sepa las mismas cosas, por lo tanto haciendo intercambios más productivos entre los alumnos.

En cuanto al concepto de repetición, dentro del modelo instruccional que se planteará (ver capítulo 3), es posible asociarlo con el proceso de metacognición por medio de la habilidad para hablar y reflexionar sobre el aprendizaje. Los alumnos estarán recordando (repetición) sus propias ideas respecto a este, lo cual involucraría tener conciencia inicial del proceso metacognitivo, al reconocer este entendimiento inicial en los estudiantes, se puede empezar a diseñar actividades en el bachillerato que construyan y fortalezcan sus entendimientos de lo que significa aprender y recordar.

En las actividades experimentales planteadas para abordar el tema de polarización (ley de Malus y actividad óptica) en el modelo instruccional se observa el concepto de repetición al utilizar el mismo montaje experimental con el equipo *Newport* (polarizadores cruzados) para realizar las dos prácticas planteadas, que debería auxiliar en la retención de información en la memoria de corto plazo.

Fase (c): Memoria de largo-plazo (MLP). La memoria de largo-plazo es llamada también “preconciencia” y “memoria inconsciente” en términos *Freudianos* [28]. La preconciencia significa que la información es relativamente fácil de recordar (sin embargo esta puede tomar varios minutos o aún horas) mientras que la inconsciencia se refiere a datos que no están disponibles durante la conciencia normal. Es la **memoria preconsiente** el foco de la **psicología cognitiva** conforme esta se relaciona a la memoria de largo-plazo. Los diferentes niveles de elaboración utilizados por los aprendices mientras procesan información han proveído alguna investigación que atestigua el hecho de que “sabemos” más de lo que fácilmente podemos recordar [20]. Los dos procesos más probables de mover información hacia la memoria de largo-plazo son conocidos como la elaboración, codificación y la revisión periódica o repetición (habitual), ver esquema (figura 2.2).

La etapa final del proceso de elaboración es darle sentido a la información presentada; para *J. L. Lemke* [29], el tener sentido significa que veamos redes de conexiones entre eventos, momentos, prácticas, actividades, comunidades de práctica, periodos históricos, fases de vida, textos, etc. Las actividades propuestas en el modelo

instruccional apoyan los procesos de elaboración y codificación ya que plantean varias situaciones de aprendizaje conectadas a un solo tema, asimismo los temas son conectados entre sí por conceptos y principios, con lo cual el diseño fortalece el movimiento de información en la memoria a largo-plazo.

Pareciera existir una contradicción por darle peso al estudio de la memoria debido a que nuestro modelo rebasa el aprendizaje memorístico, sin embargo, investigaciones sobre la pericia en áreas como el ajedrez, la historia, ciencia, y matemáticas indican que las habilidades de los expertos para pensar y resolver problemas dependen fuertemente de un rico cuerpo de conocimientos acerca del tema (*Chase and Simon*, [30]; *Chi et al.*, [31]; *deGroot*, [32]), por lo tanto, el poder mantener estructuras de conocimiento jerárquico en la memoria a largo plazo es relevante en la promoción de habilidades de pensamiento para la construcción de juicios y análisis complejos que conllevan a la solución de problemas.

2.3.2 Una visión de aprendizaje como cambio conceptual y epistemológico.

Un notable fundamento para lograr la enseñanza con un enfoque de cambio conceptual, es el hecho que la enseñanza efectiva (entendida por el aprendiz) necesita estar enraizada en un entendimiento del cómo los estudiantes aprenden. Partiendo de la idea *Piagetiana* de acomodación [2], y del esquema de las concepciones de procesado de información, con la enseñanza del cambio conceptual se pretende alterar el marco en el que el alumno interpreta los fenómenos. Los alumnos construyen sus propios conocimientos a medida que se integran en el proceso de interpretación y explicación de su experiencia en el aula. Se considera que el aprendizaje es la reestructuración conceptual que resulta de este proceso cognitivo *Nuthall* [33].

A medida que los alumnos tienen nuevas experiencias, sus mentes construyen representaciones de éstas, que se estructuran mediante sus propios conocimientos y creencias previas. Estas representaciones construidas de forma individual interactúan entre sí para producir nuevos conocimientos y nuevas creencias. El principio fundamental subyacente a todas las aproximaciones en la enseñanza para el cambio conceptual es uno que **enfatisa la importancia de reconocer las ideas existentes y los entendimientos de los aprendices en cualquier evento de aprendizaje-enseñanza**, lo cual será aplicado de forma importante en el modelo instruccional propuesto. En relación a sus entendimientos, los aprendices son metacognitivos cuando hacen sus propios pensamientos “objetos de cognición”, la metacognición es una guía consistente con el modelo de cambio conceptual [34]. Cuando los estudiantes dan diferentes explicaciones de un fenómeno particular o conjunto de fenómenos en un salón de clases, en efecto, ellos exponen las explicaciones por sí mismas como objetos de cognición, así al comentar, comparar, contrastar estas explicaciones y considerando argumentos para apoyar o contradecir, o bien elegir una u otra, se realizan actividades metaconceptuales *Hewson* [35]; *Hewson & Thorley* [36].

Pero, ¿acerca de qué, los estudiantes deben ser metaconceptuales? las concepciones científicas son objetos prototípicos de cognición; pero otros sugieren que es de importancia incluir concepciones de la naturaleza tanto del aprendizaje *Gunstone* [37]; *Scott* [38] como de la ciencia y su epistemología. Esto sugiere que algunos o incluso todos serían incluidos en el currículo. *Perkins* [39], por ejemplo, se pronuncia por un metacurrículo que incluya

cómo obtener conocimiento y entendimiento, conocimiento acerca del pensar y cómo pensar bien, y conocimiento respecto de la forma en que la materia opera. En particular, en este trabajo se enfocará la atención sobre la epistemología de la ciencia vista desde una perspectiva de modelo interactivo de cambio conceptual, que plantea una conexión entre las creencias epistemológicas y el crecimiento del conocimiento en física (óptica). Este modelo interactivo que se pretende adaptar es una teoría epistemológica que busca especificar los parámetros lógicos de la creencia racional. *Strike y Posner* [40] basan su visión de cambio conceptual, refiriendo las teorías epistemológicas para describir la creencia racional, y en la voluminosa literatura sobre concepciones erróneas que ha surgido en los últimos quince años. La elucidación epistemológica provee un enfoque de cómo los paradigmas son sostenidos esto es, aplicados con facilidad a las concepciones erróneas. Esta explicación da un giro en como algunos conceptos están conectados con otros, como funcionan en el pensamiento, y cómo estructuran la percepción. Siguiendo a *Kuhn* [41] existen buenas razones para admitir que la reevaluación de un concepto requerirá la reevaluación y alteración de otros. Por ejemplo, en la teoría de rayos se considera que la luz se propaga en línea recta, creando el concepto de rayo como un “armazón” de tipo geométrico, no obstante, al estudiar el fenómeno de difracción, la construcción conceptual de rayo ya no es útil, debiendo reemplazarla por el concepto de onda como modelo para la propagación de la luz sin desechar el modelo anterior puesto que este es plausible para explicar el fenómeno de propagación de la luz en ciertas circunstancias (óptica geométrica). Finalmente, en relación de cómo los conceptos organizan la percepción, éstos funcionan como categorías perceptuales. De acuerdo con *Kuhn*, ellos estructuran la percepción en una forma tal que quienes tienen diferentes conceptos viven en mundos perceptuales diferentes [41]. Más significativamente, la gente con diferentes paradigmas no estará de acuerdo con lo que constituye evidencia relevante para resolver sus desacuerdos, ni percibirá la evidencia en la misma forma.

Los alumnos pueden solucionar las diferencias al analizar las ideas de los demás y someterlas a un examen racional. A medida que la argumentación se hace más compleja y articulada, los alumnos demuestran mayores grados de conciencia metacognitiva. Esto, a su vez, favorece una argumentación más completa y articulada. Se han realizado trabajos empíricos a estudiantes de bachillerato para estudiar relaciones entre aspectos epistemológicos, de física, y los llamados de “actitud de aprendizaje” [41], donde no se encontraron relaciones de peso entre ellas, estos autores creen que la razón de esto es que las creencias epistemológicas de los estudiantes de bachillerato están solamente empezándose a formar. Es poco probable que los estudiantes de bachillerato asignen mucho de su pensamiento e interés a preguntas epistemológicas tales como la relatividad de la verdad, las formas en las cuales los conocimientos científicos crecen y cambian, y la relación entre la teoría científica y la experiencia cotidiana. Sin embargo, *Strike y Posner* [40] encontraron una modesta pero notable tendencia entre la dirección de cambio en las preguntas epistemológicas y un incremento en la competencia en la materia de física, lo que esto sugiere es que el crecimiento del conocimiento en física facilita y es facilitado por los cambios en las creencias epistemológicas. Esta clase de creencias se abordan en el modelo instruccional desarrollado en este trabajo, por medio de la aplicación de un cuestionario de ideas previas en el tema de introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje, por medio de preguntas relativas a la naturaleza del aprendizaje, la estructura del conocimiento, y la fuente de habilidad del aprendizaje, respectivamente (ver capítulos 3 y 4).

En relación a la aplicabilidad de la teoría de cambio conceptual, existen aproximaciones a la enseñanza que reconocen las concepciones alternas de los alumnos, estas aproximaciones de enseñanza involucran una jerarquía de diferentes estrategias pedagógicas, entre las cuales, se tiene las que requieren metacognición y las que enfatizan en el conflicto conceptual. La resolución de ese conflicto por el aprendiz puede ser visto derivado de una visión de aprendizaje *Piagetiana* en la cual **la parte activa del aprendiz** es central al reorganizar su conocimiento *P. H Scott, et al.* [42]. A continuación se presentan estrategias propuestas en la literatura y que se seguirán en el modelo instruccional desarrollado con el propósito de adecuarlas tanto al profesor como a los estudiantes del bachillerato para lograr un mejor entendimiento en el proceso enseñanza-aprendizaje:

1. Una simple estrategia para estimular la metacognición es pedir a los estudiantes que consideren sus propias respuestas en alguna forma de pre-prueba. Un cuestionario de preconceptos es considerado en el tema de introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje (ver sección 3.6.1), para ser aplicado a los estudiantes como fase inicial del modelo instruccional, junto con el procedimiento de intercambiarse los cuestionarios resueltos para ser analizados por ellos mismos en equipo, enfatizando en las diferencias y coincidencias de las respuestas a las preguntas de sus compañeros [43].
2. Un ejemplo de cambio conceptual desde un punto de vista paradigmático podría ser la experiencia de hacer incidir luz láser sobre el blanco de *Fresnel* (balín oscuro), el cambio de paradigma se da al pasar de la teoría de rayos de la luz a la teoría ondulatoria. Dado que la teoría de rayos no puede explicar la presencia de una zona luminosa justo detrás del balín (sobre el eje del centro de éste), donde se esperaría ver una sombra según la teoría de rayos, el profesor deberá pasar la explicación de este fenómeno al campo de la teoría ondulatoria, esta aparente contradicción crea un conflicto conceptual. Desde el punto de vista de *Kuhn* de cambio paradigmático se supone un cambio conceptual de una teoría a la otra debido a que al considerar la luz como rayos no es posible explicar la aparición de luz donde debería de haber sombra, sin embargo es necesario considerar a la luz como una onda para poder dar una explicación al fenómeno observado (difracción de la luz).
3. Otro tipo de estrategias se basan sobre los esquemas de conocimiento existentes de los aprendices, involucran al alumno en desarrollar y extender estas ideas hacia el punto de vista de la ciencia, en estas estrategias puede ser percibido que se pone menos énfasis sobre el papel de la acomodación por el aprendiz, y en su lugar **se enfocan sobre el diseño de intervenciones apropiadas por los profesores para proveer una plataforma para nuevas formas de pensar (desarrollo de nuevos conceptos)**. Un ejemplo de este tipo de estrategias, lo representa la enseñanza analógica que asume que el cambio conceptual puede ser estimulado proveyendo oportunidades para que los estudiantes construyan entendimientos intuitivos-cualitativos de fenómenos antes de principios cuantitativos expertos. Tales entendimientos son desarrollados formando relaciones análogas entre un caso blanco incomprendido y un “ejemplo ancla”, el cual se formula sobre el conocimiento intuitivo mantenido por el estudiante. El uso de “**estrategias puente**” como se les conoce, son utilizadas en la propuesta instruccional de óptica en los temas de refracción y polarización precediendo a actividades experimentales de investigación más rigurosas sobre estos mismos temas.

4. Otra estrategia que requiere metacognición es alentar a los estudiantes a discutir si dos situaciones son análogas una con la otra, *Clement* [44]. En el estudio de *Clement*, estudiantes de bachillerato americanos, quienes fueron estimulados activamente por periodos extensos evaluando si los ejemplos son análogos o no y encontrando la mejor forma de ver la situación blanco, desarrollaron logros significativos en el entendimiento de los temas abordados.
5. Una estrategia basada en la “nueva filosofía de la ciencia” y que también parte de los esquemas de conocimiento existentes en los aprendices, es la que los hace tomar conciencia tanto de sus teorías propias como de la teoría científica, con el objeto de aprender conceptos científicos asimilando las diferencias entre el pensamiento de la vida cotidiana y el pensamiento científico. Implicando desarrollar y extender las ideas hacia el punto de vista de la ciencia. Esta estrategia es aplicada en el modelo instruccional para abordar los fenómenos de reflexión e interferencia de la luz (doble rendija). En el primer caso, se presenta a los estudiantes fotografías (de animales disecados y maquetas que se encuentran dentro de vitrinas en un museo) en las que aparece el destello reflejado de la lámpara integrada de la cámara, obstaculizando la imagen. La finalidad de contextualizar el estudio de la ley de reflexión de la luz partiendo de una situación cotidiana, es hacer significativo el aprendizaje puesto que requiere la asimilación de la ley de reflexión para interpretar y comprender la situación presentada. En segundo lugar, se parte de la observación y explicación del patrón de interferencia observado a través de un espacio pequeño (rendija) entre los dedos de la mano dirigida hacia una fuente luminosa, para extenderse y desarrollar un estudio de los factores (ancho de las ranuras, distancia entre ellas, distancia fuente/ranuras, distancia ranuras/pantalla) que afectan la observación de patrones nítidos de interferencia, ahora formados con el haz de un láser incidiendo sobre una doble rendija.

2.3.3 El papel del medio social (herramientas, objetos culturales, gente) como agente en el desarrollo del pensamiento.

La construcción del conocimiento científico es un producto social incorporado con la existencia de grupos de investigación científica (tanto en universidades, centros de estudios, compañías, etc.), esto sugiere organizar a los estudiantes en pequeños grupos y facilitar las **interacciones** entre estos grupos y la comunidad científica, representada en este caso por el profesor, por los textos especializados, y cuando sea posible, con expertos dígame investigadores o profesionales de carrera. Las interacciones entre estos grupos proveerá oportunidades para los estudiantes de dialogar acerca de lo que están aprendiendo, de lo que creen, y de lo que se les dificulta entender; dando oportunidad al profesor de conocer más a fondo sus razonamientos. El proceso de comunicación transforma todas las partes involucradas (*Pea*, [45]), el acto de **dialogar** requiere que un individuo coloque una estructura y una coherencia en su entendimiento, que puede permitirle a la persona reconocer lagunas en ese entendimiento o bien formar nuevas conexiones con conocimientos previamente adquiridos, pero desconectados momentáneamente de la estructura lógica y coherente del actual esquema de dialogo.

Lemke [29] propone un **análisis simultáneo semántico y sociocultural del lenguaje dentro del aula**. Le interesa la forma en que los significados ocultos se unen e interactúan. Las ideas y los conceptos adquieren sentido en virtud de sus relaciones particulares con algunas ideas y no con otras. Si experimentamos el discurso en la mente como dialógico o multi-vocal, creamos dentro de nuestras mentes un espacio semiótico que está configurado por interpretaciones o imágenes alternativas. En este espacio semiótico tenemos libertad de crear nuestras propias deducciones e interpretaciones. En cambio, cuando el alumno trata al profesor o las palabras **del texto como algo unívoco y autoritario, se excluyen la comprensión y el razonamiento sobre las palabras**. Al descubrir que el discurso puede ser multi-vocal y al aprender a traducir de un género a otro, el alumno desarrolla la capacidad de razonar sobre el discurso y crea una rica comprensión que es el producto de este razonamiento metalingüístico.

Existen estudios que enfatizan en la importancia de las **discusiones de clase** para desarrollar un lenguaje, para hablar acerca de ideas científicas, para hacer explícito el pensamiento de los estudiantes al profesor y al resto de la clase, y para aprender a desarrollar una línea de argumentación donde se usa lo que uno ha aprendido para resolver problemas y explicar fenómenos y observaciones *Bransford D. John, et al.* [46]. Si, por ejemplo, un alumno adquiere el conocimiento de un concepto porque el maestro le proporciona la información relevante, en la comprensión del alumno se incluirá la perspectiva dependiente y única de la relación entre profesor y alumno. Si, por otro lado, el alumno adquiere el conocimiento en el contexto de un **debate de aula** en el que se expongan, se expliquen y se **discutan diversas perspectivas**, la representación del esquema del alumno incorporará una red más amplia de relaciones sociales y lógicas. Esa enriquecida red define las dimensiones del espacio mental dentro del cual el alumno puede explorar creencias, argumentos y conclusiones alternativas, probarlas e interactuar con ellas. Es significativo señalar por último en lo que respecta al lenguaje como herramienta cognitiva del desarrollo de los estudiantes, la existencia de numerosos estudios que han demostrado que los alumnos no tienen necesidad de participar en los debates de aula para poder aprender de ellos (*Hughes*, [47]), y que el solo hecho de escuchar esos debates puede resultar más eficaz que atender a la explicación tradicional y directa del profesor dentro de un monólogo en el aula (*Nuthall y Church*, [48]).

Por otra parte, en relación al papel de los estudiantes como **agente social** del desarrollo cognitivo, *Vygotsky* [3] también hace énfasis en el papel activo de los alumnos, proporcionando la idea de una zona de desarrollo proximal y la define como la distancia entre el nivel de desarrollo real determinado por la solución de problemas en forma independiente y el nivel de desarrollo potencial determinado a través de la solución de problemas bajo la guía de un adulto, o en colaboración con pares más capaces. De esta definición se desprende el papel tan importante que pueden llegar a jugar los pares más capaces (padres, hermanos mayores y otros compañeros de aula), en cuestionar y extender los esfuerzos de los alumnos para entender, ya sea a través de las discusiones en clase o por la ayuda intencional que les puedan y quieran proporcionar. Esta línea de trabajo también ha contribuido a un entendimiento de la relación entre la enseñanza formal e informal y las situaciones de aprendizaje (*Lave y Wenger* [49], y la cognición distribuida a través de la gente y las herramientas, *Salomon* [50]).

Jean Lave en una serie de estudios clásicos (*Lave* [51], *Lave & Wenger* [49]) observó gente en las actividades habituales de sus vidas, ocupados en lo que para nosotros significaría “solución de problemas”, que sin embargo para ellos simplemente representaba una forma de participar en situaciones inmediatas, concretas, específicas y de relevante significado. Estas personas, funcionando en ambientes materiales dotados con significados culturales; representados directamente o con la mediación de herramientas físicas-culturales y sistemas de palabras materiales-culturales, signos u otros valores simbólicos. En estas actividades, las “cosas” contribuyen a las soluciones tanto como lo hacen las “mentes”; la información y el significado es codificado dentro de configuraciones de objetos, restricciones materiales, y posibles opciones ambientales, tanto como en rutinas verbales y formulas u operaciones “mentales”. Nuestra participación depende no solo de lo que otras partes nos hacen y viceversa, sino lo que estos hechos significan para nosotros. Los significados característicos de las cosas y sucesos varía de persona a persona, de contexto a contexto e incluso de una rutina repetida a otra, pero esto no puede variar mucho o en forma caprichosa, tal que los ambientes entre dos personas no puedan funcionar, ya que las actividades en diferentes contextos se acoplan para hacerse interdependientes, o bien las pretensiones distintas provenientes del mismo tipo de actividad son comparadas útilmente. Según *Lave*, dentro de estos ambientes **existen comunidades y redes de práctica** y actividades interdependientes así como continuidades y trayectorias de práctica, desarrollo y aprendizaje.

¿Qué significa aprender como participante en tal ambiente de gente, significados, y cosas? *Jean Lave* nos ha dado los comienzos de un modelo de **aprendizaje como participación en una “comunidad de práctica”** en la cual nos juntamos con otros individuos u objetos en sus hechos ambientales y sus actividades situadas significativas, como un **“participante periférico legítimo”** para llegar en esta forma a poder interactuar dentro de este ambiente como ellos lo hacen (*de forma experta*). **Nuestra actividad, nuestra participación y nuestra “cognición” están siempre delimitadas con la co-dependencia, la participación y la actividad de otros (ya sean personas, herramientas, símbolos, procesos, o cosas)**. Bajo este contexto, *Rogoff* [52] define también el aprendizaje como una función del cambio de papeles que se produce cuando una persona participa en una comunidad de novatos y se convierte en miembro experto de ella, es decir, el aprendizaje es un proceso de transformación de la propia participación, la cual representa el problema inmediato, y los cambios en la naturaleza de la actividad se producen mediante la progresiva participación del alumno.

El desarrollo del estudiante es un proceso que ocurre cuando éste tiene que identificar, comprender y manejar problemas o diversos tipos de actividades concretas. Por esta razón, **desde el punto de vista estrictamente social**, son los problemas o los tipos de actividad los que se deben convertir en unidad de análisis e interpretación, más que el alumno como individuo y sus características o destrezas individuales (de ahí la importancia en el desarrollo de estrategias organizativas que involucren no sólo aspectos cognitivos de individuos, sino también consideraciones de ambientes sociales, esto se aplicará en el modelo instruccional de la presente tesis, ver capítulo 4). Es entonces desde este punto de vista, que el énfasis se pone en el proceso de aprendizaje, y no en los resultados. Los proyectos nacen de los intereses de los propios alumnos, que aprenden a responsabilizarse de su propio aprendizaje y de las decisiones que toman. Es importante mencionar aquí, la

estrategia de aprendizaje que se presenta en el tema de interferencia luminosa (capítulo 3). Los estudiantes, siguiendo una fase de preparación observan el patrón de interferencia (experimento de *Young*), y se les plantea la siguiente pregunta ¿explica de qué parámetros depende el poder observar el patrón de interferencia?. Organizados en pequeños grupos, los alumnos formulan preguntas o hipótesis, realizan experimentos y los reportan con el propósito de dar respuesta a la pregunta planteada, para lo cual se les permite manejar libremente el láser y un blanco (ranura doble), siguiendo siempre las medidas de seguridad establecidas con anterioridad.

La evaluación del progreso se realiza con la participación de los alumnos (mediante una evaluación entre ellos mismos de las intervenciones significativas) y no con medios externos. Las relaciones de poder y control se sustituyen por otras en que adultos y alumnos se consideran sobre todo aprendices dispuestos a ayudarse mutuamente a alcanzar sus metas educativas. Los adultos actúan de “facilitadores” y no de autoridades. El profesor guía y apoya a los estudiantes conforme ellos exploran problemas y definen preguntas que son de interés para ellos. Una comunidad de práctica también provee apoyo directo cognitivo y social para los esfuerzos individuales del grupo. Los estudiantes comparten la responsabilidad para pensar y hacer. Ellos, distribuirían su responsabilidad para el éxito de un esfuerzo de grupo, en lugar de que la carga de administrar el proceso completo caiga en un solo individuo. En suma, podemos considerar que una comunidad de práctica puede ser un contexto poderoso para construir significados científicos. Al cuestionarse unos a otros pensamientos y creencias, los estudiantes deben ser explícitos acerca de sus significados; deben negociar conflictos en creencia o evidencia, y ellos deben compartir y sintetizar su conocimiento para lograr entendimiento (*Brown and Palincsar*, [53]; *Inagaki and Hatano*, [54]).

Un interés primordial en esta propuesta educativa, se centra en **adaptar el modelo de escuela como comunidad constructora de conocimiento**, propuesto por *Scardamalia y Bereiter* [55], al contexto del bachillerato, para lo cual a continuación consideraremos varias características que definen a este modelo: i) sugiere continuidad con las otras comunidades de construcción de conocimiento que existen más allá de las escuelas, ii) el termino “construir” implica que la comunidad del salón de clases trabaja para producir conocimiento – un producto colectivo y no meramente un reporte sumario de lo que esta en mentes individuales o una colección de producciones de un grupo de trabajo. En este modelo de comunidad escolar, cuando se habla de colegios como comunidades constructoras de conocimiento, se pretende decir escuelas en las cuales la gente es atraída para producir objetos de conocimiento que, aunque mucho más modestos que la teoría de *Newton* por ejemplo, éstos se ofrezcan para ser criticados, cuestionados, discutidos, probados, etc. En estas comunidades los estudiantes ven como su trabajo principal producir y mejorar tales objetos. Reestructurar las escuelas como comunidades constructoras de conocimiento significa, para el propósito del modelo, obtener los esfuerzos de la comunidad dirigidos hacia **procesos sociales** ayudando a mejorar estos objetos. Por lo dicho anteriormente, es importante **fomentar un ambiente favorable para la discusión en el salón de clases** para desarrollar este modelo de construcción de conocimiento (en particular científico), requiriéndose un análisis particular de lo que significa discutir para construir conocimiento, las **características** de tal discurso se derivan de analogías con

grupos trabajando a la vanguardia de sus campos, y son divididas a groso modo en las siguientes tres categorías:

- 1. El enfoque sobre problemas y profundidad de entendimiento.** Por ejemplo, una anotación de discusión estimula a los estudiantes a formular sus investigaciones a la luz de un problema en lugar de un tópico y sus interacciones a la luz de afirmaciones de la teoría e información necesaria para avanzar esa teoría. La anotación alienta comentarios *Hewitt & Webb*, [56].
- 2. Medios ambientes descentralizados y abiertos para el entendimiento colectivo.** Se tienen dos características en esta categoría, la primera es que la información, en principio, debe fluir libremente entre los participantes sin tener que pasar por una autoridad central, y la segunda que el conocimiento sería distribuido a través de los estudiantes, en lugar de esperarse que cada estudiante conozca las mismas cosas, por lo tanto estos pueden hacer intercambios más productivos de información. En términos prácticos, cuando un estudiante piense que tiene una nota o un razonamiento que hace una contribución al conocimiento, ésta debe franquear un proceso de revisión realizado por otros alumnos, con la autorización final del profesor.
- 3. Interacción productiva dentro de comunidades de construcción de conocimiento concebidas en general.** El equipo *Newport* cuenta con componentes ópticos y montajes, cuya capacidad de obtener datos confiables son comparables con los logrados en laboratorios de Centros de investigación Científica y Tecnológica, y Facultades de la UNAM, por lo que las fronteras del salón de clase (del bachillerato) pueden ser traspasadas, al experimentar intercambios de resultados, procedimientos, y notas, entre estudiantes jóvenes y estudiantes de mayor edad de esta institución.

2.4. ESTUDIOS SOBRE LA EXPERTICIA.

Uno de los supuestos que conservan los sujetos respecto a la naturaleza del conocimiento y acerca de la naturaleza del proceso de conocer, es el aspecto de las creencias acerca de la complejidad del conocimiento, que irían desde la creencia en el conocimiento discreto a la creencia en el conocimiento integrado en estructuras complejas *Hofer y Pintrich*, [57], en este apartado consideraremos el concepto de experticia como una manera de abordar el conocimiento integrado en estructuras complejas.

Marlene Scardamalia y Carl Bereiter [55] conjeturan que existe un proceso para arribar a la experticia, que consta particularmente en la solución progresiva de problemas, dirigiendo los problemas de un dominio a niveles crecientes de complejidad. El ámbito del ejercicio de la experticia para la solución progresiva de problemas está disponible generalmente sólo para el profesor. Las escuelas nunca han sido diseñadas con una concepción de experticia como un proceso que puede ser fomentado a todos los niveles de desarrollo. Todas ellas han sido construidas sobre una concepción de conocimiento primitiva que deja fuera la mayoría de lo que se requiere para convertirse en un experto. Al investigar una forma viable de escolarización, los pensadores educacionales han buscado modelos fuera de la escuela, las disciplinas eruditas prometen ser modelos para rediseñar

las escuelas, concibiendo a la experticia como un proceso progresivo de solución de problemas y el avance hacia los límites presentes de aptitud.

En las ciencias, el propósito es la redefinición de un problema a niveles de complejidad cada vez más altos, basado en un proceso fundamentalmente social. Los investigadores se benefician de los avances de otros, con un intercambio continuo de hallazgos, no solo entre científicos trabajando concurrentemente sino de generación en generación. Cabe plantearse aquí la siguiente pregunta: ¿puede un salón de clases funcionar como una comunidad constructora de conocimiento, similar a las comunidades profesionales constructoras de conocimiento que establecen el paso en sus campos?. Los investigadores están descubriendo o creando nuevo conocimiento, los estudiantes están aprendiendo solamente lo que hasta hoy se conoce. Sin embargo, generalmente es reconocido que los estudiantes construyen, al menos internamente, su propio conocimiento. Esto es realidad puesto que si estuvieron aprendiendo de libros y lecturas, ellos estuvieron adquiriendo conocimiento a través de la investigación (reportada ya en los textos). Por lo tanto, no hay razón patente de que la escolaridad no pueda tener el carácter dinámico de constructora de conocimiento científico, si existen obstáculos infranqueables, es entonces probable que sean estos de clase social o actitudinal, más que del tipo cognitivo. Las actividades experimentales (demostrativas, de aplicación tecnológica, de relación de variables, explicativas) contempladas en la propuesta instruccional, son apoyadas por estrategias de aprendizaje basado en problemas (ABP). Las investigaciones documentales y experimentales desarrolladas y seleccionadas por los estudiantes en primera instancia, serán la base de estudios futuros realizados por nuevos grupos de alumnos con el afán de avanzar en la solución de la problemática bajo consideración o hacia problemas más complejos.

Se tienen estudios de experticia que han enfocado su interés en el examen de las diferencias experto/novato en diferentes áreas del conocimiento. Desde los inicios de la década de los ochentas, *Chi, Feltovich y Glaser* [58] y *Chi, Glaser y Rees* [59], efectuaron algunos estudios con el fin de examinar el proceder de los individuos expertos y novatos cuando solucionan problemas de física. Al sintetizar los diversos experimentos de sus estudios, estos autores concluyen que las diferencias que caracterizan a los expertos y los novatos cuando resuelven problemas de física son las siguientes:

1. Las estructuras cognoscitivas (esquemas) de los expertos se basan en principios físicos (por ejemplo, el principio de conservación de la energía y la segunda ley de *Newton*), mientras que las de los novatos se basan en objetos (por ejemplo, plano inclinados) y en reflexiones sobre la realidad (por ejemplo, fricción, gravedad).
2. Los contenidos de los esquemas de los expertos y los novatos no difieren significativamente en información, sin embargo, las estructuras de los novatos carecen de relaciones importantes que constituyen la base de las soluciones. En los expertos existen vínculos entre la representación del problema y los principios físicos que constituyen la base para resolverlo, mientras que en los novatos estos vínculos no existen o bien están apenas débilmente formándose.
3. Las estructuras cognoscitivas de los expertos están ordenadas jerárquicamente, de arriba hacia abajo, con los conceptos más generales e inclusores en la parte superior del nivel de abstracción, mientras que en los novatos, los diferentes niveles del conocimiento no están bien integrados y no hay acceso fácil de un nivel a otro.

Varias de las características anteriores de los expertos al resolver problemas de física han dado pie al diseño de **estrategias instruccionales** que promueven la clase de comportamiento observado en expertos en la resolución de problemas, a continuación se presentan varios de los estudios realizados con algunas estrategias:

1. La primera reside en la enseñanza exitosa de cursos introductorios de física con una aproximación para resolver problemas, que inicia con un análisis jerárquico cualitativo de los problemas (*Leonard et al.*, [60]). Estudiantes de ingeniería no graduados fueron instruidos para escribir estrategias cualitativas para resolver problemas antes de intentar resolverlos (basados en *Chi et al.*, [58]). Las estrategias consistieron en una descripción verbal coherente de cómo un problema sería resuelto y contuvo tres componentes: el principio notable a ser aplicado; la justificación del porqué el principio fue aplicable; y los procedimientos para aplicar el principio. Esto es, “¿el qué?”, “¿el porqué?”, y “¿el cómo?” resolver el problema fueron explícitamente delineados. Comparado esto, con estudiantes que tomaron un curso tradicional sin esta instrucción, los estudiantes en el curso basado en la estrategia ejecutaron significativamente mejor la habilidad para categorizar problemas de acuerdo a los principios relevantes que serían aplicados para resolverlos.
2. Una estrategia útil para ayudar a los novatos a recordar conocimiento y resolver problemas se basa en estructuras jerárquicas. Por ejemplo, los novatos en física quienes han completado y recibido buenos créditos en un curso introductorio de física colegial fueron entrenados para generar un análisis de problemas llamado descripción teórica de problemas (*Heller and Reif*, [61]). El análisis consiste en describir problemas de fuerza en términos de conceptos y principios. Con tal aproximación, los novatos mejoraron sustancialmente en su habilidad para resolver problemas, aunque el tipo de descripción teórica del problema usado en el estudio no fue natural para novatos. Los principiantes sin entrenamiento en las descripciones teóricas generalmente no pudieron generar descripciones apropiadas por ellos mismos –aún en dados, problemas rutinarios imparciales. Destrezas, tales como la habilidad para describir un problema en detalle antes de intentar una solución, la habilidad para determinar qué información relevante entraría en el análisis de un problema, y la habilidad para decidir cuáles procedimientos pueden ser usados para generar descripciones y análisis de problemas, son usadas tácitamente por expertos pero raramente enseñadas explícitamente en cursos de física.
3. Otra aproximación ayuda a los estudiantes a organizar el conocimiento imponiendo una organización jerárquica en la ejecución de diferentes tareas en física (*Eylon and Reif*, [62]): estudiantes quienes recibieron un argumento particular de física que fue organizado en forma jerárquica ejecutaron mejor varias tareas de recuerdo y resolución de problemas, que sujetos que recibieron las mismas estrategias organizadas no jerárquicamente. Por lo tanto, auxiliar a los estudiantes a **organizar su conocimiento** es tan importante como el conocimiento mismo, puesto que la organización de conocimiento afecta probablemente la ejecución intelectual de los estudiantes.

La propuesta instruccional que se desarrolla en detalle en el capítulo 3 para la materia de Óptica, será organizada desde una visión experta, al girar los conceptos básicos acerca del ente físico de “la luz”, en torno a los principios de *Huygens* y de superposición de ondas. Esto permite profundizar en el estudio de los fenómenos ópticos de polarización e interferencia, y en particular en el fenómeno de difracción al explicar el patrón correspondiente obtenido en una pantalla. Es importante hacer notar que el **organizar secuencias para desarrollar habilidades cognitivas** en los estudiantes con un enfoque en la resolución de problemas, siguiendo el tipo de ejecución observada en expertos, es decir, en base a principios físicos, redundará en un aprendizaje con entendimiento de la física (caso: óptica), específicamente a través del modelaje por parte del profesor de estrategias cognitivas, por ejemplo, mediante la explicación y deducción de las relaciones matemáticas involucradas en algún fenómeno físico (óptico), para que de manera gradual el alumno desarrolle independientemente estas habilidades cognitivas. Por otro lado, las **actividades experimentales** en el diseño juegan un papel central, alrededor del cual se planifican las acciones complementarias en el mismo salón de clases (que juega el papel dual **aula-laboratorio**, en el C.C.H.-UNAM) para intentar lograr entendimiento en los estudiantes de los conceptos físicos y teorías científicas involucrados por medio de la experimentación, y utilizarlos para comprender algunos de los fenómenos ópticos cotidianos. En relación al enfoque socio-cognitivo de dicha planeación, esta tiene como método principal la discusión y el lenguaje en la construcción de la ciencia escolar.

2.5 REFERENCIAS.

1. *Tiberghien Andrée, Jossem E. Leonard, Barojas Jorge.* Conectando la investigación en la educación en física con la educación del profesor. Un libro I. C. P. E. Comisión internacional en educación en física 1997,1998.
2. *Piaget, J.* El origen de la inteligencia en los niños. M. Cooks, trans. Nueva York: Prensa Internacional de Universidades, 1952.
3. *Vigotsky, L. S.* La mente en la sociedad: El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Cambridge, MA: Prensa Universitaria de Harvard, 1978. (Originalmente publicado en 1930, Nueva York: Prensa Universitaria de Oxford).
4. *Scardamalia, M., & Bereiter, C.* Apoyo computacional para comunidades de construcción de conocimiento. La revista de las ciencias del aprendizaje, 3(3), 265-283, 1994.
5. *Brown, D.* Usando ejemplos para remediar concepciones erróneas en física: Factores que influyen en el cambio conceptual. Revista de investigación en la enseñanza de la ciencia 29: 17-34, 1992.
6. *Brown, D., J. Clement.* Superar las concepciones erróneas vía el razonamiento analógico: Factores que influyen en el entendimiento en un experimento de enseñanza. Ciencia instruccional 18: 237-261, 1989.
7. *Clement J.* Usando analogías puente e intuiciones ancla para tratar las preconcepciones en física de los estudiantes. Revista de investigación en la enseñanza de la ciencia 30(10): 1241-1257, 1993.
8. *Bereiter, C., & Scardamalia, M.* Aprendizaje intencional como un propósito de instrucción. En *L. B. Resnick* (editor), Conociendo, Aprendiendo, e Instrucción: Ensayos en honor a *Robert Glaser* (pags. 361-392). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
9. *Wellman, H. M.* La teoría de la mente de los niños. Cambridge, MA: Prensa MIT. 1990.
10. *Wellman H. M. y A. K. Hickey.* La "I" de la mente: Las concepciones de los niños de la mente como un agente activo. Desarrollo del niño 65: 1564-1580, 1994.
11. *Gelman, S. A.* El desarrollo de la inducción dentro de la clase natural y categorías de artefacto. Psicología cognitiva 20: 65-95, 1988.
12. *Gopnik, M.* Gramática de característica ciega, dysphasia. Naturaleza. 344:615, 1990.
13. *Dweck C., y E. Leggett.* Una aproximación socio-cognitiva a la motivación y a la personalidad. Revista Psicológica 95: 256-293, 1988.
14. *Resnick, L. B., y S. Nelson-LeGall.* Inteligencias socializantes. En Piaget, Vigotsky y más allá: Cuestiones futuras para la Psicología desarrolladora y la educación, L. Smith, J. Dockrell y P. Tomlinson. Editores. Londres, El Reino Unido: Routledge, 1998.
15. *Gardner, H.* Estados de Animo, Nueva York: Libros Básicos, 1983.
16. *Gardner, H.* La Mente sin Instrucción: Como Piensan los Niños, y Como las Escuelas Enseñarían. Nueva York: Libros Básicos, 1991.
17. *Mead Carver,* Sistemas neuronales y analógicos VLSI, Instituto de tecnología de California, Addison-Wesley, 1989.
18. *Newell, A., J. C. Shaw, H. A. Simon.* Elementos de una teoría de la solución de problemas humanos. Revista Psicológica 65: 151-166, 1958.

19. *Atkinson, R., & Shiffrin.* La memoria Humana: Un sistema propuesto y sus procesos de control. En K Spence & J Spence (Eds.). La Psicología del aprendizaje y la motivación: Avances en investigación y teoría (Vol. 2). Nueva York: Prensa Académica, 1968.
20. *Craik, F., & Lockhart, R.* Niveles de procesamiento: Un marco para la investigación de la memoria. *Revista de pensamiento verbal y comportamiento verbal*, 11, 671-684, 1972.
21. *Bransford, J.* La cognición Humana: Aprendizaje, entendimiento, y recuerdo. Belmont, CA: Wadsworth, 1979.
22. *Rumelhart, D., & McClelland, J.* (Eds.). Procesamiento Paralelo distribuido: Exploraciones en la microestructura de la cognición. Cambridge, MA: Prensa MIT. 1986.
23. *Hiebert, J., y Carpenter, T. P.* Aprendizaje y enseñanza con entendimiento. En *D. A. Grouws* (Ed.) Manual de investigación en el aprendizaje y enseñanza de las matemáticas (pags. 65-97). NCTM, Nueva Cork: Macmillan.
24. *Huitt, W.* La aproximación del procesamiento de la información a la cognición. *Psicología educativa interactiva*. Valdosta, GA: Universidad Estatal de Valdosta, 2003.
25. *Hodgking, A. L., Huxley, A. F. y Katz, B.* Medición de las relaciones corriente-voltaje en la membrana del axón gigante de Loligo. *Revista de fisiología* 116:424, 1952a.
26. *Shepherd, G. M.* La organización sináptica del cerebro. Segunda edición, Nueva York: Prensa de la Universidad de Oxford, 1979.
27. *Freud, S.* (1912p). Una nota sobre el inconsciente. S. E. 12.
28. *Freud, S.* (1915c). El inconsciente. S. E. 14.
29. *Lemke J.L.,* Cognición, Contexto, y Aprendizaje: Una perspectiva semiótica social. Escuela de Educación, Colegio de Brooklyn, Nueva York, USA.
30. *Chase, W.G., and H.A. Simon.* La percepción en el ajedrez. *La psicología cognitiva* 1:33–81, 1973.
31. *Chi, M.T.H., P.J. Feltovich, and R. Glaser.* Categorización y representación de problemas de física por expertos y novicios. *Ciencia Cognitiva* 5:121–152, 1981.
32. *deGroot, A.D.* Pensamiento y elección en el ajedrez. The Hague, Holanda: Mouton, 1965.
33. *Biddle Bruce J., Good Thomas L., Goodson Ivor F.* La enseñanza y los profesores II. La enseñanza y sus contextos. Temas de educación, Paidós. *Nuthall Graham*, el razonamiento y el aprendizaje del alumno en el aula. Universidad de Canterbury.
34. *Hewson Peter W., Beeth Michael E., Thorley Richard N.* Enseñando para el cambio conceptual. Universidades de Wisconsin en Madison y la estatal de Ohio en Columbus, y la Escuela Harley en Rochester, USA.
35. *Hewson, P. W.* “Instrucción para el cambio conceptual”, artículo presentado en la reunión anual de la asociación nacional para la investigación en la enseñanza de la ciencia, Fontane, WI. 1991.
36. *Hewson, P. W. & Thorley, N. R.* “Las condiciones del cambio conceptual en el salón de clases, *Revista internacional de educación en ciencia* 11, 541-553, 1989.

37. *Gunstone, R. F.* “La importancia del contenido de ciencia específico en el mejoramiento de la metacognición”, en P. Fensham, R. Gunstone & R. White (editores), *El contenido de la ciencia: Una aproximación constructivista a su enseñanza y aprendizaje*, Prensa Falmer, Londres, 131-146, 1994.
38. *Scott, P.* “El proceso de cambio conceptual en ciencia: un caso de estudio del desarrollo de las ideas secundarias de los alumnos relacionadas a la materia”, en *J. D. Novak* (editores), *Actas del segundo seminario internacional: Concepciones erróneas y estrategias educacionales en ciencia y matemática*, Universidad de Cornell, Ithaca, N. Y. 404-419, 1989.
39. *Perkins, D.* *Escuelas inteligente: De memorias de entrenamiento a mentes educadoras*. Prensa libre, Nueva York.
40. *Strike Kennet A. y Posner George J.*, *Una teoría revisionista del cambio conceptual*. Filosofía de la ciencia, psicología cognitiva, y teoría y practica educacional, prensa de la Universidad estatal de Nueva York.
41. *Kuhn, T. S.* *La estructura de la revolución científica* (segunda edición). Chicago: Prensa de la universidad de Chicago, 1970.
42. *Scott P. H., Asoko H. M., Driver R. H.* *Enseñanza para el cambio conceptual: Una revisión de estrategias*.
43. *Flores T. J. L. y EBAPS*, *Cuestionario diagnóstico (3)*. La óptica (interacción luz-materia), las creencias epistemológicas sobre el conocimiento, y las teorías de la mente y la inteligencia.
44. *Clement J.* “Tratando con las preconcepciones de los estudiantes en mecánica”, en *J. D. Novak* (editores), *Actas del tercer seminario internacional sobre las concepciones erróneas y estrategias educacionales en ciencia y matemática, custodia de concepciones erróneas*, Ithaca, N. Y. (acceso electrónicamente en el sitio de la red <http://www2.ucsc.edu/mlrg/mlrgarticles.html>).
45. *Pea, R. D.* *Viendo lo que construimos juntos: Ambientes de aprendizaje multimedia distribuida*. *Revista de las ciencias del aprendizaje* 3(3), 285-299. *Lawrence Erlbaum Associates, Inc.*, 1994.
46. *Bransford D. John, Brown L. Ann, Cocking R. Rodney*, Editores. *Como aprende la gente: Cerebro, Mente, Experiencia, y Escuela*. Academia Nacional de Ciencia, Washington, 1999.
47. *Hughes, D. C.*, “Una investigación experimental de los efectos de la respuesta del alumno y la reacción del profesor sobre el logro del alumno”, *Revista Americana de Investigación Educativa*, n° 10, 1973, págs. 21-37.
48. *Nuthall G. A. y Church, R. J.* “Estudios experimentales del comportamiento en la enseñanza” en *G. Chanan* (comp.), *hacia una ciencia de la enseñanza*, *Slough, Berks*, Fundación Nacional para la Investigación Educativa, 1973, págs. 9-25.
49. *Lave, J., & Wenger, E.* *El aprendizaje situado: La participación periférica legítima*. Cambridge, Inglaterra: Prensa de la Universidad de Cambridge, 1991.
50. *Salomon, G.* *No hay distribución sin la cognición de los individuos: Un visión interaccional dinámica* en *G. Salomón* (Ed.), *cogniciones distribuidas* (Págs. 111-138) Nueva York, Prensa Unida de Cambridge, 1993.
51. *Lave, J.* *La cognición en la práctica*. Cambridge, Reino Unido. Prensa de la Universidad de Cambridge. 1988.
52. *Rogoff, B.* *Aprendizaje en el pensamiento: Desarrollo cognitivo en el contexto social*, Nueva York: Oxford University Press, 1990.

53. *Brown A. L., y A. S. Palincsar.* Guiado, aprendizaje cooperativo, y adquisición individual de conocimiento. Págs. 393-451 en *conocer, aprender e instrucción: Ensayos en honor de Robert Glase, L. Resnick*, cd. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1989.
54. *Inagaki K., y G. Hatano.* Personificación espontánea de los niños jóvenes como analogía. *Desarrollo del niño* 58: 1013-1020, 1987.
55. *Scardamalia, M., & Bereiter, C.* Apoyo con computadora para comunidades constructoras de conocimiento. *La revista de las ciencias del aprendizaje*, 3(3), 265-283, 1994.
56. *Hewitt, J., & Webb, J.* Diseños para alentar el discurso en el sistema OISE CSILE. Sesión de posters conducido en la conferencia ACM de factores humanos en sistemas computacionales (CHI '92), Monterey, California.
57. *Hofer, B. y Pintrich, P.* El desarrollo de las teorías epistemológicas: Creencias acerca del conocimiento y el conocer y su relación para aprender. *Resumen de investigación educacional*, 67(1), 88-140.
58. *Chi, M.T.H., P.J. Feltovich, and R. Glaser.* Categorización y representación de problemas de física por expertos y novatos. *La ciencia cognitiva* 5:121-152, 1981.
59. *Chi, M. T. H., R. Glaser y E. Rees.* Experticia en la resolución de problemas en *Avances de la Psicología de la Inteligencia Humana* (Vol. 1). R. J. Sternberg, ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1982.
60. *Leonard, W. J., R. J. Dufresne, y J. P. Mestre.* Usando estrategias de resolución de problemas cualitativo para destacar el papel del conocimiento conceptual en resolver problemas. *Revista Americana de Física* 64: 1495-1503, 1996.
61. *Heller, J. L. y F Reif.* Prescribiendo procesos efectivos de resolución de problemas humanos: Descripción de problemas en física. *Cognición e instrucción* 1: 177-216, 1984.
62. *Eylon, B. S. y F. Reif.* Efectos de la organización del conocimiento en el desempeño de tareas. *Cognición e instrucción* 1:5-44, 1984.

CAPÍTULO 3.

DESARROLLO DE UN MODELO INSTRUCCIONAL DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE BASADO EN UN ENFOQUE INTEGRADOR PARA LA UNIDAD DE FÍSICA IV (SISTEMAS ÓPTICOS) DEL C.C.H.-UNAM.

Dado que el contenido de los capítulos que preceden establece la fundamentación y el marco teórico para orientar el modelo de diseño instruccional, en la medida en que se exponga la propuesta de este capítulo, se hará referencia a los diferentes aspectos conceptuales tratados con anterioridad. En el presente capítulo se tiene como objetivo el **desarrollo del diseño instruccional para la enseñanza-aprendizaje de Óptica-Física a nivel medio superior, siguiendo un modelo integrador**. Este modelo se compone de seis pasos o etapas que a su vez, contienen varias tareas que se corresponden con procedimientos particulares. El primer paso se refiere a la delimitación del problema que intenta resolver el modelo, correspondiéndole la sección 3.1, esta problemática prioritaria da paso en la sección 3.2 a la estipulación de las directrices particulares para la propuesta instruccional de enseñanza-aprendizaje de física, en particular de la óptica. Posteriormente, y siguiendo las directrices anteriores en la sección 3.3 se plantea los contenidos y objetivos generales (parte importante del diseño que no se debe perder de vista al practicar las tareas encomendadas en el salón de clase y laboratorio), a continuación en la siguiente etapa (sección 3.4) se realiza una organización operativa de los contenidos, dentro del mismo paso y en base a la estructura ya determinada de estos, se procede a la tarea de identificar los temas para la unidad y a desglosar sus contenidos y objetivos particulares. Finalmente en las secciones 3.5, y 3.6 se presentan las estrategias elegidas así como las tareas particulares para cada uno de los temas, penúltima y última etapa del diseño didáctico respectivamente.

3.1 SÍNTESIS Y ACOTAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA EDUCATIVA EN MÉXICO, A RESOLVER MEDIANTE DE UN MODELO INSTRUCCIONAL.

En los capítulos anteriores, se describió a la enseñanza tradicional como un proceso centrado en el profesor y en el contenido de la asignatura misma, así como a la problemática que esto presenta para el proceso enseñanza-aprendizaje en el nivel medio superior en un país como México, donde diversos factores socio-culturales enmarcan características especiales que a su vez dan pauta al desarrollo de ciertas directrices bien definidas que delinean el cómo poder atacar dichos obstáculos para mejorar el sistema de enseñanza-aprendizaje en áreas científicas, particularmente en ciencias exactas (caso: Óptica-Física). Por otra parte, el estudio de diversas teorías psico-pedagógicas y de entorno social da pie al desarrollo de estrategias y modelos que permiten dirigir el desarrollo de actividades educacionales en ambientes definidos con el objeto de mejorar rendimientos y comportamientos (eficiencias) en procesos de enseñanza-aprendizaje. A continuación, en la tabla 3.1, se resumen las problemáticas identificadas referentes tanto al profesor como al alumno, que se presentan en procesos de enseñanza-aprendizaje de profesores-aprendices inmersos particularmente en el ambiente socio-cultural de un país como México.

Asimismo, se delimitan las condiciones ideales, basándose en un análisis profundo de las problemáticas planteadas y de las teorías psico-pedagógicas y de entorno social adaptadas a un modelo integrador, que se deberían tener en un sistema de enseñanza-aprendizaje que intenta obtener un mejor aprovechamiento en sus actividades respectivas.

Tabla 3.1: Resumen de evaluación de problemáticas que presenta la situación educativa en México y la expectativa de mejora. Se siguen los puntos expuestos en la sección 1.3. (ver ordenamiento). Evaluación obtenida de la observación en el salón de clases e investigaciones.

CONDICIÓN ACTUAL	CONDICIÓN IDEAL REQUERIDA
<ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al profesor:</u> <p>(a) (i) En general simplemente ejecuta programas de enseñanza. (asume un papel como recitador de planes de estudio).</p> <p>(ii) Diseña estrategias en base a los contenidos disciplinares, sin tomar en cuenta las necesidades particulares del estudiante.</p> <p>(d) Presenta problemas para atender intencionalmente a los estudiantes con reticencia en el aprendizaje de asignaturas de ciencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al profesor:</u> <p>(a) (i) Se demanda que asuma responsabilidad de su propia epistemología y que cuestione la clase de relación entre el conocimiento que promueve (proveniente de planes de estudio) y el enriquecimiento que este podría proporcionar a la enseñanza, basado en sus propias estrategias.</p> <p>(ii) Se requiere que adquiera un papel menos “central” en el proceso de enseñanza-aprendizaje, y no ser solo transmisor de información.</p> <p>(d) (i) Debe dar mayor peso a las sugerencias de los estudiantes en el momento de tomar decisiones sobre las prácticas en el aula.</p> <p>(ii) Se requiere que entienda las creencias de los alumnos en relación a su potencial de aprendizaje, y los auxilia a desplegar todo ese potencial.</p> <p>(iii) Se demanda prestarle ayuda a los estudiantes en la formación de visiones científicas con más sentido para ellos.</p>

<ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al estudiante:</u> <p>(b) Profesa un fuerte individualismo (egocentrismo).</p> <p>(c) Está poco instruido e interesado en el aprendizaje y la cultura de la ciencia y la tecnología.</p> <p>(d) Manifiesta una visión negativa de la física, respecto a su utilidad, al no relacionarlo con su vida cotidiana ni su futura profesión.</p> <p>(e) En general presenta un papel pasivo en el desarrollo de las actividades escolares relacionadas con la ciencia.</p> <p>.</p> <p>(f) Mantiene un conocimiento escaso o nulo de creencias epistemológicas.</p> <p>(g) (i) Teme enfrentar temáticas científicas.</p> <p>(ii) Desinterés y falta de entendimiento de los fundamentos físicos de la luz y del láser.</p> <p>Tabla 3.1, continuación...</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al Estudiante:</u> <p>(b) Se pretende que conozca y practique estrategias organizativas a través de un modelo de aprendizaje como el de participación en una comunidad de práctica.</p> <p>(c) Se requiere que conozca y practique estrategias cognitivas, particularmente la comprensión de principios físicos y de las potenciales aplicaciones en la vida cotidiana en que estos repercuten (en particular en aspectos tecnológicos).</p> <p>(d) Se busca que consiga entender tanto la estructura de la actividad científica, como la aplicabilidad de esta en la vida cotidiana y su interdisciplinariedad.</p> <p>(e) Se pide que cambie el papel pasivo mostrado, a uno activo, incrementando sus participaciones en el aula, guiadas en gran medida por el pensamiento científico. Todo esto dentro del marco de una comunidad de práctica escolar, la cual podría estar interconectada con otras comunidades profesionales.</p> <p>(f) Se necesita que conozca y reflexione sobre sus propias visiones del origen y estructura del conocimiento, y su relación con la experiencia cotidiana.</p> <p>(g) (i) Se requiere que active sus conocimientos previos sobre el concepto de aprendizaje.</p> <p>(ii) Se pide un dominio real de conocimientos científicos, motivando al estudiante por medio de la visualización de diversas aplicaciones tecnológicas.</p>
--	--

<p>(iii) Presenta problemas para comprender, en general, los conceptos básicos inherentes a la física (óptica).</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al conocimiento:</u> <p>(h) La física utiliza aproximaciones matemáticas (modelos idealizados) para describir fenómenos naturales, estos modelos son apoyados por evidencias empíricas reproducibles.</p> <p>(i) La creencia en el conocimiento discreto, sin continuidad, es decir, los conocimientos sobre diferentes fenómenos naturales son pensados aisladamente sin conexiones entre sí.</p> <p>(j) Los conocimientos establecidos portan las representaciones de las posturas epistemológicas y las posiciones sociales de sus desarrolladores.</p>	<p>(iii) Se solicita que recurra a estrategias cognitivas para conectar los conceptos teóricos con prácticas experimentales con gran valor didáctico que facilitaran el aprendizaje real de conceptos y ecuaciones con “alto grado de dificultad”:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>En referencia al conocimiento:</u> <p>(h) (i) Se requiere entender las limitaciones de las teorías explicativas de los fenómenos físicos.</p> <p>(ii) Además se sugiere promover actividades de laboratorio para fomentar el conocimiento de la naturaleza del trabajo científico y el desarrollo de habilidades cognitivas en los estudiantes.</p> <p>(i) Se requiere organizar el conocimiento en jerarquías o relaciones (mapas conceptuales) y reforzar el flujo de ideas de unos conceptos hacia otros.</p> <p>(j) Se requiere de ambos, el profesor y el alumno, deben responsabilizarse por su propia epistemología y cuestionarse la clase de relación del conocimiento que ellos promueven con lo que dicen, hacen, y hacen hacer a otros.</p>
--	---

Tabla 3.1, continuación...final.

Con el afán de delimitar el problema a resolver en este trabajo, es decir de desarrollar un modelo instruccional para enseñanza-aprendizaje en áreas científicas que aplique en particular a la unidad IV del C.C.H.-UNAM y en general (en mayor o menor grado) al bachillerato en México, se evaluó la síntesis de la problemática planteada en la situación educativa del país, y siguiendo un **enfoque integrador** de las entidades **del triángulo didáctico**, se decidió que los **problemas prioritarios o metas a resolver** a los que se dirigirá el desarrollo de este trabajo son:

1. En relación al profesor, la **falta de una planeación de la instrucción**, que en forma deliberada atiende a los estudiantes renuentes a estudiar asignaturas de carácter científico.

2. Respecto al estudiante, la mayoría de ellos **presentan un papel indiferente** en las actividades desarrolladas dentro del salón de clases.
3. El problema concerniente a la **creencia del conocimiento científico discreto**.

3.2 PLANTEAMIENTO DE LAS DIRECTRICES ESPECÍFICAS PARA EL MODELO INSTRUCCIONAL DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.

Considerando las problemáticas prioritarias antes expuestas, procedemos a determinar las **directrices particulares** para una propuesta de la enseñanza-aprendizaje (modelo instruccional) de la física, particularmente de la óptica aprovechando el potencial práctico-experimental que ofrece la unidad de enseñanza *Newport* a nivel bachillerato (véase el apéndice A-1 para una descripción detallada del equipo contenido en este *Kit* de enseñanza):

1. Entendiendo que hay muchas formas de aprender, el diseño didáctico se enfocará en las **múltiples formas de inteligencias o “inteligencias múltiples”** [1-2], con el propósito de idear un currículo que atienda simultánea y directamente a ciertos grupos menos hábiles (o con diversos potenciales de aprendizaje o de comunicación), y poder así abarcar el mayor número de formas de como una gran diversidad de estudiantes que entienden y asimilan conocimiento.
2. Se proporcionará a los estudiantes formación en el área de la física (subdisciplina: óptica), que promueva su papel de **estudiante activo** y su desarrollo cognitivo en conexión con contenidos específicos y medios materiales, con la intención de que puedan establecer propósitos, planes y revisiones, y adquirir estructuras de conocimiento organizado, práctico y relacionado, además de estrategias para recordar, entender, y resolver problemas, que les auxilie a afrontar exitosamente las complicaciones de la vida contemporánea.
3. **Se promoverá la función del salón de clases como una comunidad escolar**, en la que la **discusión y debate de construcción de conocimiento** es apoyado como un propósito colectivo (enfocado por objetivos y propósitos comunes). La comunidad escolar fortalecerá las conexiones entre sus actividades y las actividades profesionales de otras comunidades de construcción de conocimiento para permitir a los estudiantes transitar con facilidad a lo largo de estas redes: comunidades estudiantiles, científicas (laboratorios de investigación), de ingeniería, y en su caso incluso en ambientes industriales.
4. Se promoverá el empleo de **principios físicos y procedimientos cognitivos y técnicas instruccionales estructuradas y jerarquizadas, descripciones teóricas de problemas, y desarrollo de destrezas experimentales (prácticas)** que propicien: **a)** aproximaciones para resolver problemas, **b)** el aprendizaje de la física con entendimiento, **c)** el desarrollo de habilidades para describir un problema y para determinar la información relevante que entra en el análisis de éste, así como **d)** el desarrollo de habilidad para decidir que procedimientos y conocimientos pueden ser usados para generar descripciones, análisis, representaciones reales (experimentales) de problemas y finalmente lograr soluciones por rutas estructuradas.

Al descubrir que el discurso puede ser multi-vocal y al aprender a traducir de un genero a otro, el alumno desarrolla la capacidad de razonar sobre el discurso y crea una rica comprensión que es el producto de este razonamiento metalingüístico. En general de acuerdo a lo estudiado en el capítulo 2 y lo aplicado en las prácticas docentes (PD I-III, que se desglosarán en el capítulo 4), se practicará en el salón de clases un **modelo de discurso (plural)** en una comunidad constructora de conocimiento, este contexto se caracteriza por hacer énfasis en las siguientes tres categorías:

1. El enfoque sobre problemas y profundidad de entendimiento.
2. Medios ambientes descentralizados y abiertos para el entendimiento colectivo.
3. Interacción productiva dentro de comunidades de construcción de conocimiento concebidas en general (en cualquier ámbito de la sociedad).

Se trabajará también un sistema de enseñanza-aprendizaje que desarrolle en los estudiantes su **cognición a través de la comprensión de los contenidos disciplinares de Óptica-Física**, mediante:

- La estimulación de la participación activa del alumno.
- El profesor acepta y utiliza las ideas de los estudiantes.
- El profesor reconoce e interpreta las impresiones e ideas de los estudiantes cuando es necesario para mantener el progreso de la clase.
- Los estudiantes se involucran en el establecimiento de propósitos de aprendizaje.
- El uso de estrategias cognitivas como medios de enseñanza.
- La ejecución de un análisis conceptual de los problemas, basado en una jerarquía de principios y procedimientos que serían aplicados para resolverlos.

Todo lo anterior, basado siempre en la aplicación de los conocimientos adquiridos en el aula y en el **desarrollo de prácticas de laboratorio** que reforzarán y profundizarán las nociones adquiridas por el estudiante. Se espera, que esta última estrategia tenga un gran impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje de temas concernientes a la física, dado que ésta es una ciencia considerada y fundamentada como una ciencia experimental [3].

La problemática y las directrices específicas dadas anteriormente, establecen el patrón para instaurar los ámbitos de aprendizaje de temáticas relacionados con la física, en particular en el área de la óptica, como se mencionó en la parte introductoria de esta tesis, que ha sido considerada de gran relevancia por su actualidad en el desarrollo de tecnologías de punta observadas y aplicadas en la vida cotidiana dentro de las sociedades occidentales. Es por ello que se tomará amplia ventaja de la serie de **unidades de aprendizaje en óptica NewPort**, para desarrollar el **modelo de enseñanza-aprendizaje** propuesto en base de un **modelo integrador** de las ideas desarrolladas con fundamentos teóricos tomadas de estudios sobre la experticia, el procesamiento de la información y el cambio conceptual [4-6], que se encuadra en la adquisición de:

- Procedimientos y destrezas **MENTALES y EXPERIMENTALES**.
- Obtención de información y conocimiento.
- Actitudes: pluralidad de opiniones, discusión y aprendizaje colectivo.

Como se explico en el capítulo anterior, se ha observado que estudiantes quienes recibieron un argumento particular de física que fue organizado en forma jerárquica ejecutaron mejor varias tareas de recuerdo y resolución de problemas, que sujetos que recibieron las mismas estrategias organizadas no jerárquicamente. El modelo a desarrollar se definirá por la creación de un ambiente de aprendizaje que pondere las ideas de los estudiantes sobre el aprendizaje y la física (óptica), además del conocimiento y uso de estrategias cognitivas que promueva la clase de comportamiento en la resolución de problemas visto en especialistas, y tendrá la particularidad de una concepción *integrada* buscando una conexión entre los contenidos específicos y el desarrollo de capacidades integradas.

A continuación se investigan y analizan las temáticas y contenidos concernientes a la unidad a abordar para sustentar y dar origen a nuestro modelo instruccional-integrador.

3.3 ANÁLISIS Y PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS GENERALES Y DE CONTENIDOS A DESARROLLAR EN EL PRESENTE MODELO INSTRUCCIONAL-INTEGRADOR.

A partir del análisis del programa de física IV del C.C.H.-UNAM [7], podemos observar los distintos tipos de contenidos que deben enseñarse. Para esta propuesta se realizaron cambios importantes a los aprendizajes, estrategias, y temáticas del programa institucional, fundamentalmente en el sentido de que los contenidos disciplinares son una vía necesaria para la formación de capacidades en los alumnos. Es importante señalar aquí que la aproximación de la unidad sugerida gira alrededor del **concepto de la naturaleza ondulatoria de la luz**, más que alrededor de una visión basada en óptica geométrica y descripciones matemáticas de rutina. Dado que se trata de la primera y única unidad de óptica abordada en este colegio y debido al carácter formativo de la propuesta instruccional, sus contenidos deben presentar una introducción suficiente al conocimiento de los principios, los conceptos, y a las nuevas formas para introducir a los estudiantes a las temáticas científicas-experimentales, de tal manera que sea posible para **la mayoría de los individuos** desarrollar un entendimiento profundo de la óptica teniendo como base la teoría ondulatoria (la comunidad de práctica reforzará este entendimiento hacia todos los integrantes).

Por tales motivos, en primer término se construyó una **estructura conceptual de las temáticas** a estudiar para la unidad de óptica ondulatoria, conectada y organizada alrededor de la teoría electromagnética y de los principios de *Huygens* y de la teoría de superposición de ondas, con el objeto de entender la relación entre los **contenidos de enseñanza** y profundizar en el estudio del tema (véase diagrama 3.1). Esta estructura conceptual se adecua satisfactoriamente al plan establecido por el programa de física IV establecido por el C.C.H.-UNAM. Es importante señalar, la elección de la estrategia cognitiva de puente

(organizador previo) para abordar la teoría electromagnética en esta propuesta instruccional, puesto que se pretende relacionar la información nueva con los conocimientos previos de los estudiantes, principalmente sobre conceptos fundamentales como el de campo eléctrico y magnético, inducción electromagnética, radiación electromagnética; conceptos básicos para la enseñanza de la óptica, cabe mencionar que dichos conocimientos son abordados en las unidades: fenómenos electromagnéticos, y sistemas electromecánicos y electrónicos en los programas de física II y IV en el C.C.H.

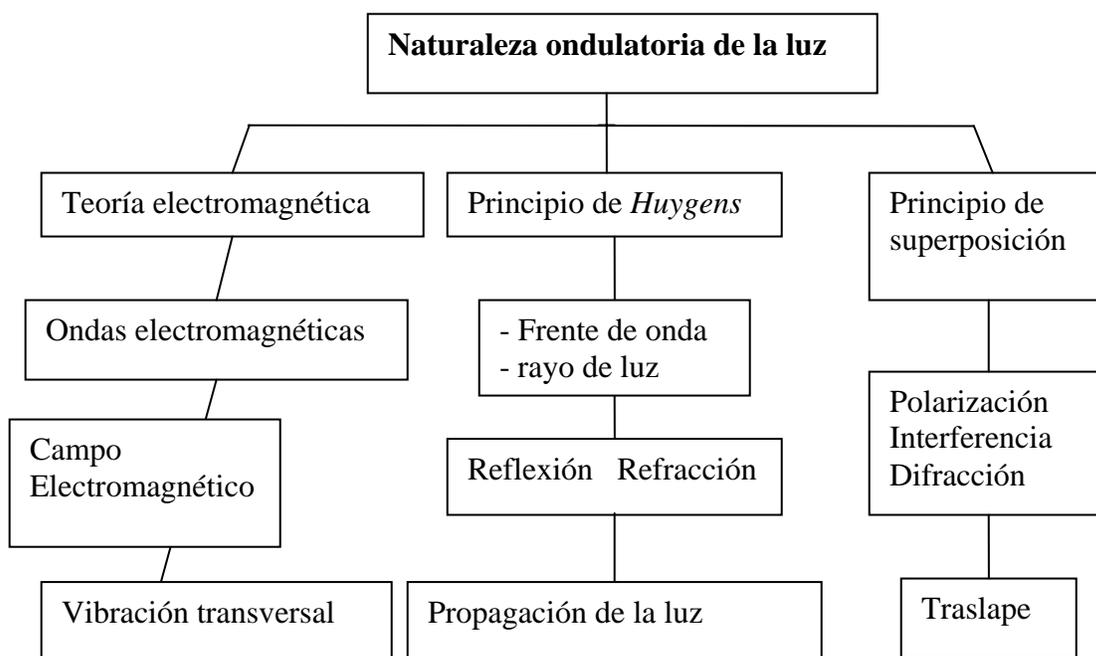


Diagrama 3.1: Estructura conceptual desarrollada para la unidad de óptica ondulatoria.

En segundo término, se hizo una revisión de la literatura sobre las teorías y datos que son relevantes para el desarrollo de nuevas formas de introducir a los estudiantes a las materias científicas [8-10], y considerando la **directriz de aprendiz activo**, se determinó que el proceso **iterativo** de construir teoría, crítica, y refinamiento basado en sus propias preguntas, hipótesis, y actividades prácticas conjuntamente con el análisis de datos experimentales; es el más propio para conocer y formar la estructura de la actividad científica en ellos.

En tercer término se clasificaron las temáticas de estudio en tres tipos de contenidos y en cada tipo de contenido se agruparon las diversas funciones correspondientes, más amplias e inclusivas. Los resultados de estas últimas consideraciones se presentan a continuación:

A) Contenidos Declarativos (Conceptuales):

1. Los principios fundamentales de la teoría ondulatoria de la luz.
2. El uso del tipo de equipo de laboratorio disponible.

3. La previa experiencia científica de los estudiantes en relación con la óptica (interacción luz-materia).
4. Las creencias epistemológicas sobre el conocimiento, y las teorías de la mente y de la inteligencia.

B) Contenidos Procedimentales:

1. La aplicación de diversas estrategias cognitivas.
2. La aplicación de procesos para formar la estructura científica de los estudiantes.
3. La aplicación de estrategias organizativas.
4. La aplicación de procedimientos de la investigación **experimental** en ciencias exactas.

C) Contenidos Actitudinales:

1. Los diversos tipos de disposiciones para adquirir capacidades a través de los contenidos declarativos y procedimentales, con el fin de describir el funcionamiento de varios dispositivos ópticos.
2. Los diversos tipos de disposiciones para participar en comunidades de aprendizaje dentro del debate y para desarrollarse como un aprendiz activo.

A continuación se reagrupan los diversos contenidos y sus funciones en forma tabular y se alinean (por letras, tabla 3.2) las interconexiones existentes entre ellos para reflejar las relaciones operacionales entre los tres diferentes tipos de contenidos. Esta reagrupación fue utilizada para buscar el verbo (palabra clave) adecuado que describe la acción o desempeño que se busca resolver/mejorar/lograr en cada contenido o función particular [10].

Tabla 3.2: Clasificación tabular de contenidos y sus interrelaciones operacionales (desglose detallado).

TIPO DE CONTENIDOS		
<i>A) Conceptuales o Declarativos</i>	<i>B) Procedimientos</i>	<i>C) Actitudes y valores</i>
<p>a) Conocimiento de estrategias que formen habilidades cognitivas para mejorar la ejecución en la resolución de problemas.</p>	<p>a) Aplicación de estrategias cognitivas que promuevan la clase de comportamiento observado en el experto al resolver problemas.</p>	<p>a) Motivación y aprecio por el uso de estrategias cognitivas.</p> <p>Disposición para la lectura y la redacción.</p>

<p>b) Conocimiento de los procedimientos de la investigación científica.</p> <p>c) El conocimiento de las habilidades requeridas para convertirse en un aprendiz activo.</p> <p>d) Conocimiento de técnicas instruccionales (hacer visible el pensamiento de los estudiantes, facilitar la habilidad de los estudiantes para reestructurar su propio conocimiento).</p> <p>e) Conocimiento de la función del salón de clases como una “comunidad escolar”.</p> <p>f) El conocimiento y entendimiento de las formas de aprender de los estudiantes.</p> <p>Tabla 3.2...final.</p>	<p>b) Aplicación de los procedimientos de la investigación científica.</p> <p>Desarrollo de destrezas experimentales.</p> <p>c) Adquirir estrategias para recordar, entender y resolver problemas.</p> <p>d) Aplicar técnicas instruccionales para enseñar óptica con comprensión.</p> <p>e) Aplicación de criterios para determinar el marco contextual del modelo de aprendizaje como participación en una “comunidad escolar”.</p> <p>f) Las ideas previas sobre: temas de óptica, creencias epistemológicas del conocimiento.</p>	<p>b) Aprecio por la función social de la ciencia y la tecnología.</p> <p>Valorar los aportes de la óptica en otras disciplinas</p> <p>c) Disposición para asumir un papel de estudiante activo.</p> <p>d) Motivación y aprecio por el uso de técnicas instruccionales.</p> <p>e) Motivación para hacer el trabajo que intenta la construcción de un conocimiento colectivo. Disposición para el trabajo en una comunidad escolar.</p> <p>f) Valorar la influencia que sobre su aprendizaje tienen sus creencias epistemológicas sobre el conocimiento y sus creencias sobre la inteligencia y el aprendizaje.</p>
--	--	--

En base al listado anterior y a su reagrupamiento tabular por letras, es posible formular de manera general objetivos en relación con los contenidos y funciones correspondientes, que establezcan una ruta para lograr **metas de aprendizaje** atendiendo a estos tres tipos de contenidos de manera simultánea. Los **objetivos generales** que se deducen del análisis del cuadro anterior son:

Objetivos generales:

- a) Conocer y aplicar con motivación y aprecio estrategias jerarquizadas de resolución de problemas en óptica tomando como base el tipo de comportamiento observado en expertos al resolver problemas, de forma tal que se valore el papel determinante que estas estrategias tienen para el desarrollo de habilidades cognitivas que contribuyan a la formación educativa y a una comprensión profunda del tema.
- b) Conocer y aplicar con aprecio los procedimientos de la investigación científica de forma tal que se fomente el entendimiento de los principios físicos que sustentan a la tecnología correspondiente, para favorecer así su manejo, dominio y se valoren las aportaciones de la óptica a otras disciplinas para promover la interconexión del conocimiento interdisciplinario.
- c) Conocer y aplicar técnicas instruccionales que mejoren significativamente las habilidades cognitivas, con el objeto de modificar el aprendizaje activo para buscar entender materias complejas y propiciar la construcción de conocimiento colaborativo.
- d) Analizar las diferentes perspectivas de las funciones de los tipos de modelos de aprendizaje como participación en una comunidad, propuestos para el salón de clases y lograr interpretaciones más acordes con la complejidad de la realidad educativa.
- e) Conocer y responsabilizarse por las creencias epistemológicas sobre el conocimiento, la inteligencia y el aprendizaje para valorar la importancia que estas visiones tienen en elevar la autoestima y por ende la motivación para aprender.
- f) Evaluar a los estudiantes considerando diferentes formas en las cuales pueden demostrar su entendimiento y comprensión de las temáticas abordadas; utilizando para ello la teoría de “inteligencias múltiples”, poniendo particular énfasis en las inteligencias lingüísticas (oral y escrita), lógica, interpersonal e intrapersonal así como en la creatividad práctica (**experimental**).
- g) Conocer y aplicar estrategias cognitivas que apoyen la adquisición de conocimientos y el desarrollo cognitivo en el campo de la física.

Es de hacerse notar en el presente modelo la estrecha relación entre los contenidos expuestos con anterioridad y los objetivos generales planteados, tomando en cuenta las diversas ideas, enfoques, teorías y perspectivas, así como la inclusión de los estudiantes en la toma de decisiones sobre la práctica educativa. No obstante que la organización de los contenidos establecida anteriormente conjuntamente con la descripción de la estructura conceptual para la unidad de óptica ondulatoria (ver diagrama 3.1 y tabla 3.2), permitió identificar los **temas** más generales e inclusivos a desarrollar en el presente trabajo, se requiere aún de un **desglose** más detallado de los diversos tipos de contenidos en forma de diagramas, que planteen e indiquen claramente **secuencias lógicas operacionales** en el desarrollo de las diversas estrategias a seguir; además, una formulación más particular (acotamiento) de los objetivos generales a resolver en el presente modelo debe ser también considerada, esto se realiza cuidadosamente en la siguiente sección.

3.4 ORGANIZACIÓN DE CONTENIDOS EN SECUENCIAS LÓGICAS OPERACIONALES.

3.4.1 Organización de contenidos.

Puesto que hay evidencia [Ver cuestionario diagnóstico I, en la sección 3.6.1, y algunos resultados en la sección 4.3.5] de que existen entendimientos incompletos, creencias falsas, e interpretaciones ingenuas (conocimientos previos) de los estudiantes sobre la naturaleza ondulatoria de la luz y sobre las características y propiedades físicas de la luz en sí misma, se ubicó la enseñanza de la unidad a tratar (sistemas ópticos), en la etapa de aprendizaje correspondiente a la “**síntesis integradora**” [10]. Auxiliar a los estudiantes a **organizar su conocimiento** es tan importante como el conocimiento mismo, puesto que la organización de conocimiento afecta probablemente la ejecución intelectual de los estudiantes. Los contenidos de tipo conceptual se estructuraron mediante la elaboración de un estructura-conceptual (según el diagrama 3.1), mientras que los contenidos procedimentales se organizaron por un lado, de acuerdo con las etapas del modelo propuesto por *Millar* [11], que trata sobre el progreso de una investigación dividida en etapas graduales de perfeccionamiento cognitivo (ver diagrama 3.2), éste modelo tiene a su vez procedimientos particulares que se desglosan en la tabla 3.3. Además, por otro lado, los contenidos procedimentales se organizaron también en secuencias para desarrollar habilidades cognitivas progresivas con un enfoque en la resolución de problemas, siguiendo el tipo de ejecución observada en expertos (véanse diagramas 3.3 – 3.5) [8].

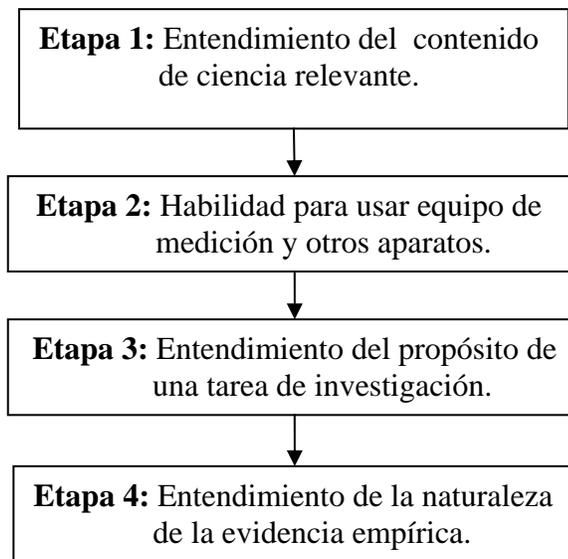


Diagrama 3.2: Contenidos procedimentales: modelo básico de entendimiento que enlaza diferentes etapas del progreso de una investigación (*Millar* [11]). (Secuencia referente a una aproximación al método científico).

Tabla 3.3: Estructuración de las etapas del proceso de investigación científica (la sub-etapa 2 se refiere específicamente a las componentes del equipo de óptica Newport).

Etapas	Sub-etapas
1	<ul style="list-style-type: none"> • Planteamiento del problema • Conocimiento y creencias de los aprendices acerca de éste. • Descripción del problema en detalle. • Determinar que información relevante entraría en el análisis del problema. • Decidir cuales procedimientos pueden ser usados para generar descripciones y análisis del problema
2	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción de varios montajes mecánicos que serán usados en varias combinaciones para cada experimento. • Montaje de los componentes en muchas otras configuraciones que permitan diseñar y ejecutar experimentos más complejos.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Entendimiento de la función de hipótesis. • Generar un experimento para justificar una hipótesis. • Encontrar respuesta científica.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Los estudiantes ven la medición como no problemática. • Los estudiantes aprecian la posibilidad de error, pueden saber que repetir medidas es una forma de mejorar sus resultados. • Entender como la variación en lecturas repetidas puede ser usado para evaluar la integridad de una medición.

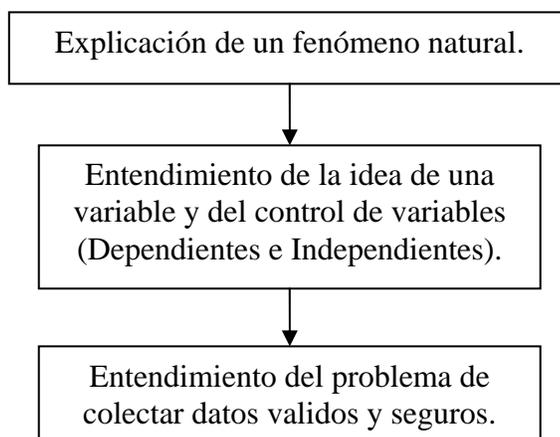


Diagrama 3.3: Áreas de entendimiento relacionadas a una investigación en ciencia (secuencia para habilidades cognitivas, desarrolladas por expertos [11]).

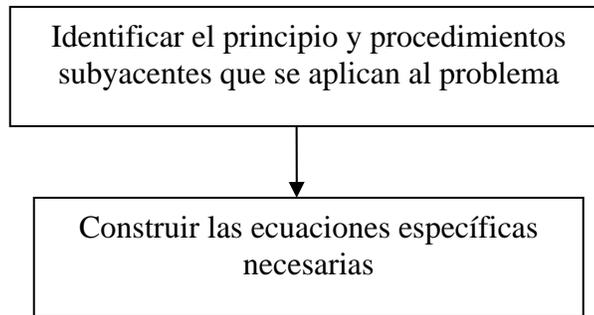


Diagrama 3.4: Práctica deliberada con coucheo. (Secuencia para habilidades cognitivas).

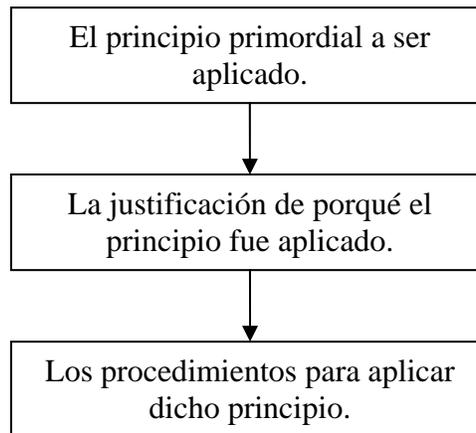


Diagrama 3.5: Estrategia cualitativa para resolver problemas antes de intentar resolverlos (Secuencia para habilidades cognitivas, desarrolladas por expertos, [8]).

La organización de los contenidos establecida anteriormente conjuntamente con la descripción de la estructura conceptual para la unidad de **óptica ondulatoria** (ver diagrama 1), permitió anteriormente identificar los **temas más generales e inclusivos a desarrollar en el presente trabajo** y por lo tanto se elaboró una secuencia de **temas específicos** para la unidad bajo consideración, que a continuación se definen.

3.4.2 Secuencia seleccionada de temas específicos y sus contenidos:

1. **Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje.**
 - a) Los conocimientos previos.
 - b) Estructuración de una comunidad de aprendizaje.
2. **Representación Geométrica de la luz: óptica geométrica y algunos fenómenos físicos:**
 - a) Teoría y trazo de rayos ópticos.
 - b) Fenómeno de reflexión.
 - c) Fenómeno de refracción.
3. **Teoría electro-magnética de la Luz.**
 - a) Ondas electromagnéticas (vibración transversal).

- b) Autogeneración del campo eléctrico y campo magnético en una onda electromagnética (luz).
 - c) Dirección de propagación de energía.
- 4. Polarización.**
- a) Concepto de polarización.
 - b) Obtención de luz polarizada y sus diversos tipos.
- 5. El principio de superposición de ondas.**
- a) Interferencia.
 - b) Difracción.
 - c) Interrelación con todos los temas antes expuestos.

3.4.3 Desglose de contenidos y planteamiento temático de objetivos particulares.

Se presupone que el profesor deberá iniciar la unidad como si esta se tratase de un tema completamente desconocido para los alumnos (**primera etapa**), tanto desde el punto de vista cognitivo como del afectivo-motivacional, indagando simplemente por medio de ciertas estrategias los **conceptos e ideas previas** de los aprendices respecto a la temática particular. Puesto que son estudiantes de último semestre del bachillerato (área Física-Matemáticas) expuestos en forma general a las experiencias de la enseñanza tradicional en física (tres semestres previamente cursados) y que aún les resta un amplio recorrido académico por afrontar, entonces la introducción del modelo aquí desarrollado tomará en cuenta al alumno otorgándole una auto-valoración y un papel activo en el proceso enseñanza-aprendizaje, lo cual es significativamente valioso para estimular su interés y habilidades en temáticas de índole científico. Simultáneamente, en esta etapa, se hace un análisis de las **creencias y visiones** que los estudiantes tienen sobre la **estructura y origen del conocimiento**, así como de las ideas erróneas que ellos establecen a-priori sobre conceptos de física/óptica, y sobre el proceso de **aprendizaje y de inteligencia** que poseen. Asimismo y en forma también paralela, se comenzará con la descripción más sencilla de fenómenos ópticos (reflexión y refracción) por medio de la teoría expuesta por la óptica geométrica: trazo de rayos ópticos (que posteriormente será absorbida por los conceptos más generales manejados por la teoría ondulatoria de la luz). De esta manera, se visualizará un panorama más amplio de la situación educativa particular del grupo y se podrá usar este conocimiento como punto inicial para la nueva instrucción, y poder pensar en seguida en posibles alternativas que mejoren el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es decir, el cierre de esta primera etapa dentro de la unidad considerada, será básico para sesiones siguientes, puesto que establece el punto inicial de la instrucción al considerar las ideas previas de los estudiantes acerca de los puntos antes delineados y que abordan los **temas 1 y 2** descritos en la sección 3.4.2.

La **segunda etapa** consistirá en un enlace con los temas, de campo eléctrico y magnético, inducción electromagnética, radiación electromagnética, anteriormente estudiados por los alumnos, esta etapa considerada en la unidad de aprendizaje dentro del programa de física IV del C.C.H.-UNAM: Sistemas electro-mecánicos y electrónicos. La finalidad de ésta será la de deducir el carácter de vibración transversal de las **ondas electromagnéticas** e identificarlas con el concepto de **“luz”**, así como el permitir que los

estudiantes identifiquen las relaciones perpendiculares y auto-consistentes entre los **campos eléctrico y magnético** al propagarse en el espacio una perturbación electromagnética, relacionando así el electro-magnetismo con la óptica, todo ello de una manera introductoria y mediante análisis gráficos exhaustivos.

Posteriormente, en las **etapas 3 y 4**, sobre la base del concepto de onda electromagnética adquirido, los estudiantes estarán en condiciones de enfrentar: **a)** procesos de investigación científica y conjuntar el contenido de ciencia relevante *Millar* [11], **b)** de desarrollar habilidades para el uso de equipo de medición y otros aparatos para reafirmar experimentalmente conocimientos formados y **reforzarlos**, **c)** el entendimiento del propósito de una tarea de investigación y **d)** el entendimiento de la evidencia empírica vía los principios de *Huygens*, de polarización y de superposición de ondas, que por si mismos dan la base general para la explicación de los fenómenos ópticos basados en un modelo ondulatorio de la luz.

A continuación se indican los **temas** identificados anteriormente para plantear de forma detallada los **objetivos particulares** a alcanzar con esta propuesta instruccional-integradora. Cabe recalcar que en la formulación de los objetivos particulares para cada tema a desarrollar y de acuerdo a los objetivos generales, se explorarán diversos caminos basados en diversas perspectivas del proceso enseñanza-aprendizaje, para cubrir así un rango amplio de posibilidades que den solución a las metas propuestas en el presente modelo de enseñanza y cubrir así acorde y simultáneamente con los contenidos expuestos.

TEMA 1: Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje.

Objetivos particulares:

- Reconocer y utilizar estrategias cognitivas para hacer el pensamiento de los estudiantes explícito al profesor y al resto de la clase, estos pensamientos incluyen sus creencias y visiones sobre la estructura y origen del conocimiento, las ideas (verdaderas o erróneas) acerca de la óptica, y concepciones acerca del aprendizaje y de la inteligencia.
- Identificar y jerarquizar las “características idóneas” de un modelo de participación en comunidades escolares que propicie el apoyo cognitivo y social de los esfuerzos de los miembros individuales del grupo, para alcanzar un entendimiento colectivo de los temas tratados con más sentido para la mayoría.
- Aplicar modelos de participación en comunidades escolares, donde los aprendices se conviertan en una parte activa del proceso enseñanza-aprendizaje.

TEMA 2: Representación Geométrica de la luz: óptica geométrica y algunos fenómenos físicos.

Objetivos particulares:

- Introducir por medio de las estrategias cognitivas propuestas en el presente modelo y en base a los resultados logrados en el tema anterior, el conocimiento básico acerca de la propagación de la luz y de su interacción con la materia por medio de teoría de trazo de rayos: Óptica Geométrica y de la experiencia adquirida en el laboratorio por medio de

la elaboración de prácticas diseñadas para este fin (donde la **implementación experimental de rayos Láser** de color rojo juega un papel muy importante, dada la visualización de la luz como un “rayo rectilíneo” pero que a su vez, como se explicará en sub-siguientes unidades, es una onda electro-magnética).

TEMA 3: Teoría electro-magnética de la Luz.

Objetivos particulares:

- Reconocer y utilizar estrategias cognitivas en apoyo a los procesos mentales implicados en el establecimiento de relaciones entre conocimientos previos y nuevos sobre el concepto de campo eléctrico y campo magnético, así como de onda electromagnética.
- Establecer a una onda electromagnética como una perturbación que se propaga en el espacio libre o bien dentro de un medio material (bajo la restricción del índice de refracción del medio).
- Identificar las relaciones descritas por productos vectoriales (regla de la mano derecha) entre un vector representativo de la electricidad (campo eléctrico, **E**) y uno representativo del magnetismo (campo magnético, **B**), y los procesos de autogeneración entre estos campos en condiciones de variación temporal, así como el proceso de propagación de una onda electromagnética.

TEMA 4: Polarización.

Objetivos particulares:

- Reconocer y utilizar estrategias cognitivas en apoyo al desarrollo de habilidades usadas por expertos, y además, propiciar la investigación independiente (tanto de información en literatura como a nivel **experimental**).
- Reconocer y valorar el modelo básico de entendimiento que enlaza diferentes etapas del progreso de una investigación científica, al identificar sus características y limitaciones para el mejoramiento de las prácticas científicas, en particular con la experiencia adquirida en el **laboratorio** por medio de la elaboración de **prácticas diseñadas para este fin**.

TEMA 5: El principio de superposición de ondas.

Objetivos particulares:

- Aplicar y probar el modelo básico de *Millar* sobre el progreso de una investigación científica para obtener un mejor entendimiento de la actividad científica.
- Asociar los fenómenos de polarización, interferencia y difracción en una base conceptual común: **la superposición de ondas**. De esta forma se adquirirán destrezas que mejoren el entendimiento en el área de la óptica física. Esto será reforzado por medio de la **experiencia adquirida en el laboratorio** con la elaboración de **prácticas diseñadas para este fin**.
- Reconocer y utilizar estrategias cognitivas en apoyo del desarrollo de habilidades mentales y de la enseñanza de la física (óptica) con comprensión.

Los objetivos particulares anteriores establecen entre otros logros a alcanzar por parte de los aprendices, el conocimiento y aplicación de planes completos que guían la secuenciación de la enseñanza dentro de un contenido particular con el fin de lograr su aprendizaje, lo cual significa **enlazar la teoría y la práctica** del currículo presentado. Las estrategias a seguir se centran fundamentalmente en el desarrollo de habilidades de pensamiento y de organización, utilizando los contenidos disciplinares como medios para lograr tales destrezas. En la siguiente sección se enlistan específicamente estas estrategias diseñadas para cumplir con nuestros propósitos.

3.5 PLANTEAMIENTO Y UBICACIÓN TEMÁTICA ESPECÍFICA DE LAS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS SUGERIDAS PARA EL MODELO INSTRUCCIONAL DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.

Existen aproximaciones a la enseñanza que examinan las concepciones y actitudes anteriores de los estudiantes, estas aproximaciones de enseñanza involucran una jerarquía de diferentes estrategias pedagógicas, entre las cuales, se tiene las que requieren metacognición y las que enfatizan en el conflicto conceptual (la resolución de ese conflicto por el aprendiz puede ser visto derivado de una visión de aprendizaje *Piagetiana* en la cual **la parte activa del aprendiz** es central al reorganizar su conocimiento). Se utilizarán diversas **estrategias didácticas** para cumplir con el currículo planteado, entre las que destacan: *i*) estrategias del tipo **cognitivo**, que tendrán la **función específica** de **a) comunicar contenidos** y **b) de enseñar procedimientos junto con contenidos**, así como *ii*) estrategias del tipo **organizativo** que servirán para instaurar un clima de aprendizaje grupal común.

3.5.1 Desarrollo específico de estrategias didácticas.

Uno de los factores importantes que se tomó en consideración para decidir las estrategias de enseñanza apropiadas fue, que éstas pueden ser usadas para auxiliar a los alumnos desde sus puntos de vista existentes hacia la visión científica, debido al interés mostrado por los estudiantes en conocer la opinión del profesor sobre varios fenómenos físicos cotidianos trabajados por los estudiantes en la etapa de conocimientos previos en la práctica docente III (sección 4.3.4). En seguida se desarrollan en la tabla 3.4 de forma concreta las estrategias **cognitivas** seleccionadas para apoyar la enseñanza de esta unidad. El maestro enseñará varias estrategias aplicándolas vía los contenidos, modelándolas en primera instancia, para sucesivamente hacer que los estudiantes practiquen las estrategias en casos simples guiados por el profesor, con lo cual los estudiantes finalmente llegarán a practicar autónomamente.

Tabla 3.4: Planteamiento temático de estrategias cognitivas y su función específica.

Tema	Estrategia cognitiva	Propósito	Función
1	Exploración y activación de conocimientos previos por medio de: A) Organización multipropósito 1 (cuestionarios, lecturas): análisis de semejanzas-diferencias.	<ul style="list-style-type: none"> • Ayudar a identificar los entendimientos incompletos, las falsas creencias y las interpretaciones ingenuas de conceptos que los estudiantes tienen. 	b
	B) Organización multipropósito 2 (toma de decisiones): análisis de semejanzas-diferencias.	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyar la jerarquización de las características idóneas de un modelo de participación en comunidades escolares. 	b
2	C) Desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista de la ciencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las ideas de los alumnos. • Introducción de conceptos elaborados por científicos. • Promover la asimilación de conceptos científicos. 	b b b
	D) Investigación guiada (actividad experimental).	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyar los propósitos de la estrategia anterior, y promover la investigación científica mediante el desarrollo de prácticas experimentales. 	b
	E) Discusión de si dos situaciones son análogas una con la otra (<i>Clement</i> [12]).	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un puente entre los entendimientos intuitivos de los estudiantes que están de acuerdo con las teorías aceptadas (“anclas”) y aquellos que no lo están (“blancos”). 	b
	F) Gráfica tipo 1 (relación instrumento óptico - aplicación).	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar el análisis de la aplicación tecnológica de la refracción con el entendimiento o reconocimiento de diversos instrumentos ópticos de uso común. 	b
3	G) Organizador avanzado 1 (lecturas y presentación de conceptos abstractos).	<ul style="list-style-type: none"> • Ayudar a establecer un puente entre los conocimientos previos sobre la inducción electro- 	a

		magnética y las ondas electromagnéticas.	
4	H) Organizador avanzado 2 (escritos y presentación de conceptos abstractos).	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar los conocimientos previos sobre la refracción de la luz y los conocimientos nuevos sobre el concepto de luz, onda electro-magnética y polarización. 	a
	D) Investigación guiada (actividad experimental).	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajar una o varias etapas de la investigación científica al desarrollar prácticas de laboratorio (ley de <i>Malus</i>). • Aplicar los conceptos del fenómeno de polarización al experimento de Actividad Óptica. 	b b
	J) Aprendizaje basado en problemas (ABP).	<ul style="list-style-type: none"> • Promover el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior [planteamiento y resolución de problemas, (luz polarizada)]. 	b
5	K) Una combinación del conocimiento cotidiano del alumno y el conocimiento científico.	<ul style="list-style-type: none"> • Auxiliar en el arribo a un conocimiento consciente de las teorías de los estudiantes y la teoría científica. • Aprender conceptos científicos. • Aplicar el principio de superposición de ondas (experimento de Interferencia). 	b b b
	L) Práctica experimental deliberada con coucheo.	<ul style="list-style-type: none"> • Promover el tipo de ejecución experta para resolver problemas. • Trabajar una o varias etapas de la investigación científica (desarrollo de prácticas experimentales): • Aplicar el principio de superposición de ondas (experimento de Difracción). 	b b b
Tabla 3.4, ...Final.			

Una vez establecidas las estrategias cognitivas y su ubicación dentro de los temas a desarrollar, el profesor necesita alentar un **ambiente de aprendizaje** que se sustentará en el aspecto social propio del proceso de enseñanza-aprendizaje. El ambiente propuesto en este modelo proveería oportunidades para la discusión y consideración de puntos de vista alternativos y argumentos, lo cual, se plantea conseguir apoyándose en **estrategias**

organizativas como medio para la enseñanza y el desarrollo de actitudes. Tanto las estrategias cognitivas como las organizativas son equivalentemente necesarias, se complementan y generalmente se usan en forma compartida durante la enseñanza. Por ejemplo, el trabajo en parejas (estrategia organizativa cuyo propósito puede ser la interacción o la comunicación a base de intercambio de ideas/experiencias) puede acompañarse de alguna estrategia cognitiva como la coevaluación. O bien, el trabajo individual, estrategia organizativa cuyo objetivo puede ser la comprensión de contenidos y la toma de decisiones, ambas estrategias cognitivas, lo cual permite darle sentido a los contenidos conceptuales, por el hecho de elegir ciertas preguntas y no otras entre diferentes partes de una lectura sobre determinado tema y responderlas, a la vez que se da una explicación al resto del grupo del porqué de la pregunta elegida.

A continuación se desarrollan en la tabla 3.5 de forma específica las estrategias **organizativas** seleccionadas en el presente trabajo para apoyar la enseñanza de la unidad correspondiente, así como la integración respectiva con las estrategias **cognitivas**, esto con la finalidad de lograr un impacto definitorio en la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje mediante el empleo del equipo *Newport* y de nuestro modelo instruccional.

Tabla 3.5: Integración de estrategias didácticas: planteamiento temático e integración de estrategias cognitivas y organizativas.

Tema:	Estrategias cognitivas:	Estrategias organizativas:
1	<p>Exploración y activación de conocimientos previos por medio de:</p> <p>A) Organización multipropósito 1 (cuestionarios): análisis de semejanzas-diferencias.</p> <p>B) Organización multipropósito 2 (toma de decisiones): análisis de semejanzas-diferencias.</p>	<p>➤ Trabajo individual y en grupo, comunicación grupal.</p> <p>➤ Trabajo en parejas y socialización en grupo.</p>
2	<p>C) Desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista de la ciencia.</p> <p>D) Investigación guiada (actividad experimental).</p> <p>E) Discusión de si dos situaciones son análogas una con la otra (<i>Hewson et al.</i>).</p> <p>F) Gráfica tipo 1 (relación instrumento óptico - aplicación).</p>	<p>➤ Trabajo en equipos de 4 personas y socialización.</p> <p>➤ Trabajo en comunidad y comunicación grupal.</p> <p>➤ Trabajo en equipos de 4 personas, y socialización.</p> <p>➤ Trabajo individual y socialización.</p> <p>➤ Trabajo individual y comunicación grupal.</p>
3	<p>G) Organizador avanzado 1 (escritos y presentación de conceptos abstractos).</p>	<p>➤ Trabajo individual y comunicación.</p>

4	H) Organizador avanzado 2 (escritos y presentación de conceptos abstractos).	➤ Trabajo individual y comunicación.
	I) Investigación guiada (actividad experimental).	➤ Trabajo en comunidad y comunicación grupal.
	J) Aprendizaje basado en problemas (ABP).	➤ Trabajo en equipos de 4 personas, y socialización. Trabajo individual.
5	K) Desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista de la ciencia.	➤ Trabajo en equipos de 4 personas y socialización.
	L) Práctica experimental deliberada con coucheo. (modelación de estrategia).	➤ Trabajo individual y comunicación grupal.
Tabla 3.5, ...Final.		

Para finalizar la etapa de selección y desarrollo de estrategias didácticas (cognitivas y organizativas) del modelo instruccional propuesto, se considera la elección de **tareas específicas**. Las tareas de aprendizaje se circunscriben en el marco proporcionado por la estrategia seleccionada y son dirigidas particularmente a las **demandas del campo científico de la óptica**. En la siguiente sección se presentan las tareas diseñadas de aprendizaje para cada estrategia contemplada dentro de los cinco **temas** estructurados correspondientes a la unidad en desarrollo.

3.6 PLANTEAMIENTO DE TAREAS ESPECÍFICAS DE APRENDIZAJE PARA LAS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS SUGERIDAS DENTRO DE LAS TEMÁTICAS ABORDADAS EN EL MODELO INSTRUCCIONAL DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.

De acuerdo a las tablas 3.2-3.5, enseguida se enlistan sucesivamente para cada temática a abordar (ver sección 3.4.2), las diversas estrategias planteadas para cada una de estas unidades, los propósitos que éstas persiguen, así como las tareas de aprendizaje diseñadas en cada una de estas estrategias (sean cognitivas o bien organizativas) reforzarán y enriquecerán los procesos de enseñanza-aprendizaje de la óptica. Estas tareas bien pueden ser cuestionarios de exploración, lecturas de textos seleccionados para discusión y debate grupal, desarrollo de prácticas experimentales, etc. Cada tarea va acompañada de las instrucciones respectivas para el estudiante, las cuales en el caso particular de las prácticas experimentales, deberán ser ampliamente discutidas en la comunidad de aprendizaje para después ser seguidas con más confianza por los integrantes de esta comunidad bajo la inspección y “coucheo” del profesor.

3.6.1 TEMA 1: Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje.

ESTRATEGIA (A): Organización multipropósito 1 (LECTURA Y/O CUESTIONARIOS): análisis de semejanzas-diferencias.

Propósito: Ayudar a identificar los entendimientos incompletos, las falsas creencias, y las interpretaciones ingenuas sobre la experiencia científica de los estudiantes en relación con la óptica (interacción luz-materia), las creencias epistemológicas sobre el conocimiento, y las teorías de la mente y la inteligencia.

Instrucciones para el estudiante: Lee cuidadosamente el texto cuyo título es “Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje”, y contesta los siguientes cuestionarios, en los cuales se exploran los pensamientos sobre fenómenos ópticos (algunos de los cuales son observados cotidianamente), las creencias sobre la estructura del conocimiento, la naturaleza del aprendizaje y la fuente de habilidad del aprendizaje. Posteriormente, los cuestionarios contestados serán intercambiados entre ustedes para ser analizados por equipos pequeños, y buscar coincidencias y similitudes en las respuestas, las cuales serán presentadas y discutidas en sesión grupal.

TAREA I:

“Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje”.

Los estudiantes llegan a la educación formal con un rango de conocimiento anterior, habilidades, creencias, y conceptos (en particular sobre: fenómenos ópticos y ondulatorios, teorías de la mente y la inteligencia, la estructura del conocimiento, la fuente de habilidad para aprender, y la naturaleza del aprendizaje), que influyen significativamente en lo que ellos advierten acerca del ambiente y como lo organizan y lo interpretan. Este pre-conocimiento a su vez, afecta sus habilidades para recordar, razonar, resolver problemas, y adquirir conocimiento nuevo.

Generalmente, los estudiantes de bachillerato tienen preconcepciones y concepciones erróneas acerca de la naturaleza ondulatoria de la luz y del movimiento ondulatorio, de las cuales se mencionarán algunas: la luz solo existe y no tiene origen, no viaja; en la refracción, la frecuencia (color) de la luz cambia; la interferencia en el experimento de la doble ranura muestra los valles y las crestas de la onda; existe luz en la cresta de una onda y oscuridad en el valle; las ondas transportan materia y necesitan un medio para propagarse; las ondas en una cuerda de guitarra no son ondas transversales.

Por otra parte, los estudiantes del bachillerato difícilmente tienen nociones sobre el aspecto epistemológico de la ciencia, en específico sobre la estructura del conocimiento, la fuente de habilidad para aprender, y la naturaleza del aprendizaje. Se puede observar en la mayoría de ellos, la falta de debate en el aula-laboratorio sobre dos cuestiones: en primer

lugar, relativo al origen y procedimientos para validar el conocimiento científico, y el segundo, referente a la información vertida por las autoridades regulares (libros, profesores, investigadores) sobre los modelos explicativos usados en ciencia, lo cual conduce al desconocimiento de las ideas propias y experiencias de los estudiantes sobre dichos modelos.

En cuanto a la organización del conocimiento, los niños/adolescentes son vistos como aprendices quienes ensamblan y organizan material. Como tal, el **desarrollo cognitivo** involucra la adquisición de estructuras de conocimiento organizadas y la adquisición gradual de estrategias para recordar, entender y resolver problemas. Pero si creemos que las estrategias y el conocimiento son importantes, esperaríamos diferentes niveles de aprendizaje, dependiendo del conocimiento conceptual de los niños/adolescentes y su control sobre estrategias que organizan ese control para aprender.

Una iniciativa instruccional innovadora es representada por **las comunidades de aprendizaje**, al reconocer la importancia del conocimiento y uso por parte de los estudiantes de diversas estrategias de aprendizaje. Este programa, ayuda a los estudiantes a comprender como las estrategias pueden ayudarlos a resolver problemas, a reconocer cuando cada estrategia es probablemente más útil, y transferir estrategias a situaciones nuevas. No esperamos que en el caso de los estudiantes, estos lleguen a ser profesores o investigadores, sino miembros de una comunidad escolar donde su participación se incrementa gradualmente hacia la realización de objetivos grupales delineados por la propia comunidad.

FIN DE TAREA I.

TAREA II:

CUESTIONARIO DIAGNÓSTICO I:

Nombre del alumno: _____.

Grupo: _____.

Referente a la física (Óptica).

Instrucciones: Contesta las siguientes preguntas que abordan algunos fenómenos ópticos y ondulatorios, varios de ellos cotidianos, observa que algunas preguntas son abiertas y otras de opción múltiple (seleccionar sólo una respuesta):

1. En una noche de luna llena y despejada (sin nubes) las habitaciones de nuestras casas se iluminan por la luz que entra por las ventanas. Explica tal fenómeno, (puedes usar dibujos para hacerlo).
2. ¿Qué le sucede a la luz de las estrellas que vemos brillar en la noche? ¿Cuánto viaja la luz? ¿Por qué “titilan”? Explica.

3. ¿Por qué podemos ver las luces de la Ciudad de México desde la carretera en lo alto de las montañas a su alrededor? ¿Podríamos verlas desde un avión en vuelo? ¿Desde un satélite orbitando la tierra? Explica.
4. Recuerda el terremoto de 1985, ¿cambiaron las ondas sísmicas la posición de los edificios a su paso? Explica.
5. En las cuerdas de una guitarra las ondas que se producen son:
- a) Transversales. b) Longitudinales.
c) Circulares. d) Elípticas.
6. ¿Que sucede cuando varias ondas se encuentran?
- a) Nada b) rebotan c) interfieren d) chocan
7. ¿De qué tamaño debe ser la abertura en la que incida la luz para proyectar franjas brillantes y oscuras sobre la pantalla (patrón de interferencia de luz)?
- a) Del ancho de una ventana b) del largo de una puerta.
c) del grosor de un cabello d) del ancho de una rendija de coladera.
8. Explicar el patrón de interferencia (franjas oscuras y brillantes) que aparece entre las aberturas que quedan entre dedos cerrados, cuando se interpone la mano ante un foco o lámpara encendida (la mano deberá estar a una corta distancia del ojo para observar el fenómeno).
9. Cuando te bañas a veces al enjabonarte se forman burbujas, y en la superficie de ellas se pueden observar varios colores. ¿Interviene en su formación el fenómeno de interferencia? Explica.
10. Supón que te encuentras en el laboratorio trabajando, de repente llega un compañero que al abrir la puerta logras escuchar la conversación de dos estudiantes que se encuentran a un costado de la puerta, pero no los puedes ver. Explica.
11. ¿De qué están hechos los anteojos para sol? ¿Interviene en ellos el fenómeno de polarización? Explica.
12. ¿Por qué los pescadores y los esquiadores en la nieve usan lentes oscuros? Explica.

FIN DE TAREA II.

TAREA III:

CUESTIONARIO DIAGNÓSTICO II:

Nombre del alumno: _____.

Grupo: _____.

Referente a la estructura del conocimiento, a la fuente de habilidad para aprender y a la naturaleza del aprendizaje (conceptos epistemológicos).

Instrucciones: Elección múltiple. Sobre la hoja de respuestas, pon una marca en la respuesta que corresponde mejor a tu visión.

1. Si alguien está tratando de aprender física, ¿es la siguiente una buena clase de pregunta para pensar al respecto?

“Dos estudiantes quieren romper una cuerda. ¿Qué es mejor para ello? (1) sujetar los extremos opuestos de la cuerda y jalar (como en un tira y afloja), o (2) amarrar un extremo de la cuerda a una pared y ambos jalar juntos del otro extremo”

- (a) Si, definitivamente. Es una de las mejores clases de preguntas de estudio.
- (b) Si, hasta cierto punto. Pero otras clases de preguntas son igualmente buenas.
- (c) Si, un poco. Esta clase de pregunta es útil, pero otras clases de preguntas son más útiles.
- (d) No realmente, Esta clase de pregunta no es útil para aprender las ideas principales.
- (e) No, definitivamente no. Esta clase de pregunta no es útil del todo.

2. En física, ¿Cómo las fórmulas más importantes relacionan a los conceptos más importantes? Por favor lee todas las elecciones antes de tomar una.

- (a) Las fórmulas importantes resumen los conceptos importantes; No están separadas realmente de los conceptos.
- (b) Las fórmulas importantes son una clase “separada” de los conceptos importantes, ya que los conceptos son ideas, no ecuaciones. Las formulas son utiles para resolver problemas.
- (c) Mayoritariamente (a), pero un poco (b).
- (d) Aproximadamente la mitad de (a) y la mitad de (b).
- (e) Mayoritariamente (b), pero un poco (a).

3. Para ser exitoso en la mayoría de las cosas en la vida...

- (a) El trabajo duro es mucho más importante que la innata habilidad natural.
- (b) El trabajo duro es un poco más importante que la habilidad natural.
- (c) La habilidad natural y el trabajo duro son igualmente importantes.
- (d) La habilidad natural es un poco más importante que el trabajo duro.
- (e) La habilidad natural es mucho más importante que el trabajo duro.

4. Para ser exitoso en *ciencia*...

- (a) El trabajo duro es mucho más importante que la innata habilidad natural.
- (b) El trabajo duro es un poco más importante que la habilidad natural.
- (c) La habilidad natural y el trabajo duro son igualmente importantes.
- (d) La habilidad natural es un poco más importante que el trabajo duro.
- (e) La habilidad natural es mucho más importante que el trabajo duro.

5. De los siguientes formatos de exámen, ¿cuál es el mejor para medir qué tan bien entienden los estudiantes el material en física? por favor lee cuidadosamente cada elección antes de tomar una decisión.

- (a) Una colección grande de pequeñas preguntas de elección múltiple, cada una de las cuales cubre un hecho específico o concepto.
- (b) Un número pequeño de preguntas largas y problemas, cada uno de los cuales cubre varios hechos y conceptos.

- (c) Mutuo compromiso entre (a) y (b), pero tender más hacia (a).
- (d) Mutuo compromiso entre (a) y (b), favoreciendo igualmente a ambos.
- (e) Mutuo compromiso entre (a) y (b), pero tender más hacia (b).
- (f) Alguna de las opciones anteriores combinada con una evaluación oral.

FIN DE TAREA III.

TAREA IV:

CUESTIONARIO DIAGNÓSTICO III:

Nombre del alumno: _____.

Edad: _____. **Grupo:** _____.

Referente a la estructura del conocimiento, la fuente de habilidad para aprender, y la naturaleza del aprendizaje (conceptos epistemológicos).

Instrucciones: Para cada una de las siguientes afirmaciones, lee cuidadosamente las proclamaciones, e indica la respuesta que describe que tanto estas de acuerdo o en desacuerdo con éstas.

Escala: **A:** Fuertemente en desacuerdo, **B:** Algo en desacuerdo, **C:** Neutral, **D:** Algo de acuerdo, **E:** Fuertemente de acuerdo.

INDICADOR:	A	B	C	D	E
1. Tamara lee algo en su libro de texto de ciencias que parece discordar con su propia experiencia. Pero para aprender bien ciencia, Tamara no tendría que pensar acerca de sus propias experiencias; ella sólo se enfocaría sobre lo que el libro dice.					
2. Cuando tratas de entender física, relacionar los temas bajo estudio con distintos descubrimientos es muy importante.					
3. Si alguien está teniendo problemas de aprendizaje con la clase de física, estudiar con mayor dedicación puede hacer una gran diferencia.					
4. Alguien quien no tiene gran habilidad natural para aprender puede aún tener buen rendimiento incluso en una clase difícil de física.					
5. Frecuentemente, un principio científico o teoría no tiene sentido común. En esos casos, tú tienes que aceptarlo y actuar, debido a que no todo en ciencia es supuesto que tenga sentido común (es decir, que sea lógico y predecible por el hombre).					

6. Cuando aprende ciencia, la gente puede entender mejor el material si lo relacionan con sus propias ideas.					
7. Si los profesores de física dieran clases realmente claras, con abundantes ejemplos de la vida cotidiana y problemas muestra, entonces la mayoría de buenos estudiantes aprenderían esas lecciones sin hacer un montón de preguntas y problemas prácticos por su cuenta.					
8. Cuando se resuelven problemas, la clave es conocer los métodos para dirigir cada tipo de pregunta en particular. Entender las “grandes ideas” puede ser útil para problemas especialmente-escritos, pero no para problemas mas regulares.					
9. Dando tiempo suficiente, casi todos aprenderían a pensar más científicamente.					
10. Para entender física, las fórmulas (ecuaciones) son realmente lo principal; el otro material esta mayoritariamente para ayudarte a decidir cuales ecuaciones usar en cuales situaciones.					

FIN DE TAREA IV.

ESTRATEGIA (B): Organización multipropósito 2 (toma de decisiones): análisis de semejanzas-diferencias.

Propósito: Apoyar la jerarquización de las características idóneas de un modelo de participación en comunidades escolares para describir el tipo de comunidad que será asumida por el grupo.

TAREA V:

LECTURA PARA DISCUSIÓN Y ANÁLISIS:

Instrucciones para el estudiante: De la información que se te proporciona sobre las características de la comunidad de práctica, analiza cuidadosamente y encuentra semejanzas y diferencias entre las declaraciones numeradas, discute con tu par tus argumentos y lleguen a un acuerdo sobre sus respuestas, las cuales serán presentadas y discutidas en sesión grupal.

INFORMACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE PRÁCTICA:

La comunidad de práctica (constructora de conocimiento) como una organización poderosa en el desarrollo del aprendizaje.

1. Juntarnos con otras personas (profesores, alumnos, investigadores, etc.) y compartir experiencias previas acerca de las actividades relacionadas a un tema específico, puede acercarnos a realizar dichas actividades de una forma cada vez más aproximada a como ellos (expertos) lo llevan a cabo.
2. La participación en la comunidad está delimitada con la intervención, participación y actividades realizadas por los otros miembros, sean estas personas, herramientas, símbolos, procesos, o cosas.
3. La realización de objetivos grupales delineados por la propia comunidad, marca un camino adecuado para lograr propósitos convenidos de común acuerdo y tomando en cuenta las cualidades de esta comunidad.
4. Hay continuidad con las otras comunidades de construcción de conocimiento que existen más allá de las escuelas.
5. La comunidad del salón de clases trabaja para producir conocimiento – un producto colectivo.
6. El enfoque está sobre problemas en lugar de sobre categorías de conocimiento o sobre tópicos.
7. Hay una expectativa de respuesta constructiva al trabajo de otros.
8. Se usan formas determinadas y constructivas para distribuir trabajo entre los miembros, y para asegurar que el grupo está verdaderamente trabajando en el frente de su entendimiento colectivo.
9. Los más informados no deben situarse fuera del proceso de aprendizaje (como los profesores frecuentemente lo hacen), sino participan activamente.
10. El conocimiento del participante más avanzado no circunscribe lo que se va a aprender o investigar.
11. Los participantes menos informados en el discurso juegan un papel importante, señalando lo que es difícil de entender y las inadecuaciones en las explicaciones.
12. La creación de un clima y un deseo colectivo de avanzar en el entendimiento es favorecido en estas comunidades, más que el despliegue de la brillantez individual (sin embargo la brillantez individual puede ayudar ciertamente en el esfuerzo colectivo). En esta atmósfera, se crean oportunidades más abundantes en el proceso enseñanza-aprendizaje.
13. Los integrantes de la comunidad deben aprender no sólo qué y como ejecutar las actividades propuestas en el desarrollo de una temática dada, sino también que significa la ejecución y el proceso que esta requiere.
14. El hecho de ejecutar prácticas de aprendizaje de forma coercitiva y monótona no es suficiente para alcanzar la membresía a la comunidad, a menos que haya evidencia de que las prácticas son realizadas desde la motivación propia y con amplia discusión hacia la comunidad o al menos hacia los integrantes aislados de su equipo (dentro de esta comunidad).

15. La contribución de un estudiante alcanzaría el criterio de “avance de conocimiento”, si los revisores de este (también estudiantes) encuentran un avance de su propio conocimiento por el solo hecho de revisar y evaluar al primero.
16. La discusión en la comunidad estimula a los estudiantes a formular investigaciones a la luz de un problema (en lugar de un tópico).
17. Proveer apoyo social y cognitivo para los esfuerzos de los miembros individuales del grupo.
18. Distribuir la actividad intelectual para que la carga de administrar el proceso completo no pese sobre un solo individuo.
19. Al retar los pensamientos y creencias de unos y otros, los estudiantes (la comunidad) deben ser explícitos acerca de sus significados; ellos deben negociar conflictos en la creencia o evidencia, y deben compartir y sintetizar su conocimiento para alcanzar entendimiento.

FIN DE TAREA V.

3.6.2 TEMA 2: Representación Geométrica de la luz: Óptica geométrica y algunos fenómenos físicos.

Dado que en este tema se abordan dos fenómenos físicos (reflexión y refracción), los cuales son útiles en el análisis de cualquier sistema óptico común (mediante la simulación del trazo de rayos de luz a través de diversos componentes y dispositivos ópticos: lentes, espejos, ventanas, prismas, microscopios, telescopios, binoculares, el ojo humano, cámaras fotográficas, etc.), se proponen en esta temática cuatro estrategias (C, D, E y F, correspondientemente) para atacar la tarea enseñanza-aprendizaje de los contenidos respectivos, en las cuales la finalidad es lograr un entendimiento por el mayor número de estudiantes de los modelos que describen tales fenómenos.

ESTRATEGIA (C): Desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista de la ciencia.

Propósitos:

- a) Identificación de las ideas de los alumnos.
- b) Introducción de conceptos elaborados por científicos.
- c) Promover la asimilación de conceptos científicos.
- d) Realización de prácticas experimentales que ayuden a reforzar el conocimiento con la experiencia práctica.

La presente estrategia, se desarrolla partiendo de la estrategia (A), utilizada en el tema inicial de la unidad (Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje), en la cual el sondeo de conocimientos e ideas previas por medio de cuestionarios, da pie a

que en el tema actual utilicemos una estrategia que pueda ser identificada para la construcción de conocimiento sobre las ideas existentes reconocidas en la comunidad de alumnos. La subsiguiente tarea de enseñanza-aprendizaje, propia de la estrategia (C), involucra al alumno en el proceso de desarrollar y extender estas ideas hacia el punto de vista de la ciencia, integrando al mismo tiempo y de manera gradual los conceptos carentes, identificados en el sondeo inicial. En forma delineada, la estrategia consiste de seis etapas (sus nombres entre corchetes) (Niedderer, 1987) [13]:

Con la finalidad de cubrir la primera etapa de la presente estrategia, inicialmente se propone un proceso de aprendizaje (por medio de lectura) que puede contener herramientas y conceptos que puedan ser útiles en el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje del presente tema. Se plantea el uso del Organizador avanzado “**La naturaleza de la luz**” French [14], el cual es un pequeño texto de carácter abstracto que se escribe en prosa y se muestra antes del material a aprender acerca de la temática correspondiente. Este organizador avanzado jugará el papel de puente, de transición y no representa solamente una síntesis de requisitos para el aprendizaje de material en cuestión (óptica geométrica), sino que también constituye un breve y sencillo avance hacia el material desconocido, planteado de una manera clara y con perspectiva histórica, dando así un panorama adecuado para iniciar las instrucciones adecuadas).

TAREA VI:

LECTURA PARA DISCUSIÓN Y ANÁLISIS.

Instrucciones para el estudiante: Realiza las actividades que se te indican en cada una de las etapas / instrucciones siguientes:

Instrucción 1: Lee cuidadosamente el siguiente texto: “**La naturaleza de la luz**”. [Etapas 1: Preparación].

“La naturaleza de la luz”, Autor: A. P. French [14].

Uno de los propósitos principales de la física es desarrollar modelos conceptuales plausibles, en términos de los cuales varios fenómenos naturales (físicos) pueden ser descritos y explicados. Quizás el ejemplo sobresaliente de esto es el intento de encontrar un modelo exitoso para describir a la luz. De acuerdo a *Empédocles* filósofo griego antiguo, nuestra habilidad para ver un objeto depende de la emisión de alguna cosa desde el ojo – una idea que habría sido fácilmente refutable por la experimentación (por ejemplo la invisibilidad de un objeto en un cuarto oscuro). Otros, más plausiblemente, piensan que un objeto se hace visible en virtud de partículas de alguna clase, emitidas por el mismo objeto. La producción de sombras bien definidas por una fuente luminosa pequeña conduce naturalmente a la descripción de la luz, consistente de partículas viajando en líneas rectas desde una fuente o desde un objeto iluminado por ésta. Este modelo fue reforzado por el descubrimiento de la ley de reflexión de un rayo de luz en un espejo plano: “**el ángulo de**

reflexión es igual al ángulo de incidencia”. *Newton* estuvo a favor y apoyo este modelo de partícula. Actualmente, se sabe que la luz viaja en línea recta en un medio uniforme a una rapidez de 3.00×10^8 m/s en el espacio vacío. La trayectoria de línea recta de la luz ha permitido el modelo de rayo de luz. Un rayo es una línea recta que representa la trayectoria de un haz muy estrecho de luz. Al usar diagramas de rayos para estudiar el viaje de la luz se esta recurriendo a la óptica de rayos, modelo útil para describir como la luz es reflejada y refractada (óptica geométrica).

Huygens contemporáneo de *Newton* ideó y promovió un modelo muy diferente: **“la luz consiste de ondas viajando a través de un medio”**. *Huygens* consideró que la inmensa rapidez de la luz, y la habilidad de los rayos de luz de pasar uno a través de otro sin ninguna interacción aparente, eran evidencia contundente en contra de la teoría corpuscular (compuesta de partículas materiales) de la luz. *Huygens* también pensó que la visión debe depender de la retina del ojo, el cual está siendo “sacudido” por la luz. *Huygens* consiguió explicar la propagación rectilínea de la luz por medio de la superposición de ondas circulares o esféricas que se originan desde diferentes puntos en un frente de onda de un rayo.

Instrucción 2: Observa las siguientes imágenes que fueron registradas con una cámara digital, las cuales pertenecen a animales disecados y maquetas que se encuentran dentro de vitrinas en un recinto cerrado (museo). **[Etapa 2: Iniciación].**



Imagen 3.1: (a) Fotografía de un lobo blanco, tomada con una cámara digital con flash integrado. (b) Imagen 2. Fotografía de un jaguar negro y un mandril.



Imagen 3.2: (a) Fotografía de antiguos pobladores de América y (b) Oso Grizzli.

Instrucción 3: Analiza y describe la calidad de las fotografías y por ende la pericia del fotógrafo. Propón soluciones fundamentadas para obtener mejores fotografías (sin que se observe el “FLASHASO” o destello de luz), para lo cual se sugiere la siguiente secuencia: formula preguntas o hipótesis del porqué aparece la mancha brillante de luz, planea y realiza experimentos, haz observaciones, discusiones teóricas, expresa los hallazgos encontrados y propón soluciones. **[Etapa 3: Desempeño].**

Instrucción 4: Discute en un foro de clase las conclusiones y las propuestas para mejorar la calidad de las fotografías. **[Etapa 4: Discusión de hallazgos].**

Instrucción 5: Compara los hallazgos de la clase con teorías históricas similares o ideas modernas sustentadas por las leyes físicas. Establece las diferencias y discute las razones posibles para esas diferencias. **[Etapa 5: Comparación con las teorías científicas].**

Instrucción 6: Por último, examina el proceso de desempeño y considera preguntas particulares o dificultades que se han presentado. **[Etapa 6: Reflexión].**

FIN DE TAREA VI.

ESTRATEGIA (D): Investigación guiada (actividad experimental).

Dentro de esta estrategia, se llevará a cabo el desarrollo de la primera actividad experimental grupal, utilizando para ello el equipo *Newport* de óptica (equipo disponible en los cinco planteles del C.C.H.-UNAM, varios equipos por plantel). Este equipo de enseñanza científica no ha sido explotado hasta la fecha para aprovechar el gran potencial didáctico que éste tiene y que fue elaborado por expertos en enseñanza media-superior. Con este equipamiento se podrá abordar óptimamente la unidad IV (sistemas ópticos) del programa de física IV en el C.C.H. **El desarrollo, adecuamiento y aplicación de prácticas y tareas experimentales implementando el equipo *NewPort*, junto con el modelo de instrucción propuesto en la presente tesis, constituye la parte fundamental de este trabajo de investigación aplicada a la educación.** Por otra parte, debe quedar claro aquí que previamente al inicio de cada práctica experimental, se habrá dedicado al menos una sesión de discusión con los alumnos acerca de los conceptos involucrados en la tarea experimental a resolver, así como a la **resolución de problemas** concernientes a la temática, planteando para ello el modelo de ejecución observado en expertos, donde para esto una jerarquización de los conceptos teóricos y su trascendencia habrá sido previamente establecida.

Propósito: Apoyar los propósitos de la estrategia anterior, y promover la investigación científica (desarrollo de práctica experimental):

TAREA VII:

PRACTICA EXPERIMENTAL I:

“LEYES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ”.

Instrucciones para el estudiante:

- 1) El grupo se organiza en una comunidad escolar para realizar la siguiente actividad experimental. tip: pueden utilizar la información y conclusiones adquiridas a través del análisis logrado sobre la discusión referente a las comunidades de práctica (recuérdese la actividad realizada con el tema: INFORMACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE PRÁCTICA).
- 2) Desarrollar grupalmente la siguiente actividad experimental atendiendo al siguiente **objetivo: Medir el índice de refracción de un sólido transparente usando el concepto de reflexión total interna (RTI).**
- 3) Para cumplir eficientemente con este objetivo, se recomienda atender al siguiente **procedimiento** bajo amplia discusión grupal: El fenómeno de reflexión total interna (RTI) será usado para determinar el índice de refracción de un prisma de vidrio. La geometría es ciertamente difícil, pero ésta permite la determinación del índice de refracción de un prisma estándar con ángulos: 45° - 45° - 90° .

- 4) Lee cuidadosamente y discute con tu grupo de trabajo la siguiente **Lectura conceptual**:

El índice de refracción de un medio material (n_m) se define como el cociente del valor de la velocidad de la luz propagándose en el espacio vacío y la velocidad de la luz dentro de dicho medio: $n_m = c_v / c_m$. El ángulo de incidencia de un rayo de luz sobre una superficie de algún medio material se define como el ángulo entre la normal a la superficie y el rayo de luz incidente (ver figura 3.1). Usualmente una superficie define una interfase entre dos medios (ejemplo común: aire–cualquier otro objeto). Es bien sabido de la experiencia cotidiana que el ángulo de incidencia (θ_i) es igual al ángulo de reflexión (θ_r), lo cual establece la conocida **ley de reflexión de la luz**: $\theta_i = \theta_r$, (ejemplo común: observar objetos reflejados en espejos a distintos ángulos). Por otro lado, al pasar la luz de un medio material a otro, ésta experimenta el fenómeno conocido como **refracción**, donde el rayo de luz incidente cambia su trayectoria al transmitirse dentro del segundo medio (ejemplo común: introducir diversos objetos en una pileta con agua y observar el efecto de distorsión aparente). Los fenómenos de refracción están gobernados por la ley de refracción (**Ley de Snell**), que establece la importancia de los índices de refracción de los dos medios involucrados, para dar como resultado el ángulo de refracción/transmisión (θ_t) de la luz dentro del segundo medio, en función del ángulo de incidencia (θ_i) y de los índices de refracción respectivos:

$$n_1 \text{sen} (\theta_i) = n_2 \text{sen} (\theta_t) - \text{Ley de Snell.}$$

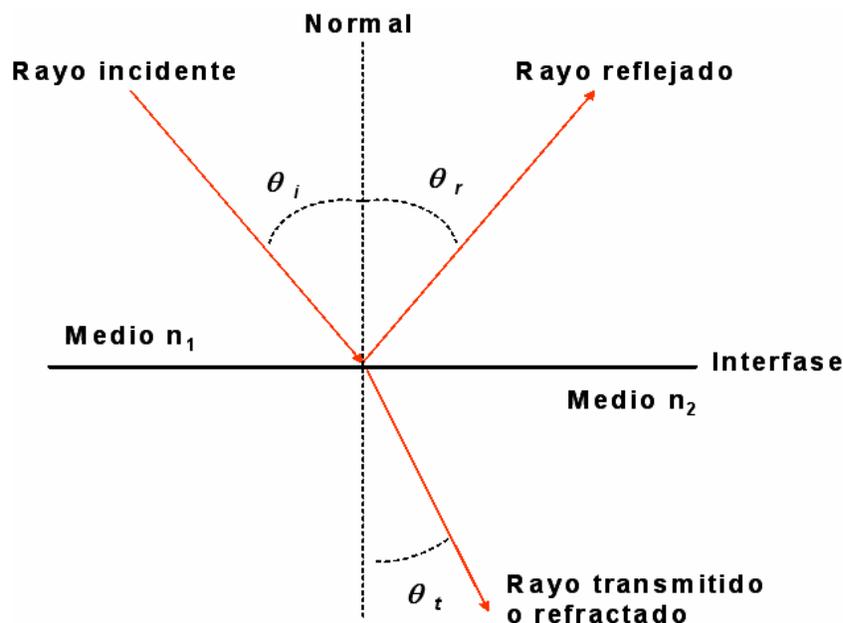


Figura 3.1: Diagrama de rayos incidente, reflejado, y refractado en la frontera (interfase) de dos medios con distintos índices de refracción: n_1 y n_2 .

En particular tomando una interfase aire-vidrio, puede observarse un fenómeno interesante, conocido como “Reflexión Total Interna o **RTI**”, en donde si ahora el medio incidente es el de mayor índice de refracción (vidrio, con índice de refracción $n_1 \sim 1.5$), a **cierto ángulo de incidencia**, la luz incidente deja de transmitirse en gran medida al segundo medio (aire, con índice $n_2 = 1$), y se da por tanto el fenómeno de reflexión total interna, es decir la luz queda reflejada dentro del primer medio sin que haya transmisión alguna al segundo medio. Al ángulo de incidencia a partir del cual sucede esto, es conocido como **el ángulo crítico: θ_c** . Justo en este ángulo, el rayo que antes era transmitido al segundo medio (n_2) se encuentra ahora viajando a lo largo de la frontera de la interfase vidrio-aire, el ángulo transmitido o ángulo de refracción es en este caso de 90° y para ángulos de incidencia mayores a θ_c toda la luz será reflejada dentro del primer medio. El ángulo crítico esta relacionado con el índice refractivo del material vítreo n_1 , de acuerdo a la ley de *Snell*, como:

$$\text{sen } \theta_c = 1 / n_1. \quad (3.1)$$

En el caso del experimento a realizar, las cosas son un poco más complicadas: en lugar de una sola interfase de que preocuparse, existen dos interfaces, correspondientes a las caras de un prisma de vidrio (ver figura 3.2). La primera de las interfaces no involucra **RTI**, esta es la interfase **aire-vidrio** que atraviesa un rayo de luz láser para entrar al medio vítreo del prisma. Una vez que el rayo láser se encuentra dentro del prisma, este encontrará una segunda interfase **vidrio-aire** para salir de él, que es justamente donde se buscará la condición para observar el fenómeno de **RTI**. Al rotar el prisma se variarán los ángulos de incidencia tanto en la primera como en la segunda interfaces, hasta que la **RIT** ocurra en la segunda interfase, es decir, hasta que **no emerja luz después de la interfase vidrio-aire** y la luz quede confinada justo en la frontera de esta segunda interfase. Esto debe ser monitoreado midiendo con ayuda de pantallas y cálculos trigonométricos, un ángulo α entre un rayo no refractado (dirección original del láser sin presencia del prisma, ver figura 3.2) y el rayo en dirección del ángulo crítico, con lo cual se podrá determinar el índice refractivo del material vítreo del prisma a partir de la siguiente ecuación (cuya demostración se deja como un **reto para el estudiante**, que deberá ser capaz de deducirla de acuerdo a las leyes de refracción y reflexión que se aplican a la trayectoria del láser al cruzar ambas interfaces).

$$n_v = \sqrt{\text{sen}^2(\theta_0) + (\sqrt{2} + \text{sen}(\theta_0))^2}, \quad (3.2)$$

Donde θ_0 esta relacionado con el ángulo α a través del cual el rayo es desviado, por:

$$\theta_0 = \alpha - 45^\circ. \quad (3.3)$$

- 5) El grupo realizará el siguiente montaje experimental para medir el índice de refracción del vidrio de un prisma estándar con ángulos: 45° - 45° - 90° .

Montaje experimental (ver figura 3.2):

1. Ensambla el arreglo láser (AL) a lo largo de un extremo de la mesa óptica con la salida hacia una pared cercana o pantalla de cartoncillo blanca y monta un ensamble de guía de rayo para que éste se propague paralelamente a la mesa óptica.
2. A una distancia de aproximadamente 15 cm de la salida del AL coloca una plataforma de rotación (R). El rayo láser estaría de 4 a 5 mm más alto que esta plataforma. Pega una hoja de papel sobre la pared. Coloca un espejo plano redondo de una pulgada contra la pared y ajusta el ángulo del láser tal que el rayo este retro-reflejado sobre el mismo. Esto asegura que el rayo láser este a un ángulo recto de la pared para nuestros cálculos. Quita el espejo y marca la posición del rayo láser sobre el papel pegado en la pared. Éste representa el rayo no desviado/refractado.
3. Coloca y orienta el prisma sobre la plataforma rotatoria de tal forma que el rayo láser incida en uno de los lados cortos como se muestra en la figura 3.2. Retro-refleja el rayo láser de regreso a la cabeza del láser. Puedes necesitar ajustar los tornillos angulares del montaje sobre el cual, el prisma esta colocado. El centro de la hipotenusa del prisma deberá estar sobre el centro de rotación de la plataforma. Mide la distancia del centro de rotación del prisma a la pared (X).

Rota el prisma en la dirección en que se mueven las manecillas del reloj girando la plataforma de rotación (R) hasta que el rayo láser salga de la hipotenusa del prisma y toque la pared. Realiza esto varias veces hasta que sientas que estás en la transición en la cual la luz empieza a transmitirse fuera de la hipotenusa. La medición de θ_0 está dada por $\tan(\theta_0 + 45^\circ) = Y/X$, donde X es la distancia de la interfase a la pared y Y es la distancia de la ubicación del rayo en el ángulo crítico al punto donde el rayo toca la pared antes de que el prisma fuera colocado.

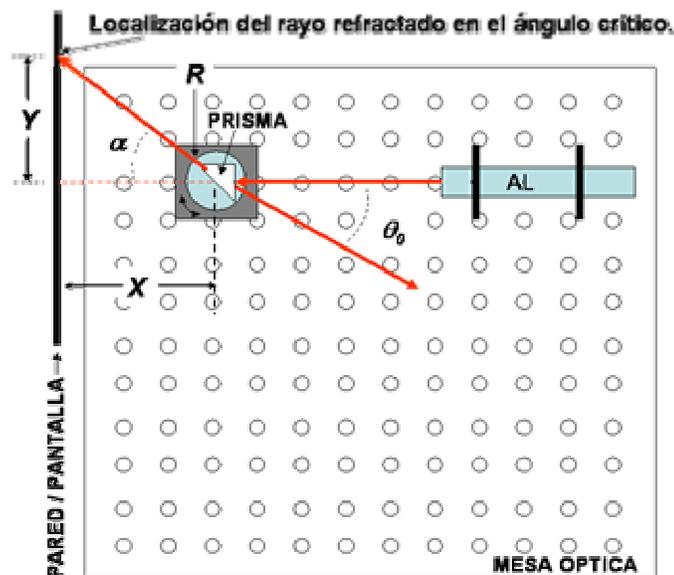


Figura 3.2. Vista superior del montaje experimental para determinar el índice refractivo de un prisma de vidrio.

4. Sustituye este cálculo en la fórmula anteriormente dada (ec. 3.2) y compara el valor obtenido mediante este experimento para n_v con el valor del índice de refracción aceptado en la literatura para el vidrio BK7 del prisma, correspondiente en la longitud de onda del láser helio-neón (632 nm), que es de: 1.517.

FIN DE TAREA VII.

ESTRATEGIA (E): **Discusión de si dos situaciones son análogas una con la otra.**

Propósito: Crear un puente entre los entendimientos intuitivos de los estudiantes que están de acuerdo con las teorías aceptadas (“blancos”) y aquellos que no lo están (“anclas”) para apoyar la construcción de nuevas concepciones, y adoptar una concepción científica sobre el fenómeno de refracción de la luz. Para esto se desarrolla la siguiente actividad experimental:

TAREA VIII:

PRÁCTICA EXPERIMENTAL II:

“ÍNDICE DE REFRACCIÓN”.

Instrucciones para el estudiante:

1. El gradiente de índice ¹

Llena una pecera/tanque con agua y adiciónale varias cucharadas de sal (de cocina). Deja el tanque reposando todo un día. Dirige el rayo láser a lo largo de la longitud del tanque por debajo y paralela a la superficie. Intenta esto a diferentes alturas del tanque. Nota que el rayo emerge del tanque a una altura diferente de la que entra. Esto es porque hay un gradiente de índice refractivo en el tanque. Los gradientes de índice deflecan la luz en varias posiciones. Ellos son responsables de los espejismos y de la apariencia “húmeda” de una mancha distante sobre un camino/carretera en un día caluroso.

¹ El gradiente de índice de refracción es un cambio continuo del índice refractivo dentro del material (agua con sal). Los rayos de luz son desviados continuamente dentro del recipiente con agua y sal, hasta que finalmente salen a una altura diferente a la que entra.

Contesta la siguiente pregunta: ¿cómo tus observaciones de la actividad del rayo láser con el recipiente con agua salada pueden ser explicadas usando tus ideas acerca del principio de *Huygens*? Formula de manera individual tus ideas y dibuja un diagrama mostrando la propagación de las ondas de luz láser en las interfases aire-agua salada, agua salada-aire, indicando las causas de tus deducciones. Prepárate para presentar tus conclusiones en discusión grupal.

- En la figura 3.3 (a y b) se muestra luz láser refractada hacia la normal conforme ésta entra a un medio más denso. Compara la deflexión de un conjunto de ruedas cuando este cruza la frontera pavimento-lodo (c) con la desviación del rayo láser en la frontera aire-agua con sal del experimento anterior.

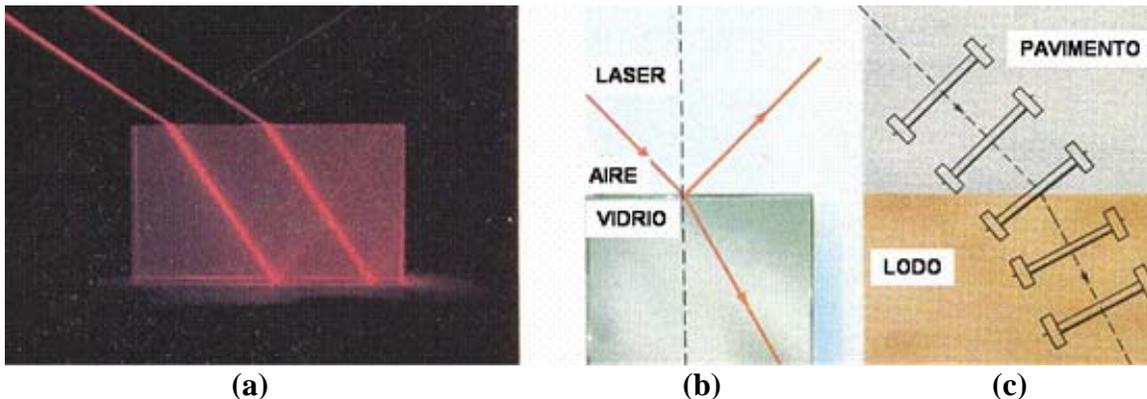


Figura 3.3. a) Refracción de la luz en una pecera con agua, b) Esquema de refracción de un haz de luz en dos medios y c) Deflexión natural de un conjunto de ejes de ruedas al cruzar una frontera pavimento-lodo.

Realiza una comparación explícita entre la luz refractada por el recipiente con agua salada y la deflexión de las ruedas cuando estas cruzan la frontera pavimento-lodo (medio denso a menos denso) en un intento de establecer la relación de analogía (ojo: analizar las velocidades respectivas).

Tabla 3.6: Analogía y puente entre blancos anclas.

Blanco	Ancla
• Rayo de luz	• Línea perpendicular al eje de las ruedas
• Frontera aire-agua salada	• Frontera pavimento-lodo
• Frontera agua salada-aire	• Frontera lodo-pavimento
• Densidad del agua salada	• Densidad del lodo
• Frente de onda	• Eje de las ruedas
• Velocidad de la luz en cada medio	• Velocidad de las ruedas en cada medio

FIN DE TAREA VIII.

ESTRATEGIA (F): Gráfica tipo 1 (Relación: Instrumento Óptico - Aplicación).

Propósitos: Facilitar el análisis de la aplicación tecnológica del fenómeno de refracción con el entendimiento/reconocimiento de diversos instrumentos ópticos. Reinvertir los recursos mentales que se hacen disponibles como resultado del patrón de aprendizaje seguido en esta sección (Representación Geométrica de la luz: Óptica geométrica y algunos fenómenos físicos) para dirigir el análisis de problemas a niveles superiores de complejidad *Bereiter & Scardamalia* [15].

TAREA IX:

Instrucciones para el estudiante:

1. Llena los espacios en blanco de la tabla 3.7, donde se te pide la función de cada una de las partes de un endoscopio GRIN, así como el tamaño de la lente utilizada en algunos elementos y su función específica (sub-función), utiliza para ello la información proporcionada en el texto a continuación de la tabla 3.7 y de las figuras 3.4-3.7:

Tabla 3.7: Gráfica de recuperación de tipo 1 sobre el endoscopio GRIN (índice de gradiente).

Partes	Función	Longitud de la lente (Periodos)	Sub-función
Lente transmisor			
Lente objetivo			
Prismas			
Ocular			

“Introducción a la Óptica de gradiente de índice”.

La forma en que trabaja una lente de gradiente de índice (GRIN) puede explicarse considerando una lente convencional: Un rayo de luz que entra, es refractado primero cuando éste entra en la superficie formada de la lente, debido al cambio abrupto del índice refractivo desde el aire al material homogéneo. El rayo pasa el material de la lente en una forma directa, hasta que emerge a través de la superficie de salida de la lente, donde es refractado otra vez por el cambio abrupto del índice desde el material de la lente al aire. Una forma bien definida de la superficie de la lente causa que los rayos sean enfocados en una mancha y crear una imagen.

El desempeño de las lentes GRIN, depende de un cambio continuo del índice de refracción dentro del material de la lente. En lugar de superficies de formas complicadas como las de las lentes convencionales (cóncavas, convexas, plano convexas, meniscos convergentes,

etc.), se usan superficies ópticas planas. Los rayos de luz son desviados continuamente dentro de las lentes hasta que finalmente son enfocados en una mancha. Lentes miniaturizadas son fabricadas por debajo de 0.2 mm de grueso o de diámetro. La geometría simple, facilita esencialmente el ensamble del producto. La variación de la longitud de la lente implica una flexibilidad enorme para fijar los parámetros de las lentes tales como, la longitud focal, y la distancia de trabajo, a requerimientos especiales sin gran investigación y esfuerzos de desarrollo. Por ejemplo, la elección apropiada de la longitud de la lente, causa que el plano de la imagen caiga directamente sobre el plano de la superficie de la misma lente, por lo que las fuentes tales como fibras ópticas pueden ser engomadas directamente sobre la superficie de la lente.

Tecnológica Óptica: La tecnología óptica actual depende de pequeños componentes ópticos (usualmente construidos de un vidrio especial) que tienen gradientes de índice de refracción diseñados dentro de ellos para que actúen como lentes, pero sin tener explícitamente la forma tradicional de estas (ver figura 3.4.a). Estos componentes son referidos como lentes GRIN, donde las dos primeras letras son tomadas de “gradiente” y las segundas dos son tomadas de “índice”. En general, cuando rayos de luz viajan del aire al vidrio convencional, estos cambiarán su dirección de acuerdo al cambio del índice de refracción sufrido en la interfase aire/vidrio, según lo explica la ley de *Snell*.

Como se ilustra en la figura 3.4.b, las lentes convencionales (positivas o convexas) enfocan el rayo de luz desviando la luz en su superficie por medio del control de la forma de los lentes y la suavidad de su superficie. A diferencia de las lentes convencionales, las lentes GRIN enfocan la luz por una variación gradual del índice de refracción inducida dentro del material de estas lentes, en lugar de variar el grosor o espesor de estos elementos ópticos. A esta variación gradual del índice de refracción a lo largo o ancho de la lente GRIN, se le conoce como la creación de un gradiente de índice de refracción.

En la figura 3.4.a, esta variación o gradiente longitudinal de índice de refracción se representa por medio de la variación en la tonalidad del color verde: entre más oscuro, más refractivo es el sistema (nótese que la lente GRIN tiene una forma rectangular, no común en óptica tradicional).

A través de una variación radial controlada con precisión del índice de refracción del material de las lentes desde su eje óptico a las orillas de las lentes, las lentes GRIN pueden redirigir un rayo de luz suavemente y continuamente a un punto focal sin la necesidad de controlar bien la curvatura de la superficie (véase la figura 3.4.a).

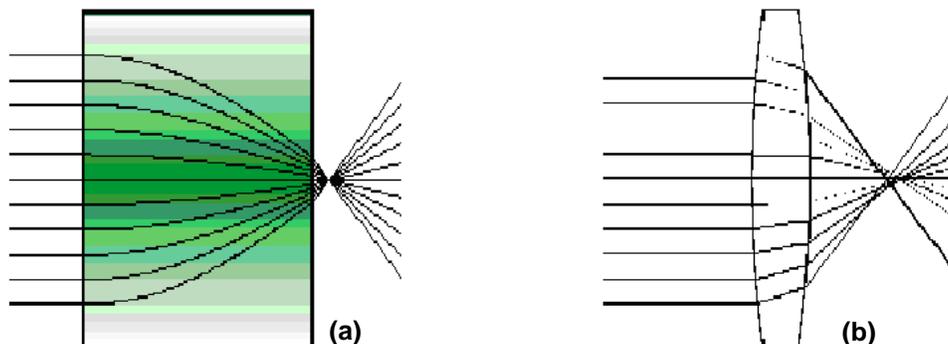


Figura 3.4. a) Lentes GRIN, b) Lentes Esféricas Convencionales.

Detalles técnicos del diseño óptico con lentes GRIN: Un perfil de índice refractivo radial de forma casi parabólica (curvas en negro en la figura 3.5) obtiene un trazo de rayo coseno continuo dentro de una lente de enfoque GRIN (obsérvese trazos en rojo), el periodo o duración de la pendiente (inclinación) P no depende de la altura de la entrada y del ángulo de entrada del rayo de luz. La duración de la pendiente (inclinación) P en los puntos del trazo de rayo coseno es de un cuarto de periodo, negativa para los primeros dos cuartos de periodo, los cuales son delimitados por un punto de inflexión, y positiva para los dos siguientes cuartos de periodo, los cuales también son limitados en su frontera por un punto de inflexión.

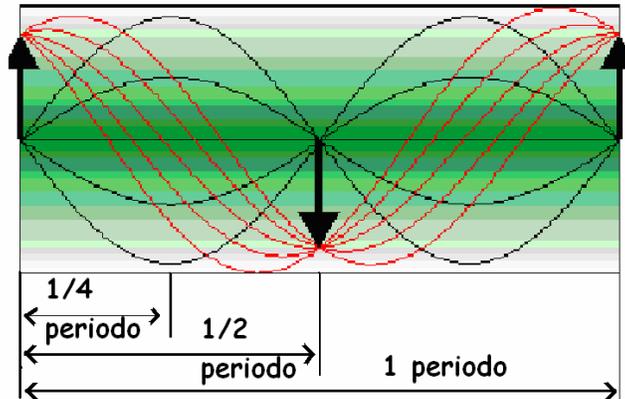


Figura 3.5. Los caminos del rayo dentro de una lente de enfoque GRIN de diferente grado de longitud (periodo).

Varios diseños de imágenes pueden ser realizados usando el mismo perfil de índice, eligiendo diferentes longitudes de lentes:

- Una lente de grado-un cuarto crea una imagen de una fuente puntual en la superficie de entrada de la lente en infinito o lo colima, respectivamente.
- Una lente de grado-medio crea una imagen de un objeto en la superficie de entrada invertida en la superficie de salida de la lente (magnificación: $M = -1$).
- Una lente de grado 1 (2, 3 o más, respectivamente) crea una imagen de un objeto en la superficie de entrada de la lente idénticamente en la superficie de salida (magnificación $M = +1$). Estos lentes son usados en endoscopios como lentes transmisores, los cuales transmiten la imagen desde la parte frontal del endoscopio al ocular (véase figura 3.6).

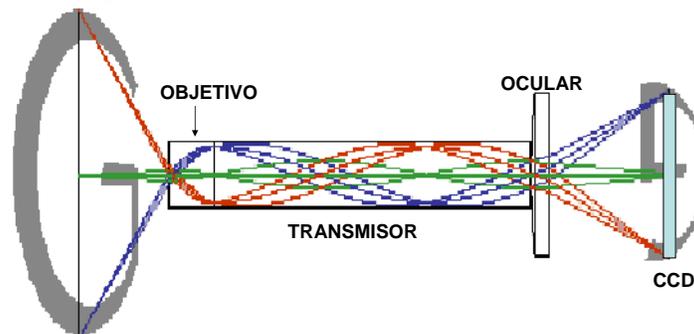


Figura 3.6. Endoscopio GRIN.

El lente objetivo del endoscopio es un poco más grande que una lente de un cuarto de grado y crea una imagen del objeto para ser vista a una distancia de trabajo típica entre 3 y 25 mm y un ángulo de visión grande ($\geq \pm 30^\circ$) sobre la superficie de salida de la lente en una escala reducida (véase figura 3.6). La compañía GRINTECH produce estas lentes vía un intercambio de iones de plata no tóxicos en un vidrio especial. Un sistema de imágenes endoscópicas se logran engomando el objetivo y un sistema de lentes transmisores directamente. Los prismas, que cambian **la dirección de observación** son fácilmente montados sobre la superficie de entrada plana de la lente objetivo.

FIN DE TAREA IX.

3.6.3 TEMA 3: Teoría electro-magnética de la Luz.

ESTRATEGIA (G): Organizador avanzado 1 (Lecturas y presentación de conceptos abstractos).

Propósito: Conectar los conocimientos previos sobre la inducción electromagnética y los conocimientos nuevos acerca de ondas electromagnéticas, enfatizando en el carácter de vibración transversal de estas ondas (conocidas también como luz).

Organizador avanzado sobre el enlace entre la electricidad y el magnetismo, y el electromagnetismo y la óptica, [16].

En la unidad III (sistemas electromecánicos y electrónicos) que los aprendices cursaron en la primera parte del último semestre del bachillerato, aprendieron que una corriente eléctrica en un conductor produce un campo magnético. Y además, que al cambiar la corriente (corriente alterna) cambia el campo magnético, y, como *Faraday* descubrió, al cambiar el campo magnético puede inducirse una corriente eléctrica en un alambre. Más aún, la corriente productora de los campos eléctricos existe aún si un alambre, ver figura 3.7/a. Por lo tanto un campo magnético **B** variable en el tiempo produce un campo eléctrico **E** también variable que es perpendicular en todas partes a la dirección en la que **B** varía. Las líneas de campo del campo eléctrico inducido serán circuitos cerrados debido, que a diferencia de un campo electrostático, no hay cargas en las cuales las líneas empiecen o terminen.

En 1860 *Maxwell* postuló que lo opuesto es también verdad. Un campo eléctrico **E** variable en el tiempo produce un campo magnético **B** también variable que es en todas partes perpendicular a la dirección en la que **E** cambia (ver figura 3.7/a). *Maxwell* sugirió que las cargas no eran necesarias; el campo eléctrico cambiante por sí sólo, produciría el campo magnético. Más aún, podríamos, por lo tanto, reconocer la naturaleza transversal general de los campos **E** y **B** en una perturbación electromagnética auto-generable. *Maxwell* predijo entonces que ambas cargas aceleradas o bien ambos campos variables producirían campos eléctricos y magnéticos que se mueven a través del espacio en forma auto-consistente. Los campos combinados son llamados **onda electromagnética**.

La rapidez a la cual la onda se mueve, calculada por *Maxwell*, fue la rapidez de la luz, 3.0×10^8 m/s, medida por *Fizeau* en 1849. No solamente se enlazó la electricidad y el

magnetismo, sino que la óptica y el estudio de la luz se convirtió en una rama del estudio de la electricidad y el magnetismo. *Heinrich Hertz* (1857-1894), un físico alemán, demostró en 1887 que la teoría de *Maxwell* era correcta.

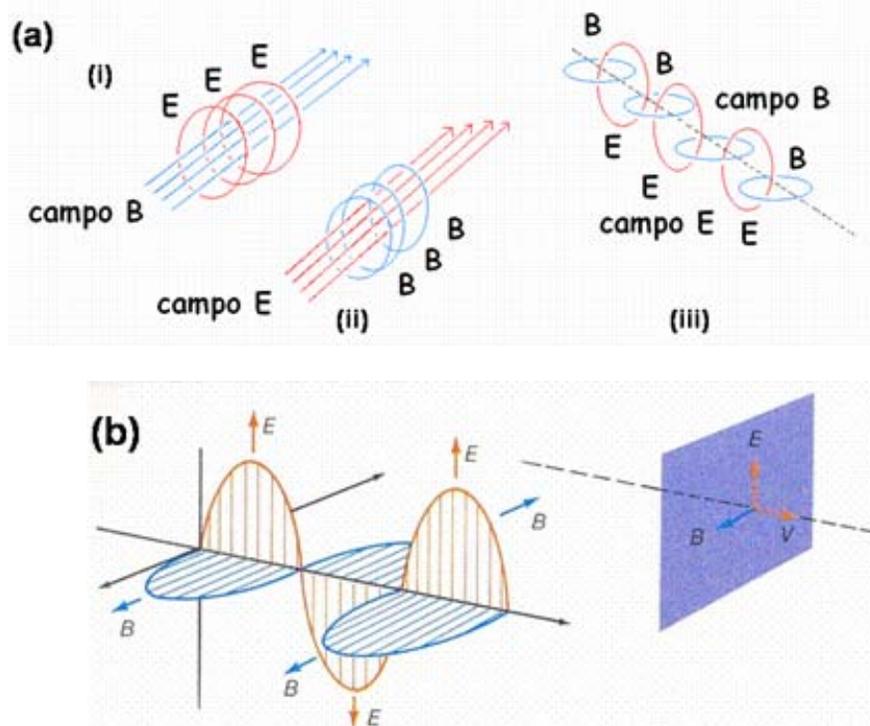


Figura 3.7. (a) Representación de un campo eléctrico (E) y magnético (B) inducido: i) Inducción de un campo eléctrico por un campo magnético variable, ii) Inducción de un campo magnético por un campo eléctrico variable, iii) Representación de la auto-inducción de ambos campos. (b) Vista de porciones de los campos eléctrico y magnético en un instante de tiempo en la propagación de una onda electro-magnética (Luz).

Hoy día se sabe que el espectro electromagnético se extiende de longitudes de onda (la distancia que existe entre dos máximos contiguos de una onda) de 10^{-14} hasta 10^6 metros. Lo que equivale en frecuencia (número de longitudes de onda que transcurren en una unidad de tiempo) de 10^{22} a 10^2 hertz (ciclos/seg) respectivamente (ver Figura 3.8). Actualmente la luz se considera como una onda electromagnética transversal, el campo eléctrico variando en magnitud a lo largo del eje X, el campo magnético variando en magnitud en la dirección perpendicular Y, y la propagación de la onda a lo largo del eje Z. Los campos se mueven en planos (X-Z, Y-Z), por lo que son polarizados linealmente, es decir, su dirección no cambia y se mueven siempre en el mismo plano. En el siguiente tema (tema-4) se aborda la teoría de polarización y diversas actividades relacionadas con ésta.

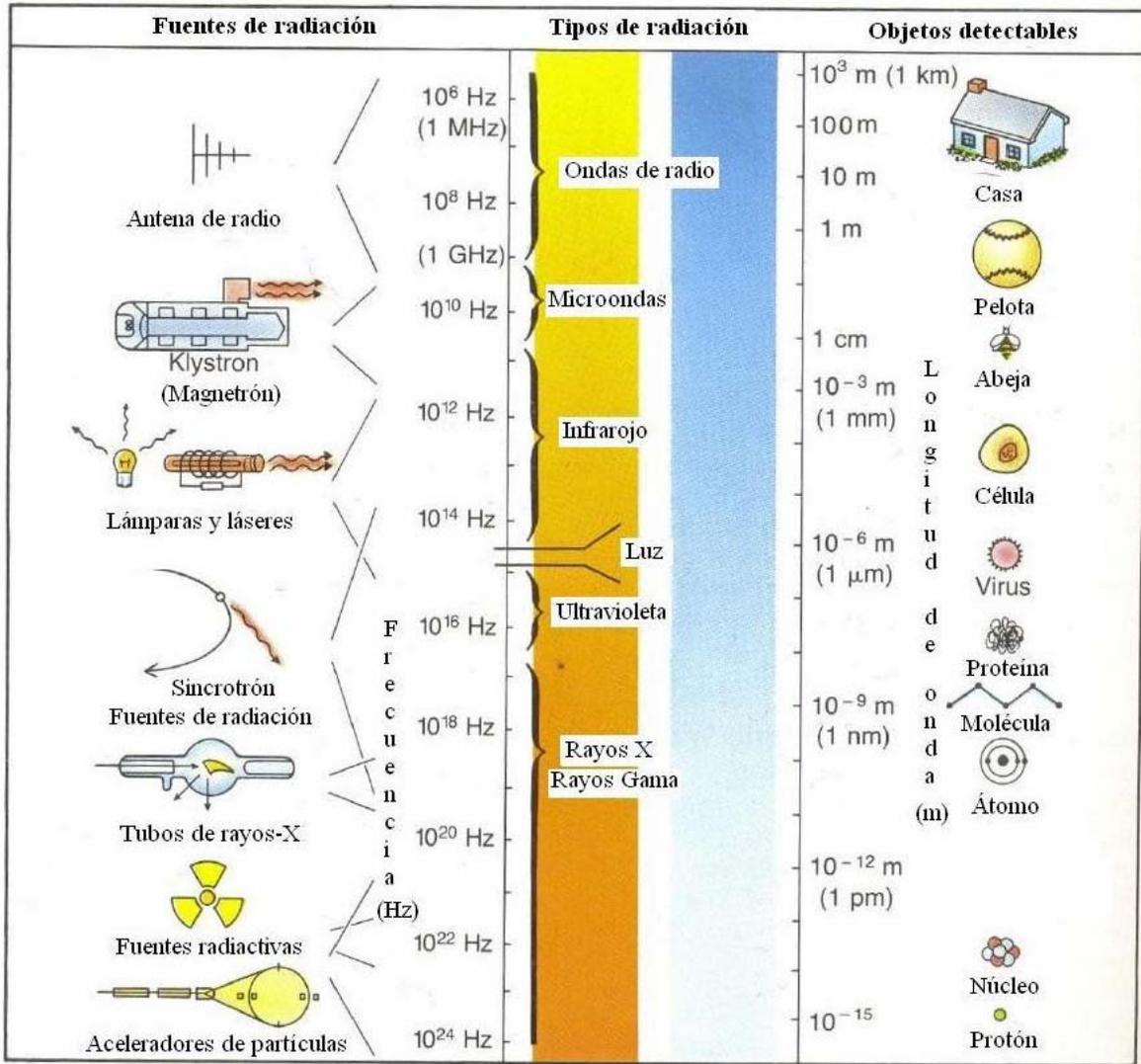


Figura 3.8. Ejemplos representativos de varios tipos de radiación electromagnética.

3.6.4 TEMA 4: Polarización.

El fenómeno de polarización se considera un tema poco estudiado y entendido por los alumnos en el bachillerato, por lo que se proponen varias estrategias (H, I y J) para abordarlo y lograr así un mejor aprovechamiento y entendimiento por parte de los estudiantes, además de desarrollar en ellos habilidades cognitivas como la auto-investigación.

Siguiendo el marco teórico que sustenta esta tesis, y en particular la parte conexionista demarcada dentro de la teoría del procesamiento de la información, se enlazan las teorías de rayos y ondulatoria de la luz a través del fenómeno de polarización, es decir, el conocimiento estudiado previamente en el tema de la representación geométrica de la luz, con el conocimiento sobre la polarización de la luz.

Se inicia el tema de polarización conectándolo con el contenido estudiado anteriormente sobre los fenómenos de reflexión y refracción (estrategia H), a través de los métodos de polarizar luz (por reflexión y refracción). Es importante señalar que la estrategia intermedia que aborda el concepto de polarización (I) se compone de cinco actividades, de las cuales, la primera (actividad 1) es de tipo introductoria a los materiales polarizantes (activación de conocimientos previos), las siguientes tres actividades se utilizan como medios para trabajar varias etapas de la investigación científica, la etapa del entendimiento del contenido de ciencia relevante es representada por la analogía de la “cerca de estacas” (actividad 2), la habilidad para usar equipo de medición y el entendimiento del propósito de una tarea, es abordada por la actividad experimental (actividad 3: La ley de Malus), y posteriormente una actividad sobre la naturaleza de la evidencia empírica (actividad 4). Por último, la estrategia termina con una aplicación tecnológica del fenómeno de polarización, la actividad óptica (actividad 5).

ESTRATEGIA (H): Organizador avanzado 2 (Texto y presentación de conceptos abstractos).

Propósito: Conectar los conocimientos previos sobre la reflexión y refracción de la luz y los conocimientos nuevos sobre el concepto de luz polarizada, recurriendo a los métodos de polarizar luz por reflexión y por refracción.

Organizador avanzado sobre cómo saber que la luz se comporta como una onda.

Como se detalló en el tema de la representación geométrica de la luz y de algunos fenómenos físicos (reflexión y refracción), así como en los párrafos anteriores, la reflexión ocurre cuando un rayo de luz encuentra en su trayectoria un objeto (el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión), parte de la luz es transmitida y parte es reflejada. La luz no polarizada también puede experimentar polarización por reflexión en superficies no metálicas (o dieléctricas). La extensión a la cual ocurre la polarización depende del ángulo de incidencia al cual la luz se aproxima a la superficie y del material de la que esta hecha la superficie. Las superficies no metálicas tales como el asfalto en los caminos, campos de nieve, el agua, reflejan la luz de tal forma que existe una gran concentración de vibraciones en un plano paralelas a la superficie reflejante [17]. Una persona viendo objetos por medio de luz reflejada de superficies no metálicas frecuentemente percibe un deslumbramiento si la extensión de la polarización es grande. Bloqueando la luz polarizada en un plano, el destello es reducido. La figura 3.9/a ilustra el fenómeno de polarización por reflexión que ocurre a incidencia del denominado ángulo de polarización θ_p :

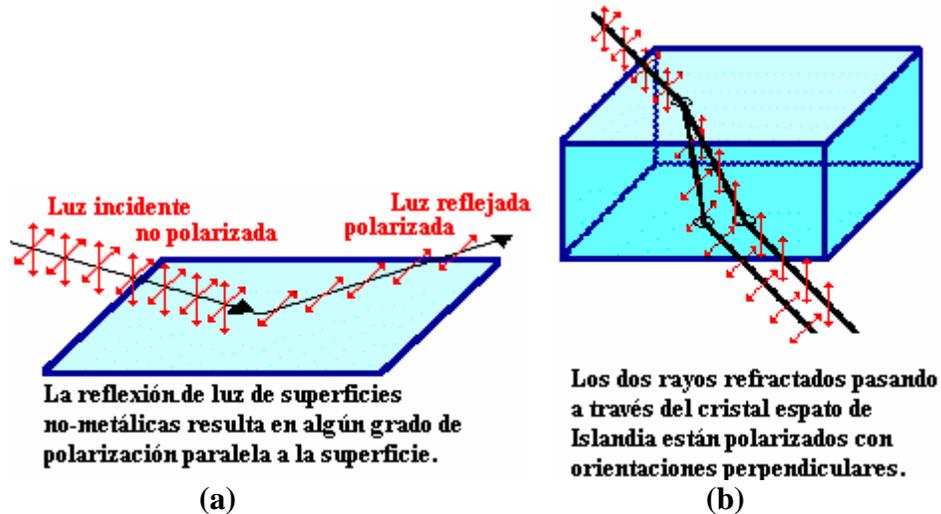


Figura 3.9. Métodos de polarización de la luz: **a)** por reflexión en superficies no metálicas (dieléctricos) y **b)** por refracción (en cristales birrefringentes [17]).

La polarización de la luz también puede ocurrir por medio del fenómeno de refracción. La refracción ocurre cuando un rayo de luz pasa de un medio material a otro. En la superficie/interfase de los dos materiales, la trayectoria del rayo cambia su dirección. El rayo refractado de un medio a otro puede también adquirir algún grado de polarización. La polarización de la luz refractada se puede demostrar usando un cristal **único** que sirve como un cristal de doble refracción. El espato de Islandia (una forma rara del mineral de calcita) refracta la luz incidente en dos trayectorias diferentes. La luz es *desdoblada* en dos rayos al entrar al cristal, por lo que dos imágenes serán vistas. Las dos imágenes son el resultado de la doble refracción de la luz. Ambos rayos de luz refractados están polarizados – uno en una dirección paralela a la superficie y el otro en una dirección perpendicular a la superficie (a estos rayos se les conoce como rayos ordinarios y extraordinarios, respectivamente). Las figuras 3.9/b y 3.10 ilustran el caso de la doble refracción producido por este tipo de cristales.

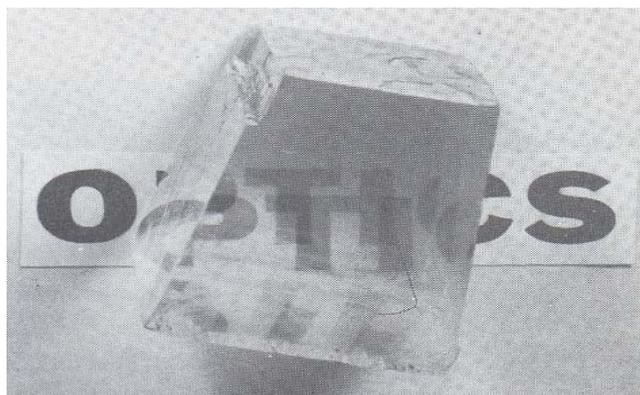


Figura 3.10. Imagen doble formada por un cristal de calcita debido al fenómeno de birrefringencia.

Como estos dos rayos refractados están polarizados con una orientación mutuamente perpendicular, un filtro polarizador puede usarse para bloquear completamente una de las

imágenes seleccionadas. Si el eje de polarización del filtro es alineado perpendicular al plano de la luz polarizada de una de las imágenes, la luz de esta es bloqueada completamente por el filtro, mientras tanto la segunda imagen es tan brillante como puede ser, si entonces el filtro es girado 90 grados, la imagen bloqueada reaparece mientras que la primera imagen desaparece

Frecuentemente, la polarización ocurre en un plano perpendicular a la superficie. El fenómeno de polarización es conocido como el proceso de transformar luz no polarizada en luz polarizada, las ondas resultantes de luz polarizada son ondas de luz en la cual las vibraciones ocurren en un sólo plano. En general, las vibraciones eléctricas y magnéticas de una onda electromagnética ocurren en numerosos planos. Una onda de luz que está vibrando en más de un plano es referida como luz no polarizada. La luz emitida por el sol, por una lámpara en el salón de clases, o por la flama de una vela es luz no polarizada. Tales ondas de luz son creadas por una carga eléctrica la cual vibra en una diversidad de direcciones, creando por lo tanto una onda electromagnética que oscila en una variedad de orientaciones. Este concepto de luz no polarizada es un tanto difícil de visualizar, en general, es útil representar la luz no polarizada como una onda que tiene en promedio la mitad de sus vibraciones en un plano horizontal y la mitad de sus vibraciones en un plano vertical (ver figura 3.11).

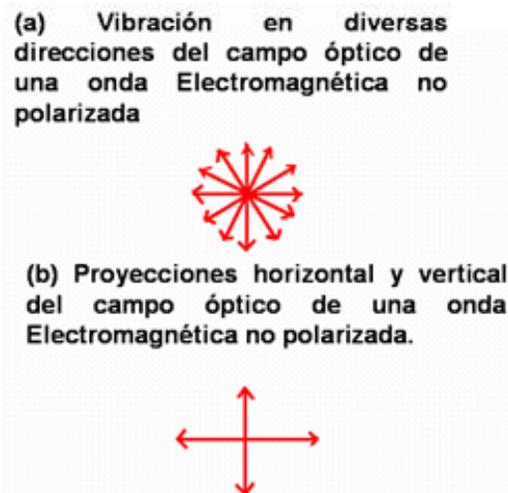


Figura 3.11. (a) Representación de una onda electromagnética no-polarizada por medio del campo eléctrico (E) oscilando en diversas direcciones. (b) Representación de una onda electromagnética no-polarizada por medio de las proyecciones horizontal y vertical de los campos eléctricos (E) respectivos.

Es posible transformar luz **no polarizada** en **luz polarizada**. Las ondas de luz polarizada son ondas de luz en las cuales las vibraciones ocurren en un sólo plano. El proceso de transformar luz no polarizada en luz polarizada es conocido como polarización. El método más común de polarización involucra el uso de un filtro polarizador (ver figura 3.12). Los filtros polarizadores están hechos de un material especial, el cual es capaz de bloquear uno de los dos planos de vibración de una onda electromagnética. La noción de dos planos o direcciones de vibración es meramente una simplificación que nos ayuda a visualizar la naturaleza ondulatoria de la onda electromagnética, en este sentido, un polarizador sirve como un dispositivo que filtra una mitad de las vibraciones, contra la

transmisión de la luz a través del filtro. Cuando la luz no polarizada es transmitida a través de un filtro polarizador, ésta emerge con una mitad de la intensidad y con vibraciones en un sólo plano; ésta sale como luz polarizada.

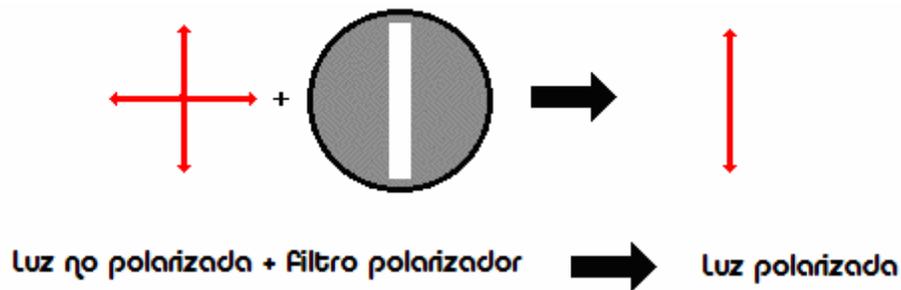


Figura 3.12. Representación de la obtención de luz polarizada por medio de un filtro polarizador.

Un filtro polarizador puede polarizar luz debido a la composición química del material del filtro. El filtro puede pensarse como un arreglo de moléculas largas, alineadas dentro del filtro en la misma dirección. Durante la fabricación del filtro, las moléculas de cadena larga están extendidas a través del filtro de tal forma que cada molécula está (tanto como sea posible) alineada en digamos la dirección vertical. Conforme la luz no polarizada golpea el filtro, la porción de las ondas que vibran en la dirección vertical son absorbidas por el filtro (mediante las cargas eléctricas libres presentes a lo largo de las cadenas moleculares). La regla general es que las vibraciones electromagnéticas que están en una dirección paralela a la alineación de las moléculas son absorbidas. La alineación de estas moléculas da al filtro un eje de polarización (perpendicular al eje de las moléculas). Este eje de polarización se extiende a través de la longitud del filtro y sólo permite pasar vibraciones de la onda electromagnética que son paralelas a éste. Cualesquiera vibraciones que sean perpendiculares al eje de polarización son bloqueadas por el filtro. Por lo tanto, un filtro polarizador con sus moléculas de cadena larga alineadas horizontalmente tendrán un eje de polarización alineado verticalmente. Tal filtro, bloqueará todas las vibraciones horizontales y permitirá que las vibraciones verticales sean transmitidas (véase figura 3.13). Por otro lado, un filtro polarizador con sus moléculas de cadena larga alineadas verticalmente tendrá un eje de polarización alineado horizontalmente, este filtro bloqueará todas las vibraciones verticales y permitirá a las vibraciones horizontales ser transmitidas.

Relación entre la orientación de moléculas de cadenas largas y la orientación de los ejes de polarización

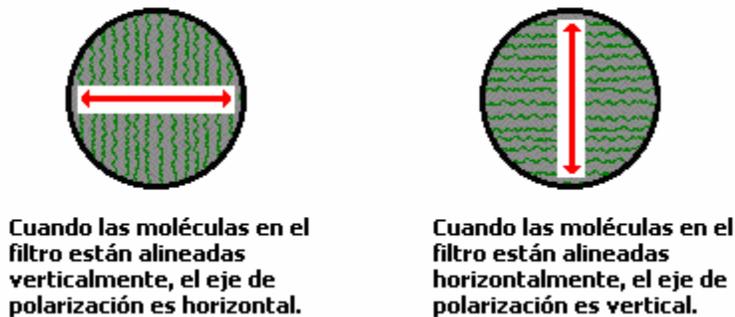


Figura 3.13. Relación entre la orientación de grandes moléculas de polímeros y la orientación de los ejes de polarización.

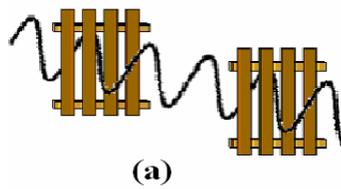
ESTRATEGIA (I): Investigación guiada (Actividad experimental).

Propósito: Trabajar varias etapas de la investigación científica incluyendo el desarrollo de prácticas experimentales: Ley de *Malus*.

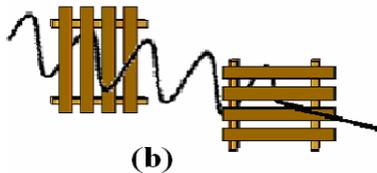
Instrucciones para el estudiante (1-6):

1. Observa objetos a través de un filtro polaroid (equipo *NewPort*) rotándolo lentamente, después con otro filtro polaroid más, colócalos uno detrás del otro, rota lentamente el segundo filtro. Describe tus observaciones y explícalas.
2. En la siguiente figura (3.14) se muestra la **analogía** de la cerca de estacas, la cerca puede “actuar” análogamente como un polarizador. Compara los dos filtros polaroid (de *Newport*) orientados con sus ejes de polarización perpendiculares uno con el otro bloqueando toda la luz (en el experimento con los filtros polaroid), con dos cercas de estacas paralelas, cuyos espacios entre las estacas están orientados perpendicularmente unos con los otros, cada cerca “transforma” una onda no polarizada de una cuerda, en una onda que vibra en un sólo plano. Realiza una comparación explícita entre la luz polarizada por los filtros polaroid y la transformación de una onda que vibra en un sólo plano en una cuerda por las cercas, en un intento de establecer la relación de analogía.

La analogía de la cerca de estacas



Cuando las estacas de las cercas están alineadas en la dirección vertical, una vibración vertical puede hacerlo a través de ambas cercas



Cuando las estacas de la segunda cerca están horizontales, las vibraciones que lo hicieron a través de la primera cerca serán bloqueadas.

Figura 3.14. (a) Par de cercas colocadas en forma paralela que permiten la oscilación de la cuerda en la dirección vertical. (b) Par de cercas colocadas en forma perpendicular que cancelan la oscilación de la cuerda en la dirección vertical.

3. Lee cuidadosamente y discute con tu grupo de trabajo la siguiente **Lectura conceptual**:

“La ley de Malus”.

Consideremos un polarizador perfecto – uno que transmite toda la luz para una polarización y rechaza (por absorción o reflexión) toda la luz de la polarización complementaria (perpendicular). La dirección de polarización de la luz transmitida es el eje de polarización, o simplemente el eje del polarizador. Como la luz polarizada aleatoriamente no tiene polarización preferida, habría cantidades iguales de luz incidente para dos direcciones de polarización ortogonales (perpendiculares). Por lo tanto, un polarizador lineal perfecto pasaría la mitad de la radiación incidente y absorbería la otra mitad. Consideremos la luz de una fuente polarizada aleatoriamente al pasar por un polarizador, como resultado se obtiene a la salida del polarizador, luz linealmente polarizada de irradiancia I_0 . ¿Cuál es la cantidad de luz transmitida a través de un analizador (un segundo polarizador) cuyo eje de transmisión está orientado paralelo al eje del primer polarizador?. Como el campo eléctrico es un vector, se puede descomponer en dos componentes, uno paralelo al eje del analizador, el otro perpendicular a este eje. Esto es

$$\mathbf{E} = E_0 \cos\theta \mathbf{e}_{\parallel} + E_0 \sin\theta \mathbf{e}_{\perp}, \quad (3.4)$$

El campo transmitido es la componente paralela y la irradiancia transmitida I_{trans} es el campo eléctrico al cuadrado promediado en el tiempo:

$$I_{\text{trans}} = \langle E_0^2 \cos^2 \theta \rangle = \langle E_0^2 \rangle \cos^2 \theta,$$

ó bien:

$$I_{\text{trans}} = I_0 \cos^2 \theta. \quad (3.5)$$

Donde I es la intensidad de la luz pasando a través del analizador (y la cantidad total de luz pasando a través del par de polarizadores cruzados), I_0 es la intensidad de la luz que está incidiendo sobre el polarizador, y θ es el ángulo entre los ejes de transmisión del polarizador y el analizador. Esta ecuación, la cual relaciona la irradiancia de la luz polarizada transmitida a través de un polarizador perfecto a la irradiancia de la luz polarizada incidente, es llamada la **Ley de Malus**, después de su descubrimiento por *Etienne Malus*, un ingeniero en la armada francesa (1818).

Examinando la ecuación (3.4), se puede determinar que cuando los dos polarizadores están cruzados ($\theta = 90$ grados), la intensidad es cero. En este caso, la luz que pasa por el polarizador es extinguida completamente por el analizador. Cuando los polarizadores están cruzados parcialmente a 30 y 60 grados, la luz transmitida por el analizador es reducida en un 25 por ciento y 75 por ciento, respectivamente.

4. Construye el siguiente montaje experimental (figura 3.15) y realiza las siguientes actividades con el equipo *Newport* de óptica:

Montaje experimental:

Equipo Newport requerido:

Parte	Cantidad	Descripción
AL	1	Montaje/Arreglo láser
M-I, M-II	2	Ensamble guía de rayo
EPR-I	1	Ensamble de plataforma de rotación
ML	2	Montaje de lentes
MB	1	Montaje de blanco modificado
R	1	Plataforma de rotación
P1, P2	2	Polarizadores lineales

Equipo adicional requerido:

Parte	Cantidad	Descripción
TI	1	Tarjeta índice
V	1	Voltímetro
D	1	Foto detector o celda solar
M	1	Porta objetos de microscopio

1. Monta un ensamble/arreglo láser (AL) en la parte trasera de la mesa óptica. Ajusta la posición del láser tal que el rayo esté paralelo a la orilla sobre una línea de los hoyos en la parte superior de la mesa (ver figura 3.15). Pega una tarjeta índice con un pequeño hueco (alrededor de 2 mm) en ella al frente del láser, para que el rayo láser pueda pasar a través de él. Esta tarjeta será usada como una pantalla para

monitorear las reflexiones de las componentes ópticas conforme estas son insertadas en la trayectoria del rayo.

2. Monta un ensamble guía de rayo (M-I) que es básicamente un espejo móvil. Ajusta la altura del montaje del espejo hasta que el rayo intercepte el centro de éste. Entonces rota el poste en el sujetador de poste hasta que el rayo láser está paralelo a la orilla izquierda y la superficie de la mesa óptica.
3. Coloca un segundo ensamble guía de rayo (M-II) en línea con el rayo láser en la esquina baja izquierda de la mesa óptica. Rota y ajusta el montaje de espejo hasta que el rayo láser esté paralelo a la orilla frontal y la superficie de la mesa óptica.
4. Coloca el detector (diodo) D detrás de un montaje de lentes (ML) más allá del segundo ensamble guía de rayo (M-II) para que el rayo golpee el centro del detector.
5. Monta uno de los polarizadores P1 en un montaje para lentes ML, con la muesca en el disco con la cara hacia arriba. Pega el segundo polarizador P2 a un montaje de plataforma rotatoria R tal que la muesca este vertical cuando la plataforma de rotación esté determinada a 360° . Coloca ambos montajes directamente en línea con el rayo láser entre el segundo ensamble guía de rayo (M-II) y el detector D. La salida del dispositivo será proporcional a la irradiancia de la luz (Watts/m^2). Esta cantidad es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo eléctrico/óptico del haz láser. Rota el segundo polarizador por incrementos de 10° , entre 0° y 180° , registrando el ángulo θ relativo entre ambos polarizadores y la salida del detector D medida por un voltímetro.
6. Grafica los resultados de tus mediciones, compáralos y discútelos en referencia con **la ley de Malus:**

$$I_D = I_0 \cos^2 \theta \quad (3.6)$$

Tendrás que escalar tu gráfica comparándola con la de I_0 , que es el valor máximo registrado (polarizadores paralelos). También, te puedes haber equivocado en la orientación de uno de los polarizadores por alguna cantidad y por lo tanto las dos curvas pueden estar corridas a lo largo del eje angular. Puedes haber ajustado tus gráficas para hacer la comparación, pero justificarías cualquier ajuste en tu cuaderno.

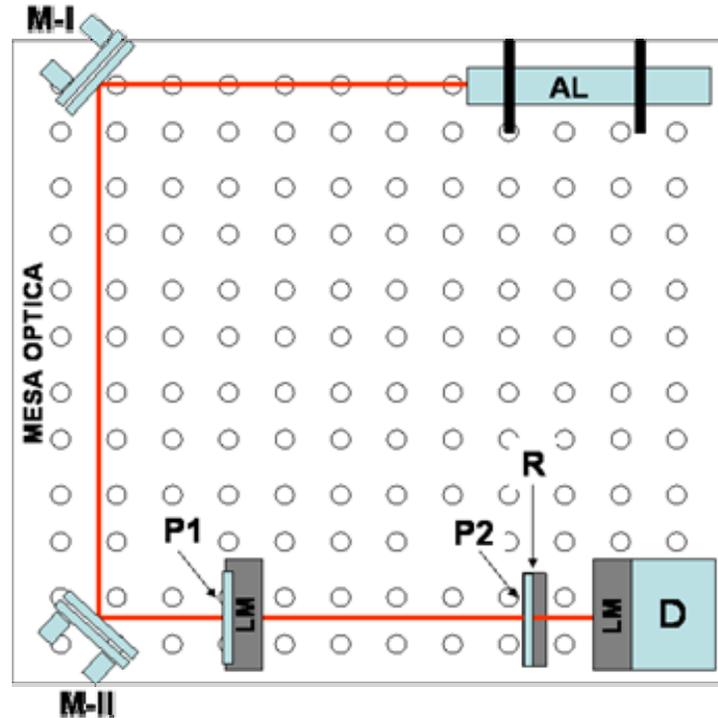


Figura 3.15. Montaje experimental para la comprobación de la ley de *Malus*.

5. La naturaleza de la evidencia empírica.

En correspondencia a la actividad experimental que verificó la ley de Malus, la cual estableció las variables físicas y la relación entre ellas, selecciona de la siguiente lista de criterios sobre la evidencia empírica (datos experimentales), el enunciado concordante con el proceso de medición (toma de datos experimentales) realizado en la práctica experimental, extiende tu respuesta en forma escrita.

1. Los estudiantes ven la medición como no problemática.
2. Los estudiantes aprecian la posibilidad de error, pueden saber que repitiendo medidas es una forma de mejorar sus resultados al tener más confiabilidad en la muestra de datos tomados.
3. Entender como la variación en lecturas repetidas puede ser usado para evaluar la integridad de una medición.

6. Aplicación tecnológica: Experimento de Actividad Óptica.

Usando un tanque de plástico incoloro, llena la parte baja del tanque con miel de maíz (karo o Carlota) a una altura suficiente para que pase el rayo láser y ponlo sobre una caja u otro objeto para elevar el líquido a la altura correcta del rayo. Sin el tanque en el rayo, coloca dos polarizadores cruzados (dos filtros polaroid orientados con sus ejes de polarización perpendiculares uno con el otro), entonces inserta el tanque de miel

entre ellos. Debido a la actividad óptica de la miel, la luz linealmente polarizada en primer instancia por el polarizador (P1), será rotada y esta será transmitida a través del segundo polarizador (analizador P2). El ángulo de rotación puede ser determinado, rotando el analizador (segundo filtro polaroid) hasta extinguir el rayo que atravesó la miel. La constante de rotación es igual al ángulo dividido por la distancia que el rayo viaja a través de la miel. Con el valor de la constante de rotación, calcula el contenido de azúcar en la miel, si se sabe que por cada gramo de azúcar disuelta en 1 cm^3 de agua, el plano de polarización de una onda luminosa polarizada linealmente rota más de 66.5° por cada centímetro de camino óptico recorrido por la luz.

ESTRATEGIA (J): Aprendizaje basado en problemas (ABP).

Propósito: Promover el desarrollo de habilidades cognitivas para apoyar la investigación independiente usando diversas herramientas y recursos (biblioteca, Internet, laboratorio, etc.) de un dominio profesional particular (Física-Óptica).

Instrucciones para el estudiante:

a) Lee cuidadosamente el siguiente texto (“El misterio de una noche de verano”) y contesta en los espacios lo que se te pide, es decir, lo que consideres una pista/pistas o datos orientadores o hechos, la identificación del problema(s), el planteamiento de hipótesis, los objetivos de aprendizaje, y las fuentes de información a consultar. Todo esto con la finalidad de identificar y resolver el problema.

“El misterio de una noche de verano”

Carlos, estudiante de física oye ruidos en el exterior de su casa, él se encuentra en su recámara situada a un costado de la entrada principal de su hogar, el reloj marca las 24 hrs., intenta atravesar el vidrio de la ventana con el haz de su lámpara sorda (linterna) para iluminar el espacio del corredor del patio externo y observar la causa del ruido. Sin embargo, la luz reflejada en el vidrio de la ventana le dificulta la observación de lo que sucede afuera.

Pistas/hechos/datos orientadores:

Problema(s):

Hipótesis/explicaciones/diagnósticos presuncionales:

Objetivos de aprendizaje:

Fuentes de información:

b) Posteriormente en discusión grupal, plantearás y defenderás tu posición en relación a la definición del problema, el planteamiento de hipótesis, los objetivos de aprendizaje, las fuentes de información consultadas, hasta lograr un acuerdo sobre estas cuestiones. Una vez alcanzando éste acuerdo por todo el grupo, deberás proceder a revisar (individualmente) las fuentes de información propuestas por el grupo con el objeto de recabar más información ya sea teórica o experimental necesaria para resolver el problema planteado.

3.6.5 TEMA 5: El principio de superposición de ondas.

ESTRATEGIA (K): Una combinación del conocimiento cotidiano propio del alumno y el conocimiento científico.

Propósitos:

- a) Auxiliar en el arribo a un conocimiento consciente de las teorías de los estudiantes (relacionadas con el pensamiento de la vida diaria) y la teoría científica para aprender conceptos científicos aprendiendo las diferencias entre el pensamiento de la vida cotidiana y el pensamiento científico.
- b) Aprender conceptos científicos.
- c) Aplicar el principio de superposición de ondas (Experimento de Interferencia).

Instrucciones para el estudiante a desarrollar durante la ejemplificación del Experimento de *Young* de la doble rendija:

1) Preparación:

- a).- Lee cuidadosamente y discute con tu grupo de trabajo la siguiente **Lectura conceptual:**

“La luz como onda electromagnética”

Mientras que en el tema dos se otorgo una representación geométrica a la luz, es decir, se la trato como rayos propagándose en línea recta, este modelo no describe completamente los fenómenos ópticos observados. Existe un número de conceptos adicionales que son necesarios para explicar ciertas limitaciones de la óptica de rayos. El enfoque basado en la experticia que se le ha dado a este trabajo, nos lleva a reconocer el carácter rector del principio de superposición de ondas para el estudio de dos fenómenos importantes en la óptica física, **la interferencia y la difracción.**

La teoría electromagnética demuestra que podemos aplicar **el principio de superposición:** donde las ondas se traslapan en la misma región del espacio, el campo resultante en un punto en el espacio y el tiempo se encuentra sumando los campos eléctricos de las ondas individuales en ese punto. Se está asumiendo que los campos

eléctricos de todas las ondas tienen la misma polarización (dirección del campo eléctrico) y pueden ser sumados como escalares.

Una forma de pensar respecto de los campos eléctricos es usar el concepto de frente de onda. Si los campos eléctricos son graficados como una función del tiempo a lo largo de la dirección de propagación, existen lugares en la onda donde el campo es un máximo en una dirección y otros lugares donde éste es cero, y otros lugares donde el campo es un máximo en la dirección opuesta. Esto representa diferentes **fases** de la onda. Por supuesto, la fase de la onda cambia continuamente a lo largo de la dirección de propagación. Para seguir el progreso de la onda, sin embargo, nos concentraremos en un punto en particular de la fase, usualmente en un punto donde la amplitud del campo eléctrico es un máximo. Si todos los puntos en la vecindad tienen esta misma amplitud, ellos forman una superficie de fase constante, o **frente de onda**. Una **onda plana** es un campo de luz hecha de superficies planas de fase constante perpendicular a la dirección de propagación. En la dirección de propagación, el campo eléctrico varía sinusoidalmente tal que se repite cada longitud de onda (λ) (véase figura 3.16 para mayor comprensión).

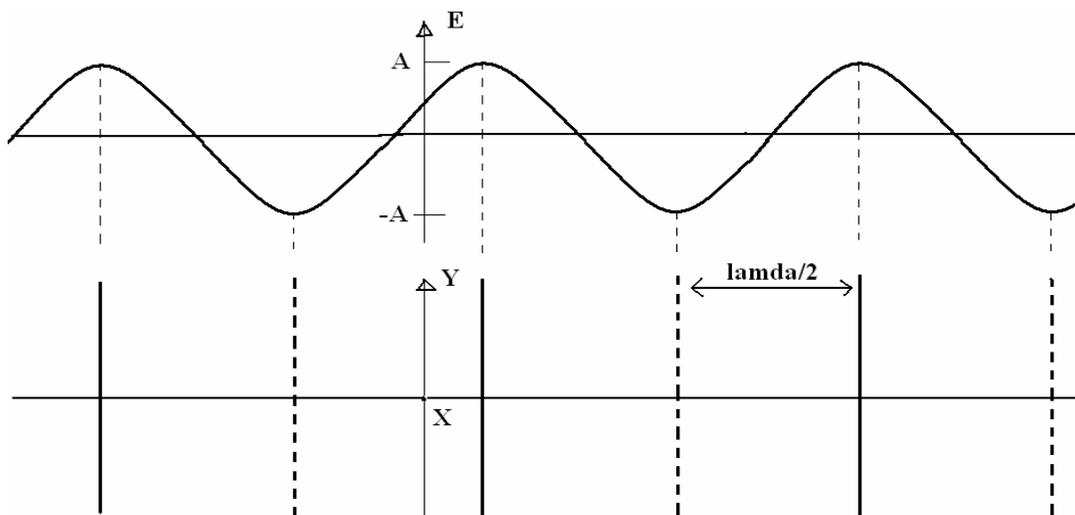


Figura 3.16. Onda plana propagándose a lo largo del eje Z. Para una onda plana el campo eléctrico es constante en un plano X-Y. Las líneas sólidas y las líneas segmentadas indican amplitudes máximas y mínimas de campo, positiva y negativa.

Cuando una onda plana ilumina una ranura, el patrón de onda resultante que pasa la ranura puede ser construido usando el principio de *Huygens* representando el frente de onda en la ranura como una colección de fuentes puntuales, todas emitiendo en fase. La forma del patrón de irradiancia que se observa depende de la distancia de la apertura de difracción, el tamaño de la apertura y la longitud de onda de la iluminación. En el patrón observado al iluminar una ranura (cuando la rendija es angosta) aparece una banda central ancha, ésta se va haciendo más pequeña al ensanchar la rendija, a la vez que aparecen otras bandas más pequeñas a ambos lados de ella. Estas bandas corresponden a regiones en donde la intensidad de la luz pasa gradualmente de un mínimo en las franjas negras hasta un máximo casi a la mitad de cada banda.

En el caso de una onda plana iluminando una ranura circular de diámetro D , el patrón de difracción observado es similar al descrito anteriormente (véase la figura 3.17), aparece un disco brillante central conocido como el disco de *Airy* rodeado de bandas circulares concéntricas de intensidad cada vez menor, y la separación angular entre el máximo central y el primer anillo oscuro es dado por:

$$\text{sen } \theta = 1.22 \lambda / D$$

O para D grande:

$$\theta = 1.22 \lambda / D \quad (3.7)$$

Para valores pequeños de λ / D , el seno puede ser reemplazado por su ángulo.

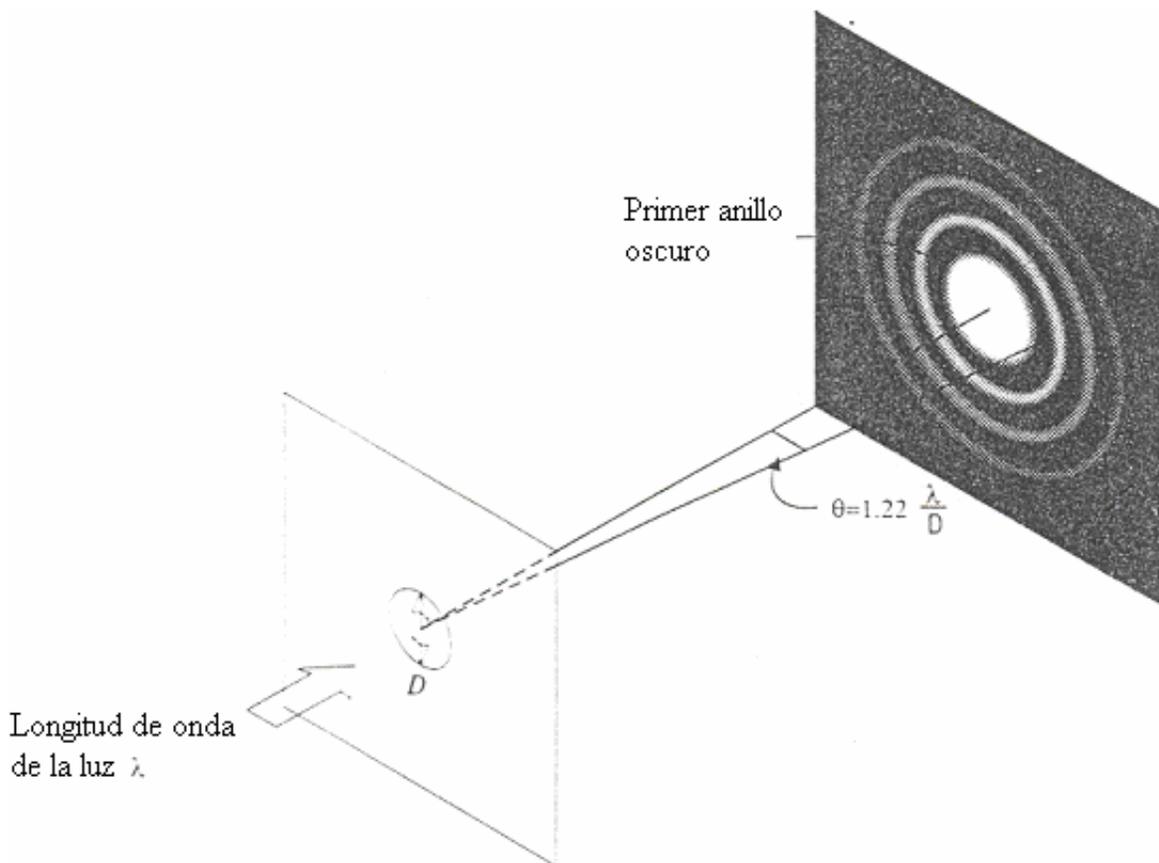


Figura 3.17. Difracción de la luz por una abertura circular.

Por otra parte, si se dirige el haz del láser hacia dos rendijas angostas y paralelas, ocurre un fenómeno de interferencia entre los patrones de difracción de cada una de ellas. La banda luminosa central se ve cortada por franjas negras, es decir, se observan bandas más pequeñas y nítidas y las separaciones entre los mínimos son menores que en el caso de una rendija. La importancia de este experimento –original de *Young*– es que compruebe la teoría ondulatoria, ya que la teoría corpuscular no puede explicar cómo un punto que está iluminado por una sola rendija, se vuelve oscuro cuando hay dos.

Si se desea, se puede investigar qué dimensiones intervienen en la determinación del patrón de interferencia. Para esto se pueden rayar sobre papel aluminio diferentes líneas con gruesos o separaciones diferentes.

b).- Observa la presentación de la experiencia de *Young* realizada por el profesor con el equipo *Newport*, y considera con atención los siguientes parámetros experimentales: la pantalla alejada, rendijas estrechas y cercanas a la fuente de luz (láser). Reproduce y experimenta con tu propio equipamiento los experimentos realizados y registra por medio de dibujos en la pantalla los patrones de difracción observados.

MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

Seis equipos láser,
Seis pantallas,
Papel aluminio,
Seis soportes universales,
Encerado,
Borrador,
Plumón,
Navaja de rasurar,
Seis soportes para sujetar las ranuras.

- 2) **Iniciación:** En el experimento de la doble ranura (experimento de *Young*), ¿De qué parámetros depende el poder observar las líneas brillantes y oscuras (patrón de difracción) en la pantalla?
 - 3) **Desempeño:** Para responder las preguntas planteadas en la etapa anterior desarrolla las siguientes actividades respectivas: formula preguntas o hipótesis, planea y desempeña experimentos, haz observaciones, discusiones teóricas, formula los hallazgos.
 - 4) **Discusión de hallazgos:** Realiza en un foro clase una amplia discusión de las interrogantes e hipótesis planteadas.
 - 5) **Comparación con la ciencia:** Compara los hallazgos de la clase con teorías históricas similares o ideas modernas basadas en fundamentos científicos. Establece las diferencias y discute las razones posibles para esas diferencias.
 - 6) **Reflexión:** Busca atrás en el proceso de desempeño y considera preguntas particulares o dificultades que han surgido.
-

ESTRATEGIA (L): Práctica experimental deliberada con coucheo.

Propósitos:

- a) Promover el tipo de ejecución experta para resolver problemas.
- b) Trabajar una o varias etapas de la investigación científica (desarrollo de prácticas experimentales).
- c) Aplicar el principio de superposición de ondas (experimento de Difracción de la luz).

a. La estrategia es modelada por el profesor:

- Se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo medir la cantidad de difracción resultante al iluminar una rendija?
- Afirmación: El patrón de difracción resultante al iluminar una rendija puede ser construido usando el Principio de *Huygens*, y el Principio de superposición de ondas.
- Tarea a realizar: Deducir matemáticamente la separación de las franjas del patrón de difracción en términos del seno de la separación angular entre el máximo central y el centro de la primera franja oscura:

$$\text{sen } \theta = \lambda/d \qquad (3.8)$$

Donde d es el ancho de la rendija y λ es la longitud de onda de la luz que ilumina la rendija.

➤ Instrucciones para el estudiante:

Montaje experimental (ver figura 3.18):

- a) Monta un ensamble/arreglo láser (AL) en la parte trasera de la mesa. Ajusta la posición del láser de tal forma que el rayo este paralelo a la orilla y sobre la parte superior de una línea de los hoyos de la mesa. Pega una tarjeta índice con un hueco pequeño en ella al frente del láser, para que el rayo láser pueda pasar por él. Esta tarjeta será usada como pantalla para monitorear las reflexiones desde las componentes conforme son insertadas en la trayectoria del rayo.
- b) Monta un ensamble de guía de rayo (M-I). Ajusta la altura del montaje del espejo hasta que el rayo intercepte el centro del espejo. Entonces rota el poste en el sostenedor de poste hasta que el rayo láser esté paralelo a la orilla izquierda y la superficie de la mesa óptica.
- c) Coloca un segundo ensamble de guía de rayo (M-II) en línea con el rayo láser en la esquina izquierda más baja de la mesa óptica. Rota y ajusta el montaje del espejo hasta que el rayo láser esté paralelo a la orilla de enfrente y la superficie de la mesa óptica.

- d) Coloca una tarjeta índice en un montaje sujetador de blanco (TA) y ubícalo al final de la mesa para que el rayo toque el centro de la tarjeta, esta servirá como pantalla de observación de patrones de difracción.
- e) Monta un ensamble/montaje de lentes (ML) a aproximadamente 13 cm a la derecha del último espejo guía de rayo (M-II) y directamente en línea con el rayo láser. Este ensamble servirá como el sujetador de las rendijas de difracción o blancos de *Fresnel* (BF) con que el *kit Newport* esta equipado.

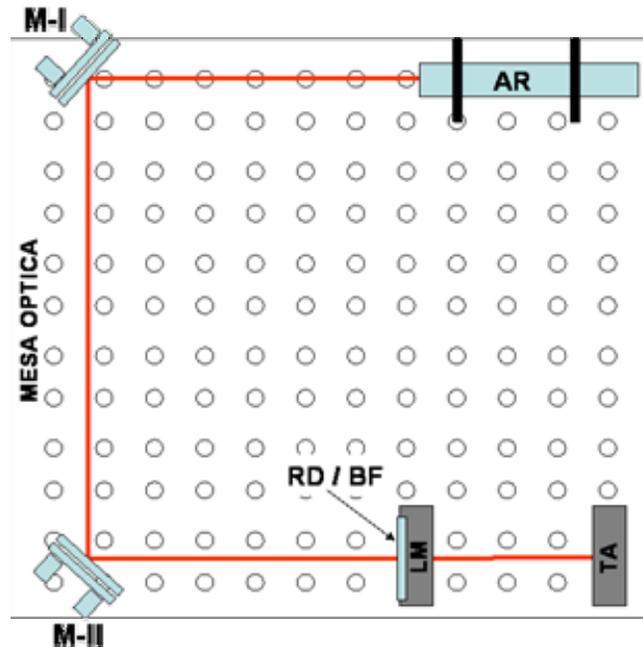


Figura 3.18. Montaje experimental para la comprobación del experimento de difracción de *Fraunhofer* usando diversas rejillas de difracción (RD) o blancos de *Fresnel* (BF).

- f) Coloca el blanco de *Fresnel* (BF) en el ensamble de lentes (ML). Observa el patrón de difracción sobre la pantalla blanca. Nota que el centro de la imagen tiene varios anillos brillantes y oscuros. Esto es identificado también como patrón de difracción de *Fresnel*. Dependiendo de la distancia de TA a BF, el centro del patrón puede ser brillante u oscuro. Aunque el blanco *Fresnel* (BF) tiene un círculo central absorbente, nótese que aún hay un punto de luz en el centro del patrón. La mancha brillante en el centro es algunas veces llamada la mancha de *Poisson* o la mancha de *Arago*. Discute de acuerdo a la teoría vista en clase los experimentos realizados.

Difracción de *Fraunhofer* de una máscara circular:

- g) Coloca cuidadosamente el blanco de *Fraunhofer* (hueco de la cabeza de un alfiler) (BF) dentro del ML. Ajusta el montaje de forma tal que el rayo láser golpee el blanco aproximadamente en el centro (**PREVENCIÓN: El blanco reflejará un gran porcentaje del rayo Láser, lo cual puede ser peligroso para la vista**).

- h) Ajusta el último espejo guía de rayo (M-II) tal que el rayo láser llene el hueco de la cabeza de alfiler. Esto puede lograrse mejor viendo por atrás de la tarjeta (más allá del láser) a 45° y buscando un resplandor rojo brillante. Esto ocurrirá cuando el rayo láser (o parte del rayo láser) está iluminando la rendija.
 - i) Observa la tarjeta blanca/pantalla. Ajusta cuidadosamente el último espejo guía de rayo para producir la imagen más brillante. Tú verías un círculo central brillante rodeado por bandas circulares oscuras y con luz. Este es el patrón de disco de *Airy*. Mide la distancia de ML a la tarjeta blanco/pantalla TA. Marca y entonces mide el diámetro de la primera banda circular oscura alrededor del círculo central brillante. Esta es una medida de la cantidad de difracción causada por el hueco de alfiler.
 - j) La dependencia angular θ de la banda oscura esta relacionada a la longitud de onda del láser λ y al diámetro D del hueco de alfiler por: $\text{sen } \theta = 1.22 \lambda / D$.
- **Aplicación tecnológica:** Poder de resolución de las lentes de algunas cámaras fotográficas.

La mayoría de los sistemas ópticos que trabajamos en esta unidad son hechos de componentes de forma circular, estos pueden ser espejos, lentes, o agujeros en las estructuras que contienen los componentes. Aunque permiten a la luz ser transmitida a través de sus aperturas ópticas, también restringen la cantidad de luz del sistema óptico respectivo y causan una limitación básica a la resolución del sistema en cuestión. En los experimentos anteriores se midieron los efectos de difracción de aperturas circulares. La difracción asociada con el tamaño de la apertura determina el poder de resolución de todos los instrumentos ópticos desde el microscopio hasta los telescopios ópticos gigantes. Por ejemplo, una buena aproximación de una fuente puntual es una estrella brillante. Un par de estrellas cercanas entre si pueden dar una medida de los límites de difracción de un sistema óptico telescópico. Si las estrellas tienen la misma brillantez, la resolución del sistema puede ser determinado por la separación angular más pequeña entre tales fuentes que aún les permitirían ser resueltas. Siempre que las aberraciones del sistema óptico sean lo suficientemente pequeñas y la difracción sea la única limitación para resolver las imágenes de estas dos fuentes puntuales. Un límite de resolución que ha sido usado en muchas instancias es que dos fuentes puntuales son solo resolubles si el máximo del patrón de difracción de una fuente puntual cae en el primer anillo oscuro del patrón de la segunda fuente puntual, entonces: $\theta_R = 1.22 \lambda / D$.

Esta condición para la resolución es llamada **el criterio de *Rayleigh***.

En relación a la aplicación tecnológica, se plantea la siguiente pregunta para ser resuelta por los estudiantes: ¿Cómo podrías lograr aumentar el poder de resolución de un microscopio? Considera el criterio de *Rayleigh* en tu respuesta.

3.7 SISTEMA DE EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE.

El sistema de evaluación del proceso enseñanza-aprendizaje bajo esta aproximación educativa implica varias tareas, en primer lugar se decide utilizar tres tipos de evaluación: la diagnóstica, la formativa, y la sumativa. En segundo término se identificaron como ámbitos y conocimientos a evaluar, habilidades e información (uso de estrategias cognitivas, epistemología del conocimiento) y conocimientos procedimentales, declarativos, y actitudinales, respectivamente.

En tercer lugar, para todos los contenidos mencionados se ubica las etapas de aprendizaje a evaluar en percepción analítica y síntesis integradora, debido a que son contenidos la mayoría de ellos, nuevos para los alumnos. Finalmente, se establece el nivel de dificultad de las pruebas o evaluaciones, con las cuales se persigue evaluar procesos y situaciones más allá de la instrucción, tales como: la transferencia de conocimiento a otros contextos, la aplicación de los conceptos, procedimientos y actitudes, con el objeto de fomentar el aprendizaje con comprensión.

a) **Evaluación diagnóstica.** Se decidió realizar una evaluación diagnóstica al inicio de la unidad, con la intención de conocer el nivel de conocimientos previos en relación a:

1. Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje.
2. Representación Geométrica de la luz (teoría y trazo de rayos ópticos, óptica geométrica) y algunos fenómenos físicos (reflexión y refracción).
3. Teoría electro-magnética de la Luz.
4. Concepto de Polarización de la Luz.
5. El principio de superposición de ondas.
6. Conceptos acerca del fenómeno de Interferencia
7. Conceptos acerca del fenómeno de Difracción

Como resultado de la evaluación diagnóstica, para los contenidos de los temas uno y cuatro, la etapa de aprendizaje a evaluar es la de “percepción analítica”, además que este tipo de contenidos difícilmente han sido tratados explícitamente en cursos anteriores de física, es decir, se pueden considerar contenidos nuevos para la mayoría de los estudiantes, por lo que se tomó la decisión de agregar lecturas introductorias a los temas. En lo que respecta a los demás contenidos se evalúa la etapa de aprendizaje de “síntesis integradora”, ya que los estudiantes han aprendido la unidad de ondas en el segundo semestre del bachillerato del C.C.H. Ello supone el conocimiento de varios fenómenos ondulatorios que pueden reconocer en uno de los comportamientos de la luz, además del uso de procesos mentales cuyo nivel de complejidad es básico (análisis, observación). De ahí que el tipo de prueba preponderante asuma un cierto nivel de dificultad (pruebas de recuerdo), y que se combine con niveles fáciles (pruebas de reconocimiento).

Con base en los objetivos particulares, se estableció una evaluación diagnóstica al inicio de cada temática. Para ello se utiliza la estrategia de la “presentación fenomenológica” (presentación de actividades experimentales demostrativas) y cuestionarios de conocimientos previos, las cuales se diseñaron para cada tema y son mostrados en las tareas iniciales de las estrategias en la sección 3.6 / sub-sección 3.6.1 de este capítulo respectivamente.

b) **Evaluación formativa.** Con base en los objetivos particulares de cada tema, se utilizan las estrategias cognitivas diseñadas, de tal modo que pueda evaluarse el progreso de los estudiantes y se pueda intervenir cuando sea necesario para ayudar en su aprendizaje. Es decir durante el uso de las estrategias cognitivas de cada tema, se evalúa el aprendizaje de contenidos. El desarrollo de las actitudes señaladas en los objetivos particulares se evalúa en el marco de las estrategias organizativas y empleando guías de observación que registren las actitudes, las preferencias y los valores de cada estudiante durante su contribución en clase. Para ello se tomarán en cuenta dos categorías: el trabajo grupal y el trabajo individual. Es importante señalar aquí la pretensión de lograr que los estudiantes se apropien de los objetivos particulares de cada tema e intenten su concreción, por lo tanto, es importante que estos objetivos no se pierdan de vista durante la realización de las tareas encomendadas por las estrategias durante la instrucción. Dado el ambiente de aprendizaje discursivo y de alentar los procesos de producción de conocimiento que se fomenta en esta propuesta, se tomarán en cuenta los siguientes criterios y productos de evaluación, y su aplicación específica en la estrategia/tarea correspondiente:

1. **Participación creciente de los estudiantes en las actividades de clase** (durante las discusiones en todo el proceso de enseñanza aprendizaje en la unidad).
2. **Avance de conocimiento** (La contribución de un estudiante alcanzará el criterio de avance de conocimiento si los estudiantes encuentran que avanza su propio conocimiento). Tarea VI y práctica experimental I.
3. **Criterio sobre la evidencia empírica**, estrategia I, investigación guiada (Actividad experimental), en la instrucción 4.
4. **Análisis de fuentes**, estrategia J. Aprendizaje basado en problemas.
5. **Resolución de casos**, tarea V: Instrucción 2, estrategia I (investigación experimental guiada, y estrategia J. Aprendizaje basado en problemas.
6. **Resolución y discusión de la Tabla en la estrategia cognitiva**, tarea VII, instrucción 2 y estrategia I).
7. **Aplicación de las creencias sobre el aprendizaje y la inteligencia** que los estudiantes asumen (durante todo el proceso de enseñanza aprendizaje en la unidad).
8. **Planteamiento de preguntas**, tarea V, instrucción 3; estrategias: J. Aprendizaje basado en problemas; K. Una combinación del conocimiento cotidiano propio del alumno y el conocimiento científico; L. Práctica experimental deliberada con coucheo, en la aplicación tecnológica.
9. **Sugerencias experimentales**, estrategias: J. Aprendizaje basado en problemas; K. Una combinación del conocimiento cotidiano propio del alumno y el conocimiento científico; L. Práctica experimental deliberada con coucheo, en la aplicación tecnológica.

c) **Evaluación sumativa.** Se toma en cuenta los contenidos de los temas: Representación Geométrica de la luz; Óptica geométrica y algunos fenómenos físicos; Teoría electromagnética de la Luz; Polarización; y el Principio de superposición de ondas; En razón de que en estos se trabajan los procesos destinados a lograr la etapa de “síntesis

integradora”, es decir, la comprensión de las relaciones entre datos, hechos y conceptos, y la integración lógica, coherente y significativa de los temas analizados. El primer tema, Introducción al campo de la óptica y de la comunidad de aprendizaje tiene una función sensibilizadora, correspondiendo a la etapa de aprendizaje de “percepción analítica” (discriminación de las partes que conforman el todo). Los primeros contenidos son preparatorios para los siguientes temas. Finalmente, se estableció que el tipo de evaluación sumativa es una combinación proporcional de los niveles de reconocimiento y de recuerdo, puesto que a la etapa de aprendizaje denominada “síntesis integradora” le corresponden pruebas que contiene ambos niveles de dificultad. En base a lo dicho anteriormente y dada la directriz de fomentar el aprendizaje con comprensión, se considera el siguiente cuestionario de evaluación sumativa para la unidad de sistemas ópticos [18].

“CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN SUMATIVA PARA LA UNIDAD DE SISTEMAS ÓPTICOS”

Contesta explícitamente las siguientes preguntas:

1. a) ¿Qué ocurre cuando la luz proveniente de diferentes fuentes no produce un patrón observable de luz y oscuridad?
b) ¿Por qué no se observan zonas claras y oscuras en las paredes, techo y piso de esta aula?
c) ¿Podemos decir que en los casos a) y b) “las ondas no interfieren”.
2. a) ¿Por qué cuando la luz penetra a través de aberturas tales como puertas, ventanas, ventilas, etc., no se observan patrones de difracción?
b) ¿Por qué una rendija puede proyectar, o una sombra geométrica o una figura de difracción sobre la pantalla? ¿Podría una misma rendija producir ambos efectos? ¿Y la misma fuente de luz? ¿Dependen las respuestas de la distancia entre la ranura y la fuente?
3. a) ¿Hay diferencia física entre los fenómenos de difracción y de interferencia?
b) ¿Cuáles son las condiciones que deben cumplirse para obtener patrones observables de difracción y/o interferencia?
c) ¿Cómo diferenciamos, al observar, entre los fenómenos de interferencia y difracción?
4. ¿Por qué se tiene patrones nítidos en películas delgadas, pero se los pierde en películas gruesas?
5. ¿Para qué se necesita el primer orificio en la experiencia de *Young*? ¿Debe necesariamente ser “pequeño”? ¿Cuán pequeño?
6. ¿Cómo es posible que una fuente de luz natural pueda darnos patrones nítidos en algunos casos? ¿Qué tienen de especial la tela del paraguas, la cortina transparente,

nuestros ojos entrecerrados para que al observar una fuente lejana sea posible obtener patrones nítidos?

7. La radiación emitida por un átomo en un instante dado tiene un estado de polarización definido:
 - a) La radiación que emite una fuente LÁSER, ¿es necesariamente polarizada?

8. a) ¿Qué entendemos por “interferencia de luz polarizada”?
 - b) Para que dos ondas luminosas, originen patrones de interferencia estables, observables.
¿Deben estar polarizadas?
 - c) Los haces emergente de un trozo de calcita, ¿darán patrón estable de interferencia al iluminar simultáneamente una pantalla?

3.8 REFERENCIAS.

1. *Gardner, H.* Estados de Animo, Nueva York: Libros Básicos, 1983.
2. *Gardner, H.* La Mente sin Instrucción: Como Piensan los Niños, y Como las Escuelas Enseñarían. Nueva York: Libros Básicos, 1991.
3. *French A. P.* La naturaleza de la física. Departamento de física, Instituto de Tecnología de Massachussets, *Cambridge, MA, USA.*
4. *Atkinson, R., & Shiffrin.* La memoria Humana: Un sistema propuesto y sus procesos de control. En K Spence & J Spence (Eds.). La Psicología del aprendizaje y la motivación: Avances en investigación y teoría (Vol. 2). Nueva York: Prensa Academica, 1968.
5. *Scott P. H., Asoko H. M., Driver R. H.* Enseñanza para el cambio conceptual: Una revisión de estrategias.
6. *Scardamalia, M., & Bereiter, C.* Apoyo con computadora para comunidades constructoras de conocimiento. La revista de las ciencias del aprendizaje, 3(3), 265-283, 1994.
7. Programa de la asignatura de Física IV. Área de ciencias experimentales. Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM.
8. *Bransford D. John, Brown L. Ann, Cocking R. Rodney,* Editores. Como aprende la gente: Cerebro, Mente, Experiencia, y Escuela. Academia Nacional de Ciencia 1999. Washington.
9. *Strike Kennet A. y Posner George J.,* Una teoría revisionista del cambio conceptual. Filosofía de la ciencia, psicología cognitiva, y teoría y práctica educacional, prensa de la Universidad estatal de Nueva York.
10. *Estévez Nénninger E. Haydeé.* Enseñar a aprender. Estrategia cognitivas. Maestros y enseñanza. Editorial, Paidós, 2004.
11. *Millar Robin,* El entendimiento de los procedimientos de la investigación científica, Universidad de York, Reino unido.
12. *Clement J.* Usando analogías puente e intuiciones ancla para tratar las preconcepciones de los estudiantes en física. Revista de investigación en la enseñanza de la ciencia 30(10): 1241-1257, 1993.
13. *Niedderer, H.* Una estrategia de enseñanza basada en los marcos alternativos de los estudiantes – concepciones teóricas y ejemplos. En: Procedimientos del Segundo Seminario Internacional. Concepciones erróneas y Estrategias Educativas en Ciencia y Matemáticas 2; 360-367 Universidad de Cornell, 1987.
14. *French A. P.* La naturaleza de la física. Departamento de física, Instituto de Tecnología de Massachussets, Cambridge, MA, USA.
15. *Bereiter, C., & Scardamalia, M.* Auto superación: Una investigación dentro de la naturaleza e implicaciones de la experticia. Chicago: Corte Abierta, 1993.
16. *Zitzewitz W. Paul, Neff F. Robert, Davids Mark.* Física, Principios y Problemas, Glencoe, McGraw-Hill, 1995.
17. *Henderson Tom,* The Physics Classroom, 1996-2004.
18. *Colombo de Cudmani, L., Salinas de Sandoval, J., Pesa de Danón, M.* Hacia un aprendizaje significativo y operativo de la óptica física. Análisis de una propuesta instruccional centrada en el concepto de coherencia luminosa. Instituto de física. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

CAPÍTULO 4.

METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA DOCENTE EN FÍSICA EN EL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES-UNAM.

Se tuvo la oportunidad de realizar tres prácticas docentes en el transcurso de la maestría MADEMS (disciplina: **Física**) como parte importante para el desarrollo y prueba del trabajo de tesis a desarrollar, en la primer práctica docente (**PD-I**) la tesis se encontraba en proceso de planteamiento y muy poco desarrollada, puesto que no se tenían los elementos metodológicos y teóricos suficientes para su avance y diseño conceptual final.

Por estos motivos se decidió conjuntamente con el profesor de práctica docente la tarea de identificar a groso modo las ideas y prácticas que el profesor posee innatamente sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, a través de la práctica docente con un grupo de último año del bachillerato (específicamente en el C.C.H.-UNAM).

Por otra parte, respecto a la segunda práctica docente (**PD-II**), que se llevó a cabo durante el tercer semestre de la maestría MADEMS, y ya con la experiencia de la **PD-I** y con más material teórico-metodológico trabajado y asimilado durante los cursos curriculares del primer año en MADEMS, aunado con el material en proceso de asimilación respectivo al mismo tercer semestre, se pudo empezar a diseñar y probar bajo bases teórico-prácticas más sólidas, algunos contenidos del modelo instruccional presentado en la tesis actual.

Lo anterior se dio, como se expuso en los capítulos anteriores, a través de una propuesta didáctica no tradicional de aprendizaje significativo sobre la óptica física. Es de hacerse notar que la aplicación de la propuesta aquí desarrollada coincidió afortunadamente al menos para la **PD-II**, en tiempo y espacio con la unidad IV: Sistemas Ópticos (programa de **física IV**, del C.C.H.-UNAM, con un tiempo asignado de 28 horas) que es justamente la unidad de aprendizaje para la cual el modelo instruccional aquí planteado está diseñado.

Dentro de la **PD-II**, se trabajó con un grupo de estudiantes correspondiente justamente a esta unidad de aprendizaje (nivel: sexto semestre de bachillerato), con quienes se desarrolló, como se verá más adelante, parte de las tareas y actividades presentadas en el modelo aquí propuesto en forma primeramente experimental y exploratoria, de esta experiencia se adquirió información referente al proceso de enseñanza-aprendizaje sujeto a las directrices establecidas por nuestro modelo.

Se evaluaron las ventajas y desventajas de ciertos objetivos y tareas planteadas y finalmente se redefinieron y redireccionaron, si era necesario, algunos aspectos/planteamientos del modelo propuesto hasta esa etapa, lo que ayudo a dirigir esa versión preliminar hacia el modelo de aplicación docente actual que se presenta en esta tesis.

Finalmente, en la tercer y última práctica docente (**PD-III**) desarrollada en el cuarto semestre de MADEMS, se tomó especial ventaja de la información adquirida en los cursos

finales de dicha maestría, en particular de aquellos en los que diversos aspectos teóricos y prácticos de enseñanza referentes al uso de herramientas histórico-epistemológicas (aplicables a los contenidos disciplinares, en particular de la Física y ciencias exactas) y a sus efectos en el incremento y mejora en la calidad del aprendizaje adquirido por los aprendices, fueron tratados.

Lo anterior aunado a lo logrado en la **PD-II** y al empleo primeramente exploratorio del equipo *NewPort* de enseñanza en Óptica, determinó el camino para el **diseño y operabilidad final** de las prácticas de laboratorio de óptica para la unidad IV, así como las directrices, marco teórico, estrategias y tareas finales de enseñanza-aprendizaje dentro del modelo instruccional de aplicación aquí propuesto. El grupo escolar con el que se trabajó dentro de la **PD-III** fue un grupo de recursamiento de **física I** (tercer semestre de bachillerato), por lo que el tema de tesis no concordaba nuevamente con los temas que momentáneamente estaban abordando dichos alumnos con su profesor titular.

Hecha la introducción y observaciones anteriores, nuestro interés en este capítulo se enfoca primordialmente en describir de manera breve, la metodología instruccional utilizada en las tres prácticas docentes, así como indicar su relevancia en la conformación de la tesis. Para este propósito, las prácticas docentes son organizadas en tres etapas: **la primera** corresponde a las ideas innatas y espontáneas, exploración y de experiencia del profesor sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje en temas de física, **la segunda** etapa se refiere a una propuesta de instrucción sobre la óptica física basada en los conceptos y bases de la teoría ondulatoria, y por último, en la **tercer etapa**, se desarrollaron y practicaron actividades de enseñanza innovadoras entre las cuales resalta la implementación, resolución, y adaptación de las prácticas experimentales propuestas en el equipo *Newport* de óptica, en particular sobre los fenómenos de polarización, reflexión y refracción. Simultáneamente a esta experiencia, se realizó un estudio relativo al papel que juegan los conocimientos científicos de enseñanza sobre la física (y en general sobre las ciencias exactas) en lograr un mayor grado de aprendizaje de esta materia, lo cual fue aplicado y plasmado en el modelo de aplicación docente propuesto.

4.1 PRÁCTICA DOCENTE I: IDEAS PREVIAS DEL PROFESOR SOBRE EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.

Los profesores, como los estudiantes, tienen preconcepciones sobre el proceso enseñanza-aprendizaje. Justo como el aprendizaje de ciencia de los alumnos es concebido en teorías modernas como conceptual, epistemológico y de cambio actitudinal, igual lo es en este marco contemporáneo el aprendizaje de los profesores sobre la didáctica: **“El conocimiento de los profesores, como el de los estudiantes, debe construirse sobre el conocimiento previo que tienen”**. Existe dentro de estos principios un paralelismo entre el como ocurre el cambio de las concepciones de conocimiento científico y el de las concepciones de enseñanza/didáctica.

En esta primera etapa de la práctica docente se plantea por parte del profesor un desempeño en el salón de clases que muestre de forma directa su manera de actuar al

impartir una clase de física con el objetivo de reconocer, criticar y auto-evaluar las ideas sobre el significado de enseñar y aprender física.

Si bien, la organización de los contenidos disciplinares de física es fundamental para la enseñanza de esta asignatura, también es importante considerar el **aprendizaje** de los estudiantes, el cual es un proceso dinámico que ocurre por fases y que está influido por el desarrollo del individuo. Se reconoce que la acción docente llevada a cabo por el profesor-estudiante en esta primera práctica, dio mayor peso a la organización y exposición de los contenidos y menos importancia al aprendizaje de los estudiantes.

Es decir, se observa en el profesor (estudiante de MADEMS) la carencia de herramientas para poder conformar una planeación docente minuciosa, y aún más importante, la falta de experiencia tanto teórica como práctica de estrategias de enseñanza-aprendizaje. En base al análisis de los resultados y la conclusión anteriormente dicha se visualiza la elaboración de un diseño instruccional con la finalidad de tener un instrumento que auxilie al profesor y a los estudiantes a entender sus papeles en las actividades en el salón de clases bajo las perspectivas: cognitiva, social, y cultural (fundamentada en la comunidad de practica), lo cual significa una cambio conceptual sobre el proceso de aprendizaje-enseñanza tanto del profesor como de los estudiantes, e indirectamente de la disciplina (física).

Por lo tanto, en primera instancia se requiere orientar el diseño instruccional en tres aspectos fundamentales: establecer nexos o relaciones entre conocimiento nuevo y conocimiento previo, organizar información y adquirir una serie de estructuras cognitivas y metacognitivas. Teniendo en mente estos aspectos, se desarrolla la planeación y aplicación del currículo para la unidad IV: Sistemas Ópticos (programa de **física IV**), para lo cual se sigue un modelo por pasos o etapas, entre los cuales se vislumbran en general: entender y formular claramente los propósitos y objetivos de aprendizaje, proponer estrategias didácticas y organizacionales, y desarrollar formas de evaluación diagnóstica y formativa.

Deseamos mencionar el reto que significa para el docente el cambio de paradigma, de una selección y organización de los contenidos centrada en la fuente disciplinar (física) a otro que considere a los contenidos como un medio para el desarrollo de habilidades en los estudiantes que los conviertan en **aprendices activos**, que busquen entender temáticas complejas y que estén mejor preparados para transferir lo que han aprendido a nuevos problemas, entornos y a resolución tanto práctica, como teórica de problemas.

A continuación en las siguientes dos secciones se intenta atacar la problemática observada en el profesor (estudiante de MADEMS) en relación a su inexperiencia tanto teórica como práctica en el empleo de estrategias de enseñanza-aprendizaje. En la sección 4.2 se reporta la adecuación a la óptica ondulatoria y su uso en la PD-II, de tres estrategias dentro de la teoría cognitiva del aprendizaje (cambio conceptual, aprendizaje basado en problemas, *ABP*). En la sección 4.3 se presenta la metodología usada en la breve experiencia de la PD-III del profesor (estudiante de MADEMS), la cual se organizó considerando tres ejes conductores: **a)** aspectos epistemológicos de la ciencia y su aprendizaje, **b)** varios elementos de la perspectiva socio-cognitiva, y **c)** el diseño de estrategias de aprendizaje basada en el desarrollo de proyectos con el equipo *Newport* de óptica. Es importante señalar aquí, que parte de los materiales desarrollados y probados en

esta PD-III son elementos constituyentes del modelo instruccional integrador propuesto en este trabajo de tesis, como se mostró en el capítulo tres.

4.2 PRÁCTICA DOCENTE II: EXPLORACIÓN DE UNA PROPUESTA INSTRUCCIONAL DE ÓPTICA ONDULATORIA BASADA EN EL APRENDIZAJE CON COMPRENSIÓN.

Una visión más amplia de la enseñanza de la ciencia sería alentada cuando los profesores tomen conciencia de la necesidad de adquirir un cuerpo específico de conocimientos teóricos acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje en el caso particular de la física. Tenemos que referirnos aquí principalmente a la aproximación de enseñanza para el cambio conceptual *Scott P. H.* et al. [3], la cual es considerada hoy como la contribución más prominente para la educación de ciencia de las últimas décadas. En relación a la **PD-I** se pudo observar en el profesor un entendimiento pobre de las estrategias pedagógicas basadas en una visión de aprendizaje como cambio conceptual, por tal motivo se decidió aplicar algunas estrategias de este tipo en la **PD-II**, según lo indica el modelo final detallado en el capítulo 3, a manera de elementos integrales de una propuesta sobre **óptica ondulatoria** organizada en base a un modelo teórico sustentado con evidencia experimental, que en particular destaca las limitaciones que imponen el tamaño de una fuente de luz, el grado de monocromaticidad de su radiación luminosa, el área de registro de un detector, y las dimensiones geométricas de un sistema óptico, en la obtención de patrones de difracción e interferencia, esto con el objeto de lograr un entendimiento de dichos fenómenos.

4.2.1. Propuesta instruccional desarrollada para la PD-II.

Se tomó como marco de referencia un modelo de cambio conceptual, según el cual las concepciones erróneas profundamente enraizadas de los estudiantes interfieren con el aprendizaje de conceptos científicos nuevos (para los estudiantes), por lo que estas concepciones erróneas necesitan frecuentemente ser reconceptualizadas. Dentro del marco de cambio conceptual, se trató de planificar la situación de aprendizaje de dos formas distintas: **a)** de modo que el diálogo y la confrontación de ideas altere el conocimiento declarativo de los estudiantes, y **b)** sugiriendo arribar a un conocimiento consciente de las teorías de los estudiantes (relacionadas con el pensamiento de la vida diaria) y de la teoría científica, para aprender conceptos científicos. Una tercera situación de aprendizaje se dió dentro del marco socio-constructivista (aprendizaje basado en problemas, *ABP* [4]) donde se le permite al estudiante inducir su propio modelo mental de los conceptos, con intervenciones ocasionales del instructor.

Para elegir las estrategias metodológicas y diseñar los recursos didácticos se tomó como eje las limitaciones que imponen (el tamaño de la fuente de luz, el grado de monocromaticidad de la radiación luminosa, el área de registro del detector, y las dimensiones geométricas del sistema óptico) la obtención de los patrones de difracción e interferencia. Se hizo así para **indagar con mayor profundidad** los conceptos **involucrados e interconectarlos**, y poder superar la visión sin profundidad que usualmente

presentan sobre estos temas los textos del nivel bachillerato. En base a estas ideas se organizaron los contenidos y las estrategias instruccionales, como a continuación se describe.

4.2.2. Estructuración de contenidos desarrollados para la PD-II.

Se estableció un orden jerárquico entre los conceptos a aprender, partiendo de los más generales hasta los de menor jerarquía, para ello se considera el estudio de diferentes fuentes de luz en base a los procesos de emisión espontánea y emisión estimulada, antes de abordar el experimento de *Young* con un análisis de los siguientes supuestos: fuente puntual de luz, radiación monocromática, pantalla alejada, rendijas estrechas y próximas, y luz polarizada.

4.2.3. Estrategias metodológicas desarrolladas para la PD-II.

Los pasos metodológicos-didácticos pueden sintetizarse en:

1. Activar y conocer las **interpretaciones espontáneas de los estudiantes** sobre fenómenos de interferencia y difracción presentadas en experiencias en el laboratorio (Fuentes de luz: lámpara incandescente con filamento largo, tubo de descarga de gas, luz láser y luz solar. El haz del láser incidiendo sobre una doble ranura (experimento de *Young*), interferómetro implementado con el equipo *Newport* de óptica, y un cuestionario diagnóstico de conocimientos previos/espontáneos).
2. Plantear el conjunto de experiencias sencillas (experimentales) que servirán como ORGANIZADORES PREVIOS *Ausubel* et al. [5], permitiendo primero, alterar el conocimiento declarativo de los estudiantes resolviendo diferencias entre ideas desde un rango de diferentes fuentes (otros estudiantes, por ejemplo), en segundo término, construir sobre las ideas existentes de los alumnos extendiendo estos pensamientos hacia el punto de vista de la ciencia, y en tercer lugar la auto-construcción por parte de los estudiantes de su propio modelo mental de los conceptos.
3. Favorecer el proceso de DIFERENCIACIÓN PROGRESIVA de las variables que determinan las limitaciones para obtener experimentalmente los patrones de difracción e interferencia en un sistema experimental dado (experimento de *Young*), a partir de la reflexión atenta de los resultados de dichas prácticas sencillas y de las consideraciones espontáneas.

4.2.4. Implementación de la propuesta para la PD-II.

La propuesta instruccional se instrumentó con 21 estudiantes en su mayoría hombres (80%), los cuales estaban cursando el 6° semestre del bachillerato en el C. C. H. plantel Azcapotzalco (Mayo, 2005). Del análisis de estas experiencias surgen varios aspectos que parece importante destacar, la utilización de lámparas de descarga es novedosa para la mayoría de los estudiantes, estimulándolos a generar ideas con el afán de

describir el proceso de emisión de luz involucrado, a continuación son presentadas algunas de las concepciones expresadas por los alumnos:

- “La lámpara de descarga contiene mercurio”.
- “Recibe impulsos, estimulaciones de cargas eléctricas”.
- “Existe corriente eléctrica dentro del gas”.
- “Las partículas chocan y producen un destello”.
- “En el filamento circula corriente (lámpara incandescente) y su resistencia hace que emite luz”.

Haciendo referencia a las experiencias en el laboratorio, en particular a la luz entrando por la ventana del laboratorio, varios alumnos pudieron inferir que esta se propaga en forma rectilínea. Ahora al hacer incidir el profesor (alumno de MADEMS) la luz solar sobre una ventanita (ranura) muy pequeña del orden de 0.0508 mm de ancho, este preguntó a los aprendices ¿que esperarían observar?; algunos predecían que se vería la forma de la rendija, y al realizar la experiencia algunos observaban una **línea**, sin embargo, al utilizar luz proveniente de una lámpara de descarga y aproximar la tarjeta con la ranura, en un momento se pudo observar la forma precisa **rectangular de la ranura**, lo cual nos permite categorizar los tipos de luz con los cuales no se podía observar el fenómeno de difracción, permitiendo un estudio más profundo sobre las fuentes de luz y su relevancia para poder observar fenómenos ópticos bien diferenciados como lo son los patrones de difracción e interferencia, haciendo énfasis en este caso **de la variable tamaño de la fuente**.

Las situaciones de aprendizaje se implementaron en base a cuestiones formuladas y experiencias mostradas por el profesor para su discusión por los estudiantes, que reunidos en grupos divulgaron sus puntos de vista y los discutieron, para después presentar las conclusiones al resto del grupo en una discusión en pleno. Por otra parte, el punto de vista científico fue representando, en primera instancia por el profesor (alumno de MADEMS) con dos exposiciones, la primera por medio de una explicación sobre los procesos de emisión espontánea y emisión estimulada, y la segunda sobre el modelo de *Bohr* del átomo de hidrógeno y la relación de la frecuencia de la luz emitida por el átomo al decaer de estados excitados a estados base o estados intermedios. Es importante señalar aquí que la primera exposición se dio después de las discusiones de los estudiantes sobre sus ideas del origen de las fuentes de luz para contrastarlas con sus puntos de vista, y la segunda, antes de la manipulación por parte de los alumnos del dispositivo implementado con la luz láser incidiendo en una doble ranura (realizadas en papel aluminio con una navaja por los alumnos). Después de lo cual, los estudiantes expusieron sus conclusiones a la clase, para que finalmente, el profesor (alumno de MADEMS) expusiera una explicación del patrón de interferencia haciendo énfasis en la superposición de ondas (interferencia constructiva y destructiva).

La última situación de aprendizaje se implemento por medio de un caso de aprendizaje basado en problemas, en el cual se plantea el siguiente escenario (ver siguiente lectura):

“El misterio de una noche de verano”

Carlos, estudiante de física oye ruidos afuera de su casa, él se encuentra en su recámara situada a un costado de la entrada principal de su hogar, el reloj marca las 0 hrs. (12:00 de la noche), intenta atravesar el vidrio de la ventana con el haz de su lámpara sorda (linterna) para iluminar el lado de fuera de la ventana y poder observar así la causa del ruido. Sin embargo, la luz reflejada, parcialmente polarizada en el vidrio de la ventana, se lo impide.

De donde los estudiantes conducen investigación independiente, a través del proceso de: **a)** identificar pistas, **b)** plantear problemas, **c)** formular hipótesis, y **d)** plantear objetivos de aprendizaje.

Cabe mencionar las actividades que fomentaron un ambiente de participación en el laboratorio, iniciando por la resolución de cuestionarios antes y después de la instrucción que incluían preguntas sobre óptica ondulatoria, así como también preguntas acerca de la parte de apertura de las estrategias (las fuentes de luz y el experimento de *Young* de la doble ranura). A continuación se presentan las interrogantes que dieron pie a las discusiones:

Para la primera situación de aprendizaje (acerca de las fuentes de luz):

1. ¿Cuáles son las similitudes entre la luz emitida por un foco, un tubo de descarga y un láser?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre la luz emitida por un foco, un tubo de descarga y un láser?
3. ¿Cómo las explicas?
4. ¿Tendrá la luz emitida por los objetos anteriores el mismo origen? explica.

Para la segunda situación de aprendizaje (acerca del experimento de *Young* de la doble ranura):

1. ¿De que parámetros depende el poder observar las líneas brillantes y oscuras en la pantalla? Hacer una lista de cada parámetro y su influencia en el patrón de franjas.

Un último aspecto observado en la **PD-II** y que es importante recalcar, es la dificultad de llevar a cabo las estrategias de aprendizaje diseñadas, puesto que se requiere de la formulación adecuada de preguntas en el instante mismo en que se presentan las concepciones previas de los estudiantes y no después de que éstas son analizadas; por ejemplo, en el caso de las fuentes de luz, hacer referencia al color de la luz emitida por cada una de las fuentes presentadas, la ausencia de luz en las franjas oscuras del patrón de interferencia en el interferómetro de *Michelson* [6], entre otras. También el uso de estrategias cognitivas representa dificultad para los estudiantes puesto que se requiere una actitud de participación en ellos a través de la argumentación y defensa de sus ideas, no obstante, varios de ellos aún no tienen experiencia en argumentar y defender sus propias

ideas, entonces es necesario crear mecanismos que alienten y den confianza para la argumentación y el debate en el salón de clases.

4.2.5. Análisis de los resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.

A) Examen anterior a la instrucción: Análisis de las respuestas al cuestionario de concepciones previas (véase este cuestionario en el inciso A.2.1. en el apéndice A-2. Los resultados/respuestas de opción múltiple pueden verse explícitamente en la tabla A.2.1. Del mismo apéndice. A continuación se analizan las respuestas pregunta por pregunta:

Pregunta 1: Se asocia el modelo de emisión estimulada tanto a la luz láser del sistema *Newport* como a la luz proveniente del foco (aproximadamente un poco menos del 50% para cada opción), la elección de este último (el foco) puede significar una preconcepción relacionada con la experiencia inmediata. Otro resultado detectado es que los estudiantes no están familiarizados con la luz emitida por lámparas de descarga.

Pregunta 2: Es claro que el modelo de emisión espontánea de la luz es asociado con un proceso a nivel atómico (ver tabla de respuestas).

Pregunta 3: El tipo de onda transversal no es entendido por los estudiantes, asocian las ondas longitudinales a las vibraciones de las cuerdas en una guitarra, puede ser debido entre otros aspectos, a que el movimiento vibracional y transversal del medio, en particular para una cuerda es difícil de percibir por el ojo humano debido a la rapidez del movimiento, por lo tanto se requiere un mayor esfuerzo de observación por parte de los alumnos y también del profesor al guiar las situaciones de aprendizaje que se les presenten, tal es el caso cuando se muestra el movimiento ondulatorio en una cuerda sujeta a un vibrador. Aún mayor será el esfuerzo de abstracción requerido, en el caso particular del modelo ondulatorio electromagnético de la luz para entender la perpendicularidad de las componentes **E** y **B** de la radiación respecto a su dirección de propagación, elemento clave en la explicación teórica del fenómeno de polarización.

Pregunta 4: En esta pregunta la mayoría de los estudiantes reconocen el proceso de interferencia cuando dos ondas se encuentran, sin embargo, en la práctica al observar patrones de interferencia de la luz (destruktiva/constructiva), difícilmente los pueden explicar, lo cual puede inducir a considerar que tienen un conocimiento superficial sobre la interferencia de ondas y de la propia naturaleza ondulatoria de ésta, indicando la necesidad de alentar un conocimiento más profundo sobre el principio de superposición de ondas. Respecto a la minoría utilizan el modelo corpuscular (al utilizar el concepto de “choque”) en la descripción del fenómeno, obstaculizando así el entendimiento de la teoría ondulatoria.

Pregunta 5: Las respuestas a la pregunta, de que tamaño debe ser la rendija donde incide la luz para obtener patrones de difracción, asocia en la mayoría de los estudiantes del grupo (~ 2/3), el conocimiento de lo pequeño de la longitud de onda de la luz, permitiendo así enlazar la variable ancho de la rendija con el poder observar un patrón nítido, uno de los propósitos de la tarea en la estrategia propuesta para el tema de interferencia en el modelo instruccional. También se observa que reconocen la característica ondulatoria de longitud

de onda en la luz. Referente al otro tercio del grupo no asocian la obtención de patrones de difracción con luz con lo pequeño de la abertura.

Pregunta 6: Se observa que la ausencia de luz da como resultado zonas oscuras, no obstante los estudiantes no transfieren este conocimiento para interpretar las franjas brillantes y oscuras en los patrones de difracción e interferencia, la pregunta tendría que ser replanteada asociándola con otros hechos y conceptos.

Pregunta 7: El límite que representa para la teoría corpuscular de la luz el no poder concebir la superposición de dos partículas, da surgimiento a la teoría ondulatoria, la cual enfrenta dificultades de tipo didáctico, puesto que el 35 % de los alumnos no relacionan las características presentadas por las ondas mecánicas con los fenómenos de carácter ondulatorio mostrados por la luz, como la difracción y la interferencia.

Pregunta 8: Se nota que el principio de *Huygens* es conocido por la mayoría de los estudiantes del grupo (~ 80%), permitiéndole ser un método asequible para describir los fenómenos de difracción e interferencia. El 17 % del grupo desconoce el principio de *Huygens*.

B) Examen posterior a la instrucción. El examen consistió de preguntas abiertas, de cuyas respuestas (disponibles para quien quiera revisarlas) podemos inferir los siguientes resultados y comentarios:

Pregunta 1:

a) Se observa en la mayoría de los estudiantes, comprensión del papel que representa el tamaño del ancho de la rendija como variable del grado de nitidez del patrón de interferencia.

b) Se tiene la idea de que la luz interfiere al entrar en el salón de clases pero se indica que el proceso no es perceptible (aproximadamente 50 % del grupo), y a la vez lo contrario la luz en el aula no interfiere (50 %).

Pregunta 2: Se observa entendimiento en la propagación rectilínea de la luz por parte de la mayoría de los alumnos, no obstante, se presenta marcada dificultad en ellos en la comprensión de la transición del modelo corpuscular de la luz al modelo ondulatorio de la luz, debido a que éste, formula representaciones abstractas (principio de superposición de ondas) al explicar fenómenos observables, difracción, interferencia, polarización.

Pregunta 3: Se nota que la mayoría de los integrantes del grupo mencionó el tamaño de la rendija como factor relevante en la observación de los patrones de interferencia, sin embargo varios estudiantes también consideraron la distancia pantalla-rendija y la intensidad de la luz, de lo cual se puede deducir la autoridad externa que representa para ellos la figura del profesor a través de las actividades mostradas en el laboratorio (montaje del experimento de *Young*, con la luz del láser incidiendo sobre la doble ranura, el profesor se aproximó y se alejó con una hoja de papel en la mano la cual actuó como pantalla), en temas desconocidos para ellos.

Pregunta 4: En referencia a la pregunta ¿qué tienen de especial nuestros ojos entrecerrados para que al observar una fuente lejana sea posible obtener patrones nítidos? se observa una falta de transferencia del conocimiento de un contexto a otro, puesto que en las respuestas a

la pregunta uno inciso a), se observó la importancia que los estudiantes le dieron al tamaño del ancho de la rendija para tener un patrón de interferencia.

Un comentario auto-reflexivo sobre las respuestas a los cuestionarios, resulta en que los exámenes pretenden ser calificados en lugar de ser evaluados, es decir, se espera la respuesta a las preguntas en forma exacta, sin considerarlas para el entendimiento y mejoramiento de la instrucción y del aprendizaje, tanto de los alumnos como de los profesores, lo cual se puede lograr a través de un análisis abierto de las respuestas vertidas en los cuestionarios, librándose de prejuicios sobre la capacidad de los estudiantes debido a comportamientos en el salón de clases, como por ejemplo la falta de participación. Además, las preguntas no son triviales, puesto que se busca por medio de ellas profundizar en la experiencia cotidiana, lográndose solamente en casos aislados.

4.2.6. Conclusiones del análisis de los resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.

Es conveniente habituar a los estudiantes con el uso de diferentes fuentes de luz, así también con las explicaciones correspondientes sobre el proceso de emisión de la luz, e intentar obtener patrones de interferencia y difracción con ellas, con la finalidad de que se estudie el grado de nitidez de los patrones y la relación con el tipo-tamaño de la fuente (NOTA: En el cuarto semestre los estudiantes atienden la unidad VI de Física II correspondiente a Física y tecnología Contemporáneas, donde se abordan temas concernientes al átomo de *Bohr* y por ende a procesos de niveles de energía y orbitales, necesarios para la comprensión de la emisión de luz).

Por otro lado, los resultados arrojados por el análisis de las respuestas al cuestionario pre-instruccional nos permite concluir la falta de conexiones entre los contenidos de física estudiados en el sexto semestre del bachillerato con los estudiados en cursos anteriores, por lo que se propone una organización de los cursos que gire alrededor de conceptos y principios, utilizando para ello estrategias cognitivas apropiadas (entre ellas particularmente los organizadores previos), lo cual implicaría también la reducción del tiempo utilizado en la instrucción.

El haber introducido las fuentes luminosas y los procesos de emisión lumínica en los contenidos de la unidad de sistemas ópticos de física IV en la práctica docente, dificultó la instrucción al involucrar temas de física moderna, no obstante, la mejora de los materiales elaborados en esta práctica representa un reto para profesores y alumnos, que redunde en un entendimiento de los factores que afectan el poder observar patrones de difracción e interferencia y los procesos de emisión de luz.

Es importante mencionar que varias de las preguntas del cuestionario aplicado al final de la práctica docente son cuestiones que van más allá de la instrucción, es decir no se relacionan directamente con las actividades llevadas a cabo en el salón de clases, y podemos decir que surtieron efecto en las respuestas de algunos estudiantes al proporcionar aproximaciones en la descripción de las situaciones cotidianas planteadas.

Como respuesta a la dificultad presentada por los estudiantes para comprender el carácter ondulatorio de la luz, se propone la integración en el diseño instruccional, de estrategias puente (analogías) y lecturas introductorias para cada uno de los temas, que apoyen a las prácticas experimentales en el alcance de los objetivos planteados (entre los cuales se contempla, la comprensión de los fenómenos de difracción, interferencia, y polarización de la luz) en el diseño. Las lecturas muestran en forma clara, los conceptos involucrados en los cinco temas de la unidad y las elucidaciones de los fenómenos ópticos de difracción, interferencia y polarización a través del Principio de Superposición, acentuando que el modelo corpuscular no puede explicar observaciones experimentales, tal es el caso de: cómo un punto que está iluminado por una sola rendija, se vuelve oscuro cuando hay dos (experimento de *Young* de la doble rendija).

Por otro lado, en relación con el problema de transferencia del conocimiento, ésta será estimulada mediante la observación de fenómenos (como el patrón de interferencia y difracción observado al pasar luz de una lámpara de alumbrado a través de una cortina) al inicio de la estrategia K en el tema 5 del modelo instruccional, con el propósito de activar conocimientos erróneos y estimular el interés de los estudiantes en el aprendizaje de la óptica, para entonces conectar tales observaciones con las prácticas experimentales a través de los parámetros que permiten ver dicho patrón.

4.2.7. Conclusiones generales para la PD-II.

Las dos estrategias utilizadas en la práctica docente II, tienen como metodología la construcción sobre los conocimientos de los estudiantes y el reemplazo de sus concepciones previas por las científicas respectivamente, estas secuencias de instrucción requieren mayor participación de los integrantes del grupo, lo cual obliga al profesor a tener mayor conocimiento de las variantes en la enseñanza de la materia, para lograr generar exposiciones y preguntas sobre los fenómenos estudiados que propicien el entendimiento, sin embargo, se puede decir que estas estrategias lograron cierto efecto positivo en el aprendizaje de los alumnos al estimular un ambiente de confrontación y discusión de sus ideas. Es importante mencionar que es factible incrementar la participación de los estudiantes en un curso completo y no con las pocas horas que se estuvo ante el grupo en la PD-II.

Es claro que este tipo de estrategias requieren de tiempo suficiente, primero para entenderlas y después aplicarlas con soltura, sin embargo, también se requiere tiempo y paciencia para atender a los alumnos con estilos de aprendizaje lento. La asimilación del modelo instruccional de óptica ondulatoria basada en estrategias cognitivas requiere tiempo, tanto por parte del profesor como de los estudiantes, puesto que representa un cambio de paradigma de la enseñanza transmisiva a una enseñanza participativa. Además de demandar un análisis de los factores por los cuales los estudiantes se resisten a participar en las actividades en el salón-laboratorio.

Respecto al entendimiento de los contenidos disciplinares (factores que intervienen en lograr patrones nítidos de interferencia) por parte de los estudiantes, podemos alentarlos al utilizar otras fuentes de luz que sustituyan al láser, y así adecuar el sistema físico para las

características de esta luz y poder obtener patrones nítidos mostrando a la fuente de luz misma como una variable.

La instrucción logro que la mayoría de los integrantes del grupo reconociera el tamaño de la rendija como factor relevante en la observación de los patrones de interferencia en el experimento de *Young*, sin embargo, solamente algunos alumnos también consideraron la distancia pantalla-rendija y la intensidad de la luz (probablemente los alumnos que pretenden seguir carreras afines a la física).

En relación a la metodología de aprendizaje basado en problemas concluimos que su puesta en marcha necesita de mucha paciencia del profesor para no intervenir en el proceso en demasía como fue el caso en esta práctica docente, a menos que no encuentren las pistas o se alejen de ellas, es que se les guiara moderadamente. Los estudiantes llegaron a proponer los objetivos de aprendizaje con esta metodología, y por comentario de uno de ellos le resulto motivante, sugiriendo que “aunque no sepan les hace pensar”. La información que se recopiló para resolver el problema planteado fue interesante, aunque no se logró resolverlo totalmente, no obstante causó conflicto en algunos de los estudiantes respecto **al fenómeno de polarización de la luz**, al parecerles extraño pensar que un campo de fuerza se mueva en una dirección diferente a la de la luz, una idea antigua (*Newton*) según explicaron en un trabajo final referente al tema de polarización, donde leyeron conceptos antiguos desarrollados por *Newton*. Es importante mencionar aquí que el profesor no les dio el material a estudiar sino que ellos decidieron cual era el que necesitaban (tarea de investigación y búsqueda bibliográfica). Por último, hubo propuestas experimentales interesantes de varios estudiantes que contestarían cuestionamientos surgidos en la trayectoria del proceso de identificación y solución del problema planteado (polarización por reflexión), que no se pudieron concretar por la falta de tiempo para hacerlo. Es importante hacer notar que la metodología del **ABP** forma parte importante de las estrategias seleccionadas en el modelo instruccional propuesto en esta tesis, véase la estrategia J en la sección 3.6.4, del capítulo 3. Con esta metodología se empezó a dar los primeros pasos al considerar los contenidos disciplinares (polarización de la luz) como un medio para lograr un fin, el desarrollo de habilidades en los estudiantes, habilidades como el reconocer ideas principales en un texto, el planteamiento de problemas e hipótesis, y lo significativo el plantearse por ellos mismos objetivos de aprendizaje, sin embargo, representa solo el principio. En la PD-III se comienza a resaltar en mayor grado el valor de las ideas de los estudiantes a través de la discusión de las respuestas a cuestiones sobre la teoría ondulatoria, las cuales se adecuaron a nuestros contenidos y a nuestra sociedad.

4.3 PRÁCTICA DOCENTE III: ACTIVIDADES EXPERIMENTALES DE ÓPTICA-FÍSICA CON EL EQUIPO DIDÁCTICO NEWPORT Y FOMENTO DEL CONOCIMIENTO DEL ASPECTO EPISTEMOLÓGICO DEL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA.

Como se enfatiza en la sección 4.2 es importante que los estudiantes tengan acceso a la experimentación científica con la finalidad de crear en ellos habilidades prácticas y manuales que les brinden herramientas de conocimiento “creativo” para su futura vida profesional; una forma directa de lograr esto es a través de la manipulación de los diversos

instrumentos y equipos con que cuentan los planteles del bachillerato. En el caso particular del C.C.H.-UNAM cuenta con varios sistemas didácticos de enseñanza en óptica-física (*Kit-Newport*) por cada plantel; estos sistemas son muy costosos y no han sido utilizados ni aprovechados de manera adecuada, aduciendo algunos profesores su inoperancia por el tiempo que significa el montaje de las diferentes componentes lo cual nos lleva a deducir **categoricamente** que el procedimiento de montaje también influye en la formación de los estudiantes fomentando la paciencia, minuciosidad y la superación de retos y obstáculos en ellos. En esta práctica docente se implementaron varias actividades experimentales con el equipo *Newport*, en esta ocasión, específicamente se abordaron los temas de refracción y polarización óptica, para lo cual el equipo *Newport* cuenta también con el instrumental adecuado y necesario.

Por otra parte, y también refiriéndonos a la sección anterior (PD-II), se pudo notar en el desempeño del profesor (estudiante de MADEMS) al plantear las clases a desarrollar en el aula-laboratorio, una falta de conocimientos en contenidos específicos sobre la enseñanza de la ciencia, ayudaría conocer por ejemplo, como es que se desarrollo el conocimiento y cómo varios puntos aparecieron para agruparse en un cuerpo de conocimiento consistente, esto con el objeto de prevenir visiones estáticas y dogmáticas que distorsionan la naturaleza del trabajo científico *Gagliardi y Giordan*, [7]. Por lo anteriormente dicho, en esta última práctica docente se consideró de manera importante un aspecto histórico de la ciencia (por medio de una exposición ante los estudiantes abordando temas históricos que involucran el desarrollo del concepto de luz polarizada [8], ver resumen en el inciso A.2.2 del apéndice A-2). Además, en la PD-III se realizó un breve estudio sobre el conocimiento de la visión epistemológica y su efecto en el aprendizaje de la física, específicamente preguntas sobre la naturaleza del aprendizaje, la estructura del conocimiento, y la fuente de habilidad del aprendizaje (aplicación de cuestionarios y discusión de las ideas vertidas, ver sección 3.6.1).

4.3.1. Propuesta instruccional desarrollada para la PD-III.

Tratando de superar la enseñanza de la física tradicional basada en la metodología de la disciplina y el rol pasivo del aprendiz, así como en la enseñanza meramente transmisiva, se tomó como marco de referencia para esta PD-III, un modelo **socio-cognitivo y de cambio epistemológico** sobre el conocimiento y el aprendizaje (en específico de la física) en el cual se sugiere por un lado, destacar el conocimiento científico como un conocimiento el cual es construido y negociado socialmente, y por el otro lado la existencia de una interacción entre las concepciones en física y las concepciones epistemológicas del conocimiento y el aprendizaje.

La creación de un ambiente en el salón de clases que privilegie el aprendizaje y la interacción entre los integrantes del grupo permitirá que el profesor reduzca su papel central en el proceso enseñanza-aprendizaje, en parte al admitir que los estudiantes tomen decisiones sobre actividades planteadas en el aula-laboratorio, aumentando así su autoestima, **es decir se propició la creación de una comunidad de aprendizaje**. Bajo este contexto se trató de planificar la situación de enseñanza-aprendizaje, de manera que los aspectos epistemológico-históricos de los contenidos disciplinarios produzcan un cambio en la imagen a veces errónea que tienen los estudiantes sobre la física y su aprendizaje, y

por ende cambiar su actitud (usualmente negativa) hacia la asignatura, al adquirir esta, mayor sentido e interés para ellos. Para diseñar las estrategias metodológicas y los recursos didácticos se tomo como eje el **concepto de luz no polarizada**. Se hizo así debido a que es bien conocido por los profesores de este nivel que éste, es un concepto muy difícil de visualizar por parte de los aprendices. En base a estas ideas se organizaron los contenidos y las estrategias instruccionales, como se muestra a continuación.

4.3.2. Estructuración de contenidos desarrollados para la PD-III.

Estos están organizados en orden jerárquico de acuerdo a: **a)** contenidos actitudinales, **b)** contenidos procedimentales y **c)** contenidos declarativos/conceptuales. En primer lugar, los contenidos actitudinales contemplan conceptos e ideas sobre: la estructura del conocimiento, la naturaleza del aprendizaje, y la fuente de habilidad del aprendizaje. En segundo orden (contenidos procedimentales) se sitúa una aproximación a la investigación científica constituida por los siguientes tres aspectos a considerar: i) la explicación del fenómeno, ii) la idea de variable y el control de variables, y iii) la colección de datos experimentales válidos. Finalmente, los contenidos conceptuales tales como: polarización, onda transversal, plano de polarización, materiales ópticamente activos.

4.3.3. Estrategias metodológicas desarrolladas para la PD-III.

Los pasos metodológicos pueden sintetizarse en:

1. Emplear como elementos perceptivos del medio ambiente escolar y el grado de organización del conocimiento, a las interpretaciones espontáneas de los estudiantes sobre tres aspectos del proceso enseñanza-aprendizaje: i) el disciplinar física (óptica), ii) el epistemológico (estructura del conocimiento, naturaleza del aprendizaje) y iii) el actitudinal (fuente de habilidad del aprendizaje).
2. Plantear el conjunto de experiencias sencillas que servirán como ORGANIZADORES PREVIOS (*Ausubel*, et al. [5]), permitiendo reestructurar las interpretaciones de las observaciones, así como contextualizar la enseñanza.
3. Favorecer el proceso de darle sentido al aprendizaje de la física, reconociendo y/o ampliando el número de variables (**investigaciones experimentales, desarrollo histórico de la ciencia, estructura del conocimiento, naturaleza del aprendizaje, fuente de habilidad del aprendizaje, etc.**) que incrementan el entendimiento de la física (óptica) a partir de la reflexión cuidadosa sobre los resultados de dichas experiencias sencillas.

4.3.4. Implementación de la propuesta para la PD-III.

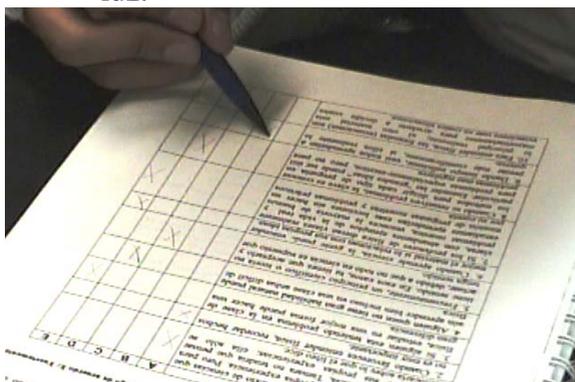
La propuesta instruccional se instrumentó con 17 estudiantes (~30 % hombres), los cuales estaban cursando la materia de física I en el C.C.H.-UNAM, plantel Sur (Octubre, 2005).

Las situaciones de aprendizaje se implementaron en base a las siguientes actividades: Breves presentaciones introductorias de fenómenos ópticos demostrativos,

realización de prácticas con el equipo *Newport*, exposición del profesor, trabajos de investigación dados a los estudiantes, y finalmente **el trabajo en grupo e individual, interactivo y propositivo con la coordinación del docente (estudiante de MADEMS)**.

Estas actividades consistieron en la realización de experiencias tales como contestar no sólo cuestionarios diagnósticos (tareas II, III, IV, ver fotografía 4.1/a) en forma individual y su revisión en equipo (fotografía 4.1/b), sino también con la elaboración de preguntas y respuestas sobre la lectura “*la naturaleza de la luz*”. Además el análisis de los datos obtenidos en la práctica de la “*Ley de Malus*”, llevado a cabo por los estudiantes al graficar estos datos e interpretar la gráfica obtenida (ver fotografías 4.2/a y 4.2/b), haciendo énfasis en el control de variables (en este caso la intensidad de la luz láser y el ángulo de la transmisión), finalizando con el planteamiento de interrogantes que obligaban a una mayor precisión cuantitativa (ver fotografías 4.3-4.4) como:

1. Calcular el contenido de azúcar en la miel, si se sabe que por cada gramo de azúcar disuelta en 1 cm^3 de agua, el plano de polarización de una onda luminosa polarizada linealmente rota más de 66.5° por cada centímetro de camino óptico recorrido por la luz.



(a)

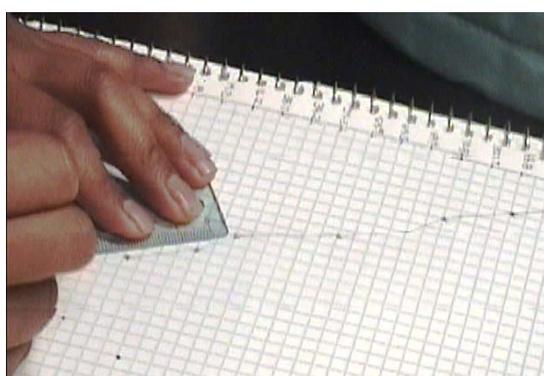


(b)

Fotografías 4.1: (a) Estudiante del grupo de recursamiento contestando el cuestionario diagnóstico. (b) Alumna leyendo una pregunta del cuestionario diagnóstico para ser respondida por los demás estudiantes, después de haber sido analizada en equipo.

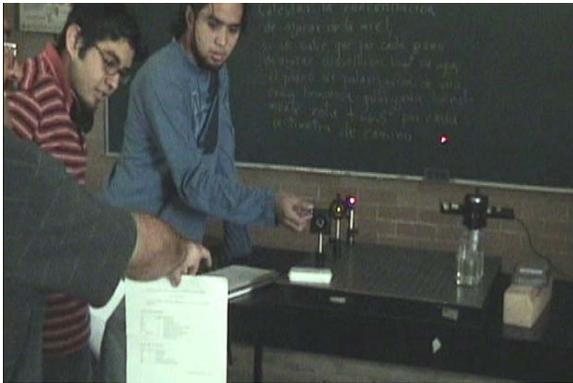


(a)

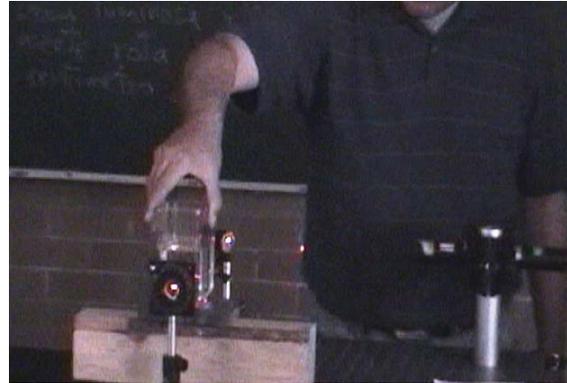


(b)

Fotografías 4.2: (a) El dispositivo experimental montado (equipo *Newport*) para verificar la ley de *Malus*. (b) Estudiante graficando los datos obtenidos del experimento de la *ley de Malus*.

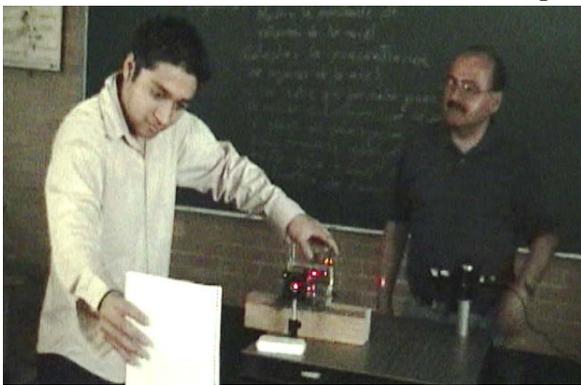


(a)



(b)

Fotografías 4.3: (a) Estudiantes con un montaje de dos polarizadores buscando bloquear totalmente la luz láser que incide en los polarizadores. (b) Colocación de un recipiente con miel entre un arreglo de polarizadores cruzados para verificar el fenómeno de actividad óptica (rotación de la polarización).



(a)



(b)

Fotografías 4.4: (a) Estudiante colocando el recipiente con miel en diferentes posiciones entre los polarizadores cruzados bajo observación del profesor (estudiante MADEMS). (b) Alumnas discutiendo la problemática implicada para realizar mediciones del ángulo de giro del plano de polarización de la luz láser al viajar a través de una sustancia ópticamente activa.

4.3.5. Análisis de resultados de los cuestionarios anterior y posterior a la instrucción.

1) Resultados / interpretación, obtenidos con los cuestionarios aplicados antes de la instrucción:

En el aspecto disciplinar (véase cuestionario diagnóstico I, preguntas 1-5, y 12-13 en la sección 3.6.1 del modelo instruccional terminado), principalmente se detecta insuficiencia para discernir entre comportamiento ondulatorio y comportamiento de partícula (corpúscular), puesto que los estudiantes mezclan/confunden los dos conceptos. En cuanto a las gafas que utilizan los esquiadores en la nieve, reconocen que el material de los lentes absorbe cierta radiación, varios estudiantes lo relacionan con el fenómeno de luz polarizada y con la reflexión. Estas concepciones sobre el fenómeno de polarización

pueden ser consideradas para iniciar la descripción científica del fenómeno. Se observa también que reconocen el fenómeno de interferencia.

En relación a los aspectos epistemológicos y actitudinales (véanse preguntas 3-5, y 1-10 de los cuestionarios diagnóstico II y III respectivamente, en la sección 3.6.1 del modelo propuesto), las respuestas a las preguntas son analizadas una por una (véanse tablas A.2.2. y A.2.3-A.2.5, respectivamente en el apéndice A-2, sección A.2.3), arrojando los siguientes resultados:

Pregunta 1: Se observa que la mayoría de los estudiantes dan valor a sus propias experiencias en lugar de darle valor a la información que proporciona el texto de ciencia sobre esas experiencias, aunque varios afirman lo contrario, asignándole también cierto valor a la información del texto que a sus propias experiencias. Es favorable la respuesta de la mayoría de los alumnos puesto que se observa en ellos autoridad interna, al no enfocarse sólo en lo que dice el libro sobre esas experiencias.

Pregunta 2: Se observa que los alumnos consideran los hechos en física importantes para entender esta materia, lo cual limita las oportunidades de darle sentido a los tópicos debido a que en el aprendizaje se enfatiza la memoria, repitiendo lo que otros han descubierto.

Pregunta 3: En esta pregunta las respuestas se inclinaron hacia el lado derecho de la escala, es decir, los estudiantes están de acuerdo en que existen varias formas de estudiar y aprender, las cuales tanto profesores como estudiantes deben diseñar y practicar, por ejemplo, las estrategias cognitivas mencionadas en el capítulo dos y contempladas en el modelo de instrucción propuesto en el capítulo anterior.

Pregunta 4: Aproximadamente la mitad del total de los alumnos que están de acuerdo en que se puede aprender física sin tener habilidad natural para hacerlo, observan que la física es para dotados, cayendo en el rango de la teoría esencialista, por lo que se hace necesario motivarlos para que cambien de actitud respecto al aprendizaje de la física y desarrollen su potencial para aprender.

Pregunta 5: La mayoría de estudiantes del grupo no aceptan las teorías y principios científicos si no tienen sentido para ellos, aunque unos pocos los aceptan sin cuestionarlos, para los primeros una manera de apoyar este resultado sería alentar a los estudiantes a tratar de dar respuestas a sus interrogantes sobre la teorías que no tienen sentido para ellos, formulando hipótesis y realizando experimentos que las verifiquen. Otra manera de fomentar el darle sentido a los principios y teorías sería resolviendo situaciones y problemas auténticos utilizando estos principios.

Pregunta 6: Casi la totalidad del grupo está de acuerdo en que sus ideas en ciencia deben ser tomadas en consideración en el diseño del material de la instrucción, es importante señalar que en esta práctica docente las preguntas del cuestionario diagnóstico 1 fueron diseñadas en base a preconcepciones erróneas sobre la luz y su aspecto ondulatorio, las cuales se adecuaron a nuestros contenidos y nuestra sociedad con preguntas acordes, lo que fue emotivo para los estudiantes, no obstante, una alumna requería el punto de vista científico sobre estos cuestionamientos, lo cual implica realizar estudios sobre la relación de la ciencia con aspectos cotidianos, un problema abierto e interesante de abordar tanto por profesores como alumnos.

Pregunta 7: La mayoría de estudiantes consideran que la responsabilidad en el proceso de aprendizaje-enseñanza le corresponde en mayor parte al profesor, pues por ejemplo, al

trabajar el material didáctico que él les presenta no le asignan valor a sus propias ideas sobre este material, ni a la proposición de mejoras, es decir, para los alumnos el profesor representa la autoridad externa de conocimiento, dándole poca importancia a su autoridad interna, es necesario fomentar el aprendizaje por medio de la participación de los estudiantes en el diseño y desarrollo de materiales didácticos, para ello los equipos didácticos experimentales son ideales pues brindan la oportunidad de que el estudiante introspectivamente y extrovertidamente (con su grupo de trabajo) desarrollen sus habilidades para resolver problemas prácticos.

Pregunta 8: Se observa que los estudiantes asignan valor a las grandes ideas en la resolución de problemas más regulares, estas grandes ideas pueden ser representadas por teorías y principios físicos para explicar y resolver problemas, así como la práctica de estos principios en la resolución de problemas cotidianos. Es importante indicar aquí que la organización de contenidos conceptuales de la propuesta instruccional (ver capítulo tres) se basa en principios y teorías, y que los contenidos procedimentales promueven el uso de estrategias cognitivas.

Pregunta 9: Casi la totalidad del grupo está de acuerdo en que si tienen voluntad y tiempo pueden aprender a pensar científicamente, suponen que se encuentran en el rango de la teoría creciente de la inteligencia y el aprendizaje, infiriendo que cada estudiante tiene su ritmo de aprendizaje y su propia creencia de lo que para ellos significa voluntad.

Pregunta 10: Se observa el reducido panorama sobre estrategias para la resolución de problemas en ciencia que tienen los estudiantes, al darle valor principalmente al uso de la herramienta matemática, en lugar por ejemplo, de identificar los principios y procedimientos que se aplican al problema y entonces construir las ecuaciones específicas que se necesitan.

Pregunta 11: La mitad del grupo asocia el éxito en la vida con el trabajo duro sobre la innata habilidad natural, y la otra mitad les asigna a ambos igual valor para obtener éxito, por lo que se hace necesario buscar variantes motivacionales para estos últimos estudiantes que afecten su lucha por alcanzar el éxito.

Pregunta 12: En comparación con la pregunta anterior, se observa que el 50 % del grupo sostiene que el trabajo duro redundaría en tener éxito en ciencia al igual que en la vida, sin embargo, la otra mitad cambia su posición con respecto a tener éxito en la vida, y admite claramente que para ser exitoso en ciencia se necesita tener habilidad natural, para cubrir esta falta de habilidad, se hace necesario el conocimiento y práctica de destrezas, es decir, aprender estrategias para aprender, tanto por parte de los estudiantes como de los profesores.

Pregunta 13: Los estudiantes están acostumbrados a ser evaluados por preguntas de opción múltiple sobre conceptos aislados sin conexión, por lo tanto, adquiere relevancia para la instrucción, la organización de los contenidos, y una manera de realizarlo es con una organización de estos alrededor de conceptos y principios, como se plantea en la etapa de definición de contenidos del diseño instruccional en el capítulo tres. Por otro lado, el inciso **b** de esta pregunta nos ofrece un criterio para elaborar cuestiones sobre la parte conceptual de la física que evalúen el aprendizaje de los estudiantes tomando como referencia el grado de organización de su conocimiento.

Otros comentarios sobre los resultados arrojados por el cuestionario diagnóstico 2:

- El renglón relacionado con **la naturaleza del aprendizaje** (preguntas 1, 6, y 7) resulta en una fuerte tendencia a la enseñanza tradicional, es decir, asignan poco valor a su pensamiento y experiencias propias, y poca relación con la vida cotidiana de los principios y teorías físicas.
- En otro aspecto epistemológico, **la fuente de habilidad de aprendizaje** (las respuestas a las preguntas 3, 4, y 9), se establece que están fuertemente de acuerdo en que si se lo proponen pueden aprender, sin embargo, lo visto en clase fue en general diferente, los estudiantes no presentaron el comportamiento aceptado en sus respuestas respecto al trabajo requerido para aprender. Esto indica que una fuerte motivación deberá ser brindada a los aprendices para que mejoren su entusiasmo y rendimiento, esto se logro de una manera muy satisfactoria mediante el empleo del equipo *Newport*, donde hasta los estudiantes más reticentes volcaron su interés en el funcionamiento del rayo láser y en los efectos ópticos producidos con éste.
- A través del proceso de: a) dar respuesta a los cuestionarios, b) analizar por equipos los cuestionarios resueltos de otros compañeros, y c) la presentación de los resultados en la sesión, se impulso la interacción entre los estudiantes, es decir, se hicieron explícitas las ideas y conocimientos de los alumnos al profesor y demás integrantes del grupo (metacognición), lo cual les pareció estimulante y novedoso (en palabras de uno de ellos: “*aprendemos participando*”).

2) Resultados obtenidos con el cuestionario aplicado después de la instrucción:

Con la actividad experimental de la luz láser pasando por polarizadores cruzados queda claro para la mayoría de los estudiantes la disminución de la intensidad de la luz, sin embargo, les es difícil asociar este resultado con la ortogonalidad de las componentes de la radiación luminosa, aunado a una falta de reflexión sobre los errores de los datos medidos y el instrumento de medición utilizado, tal vez esto último tenga que ver con que ellos no realizaron las mediciones, en este caso por falta de equipos para todos.

4.3.6. Conclusiones generales para la PD-III.

La presentación del aspecto histórico del desarrollo de la ciencia, corroboró su importancia ampliando la visión de ciencia en los estudiantes, puesto que se parte del conocimiento como un proceso y no como un ente existente e inmutable, lo cual ilustra una forma del desarrollo de la ciencia, es decir, mediante la creación sucesiva y/o paralela de modelos que expliquen fenómenos observados.

La utilización de actividades experimentales con el equipo *Newport* animó a los estudiantes desinteresados en la clase, sin embargo, existe aun cierta renuencia a participar por la mayoría de alumnos a manipular el equipo, esto quizás se deba al temor por lo desconocido, mismo que deberá ser eliminado mediante la posibilidad de implementar el equipo repetidamente durante la impartición de la unidad completa y no sólo con la

experiencia de la PD-III. El reconocimiento de variable en la práctica de la ley de *Malus*, se vio obstaculizado por la falta de equipo, puesto que los alumnos no pudieron tomar los datos por ellos mismos en la PD-III donde se varió el ángulo de la transmisión, en el arreglo con polarizadores cruzados, no obstante, pudieron discernir entre variable independiente y dependiente, sin embargo, al cuestionarlos en el examen de evaluación final con diferentes variables (presión y volumen) a las realizadas en el experimento no contestaron correctamente. Esto es, no hubo transferencia del conocimiento, esto se debe al cambio de contexto, para atacar esta cuestión, en la propuesta terminada (capítulo 3), cada uno de los temas de la unidad son abordados con varias estrategias diferentes, es decir, se diseñan diversas conexiones para estos temas con la finalidad de proveer a los estudiantes distintos canales con los cuales puedan fijar el conocimiento, lográndose de una u otra forma la transferencia de este.

Por otra parte, es necesario entender y practicar estrategias de aprendizaje en el salón de clases a través de los contenidos conceptuales de la materia que desarrollen habilidades de pensamiento para elevar la autoridad interna de los estudiantes y por ende su autoestima, varias de las cuales están contenidas en el diseño instruccional propuesto (véase sección de estrategias en el capítulo 3). En relación a los métodos de evaluación para estas estrategias, éstos se enfocaron en las habilidades de los estudiantes para recordar hechos aislados, por lo tanto, es necesario considerar instrumentos de evaluación que contengan un número pequeño de preguntas largas y problemas, cada una de las cuales cubran varios hechos y conceptos (véase sección 3.7 en el capítulo 3).

Es conocido por los profesores del bachillerato que los estudiantes buscan identificar la forma de evaluar del profesor y adecuarse a ella para obtener una buena calificación, lo cual puede ser aprovechado al utilizar formas de evaluación que aprecien el progreso del estudiante a partir de sus concepciones previas, y hacer que los alumnos se habitúen a estos tipos de evaluación. Finalmente, El diseño y uso de materiales didácticos que les permitan a los estudiantes visualizar los fenómenos apoyará el entendimiento de los conceptos y teorías físicas, estos se diseñan en su mayor parte para conectar las concepciones previas de los alumnos, y a la vez les requiere participar a través del lenguaje escrito u oral. Estas herramientas didácticas permiten también la ampliación de una visión simplista de la física y permiten a un mayor número de aprendices acceder a este conocimiento tan fascinante. Es de hacerse notar que la propuesta terminada incluye varios de estos materiales didácticos, por ejemplo: 1) la estrategia C, el desarrollo de ideas consistentes con el punto de vista de la ciencia, para el tema de la Representación Geométrica de la luz: Óptica geométrica y algunos fenómenos físicos; 2) la estrategia E, discusión de si dos situaciones son análogas una con la otra, también dentro del tema 1; y 3) las estrategias H e I, Organizador avanzado 2 (Texto y presentación de conceptos abstractos), e Investigación guiada (Actividad experimental) respectivamente, ambas sobre el tema de polarización, véase capítulo 3).

Es importante hacer notar en general, el resultado global: a) Como resultado de las discusiones grupales de los profesores (estudiantes MADEMS) de física en la PD I, se integraron varias competencias deseadas para el buen desempeño docente, entre ellas tenemos las siguientes: investigar, como modo y actitud permanente de aprendizaje, a fin de buscar, seleccionar y proveerse autónomamente la información requerida para su

desempeño como docente; tomar iniciativas en la puesta en marcha y desarrollo de ideas y proyectos innovadores, b) En la PD II se seleccionaron y aplicaron estrategias cognitivas que fomentan el papel activo del estudiante, implicando contenidos conceptuales como la interferencia de ondas electromagnéticas y los modelos de emisión de luz, estos últimos correspondientes con temas de física moderna relativamente nuevos tanto para el profesor como para los alumnos, cuyo nivel de abstracción es alto, por lo que se decidió desecharla del diseño instruccional terminado, no así la estrategia cognitiva que utiliza el concepto de interferencia en el experimento de *Young*, la cual es presentada en la propuesta (sección 3.6.5, en el capítulo 3), y c) La asimilación por parte del profesor (estudiante MADEMS) de las teorías y perspectivas sobre la enseñanza-aprendizaje de la física (adquiridas en los cursos de la maestría) que se dio paralelamente con la PD III, dió pie al diseño y aplicación de estrategias en el aula-laboratorio que ponderan las ideas de los estudiantes, lo cual fue significativo para ellos al considerar las clases fuera de lo normal respecto a las que reciben, en las cuales los profesores no les dan la importancia debida a su participación.

4.4 REFERENCIAS.

1. *Rumelhart, D., & McClelland, J.* (Eds.). Procesamiento Paralelo distribuido: Exploraciones en la microestructura de la cognición. Cambridge, MA: Prensa MIT. 1986.
2. *Millar Robin*, El entendimiento de los procedimientos de la investigación científica, Universidad de York, Reino unido.
3. *Scott P. H., Asoko H. M., Driver R. H.* Enseñanza para el cambio conceptual: Una revisión de estrategias.
4. *Albanese, M., & Mitchell, S.* Aprendizaje basado en problemas: Una revisión de la literatura sobre sus resultados y cuestiones de implementación. *Medicina Académica*, 68 (1), 52-81. 1993.
5. *Ausubel, Novak, Hanesian.* Psicología Educacional: “Una visión cognitiva” 2da Edición, Holt, Rinehart y Wiston, Nueva York, 1978.
6. *O’Shea C. Donald*, Elementos del Diseño Óptico Moderno. J. Wiley & Sons, Inc., 1985.
7. *Gagliardi R., Giordan A.*, La Historia de las Ciencias: Una Herramienta para la Enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 253-259. 1986.
8. POLARIZATION. COM, Luz polarizada en la naturaleza y tecnología.

CAPÍTULO 5.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

El diseño de un ambiente de aprendizaje, de nuevos objetos de aprendizaje pedagógicos, de la comunicación acerca de las concepciones y aplicaciones de los métodos desarrollados y la forma en que serán efectuados (verbal, textual sobre el papel, o bien en prácticas experimentales), de problemas para el aprendizaje y la práctica; requiere de una investigación documentada sobre los problemas y necesidades tanto sociales como motivacionales de los estudiantes para adquirir formación en ciencias a nivel bachillerato en las escuelas oficiales del Distrito Federal, tal investigación es realizada con cierta profundidad en este trabajo de tesis dentro del programa de MADEMS. De este trabajo se puede concluir que existen diversos factores que influyen en el proceso de enseñanza-aprendizaje, sin embargo, en este estudio nos enfocamos prioritariamente a dos de ellos: en primer término, el referente al individualismo predominante y relaciones sociales superficiales, cambiantes e interesadas entre los adolescentes de este nivel educativo, el segundo aspecto lo constituye su papel pasivo ante el conocimiento adoptado por largos años de enseñanza tradicional. Estas problemáticas representan obstáculos para estimular y lograr el aprendizaje de una forma óptima, por lo tanto, para resolver estos factores es requerido un arduo trabajo dentro del marco teórico establecido por el procesamiento de la información, el aprendizaje como cambio conceptual, el papel del medio social como agente en el desarrollo del pensamiento, y el desarrollo de la experticia. Dentro de estos campos existen principios y modelos de aprendizaje que nos permiten organizar el conocimiento, utilizar estrategias de aprendizaje, y diseñar nuevos objetos (como cuestionarios de ideas previas en base a concepciones erróneas) que involucran el entendimiento de los alumnos, promoviendo su papel de **aprendiz activo** y su desarrollo cognitivo en conexión con contenidos específicos y medios materiales.

En particular, el problema del individualismo predominante es abordado en este trabajo de tesis mediante el planteamiento de la estrategia de resolución de cuestionarios, el intercambio y análisis por equipos de éstos buscando coincidencias y similitudes en las respuestas, y finalmente la presentación de los resultados por parte de los estudiantes al pleno del grupo, esta estrategia permite abordar el concepto de zona de desarrollo proximal en beneficio del grupo, es decir, los alumnos logran aprender escuchando las respuestas de los demás compañeros. También, el individualismo en el cual estamos inmersos, es afrontado en este trabajo a través del planteamiento del salón-laboratorio como comunidad de aprendizaje (tarea cinco en la estrategia B, capítulo tres).

En general, el desarrollo teórico de los modelos de aprendizaje, delimitados por el marco establecido anteriormente, fueron aterrizados en la construcción de un modelo de diseño instruccional para el aprendizaje en Óptica-Física a nivel bachillerato, que toca como punto central la participación activa de los estudiantes a través del desarrollo y construcción de prácticas de laboratorio con equipo altamente especializado (mediante el *Kit* de enseñanza *NewPort* existente en los C.C.H.-UNAM), dicho modelo incluye diversas estrategias de aprendizaje, motivación y evaluación, que fueron obtenidas, en su mayoría, después de diversas pruebas y modificaciones (algunas ejecutadas durante las prácticas

docentes). En gran medida, las estrategias motivacionales destacan debido al inherente interés despertado en los estudiantes mediante la práctica experimental, el auto-juicio y auto-evaluación de las ideas propias de los aprendices, desarrollado todo esto dentro de una comunidad de práctica/aprendizaje definida desde el principio mismo del curso respectivo.

Bajo conceptos delimitados por el marco teórico psico-pedagógico y didáctico, se determinaron y organizaron los temas y contenidos sobre óptica ondulatoria y óptica geométrica a nivel del último año del bachillerato mexicano, es decir, se llevó a cabo una distribución e interconexión didáctica de los temas en base a principios y conceptos físicos (superposición de ondas y de *Huygens*), además de una secuencia lógica operacional de contenidos procedimentales (en relación a una visión amplia de la investigación científica y aproximaciones para resolver problemas mediante el uso previo de análisis jerárquicos cualitativos de dichos problemas a resolver). En cuanto a la toma de decisiones sobre las estrategias de enseñanza-aprendizaje apropiadas, se consideraron aquellas que promueven el aprendizaje activo del estudiante (cambio conceptual), en particular, las que pueden ser usadas para auxiliar a los alumnos desde sus puntos de vista existentes hacia la visión científica, y las que contemplan las concepciones y actitudes anteriores de los estudiantes (analogías y factores epistemológicos en ciencia), además de actividades experimentales con el equipo *Newport* de alto nivel psicopedagógico y formativo para el alumno. Las estrategias seleccionadas proveyeron el marco dentro del cual se insertan las tareas de aprendizaje, este marco se dirige hacia el entendimiento final del aspecto ondulatorio de la luz. Es importante señalar aquí que las tareas (tanto organizacionales, cognitivas, auto-evaluativas, experimentales, etc.) fueron diseñadas también en base al fomento del desarrollo del alumno, tanto en sus habilidades prácticas y de adquisición de conocimiento en forma integral a través de los contenidos educativos, así como en el aspecto socio-cognitivo del aprendizaje, enfatizando con esto el papel e interrelación de la ciencia dentro de la sociedad, por medio de las numerosas aplicaciones tecnológicas y múltiples beneficios que ésta brinda al medio social. Con lo anterior se logró además un substancial incremento en el interés de los aprendices por temáticas científicas, el descubrir la utilidad práctica del aprendizaje de conceptos científicos en la vida cotidiana.

La etapa de evaluación concerniente al desempeño de los alumnos, que presenta la propuesta de aplicación didáctica desarrollada en este trabajo, vislumbra tres tipos de valoración: diagnóstica, formativa, y sumativa, que a continuación se describen: **1) Diagnóstica:** es efectuada a través de cuestionarios diagnósticos con tres contenidos: conceptuales, epistemológicos, y actitudinales, que además de obtener información de los estudiantes respecto de estos contenidos, se propone fomentar el conocimiento en ellos en particular sobre la estructura del conocimiento, la fuente de habilidad para aprender y la naturaleza del aprendizaje. **2) Formativa:** ésta se realiza durante el desarrollo de las estrategias cognitivas, guiada por medio de una serie de criterios, productos y propuestas. Por último, **3) Evaluación sumativa:** se efectúa por medio de un cuestionario con preguntas interrelacionadas de los fenómenos de difracción, interferencia, y polarización de la luz, asimismo cuestiones con cierto grado de profundidad, factor que promueve la aplicabilidad de los contenidos conceptuales de la óptica-física.

Debido a que las formas de evaluación formativa y sumativa no se aplicaron en detalle en su totalidad durante el desarrollo de las prácticas docentes, esta parte del modelo

debe ser probada y sus resultados deberán ser exhaustivamente revisados para determinar su operatividad, confiabilidad, conveniencia de ser aplicada o modificada. Es importante resaltar aquí que los cuestionarios diagnóstico, en particular el referente a la física (óptica) hizo reaccionar a varios estudiantes de forma tal que aumentó su interés, lo que fue reflejado al incrementar su participación y discusión dentro del aula, principalmente al abordar las situaciones cotidianas planteadas y adecuadas a nuestro entorno. Sin embargo, los estudiantes se encontraban ávidos de conocer el punto de vista científico en relación a estas preguntas, lo cual implica el realizar una investigación de grupo para contestar a varias de estas preguntas, y no solamente una actividad cuya responsabilidad se relega al profesor, lo cual podría desanimar a los estudiantes a trabajar dichas cuestiones. Regresando a las formas de evaluación formativa y sumativa, como ya se mencionó antes, respecto a la primera y en particular al análisis de fuentes bibliográficas, este aspecto evaluador resulta compatible con la estrategia *ABP*, en relación a la evaluación sumativa, en esta etapa de la propuesta instruccional se incluyen preguntas que dieron buenos resultados puesto que lograron en varios estudiantes reflexionar sobre diferentes situaciones en relación a las tareas desarrolladas en clase, lo cual les permitió profundizar y articular fenómenos de óptica física.

La elaboración y aplicación frente a grupo de materiales didácticos (caso de aprendizaje basado en problemas *ABP*, planteamiento de preguntas generadoras, lecturas, prácticas experimentales, evolución histórica de conceptos de la óptica-física, estrategias cognitivas, etc.) comprendidos dentro del diseño propuesto, se realizó en forma paulatina durante la práctica docente, al ganar tanto experiencia práctica de docencia frente al aula como conocimientos teóricos-pedagógicos y didácticos por parte del profesor/estudiante de MADEMS. También, en forma paralela se observó/reconoció una evolución (**asimilación**) por parte del profesor/estudiante desde una postura donde se le asigna mayor valor a contenidos disciplinarios (física), a una nueva aproximación donde a través de contenidos sobre el aprendizaje de la física (aspecto histórico de la polarización, uso de estrategias cognitivas, desarrollo de prácticas experimentales con equipo científico, reflexión sobre las fuentes del conocimiento, el valor de la motivación en el aprendizaje a través del ambiente de participación), son abordados contenidos disciplinarios. Por otra parte, un factor que es importante de resaltar es la comparación entre lo planeado y lo ejecutado a la hora de aplicar las estrategias de aprendizaje, por ejemplo, en la práctica docente (PD-III) se diseñó un cuestionario acerca de una lectura dada, que en última instancia el profesor/estudiante decidió no aplicar, permitiendo así a los alumnos la elaboración de sus propias preguntas acerca de la lectura en cuestión.

También, la conclusión de las estrategias cognitivas referentes a la comprensión de conceptos avanzados de la generación de la luz (que incluyen la descripción del modelo atómico) se vio impedida por la falta de comprensión y dominio de los contenidos involucrados (emisiones espontánea y estimulada de la luz), aunado al poco tiempo asignado a la PD-III. Por último, es importante señalar que en este trabajo se dan los primeros pasos (desde un punto de vista integral: teórico-práctico) sobre el contexto de comunidad de aprendizaje en el aula-laboratorio, si bien el modelo instruccional propuesto se ocupó de varias corrientes de teorías pedagógicas y didácticas modernas, el aspecto práctico deberá llevarse a cabo en los próximos cursos de una forma exhaustiva sin las limitantes de tiempo impuestas por las tres prácticas docentes, donde el profesor/estudiante

podrá explotar este modelo durante todo un semestre y con sus propios alumnos. Esto dará lugar a adecuaciones, reformulaciones y por ende mejoras significativas a los diversos criterios descritos en función de las características particulares de los grupos escolares donde se aplique este prometedor contexto.

Si bien el planteamiento de la comunidad de práctica en el aula-laboratorio implica un cambio de paradigma respecto del proceso enseñanza-aprendizaje tradicional (centrado en el profesor), fuertemente arraigado en los profesores del bachillerato en México, este contexto propone una forma de participación e interacción entre estudiante-estudiante y estudiante-profesor, sin análogo (al menos en las metodologías de enseñanza tradicionales aceptadas por la gran mayoría de los planteles de bachillerato) entre los contextos hasta hoy utilizadas para facilitar y fomentar el aprendizaje que cubra un rango más amplio de estudiantes. Establecer en la práctica educativa el contexto propuesto implica vencer inercias tanto de profesores como de alumnos que presentan renuencias a estudiar, por una parte acerca de la enseñanza de la física (profesores) y por la otra, la materia misma de física (los estudiantes), inercias tales como la actitud que presentan varios profesores respecto del conocimiento que profesan, para ellos éste no puede discutirse, sólo esperan respuestas por parte de los estudiantes acordes a su punto de vista, sin asignarles un valor y una apreciación adecuada a las respuestas proporcionadas que fuesen discordantes con sus visiones. Por parte de los estudiantes, una de las inercias más importante es su temor a interactuar con sus pares/compañeros, debido en principio a la falta de apertura y experiencia de algunos de ellos hacia la discusión/debate sobre las concepciones de los demás. Un fuerte apoyo para iniciar esta práctica instruccional enfocada en la comunidad de aprendizaje en el aula-laboratorio, es a través de diversas estrategias organizativas (trabajo por pares y en grupos de cuatro estudiantes, auto-evaluación cruzada, etc.) apropiadas en este modelo de diseño instruccional, junto con la información sobre aspectos relevantes de la comunidad de aprendizaje. Al establecer este contexto, resulta que un gran número de estudiantes son cautelosos/temerosos a mostrar sus ideas al resto del grupo, omitiendo participar en la discusión, sin embargo, es probable que esta actitud se pudiese cambiar durante un curso completo al establecer un ambiente de respeto, tolerancia y de crítica-constructiva hacia las ideas de los demás, con lo cual se podrá incrementar la confianza entre los miembros del grupo. Mas aún, el trabajo en “comunidad” se ve obstaculizado por la posición negativa que varios estudiantes presentan ante actividades que requieren esfuerzo (no sólo intelectual sino el de interactuar socialmente), hasta el punto de apropiarse de las ideas de otros estudiantes y presentarlas a la clase como propias (en casos aislados).

Es por lo tanto apropiado, en base a las observaciones anteriores, elaborar materiales para lograr la comunicación por escrito con dichos estudiantes, tales como: practicas experimentales en grupo, uso de analogías, organizadores previos, gráficas de recuperación, e interactuar con ellos a nivel de pequeños grupos para conocer sus posiciones ante los problemas planteados; no obstante, a pesar de que estos puntos de vista no serán hechos explícitos a los demás miembros del grupo, pueden ayudar al profesor a conocer las visiones de estos estudiantes y mejorar su instrucción.

Por otro lado, el papel de estudiante activo no sólo se refiere, como se podría pensar a priori, a la participación de los estudiantes en las actividades escolares (con su respectivo

esfuerzo cognitivo), tal como la realización de prácticas experimentales propuestas por el profesor, sino que también es importante analizar entre otros aspectos relevantes: el proceso preferencial de aprendizaje de este estudiante, cómo este organiza su conocimiento, la interacción con sus pares (para obtener aprendizaje mediante sus aportaciones a la discusión en clase sobre problemas que involucren fenómenos cotidianos o al escuchar estas intervenciones), el conocimiento y transformación de sus preconcepciones, etc.

Las prácticas experimentales propuestas en este trabajo aparte de representar los diferentes pasos sobre la investigación y metodología científica (relación con la comunidad científica), son complementadas con estrategias de tipo cognitivo que involucran entre otros aspectos el planteamiento de problemas sobre fenómenos cotidianos, aplicaciones tecnológicas, uso de analogías, organizadores previos, gráficas de recuperación, actividades todas ellas que le permiten al estudiante activar su mente (organizando información, comparando sus preconcepciones con las conceptualizaciones científicas, considerando distintas representaciones sobre fenómenos ópticos difíciles de visualizar). Como se mencionó, la falta de intervenciones de varios estudiantes en las discusiones dentro del aula es uno de los mayores obstáculos a franquear por los diseñadores de modelos instruccionales; sin embargo, es importante señalar en relación a la evaluación de algunos estudiantes a las estrategias utilizadas en la práctica docente, la siguiente conclusión: *“la participación es importante para aprender, y esta se mejorara si aprendemos a plantearnos problemas, tanto profesores como estudiantes, lo cual representa un reto a futuro que amerita ser estudiado y practicado en el aula-laboratorio”*.

Como se explicó, diversas estrategias fueron diseñadas, mejoradas y aplicadas con éxito en el modelo instruccional propuesto en este trabajo, podemos concluir brevemente acerca de estas estrategias lo siguiente:

1) En cuanto a la introducción de la enseñanza de la historia de la física en los cursos, amplía en los estudiantes su concepción de la naturaleza de la física (como una actividad intelectual y humana desarrollada a lo largo de la historia), transformándola de una concepción estática y dogmática a una visión dinámica y abierta, donde la construcción del conocimiento se da a través de un proceso social con la discusión, argumentación, y la evidencia experimental como factores fundamentales para la aceptación del conocimiento, evidenciado el triunfo intelectual de la sociedad a lo largo de su historia, actitudes de valor y procedimientos que los alumnos deben tener en cuenta para su posterior desarrollo intelectual y conductual.

2) La estrategia de aprendizaje basado en problemas *ABP* representó una poderosa herramienta para descentralizar el papel del profesor en el proceso de enseñanza-aprendizaje, puesto que promueve la participación activa de los estudiantes en grupos de trabajo, al permitirles plantear sus propios objetivos de aprendizaje y reconocer sus necesidades de estudio, lo cual los llevó a realizar una investigación documental (el profesor no proporciona los contenidos), dándole sentido así al aprendizaje individual, además de estimular la reflexión sobre la explicación científica del fenómeno involucrado, sin embargo, el problema no es resuelto completamente por los estudiantes, puesto que en primer término los conceptos requieren ser entendidos y en segundo lugar aplicarlos en la resolución de los problemas planteados, y así completar la estrategia. En este trabajo se

planteo el uso adicional de otras tácticas de vital importancia, tales como las prácticas experimentales para apoyar el entendimiento del concepto de luz polarizada y facilitar la resolución del problema planteado en la estrategia *ABP*. Se requiere del diseño y evaluación de más casos con esta metodología para lograr fortalecer el aprendizaje de la física con una visión donde la escasa intervención del profesor en el proceso de enseñanza-aprendizaje sea la constante, implicando elevar la autoridad interna de los estudiantes, lo que fortalecerá su interés, auto-estima y auto-confianza.

3) Conjuguar la Historia y la Física permitió no sólo que los estudiantes conocieran el descubrimiento del fenómeno de polarización óptica a través de los siglos mediante la evolución temporal de diferentes descripciones científicas y conceptos, sino también, los llevó a tomar conciencia de procesos de tipo social involucrados en la construcción del conocimiento científico, que dieron lugar a cambios paradigmáticos sobre las teorías del fenómeno de polarización, ambos procesos socio-cognitivos les permitieron a los alumnos percibir a la investigación científica como una actividad social, abierta y en constante proceso evolutivo.

Aunque varias estrategias de aprendizaje del modelo propuesto fueron ejecutadas durante las prácticas docentes realizadas en la maestría MADEMS, el modelo instruccional planteado es en su misma esencia, un modelo abierto, es decir, a través de su interacción con profesores y estudiantes en la práctica (al dar clases durante el tiempo asignado a la unidad de sistemas ópticos en el C.C.H.), puede ser modificado, y mejorado, puesto que como anteriormente se dijo, representa un cambio notable en la forma de trabajo tanto de profesores como de alumnos en el salón de clases, la cual, en principio debe ser asimilada por ambos vértices del triángulo didáctico. Por lo tanto habrá que realizar los ajustes adecuados, en particular para lograr una interpretación operativa del contexto de comunidad de aprendizaje en el aula-laboratorio por cada profesor practicante de este modelo.

Como se recordará, en el prólogo de este trabajo, se planteó la siguiente pregunta como base iniciadora del presente trabajo: **¿Es posible mediante el aprovechamiento del equipo didáctico diseñado para la enseñanza de óptica física a nivel bachillerato (*Kit de enseñanza Newport*), el estimular una participación e interacción activa en el proceso de aprendizaje en los estudiantes de los planteles del C.C.H. UNAM?**. Esta pregunta se planteó con el afán de resolver una problemática particular observada en los colegios C.C.H.-UNAM: El desaprovechamiento del equipo experimental didáctico de alta calidad, la falta de herramientas didácticas que permitan al estudiante aprender participando, la falta de experiencia práctica en temas científicos observada en los estudiantes al término de sus estudios de bachillerato, etc. Dar respuesta a dicha cuestión implicó fundamentalmente el desarrollo de varias instrucciones didácticamente fundamentadas que combinadas con actividades **experimentales** que comprendieron desde prácticas demostrativas hasta prácticas con mayor grado de complejidad, pasando por actividades de investigación con el equipo *Newport* (lo cual permitió a los propios estudiantes manipular equipo experimental complejo, utilizado incluso por profesionales en el área). No obstante al desarrollo de las prácticas experimentales planteadas, se vio la necesidad de buscar actividades que complementaran a las prácticas de laboratorio con el objeto de plantear diferentes facetas del aprendizaje de la óptica-física que tomaran en cuenta esencialmente el papel “activo” del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje,

identificando principalmente el valor de las pre-concepciones como el objeto de cambio en el proceso de aprendizaje, variación que se persigue lograr a través de diversas estrategias y bajo un contexto de comunidad de aprendizaje que conjuga las habilidades y pericias de los estudiantes en el avance colectivo sobre el entendimiento de la temática en cuestión, lo cual implica desarrollar habilidades en la interacción entre ellos mismos, así como también al practicar las estrategias propuestas. Así pues se considera, basado en los resultados y avances objetivos y positivos obtenidos durante las prácticas docentes (se observó un creciente estímulo en los estudiantes por aprender, participando en debates de temáticas científicas), que se puede dar una respuesta afirmativa a la pregunta planteada mediante el empleo del modelo instruccional aquí desarrollado para este caso particular. Más aún, con la práctica y mejora de este modelo se espera lograr una mayor eficiencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje para lo cual se aplicará este trabajo en los cursos subsecuentes que el profesos/alumno de MADEMS impartirá en el C.C.H.-UNAM.

Finalmente, si bien el modelo instruccional aquí propuesto presenta ciertas instrucciones a seguir por parte de los estudiantes, donde aparentemente no se les deja elección para las actividades de aprendizaje en el aula-laboratorio, en la mayoría de las estrategias cognitivas planteadas se enfatizan los puntos de vista de los estudiantes sobre los conceptos y procedimientos que se proponen en las tareas a desarrollar, fomentando así la adquisición de sentido de estas actividades por parte de los alumnos y dándoles la posibilidad de plantear instrucciones mejoradas o variantes para el desarrollo de las actividades. En este sentido, el papel propositivo requerido de los estudiantes se verá estimulado al practicarse los procedimientos diseñados (véase sub-sección 3.4.1 “Organización de contenidos”, capítulo 3), en base al comportamiento observado en expertos al resolver problemas en este modelo de instrucción. Es decir, estudios sobre la experticia que pueden ser implementados en desarrollos futuros, recopilando/formulando por ejemplo, problemas a resolver, para ser analizados por los estudiantes e intentar resolverlos de forma cualitativa aplicando los procedimientos señalados en los estudios consultados, como por ejemplo: a) señalar el principio notable a ser aplicado; b) la justificación del porqué el principio fue aplicable; y c) los procedimientos para aplicar el principio. Este es uno de los trabajos futuros a desarrollar en este modelo para redondear el trabajo experimental y de comunidad de aprendizaje, con el trabajo teórico-analítico dentro de la unidad de óptica, donde el entendimiento de conceptos importantes de una forma jerárquica juega un papel importante para la organización y elección de estrategias que conlleven a la solución eficaz de diversos problemas.

APÉNDICE A-1: EQUIPO NEWPORT

La compra del equipo *Newport*, surge de un préstamo otorgado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a la Universidad Nacional Autónoma de México, y de la necesidad de equipar los laboratorios de Física del área de Ciencias Experimentales en el Colegio de Ciencias y Humanidades (C.C.H.). Esta unidad, consta de todos los componentes ópticos y optomecánicos (véanse tablas: A₁, A₂, A₃) necesarios para completar una serie de experimentos que proporcionarán a los estudiantes, un fondo básico en óptica y experiencia práctica en técnicas de laboratorio.

Los experimentos desarrollados con el equipo, son propuestos para ser usados por instructores en un curso experimental avanzado en el Bachillerato, en el caso particular del C.C.H., se reconoce su utilidad para abordar la última unidad (Sistemas Ópticos) del programa de la asignatura de Física IV. Estos experimentos también permiten, abordar, observar, obtener datos confiables, de fenómenos ópticos de difícil comprensión (interferómetro, ángulo de *Brewster*, Ley de *Malus*, etc.), características difícilmente encontradas en prácticas realizadas con otros equipos en el Bachillerato.

La unidad *Newport*, representa un apoyo instruccional básico para lograr los objetivos planteados en el diseño. Otra de las ventajas del equipo, se constituye por su extensión a futuro, es decir, permite implementar proyectos avanzados de Física Moderna.

Tabla A₁. Componentes ópticos de la unidad *Newport*.

Letra de identificación	Cantidad de piezas	Descripción
(A)	4	Espejo redondo <i>pyrex</i> .1.0 pulg. ¼ onda. Vis: 0.45-0.7μm
(Q)	1	Láser He-Ne.
	1	Juego de blancos: zona de <i>Fresnel</i> (tres), dos mallas ranura sencilla, ranura doble.
	1	Prisma 90°, BK7 0.5 pulgadas. ¼ onda
	1	Juego de polarizadores (dos)
	1	Expansor de rayo. Una pulgada 1/5 de onda Rs/Ts = 50/50 .48-.7μ.
	2	Expansor de rayo. Diámetro 25.4 mm , 1/5 de onda Rs/Ts = 50/50 .48-.7μ.
	1	Expansor de rayo 10RP12-24.
	1	Fuente para el láser



Imagen A₁: (a) Fotografía de: espejos redondos *pirex*, juego de polarizadores (dos), (b) Juego de blancos: zona de *Fresnel* (tres), dos mallas ranura sencilla, ranura doble, prisma 90°, BK7.



Imagen A₂: Fotografía de: Láser He-Ne, fuente y montaje para el láser (M.N).



Imagen A₃: Fotografía del empaque del divisor de haz.

Tabla A₂. Kit de lentes de la unidad Newport.

Tipo de lente	Distancias focales (mm)
Bicóncava	-25.00
Biconvexa	25.40
	50.20
	75.60
	100.00
	200.00
	500.00
Plano-cóncava	-150.00
	-50.00
	-25.00
Plano-convexa	25.40
	38.10
	50.20
	75.60
	100.00
	150.00
	200.00
	300.00
	500.00
	1000.00



Imagen A₄: Fotografía del *Kit* de lentes (bicóncavas, biconvexas, plano cóncavas, plano convexas).



Imagen A₅: *Kit* de lentes de diferentes formas y distancias focales (bicóncavas, biconvexas, plano cóncavas, plano convexas).

Tabla A₃. Componentes opto-mecánicos de la unidad *Newport*.

Letra de identificación en los dibujos	Cantidad de piezas	Descripción
(B)	4	Sujetadores de espejo
(C)	4	Montajes para espejo, adj
(D)	2	Barras de centro de rotación.
(E)	15	Postes de tres pulgadas
(F)	8	Sostenedores de poste, dos pulgadas
(K)	3	Placas base
(R)	1	Placa de rotación
	1	Sujetador de ángulo variable
	2	Rosca para la placa rotatoria.
(G)	2	Sostenedores de filtro.
(J)	3	<i>Chucks</i> de lentes
(M)	1	Barra siete pulgadas.
(N)	1	<i>Clamp</i> de barra.
(P)	1	Montaje para el láser
	5	Bases.
	2	Llaves.
	1	Destornillador.
	1	Tanque plástico

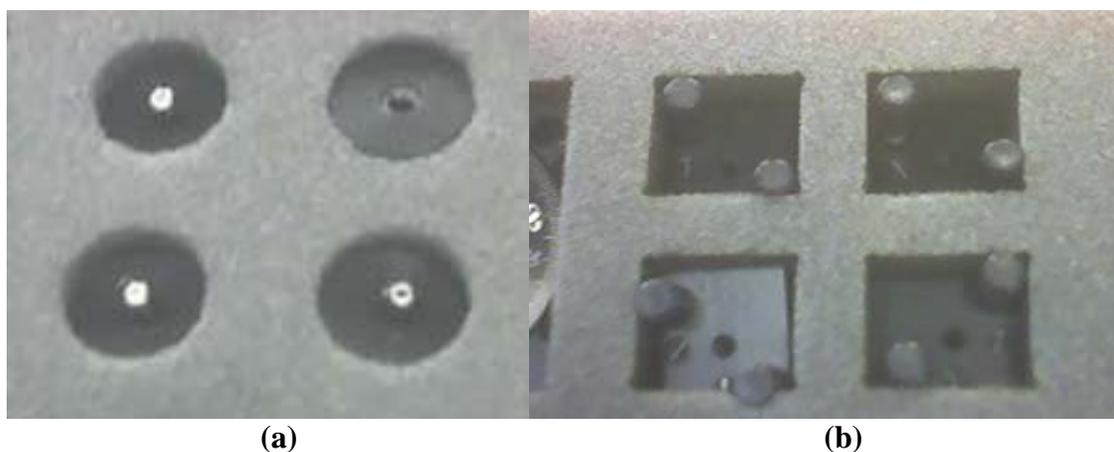


Imagen A₆: Fotografía de: (a) Sujetadores de espejo, (b) montajes micro-posicionadores para espejos.



Imagen A7: Fotografía de: (a) Postes de tres pulgadas y sostenedores de poste (dos pulgadas), (b) placa base.



Imagen A8: Fotografía de: (a) Plataforma de rotación, (b) lentes.



Imagen A9: Fotografía de sujetadores de lentes.



Imagen A₁₀: Fotografía mostrando partes del equipo (vista parcial del Kit).

MONTAJES PROPUESTOS POR LA GUÍA *NEWPORT*

Algunos de los experimentos propuestos en el diseño instruccional usan un número de montajes componentes similares. En orden de simplificar el procedimiento de armado experimental, se incluye una sección sobre la construcción de estos montajes. Esta sección de componentes contiene dibujos de cada montaje

Alineación de componentes

Todos los montajes, excepto el montaje de lentes (LCA), son previstos para atornillarse directamente al banco de laboratorio rectangular (algunas veces referido como mesa óptica (véase Imagen A₁₁), puesto que puede ser usado para montar sistemas ópticos en una base experimental). La alineación de muchos componentes es más simple dirigiendo las trayectorias ópticas a lo largo de los huecos para los tornillos sobre la superficie. Para ajustar la altura o alineación de un componente, rota el montaje en el poste sostenedor y reposiciona el poste dentro del sostenedor.

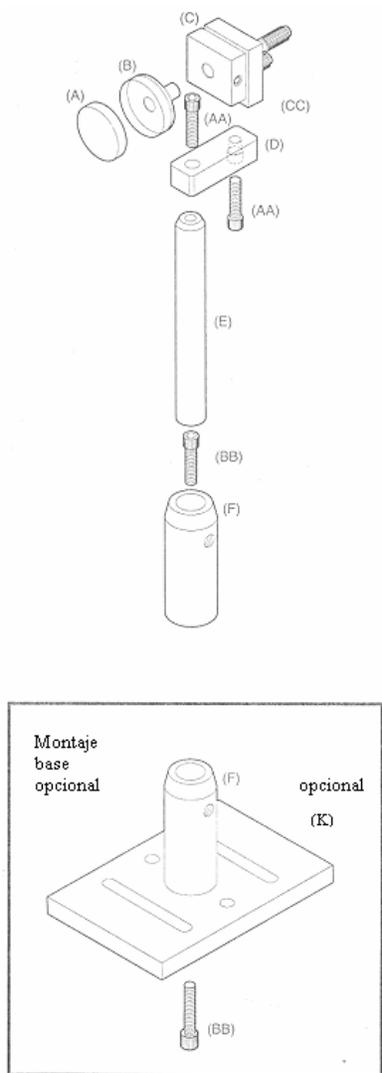


Imagen A₁₁. Mesa óptica

Montaje de Guía de Rayo: (MGR-I)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
A	1	Espejo de 1 pulgada
B	1	Sostenedor de espejo
C	1	Montaje de espejo, adj
D	1	Barra de centro de rotación
E	1	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2 pulgadas
AA	2	Tornillos cúbicos
BB	1	Tornillos cúbicos
CC	1	Tornillo fijo



Figuras A₁ - A₂. Montaje de guía de rayo: (MRG-I)

Montaje de guía de rayo modificado: (MGR-II)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
C	1	Montaje para espejo
E	1	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2
R	1	Plataforma de rotación
BB	1	Tornillos con cabeza cúbica
CC	1	Tornillo fijo

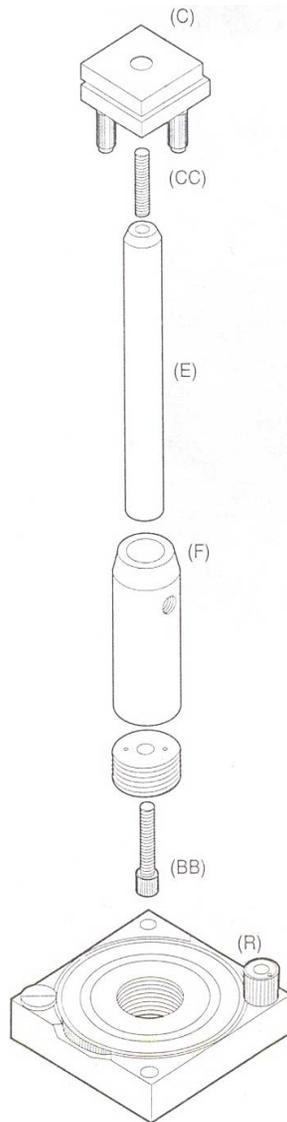


Figura A3. Montaje de guía de rayo modificado: (MGR-II)

Esta versión modificada de este montaje de rayo guía **(MGR-II)** consiste de un montaje de espejo ajustable (C) cuya superficie (del lado de la protuberancia ajustable) es montada perpendicularmente al poste (E) con un tornillo fijo (CC) como se muestra en la figura A3. El sostenedor del poste se sujeta al enchufe central en la plataforma de rotación (R).

Montaje de guía de rayo modificado: (MGR-III)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
A	1	Espejo de 1 pulgada
B	1	Sostenedor de espejo
C	1	Montaje de espejo, adj
E	2	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2 pulgadas
H	1	Sostenedor de ángulo variable
BB	1	Tornillos cúbicos
CC	1	Tornillo fijo
DD	1	Tornillo fijo

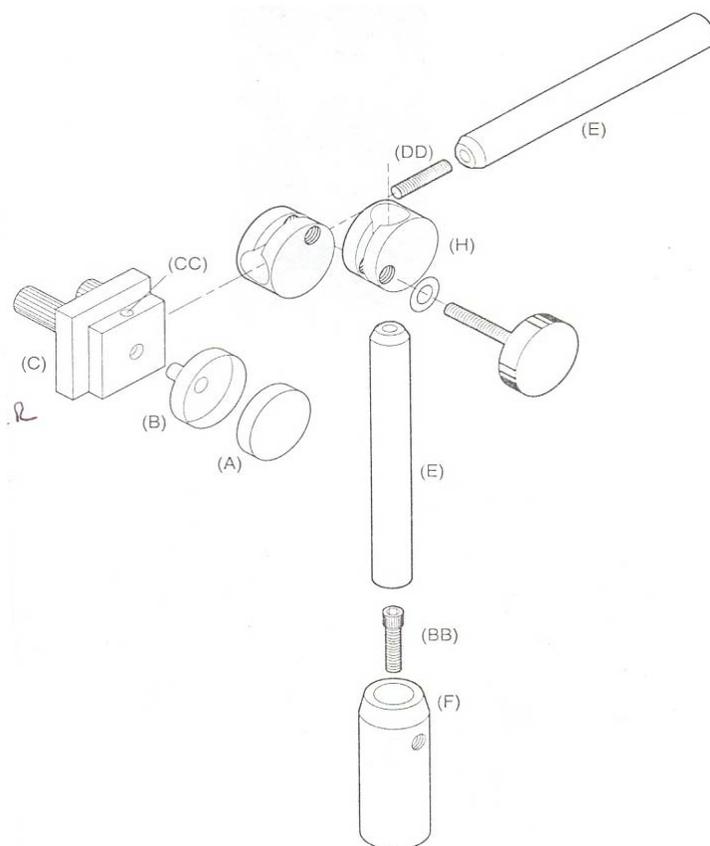


Figura A4. Montaje de guía de rayo modificado: (MGR-III)

Montaje blanco (MB-I)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
E	2	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2
G	1	Sostenedor de filtro
H	1	Sostenedor de ángulo variable
BB	1	Tornillos con cabeza cúbica
DD	1	Tornillo fijo

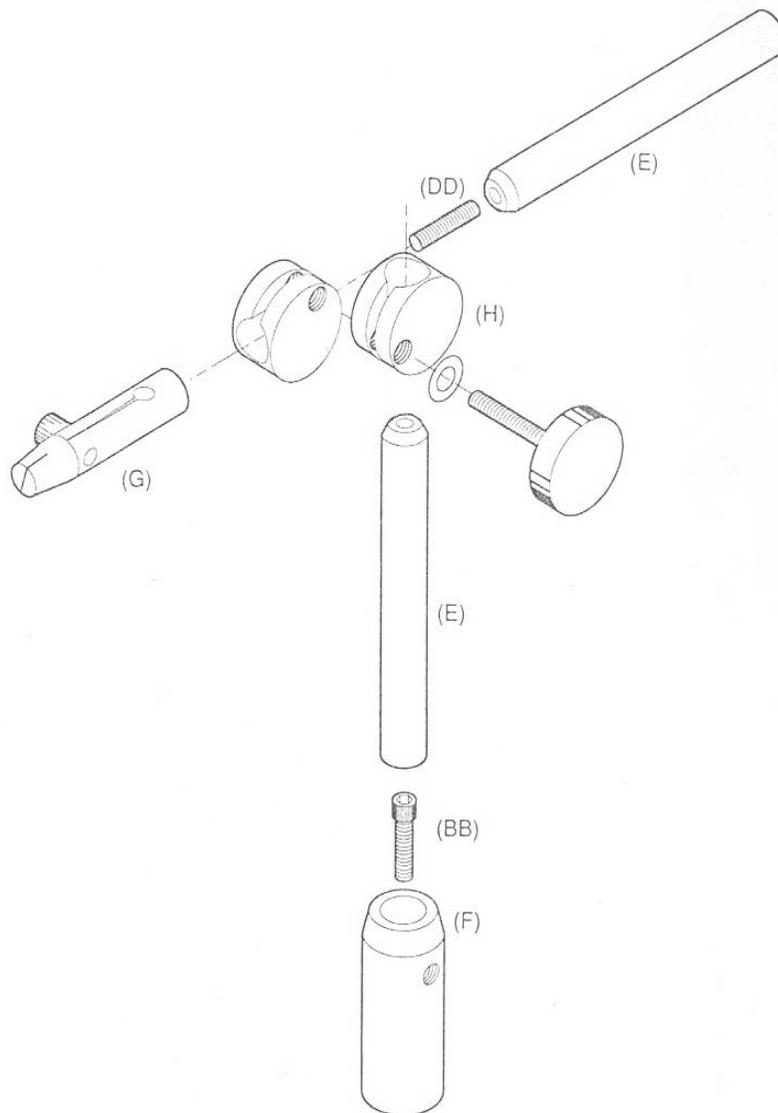


Figura A5. Montaje blanco (MB-I).

Montaje blanco modificado (MB-II)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
E	1	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2
G	1	Sostenedor de filtro
K	1	Placa base
BB	1	Tornillos con cabeza cúbica
DD	1	Tornillo fijo

Un montaje modificado que no usa el sostenedor de ángulo variable (H) y consiste de la combinación poste-filtro (E-G) montado directamente en el sostenedor de poste (F) y la placa base (K) con el tornillo con cabeza cúbica (BB). Este montaje no es previsto para atornillarse en la mesa óptica, sino para moverse alrededor sobre la placa base (K).

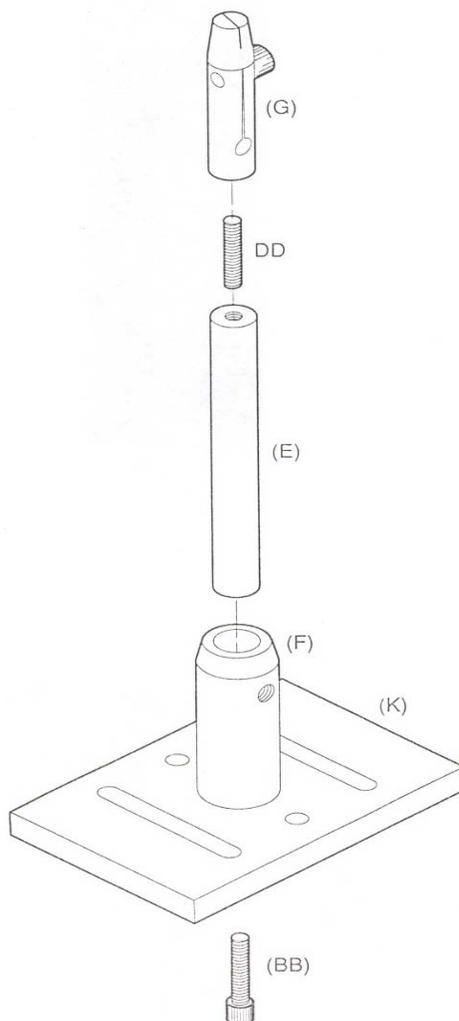


Figura A6. Montaje blanco modificado (MB-II).

Montaje de lentes (ML).

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
E	1	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2
J	1	sujetador de lentes
K	1	Placa base
BB	1	Tornillos con cabeza cúbica
CC	1	Tornillo fijo

Este montaje no es previsto para atornillarse en la mesa óptica, sino para moverse alrededor sobre la placa base (K).

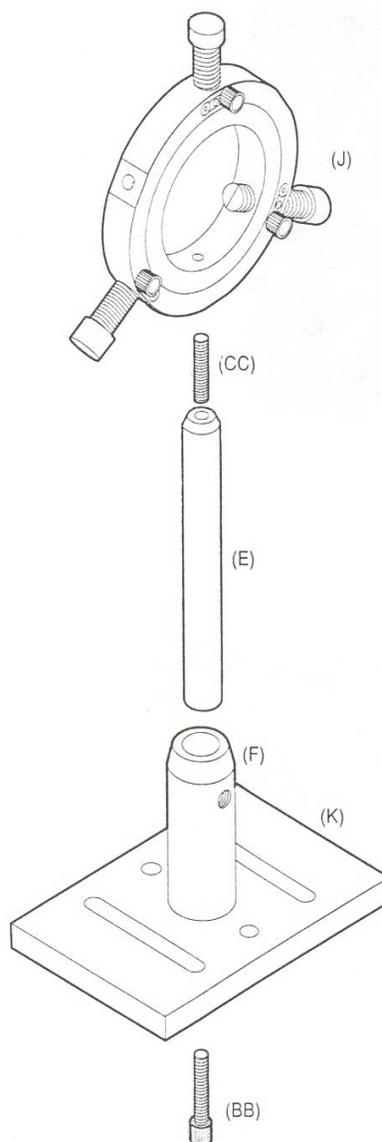


Figura A7. Montaje de lentes (ML)

Montaje de plataforma rotacional (MPR-I)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
E	1	Poste, 3 pulgadas
F	1	Sostenedor de poste, 2
R	1	Plataforma de rotación
BB	1	Tornillos con cabeza cúbica
CC	1	Tornillo fijo

Este montaje será usado en dos versiones ligeramente diferentes. El tipo MPR-I tendrá la plataforma de rotación (R) montada de tal forma que la apertura despejada de 1 pulgada esta perpendicular a la superficie de la mesa

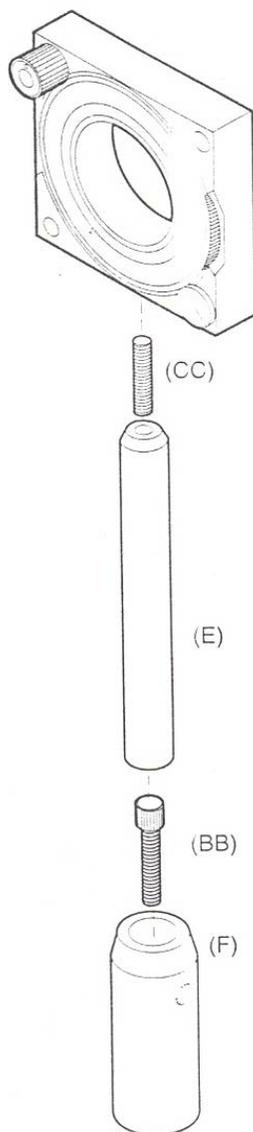


Figura A8. Montaje de plataforma rotacional (MPR-I)

Montaje del láser (ML)

Este montaje consiste de:

Parte	Cantidad	Descripción
M	1	Barra de 7 pulgadas
N	1	Abrazadera barra
P	1	Montaje láser 1 ¾ pulgadas
Q	1	Láser He-Ne
BB	2	Tornillos con cabeza cúbica

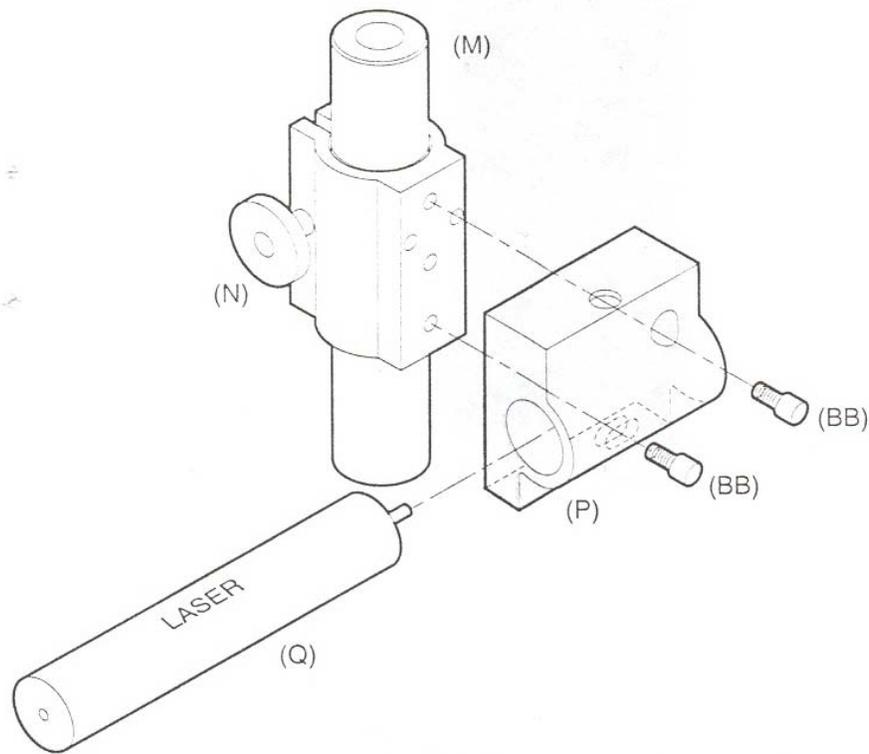


Figura A9. Montaje del láser (ML).

APÉNDICE A-2: CUESTIONARIOS DE EVALUACIÓN APLICADOS EN LA PRÁCTICA DOCENTE.

A.2.1. Cuestionario de la Práctica Docente II. Evaluación diagnóstica del tema de física-ondulatoria (concepciones previas).

Contesta las siguientes preguntas eligiendo el inciso que consideres correcto.

1. El modelo de emisión estimulada explica la luz proveniente de..... ()
a) un láser. b) un foco. c) una lámpara de descarga. d) una lámpara sorda.
2. El modelo de emisión espontánea de la luz de procesos naturales es un modelo a escala..... ()
a) atómica. b) astronómica. c) humana. d) celular.
3. En las cuerdas de una guitarra las ondas que se producen son:..... ()
a) transversales. b) longitudinales. c) circulares. d) elípticas.
4. ¿Que sucede cuando varias ondas se encuentran?()
a) nada. b) rebotan. c) interfieren. d) se reflejan.
5. ¿De que tamaño debe ser la abertura en la que incida la luz para proyectar franjas brillantes y oscuras sobre la pantalla?()
a) Del ancho de una ventana b) del largo de una puerta
c) del grosor de un cabello d) del ancho de una rendija de coladera.
6. El negro es:..... ()
a) la combinación de todos los colores.
b) la ausencia de luz.
c) la combinación del azul oscuro con el verde.
d) la sustracción del azul y el rojo de la luz blanca.
7. Para explicar el cuadro de interferencia que aparece cuando la luz pasa por una doble ranura debemos utilizar:..... ()
a) el modelo corpuscular de la luz. b) las leyes de *Newton*.
c) el modelo ondulatorio de la luz. d) la ley de *Faraday*.

8. "Cualquier punto de un frente de onda que avanza puede considerarse como una fuente de ondas secundarias llamadas pequeñas ondas. La nueva posición del frente de onda envuelve a las pequeñas ondas emitidas desde todos los puntos del frente de onda en su posición previa", Principio de..... ()
- a) *Newton*. b) *Huygens*. c) *Herrón*. d) *Galileo*.

Tabla A.2.1. Evaluación diagnóstica del tema de física-ondulatoria correspondiente a la práctica docente II, (número de respuestas por opción):

Pregunta #:	OPCIONES				
	a	b	c	d	No contestaron
1	9	9	3	0	0
2	17	1	1	1	1
3	4	12	3	2	0
4	1	0	16	4	0
5	1	0	15	5	0
6	3	18	0	0	0
7	7	1	11	0	2
8	3	16	0	0	2

A.2.2. Práctica Docente III: RESUMEN DEL DESARROLLO HISTÓRICO DE LA POLARIZACIÓN.

EL DESCUBRIMIENTO

Es difícil señalar quien descubrió primero la luz polarizada. Los primeros humanos habrían notado una mancha peculiar cuando observaban hacia al cielo en ciertas direcciones. Más aún, la polarización tiene muchas peculiaridades y fue descubierta muchas veces en contextos diferentes: aún hoy es sujeta a mucha investigación. Pero la historia oficial es la siguiente:

Cuenta la historia que alrededor de mil años antes de *Bartholinus* (1669), los Vikingos (hacia el año 700) pudieron haber usado la polarización del cielo para navegar, sin embargo, la primera descripción científica de un efecto de polarización (las imágenes son polarizadas perpendiculares una a otra) fue dada en **1669**, por un matemático danés en la universidad de Copenhagen, *Erasmus Bartholinus*. Más adelante, *Christian Huygens* desarrollo una teoría de pulso-onda sobre la luz publicada en 1690 en su famoso libro de óptica “Tratado de la luz”, mientras que *Isaac Newton* empujo una teoría corpuscular de la luz en su no menos influyente libro “Óptica” (*Opticks*) (1704). Fue hasta 1801 (casi 100 años después) que *Thomas Young* al realizar su famoso experimento de interferencia de la doble rendija apoyo la teoría ondulatoria e hizo avanzar el estudio de la polarización, *Young* mostró (independientemente de *Fresnel*) que la polarización surge de la naturaleza ondulatoria de la luz. Por otro lado en ese mismo año (1801) un ex-predicador, *Rene-just Hauy*, estudió varios cristales y publicó un libro estableciendo que hay seis formas básicas de cristales, fundando por lo tanto la ciencia de la cristalografía. Siguiendo con la secuencia cronológica, en **1812**, *Louis Malus*, realizo experimentos mostrando que la habilidad de polarizar luz no estaba restringida a cristales muy especiales sino estaría presente en reflexiones desde cualquier sustancia ordinaria, transparente u opaca, excepto en metales pulidos, llegando a la *ley de Malus* que predice la intensidad de la luz transmitida a través de un polarizador cuando el ángulo de la transmisión cambia (ley cuadrática). Finalmente *Brewster* (1812) repitió experimentos de *Malus* a muchas piedras preciosas y otros materiales; el estaba frustrado, pero finalmente, habiendo encontrado que el vidrio era la única anomalía, descubrió el problema y arrebató esta ley para su homónimo (“Angulo de *Brewster*). En sus palabras: “el índice de refracción es la tangente del ángulo de polarización” y “... cuando un rayo es polarizado por reflexión, el rayo reflejado forma un ángulo recto con el ángulo refractado”.

A.2.3. Práctica Docente III. Evaluación tabular de los cuestionarios de diagnóstico (cuestionarios II-III, sección 3.6.1):

Tabla A.2.2. Evaluación diagnóstica de la práctica docente III (cuestionario II del modelo propuesto). Sección de preguntas epistemológicas sobre el aprendizaje, (número de respuestas por opción):

Pregunta #:	OPCIONES				
	a	b	c	d	e
3	5	1	5	0	0
4	5	0	3	2	1
5	3	0	1	5	2

Tabla A.2.3. Evaluación diagnóstica de la práctica docente III (cuestionario III del modelo propuesto). Sección de preguntas epistemológicas sobre la estructura del conocimiento, (número de respuestas por opción):

Pregunta #:	OPCIONES				
	A	B	C	D	E
2	4	2	3	2	0
5	4	1	3	1	2
8	1	4	3	3	0
10	1	1	2	5	2

Tabla A.2.4. Evaluación diagnóstica de la práctica docente III. (cuestionario III del modelo propuesto). Sección de preguntas epistemológicas sobre la naturaleza del aprendizaje, (número de respuestas por opción):

Pregunta #:	OPCIONES				
	A	B	C	D	E
1	3	4	0	2	2
6	0	1	0	3	7
7	1	2	0	2	6

Tabla A.2.5. Evaluación diagnóstica de la práctica docente III. (cuestionario III del modelo propuesto). Sección de preguntas de actitud sobre la fuente de habilidad para el aprendizaje, (número de respuestas por opción):

Pregunta #:	OPCIONES				
	A	B	C	D	E
3	0	1	0	3	7
4	2	1	2	1	5
9	0	1	0	5	5

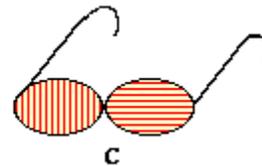
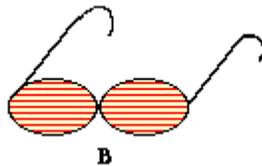
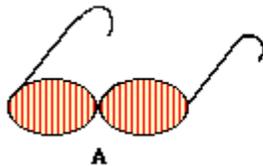
NOTA: La escala para las preguntas 1-10 es:

- A: Fuertemente en desacuerdo**
 - B: Algo en desacuerdo**
 - C: Neutral**
 - D: Algo de acuerdo**
 - E: Fuertemente de acuerdo**
-

A.2.4. Cuestionario de la Práctica Docente III. Evaluación después de la instrucción del tema de física-ondulatoria.

Contesta las siguientes preguntas:

1. Describe el resultado de luz brillante a través de dos filtros polarizadores cuyos ejes de transmisión son paralelos uno con otro.
2. Cuando la luz es reflejada de superficies no metálicas tales como vidrio, agua, o la superficie de una carretera, la luz es polarizada. La luz reflejada consiste de ondas que están vibrando en una dirección _____ (paralela, perpendicular) a la superficie reflectora.
3. Considera los tres pares de lentes para sol abajo. ¿Cuál par de lentes es capaz de eliminar el reflejo de una superficie de carretera? Explica. (Los ejes de polarización son mostrados por las líneas rectas).



4. ¿Por qué se considera que la luz es naturalmente una onda transversal?
5. La polarización describe a la luz como una onda transversal. ¿Será la luz realmente una onda? Explica.
6. ¿Porque la idea del éter contradecía el aspecto ondulatorio de la luz? (el sonido no puede ser polarizado).
7. Menciona algunas aplicaciones de la manipulación de luz polarizada.
8. En el experimento de la ley *Malus*, cuando se rotó el segundo polarizador 90° el detector de voltaje nos dio un valor de ≈ 3.1 volts, sin embargo cuando pusimos en

esa posición el polarizador sin el contenedor de miel, el rayo láser no cruzó al polarizador, es decir el rayo fue absorbido. Explica.

9. Durante un experimento de laboratorio, la temperatura del gas en un globo es variada y el volumen del globo es medido. ¿Cuál cantidad es la variable independiente? ¿qué cantidad es la variable dependiente?

El autor **Fís. José Luis Flores Torres** (1958), profesor mexicano de Física, realizó estudios de instrumentación y control automático en el CETIS-55 de la Cd. de Mexico, posteriormente cursó la licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Desde 1998 es profesor de tiempo completo del Colegio Nacional de Ciencias y Humanidades de la UNAM (C.C.H.-UNAM. plantel Azcapotzalco). Cuenta en su currículum con diversos diplomados y cursos, especialmente en la disciplina de física y en docencia, como el Programa de Formación Básica en Docencia para física, y los módulos I y II (la termodinámica clásica en el siglo XXI y Mecánica) correspondientes al diplomado la experimentación digital, en la facultad de ciencias UNAM.

El tutor de este trabajo de tesis, **Dr. Omar G. Morales Saavedra** (1971) realizó estudios de Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM (1995), cursó una Maestría en Ciencias Ópticas (CICESE, 1997) y obtuvo su Doctorado en Física de Láseres y Óptica No lineal en el Instituto de Óptica de la Universidad Técnica de Berlín (TU-Berlín, Alemania, 2003); ha sido profesor de Física (Óptica) en la TU-Berlín, de diversos cursos de Física básica en la Universidad Iberoamericana y en la Universidad Anahuac. Imparte regularmente materias de Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM y en los posgrados de Ingeniería Eléctrica y de Ciencias Químicas, ambos de la UNAM. Es actualmente investigador en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM (CCADET-UNAM) y tutor de varios programas de posgrado de la máxima casa de estudios.