



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA  
EDUCACION MEDIA SUPERIOR  
FACULTAD DE CIENCIAS

SECUENCIA DIDACTICA TEORICO-EXPERIMENTAL  
PARA LA SINTESIS DE MAXWELL

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
**MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA  
EDUCACION MEDIA SUPERIOR  
(FISICA)**

PRESENTA  
**HERIBERTO MARIN ARELLANO**

DIRECTORA DE TESIS: M. EN C. MIRNA VILLAVICENCIO TORRES

MEXICO, D. F.

AGOSTO 2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

Mi especial agradecimiento, para:

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM

Dirección General de Asuntos del Personal Académico, DGAPA

Facultades e Institutos participantes en la MADEMS

Escuela Nacional Preparatoria, ENP

Profesores que impartieron las materias del Plan de Estudios de la MADEMS

Tutor: M en C. Mirna Villavicencio Torres

A mi esposa:

Flor Alejandrina Hernández Carballido

A mis padres:

Heriberto Marín Gonzáles

y

María de la Luz Arellano Acosta.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
Introducción	04
Contenido de la tesis	07
Planteamiento del problema	07
Propósitos	13
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo</b>	<b>15</b>
1. Currículo y diseño didáctico	16
2. Programa de estudios y diseño didáctico	21
3. Características generales del Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo.	22
4. La enseñanza basada en el uso de estrategias cognitivas	34
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD</b>	<b>36</b>
1. Definición de las fases y los componentes del MODD	37
2. Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD	47
3. Elaboración de un diseño didáctico para la Síntesis de Maxwell	49
Tarea 1.0.- Elaborar fundamentación y directrices curriculares	49
Tarea 2.0.- Formular los objetivos generales y esbozar los contenidos	66
Tarea 3.0.- Organizar y desglosar contenidos y formular objetivos particulares	70
Tarea 4.0.- Seleccionar y desarrollar estrategias didácticas	77
Tarea 5.0.- Formular el sistema de evaluación del aprendizaje	80
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell, SEDITES-SM</b>	<b>84</b>
1. Aspectos generales de planificación y actividad inicial	85
<b>I. Secuencia didáctica para la ley de Gauss para el flujo eléctrico</b>	<b>92</b>
Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia	92
Introducción	93
1. Flujo de un campo de velocidad	93
2. Líneas de campo eléctrico	96
3. Analogía entre flujo de agua y “flujo” eléctrico	97
4. Definición de “flujo” de campo eléctrico para una superficie abierta	98
5. “Flujo” eléctrico a través de una superficie cerrada	99
6. Ley de Gauss para el “flujo” eléctrico	102
7. Ley de Gauss y ley de Coulomb	105

8. Independencia del “flujo” de campo eléctrico de la forma de la superficie elegida.	105
9. Conductor cargado aislado (soporte experimental para la ley de Gauss)	106
10. El campo eléctrico en un condensador de placas paralelas	109
11. Alcances y aplicaciones de la Ley de Gauss en los ámbitos científico, cultural y tecnológico	110
12. Reflexión	111
13. Divergencia del campo eléctrico (tema exclusivo para el profesor)	113

## **II. Secuencia didáctica para la ley de Gauss para el flujo magnético** 116

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia	116
Introducción	117
1. Ley de Ampere (análisis cualitativo)	119
2. Ley de Ampere (análisis cuantitativo)	122
3. El campo magnético de un solenoide ideal	124
4. Fuerza magnética ejercida sobre una corriente eléctrica	126
5. Fuerza ejercida por un campo magnético sobre una carga $q$	128
6. Definición de $\vec{B}$	129
7. Fuerza de Lorentz	130
8. Fuerza y momento sobre una espira	131
9. Flujo magnético	132
10. Ley de Gauss para el flujo magnético	133
11. Alcances y aplicaciones de la Ley de Gauss en los ámbitos científico, cultural y tecnológico	135
12. Reflexión	135
13. Divergencia del campo magnético (tema exclusivo para el profesor)	136

## **III.- Secuencia didáctica para la ley de Faraday** 138

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia	138
Introducción	139
1. Fuerza electromotriz, $fem$	143
2. Fuerza electromotriz como circulación del campo eléctrico $\vec{E}$	149
3. Fuerza electromotriz inducida para el experimento demostrativo	152
4. Variación de flujo magnético	154
5. Variación de flujo magnético para el experimento demostrativo	155
6. Reconocimiento de la ley de Faraday	157
7. El campo eléctrico inducido	159
8. Fuerza electromotriz de movimiento	161
9. Generador y/o motor eléctrico	162
10. Alcances y aplicaciones de la ley de Faraday en los ámbitos científico, cultural y tecnológico	164
11. Reflexión	165

<b>IV. Secuencia didáctica para la ley de Ampere-Maxwell</b>	167
Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia	167
Introducción	168
1. Capacitor ( condensador )	168
2. Circuito RC	176
3. Ley de Ampere-Maxwell	178
4. Alcances y aplicaciones de la inducción de la ley de Ampere-Maxwell en el ámbito científico	184
5. Reflexión	184
<b>V. Secuencia didáctica para las ondas electromagnéticas</b>	186
Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia	186
Introducción	187
1. Producción de ondas electromagnéticas	188
2. Ondas planas	196
3. Ecuación de onda para los campos eléctrico y magnético	197
4. Descubrimiento experimental de las ondas electromagnéticas	204
5. El espectro electromagnético	205
6. Alcances y aplicaciones de las ondas electromagnéticas en los ámbitos científico, cultural y tecnológico	208
7. Reflexión	209
8. Evaluación Sumativa-SEDITES	211
Evaluación Sumativa	211
Evaluación del uso y la comprensión de estrategias cognitivas	215
Evaluación de los alumnos al profesor	217
Autoevaluación del profesor	217
<b>CAPÍTULO IV.</b>	
<b>Interpretación de resultados y comentarios</b>	219
1. Las respuestas a las preguntas planteadas en el problema	219
2. La aplicación del Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo	220
3. La aplicación del Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD	221
4. La “Evaluación Estratégica”	224
5. Limitaciones del trabajo de Tesis	229
6. Repercusiones y perspectivas de desarrollo futuro para el ejercicio docente del trabajo de tesis	231
7. Comentario general	233
ANEXO 1	236
ANEXO 2	258
BIBLIOGRAFÍA	270

**Introducción.** Como resultado de una reflexión crítica sobre su quehacer educativo, la Escuela Nacional Preparatoria, ENP, implementó la *revisión* de su currículo dando lugar a la aprobación de su *Plan de Estudios-1996* y a la elaboración de *Programas de Estudios* para las asignaturas que se imparten en los niveles, 4º, 5º y 6º años de preparatoria. Con ello, se actualizaron contenidos, se fortaleció la *formación integral*<sup>1</sup> y *propedéutica* del estudiante preparatoriano y se superaron los “listados de temas y bibliografía” que aún fungían como programas de estudio.

Uno de los ejes que orientaron la revisión y el “diseño curricular” fue la nueva concepción sobre el aprendizaje que la ENP adoptó, a saber: “el profesor se convierte en guía y orientador del proceso y el alumno se transforma en el arquitecto que construye sus propios conocimientos<sup>2</sup>.” Las directrices curriculares que norman actualmente la labor educativa de la ENP y la del profesor se fundamentaron con los criterios y mecanismos siguientes: a) fortalecer y potenciar el perfil de egresado de acuerdo con los requerimientos de conocimientos y competencias que demandan los estudios superiores. b) Orientar el enfoque metodológico de los programas hacia una enseñanza progresivamente centrada en el alumno y en su actividad; en la que los contenidos se constituyen no en el fin único del aprendizaje sino en medios para desarrollar habilidades y competencias que lo doten con herramientas que promuevan el autoaprendizaje; en la que tales contenidos se estructuran con arreglo a: la identificación de nociones básicas y de problemas-eje de carácter epistemológico de la disciplina o de carácter concreto que ésta contribuye a resolver; en la que las estrategias didácticas se expresan en actividades de aprendizaje y la acreditación tenga como base la construcción progresiva de productos de aprendizaje.

---

<sup>1</sup> Se entiende por formación integral aquella que proporciona al educando elementos cognoscitivos, metodológicos y afectivos que le permitan profundizar, progresivamente, en la comprensión de su medio natural y social, desarrollar su personalidad, definir su participación crítica y constructiva en la sociedad en que se desenvuelve e introducirse en el análisis de las problemáticas que constituyen el objeto de estudio de las diferentes disciplinas científicas y tecnológicas, en la perspectiva de la formación profesional universitaria.

<sup>2</sup> Escuela Nacional Preparatoria. *Plan de Estudios 1996*. Presentación. Lic. José Luis Balmaceda. México, UNAM, 1997.

El presente trabajo de Tesis es producto de un *Proyecto de Investigación Docente* que desde la perspectiva del *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* y el correspondiente *Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD*<sup>3</sup> de la autora Etty Haydeé Estévez propone un planteamiento con base en el uso de estrategias cognitivas para la enseñanza del tema denominado Síntesis de Maxwell perteneciente a la Unidad IV: “Electromagnetismo” del Programa de Estudios de Física IV, Área I. El producto elaborado, como se indica en el título de la tesis, es una *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell*.

Para concretar este proyecto se consideraron, desde la perspectiva del diseño didáctico, tres aspectos generales: una postura sobre la disciplina en relación con la Síntesis de Maxwell como aquella que integra bajo un mismo lenguaje matemático la unidad de los fenómenos electromagnéticos; una perspectiva pedagógica sintetizada en el *MODD* y, en virtud de los requerimientos de una sociedad compleja y cambiante, el reconocimiento de centrar la educación en el *aprender a aprender* mediante el desarrollo de habilidades cognitivas y metacognitivas en el alumno, para que esté en condiciones de aprender durante la vida.

En esta tesis se integra la *línea de formación socio – ético – educativa* de manera natural<sup>4</sup> a partir del *MODD*. Ya que este modelo propone integrar las necesidades de la sociedad con un determinado enfoque de la educación y con las características de la disciplina al momento de efectuar el diseño didáctico. En cuanto a lo ético, por ejemplo, se fomenta discutir con los alumnos algunos de los criterios para establecer un sistema de evaluación, mismos que una vez aprobados, constituyen *normas* a observar por parte de los alumnos y del profesor. El modelo propone la reflexión del profesor al momento de efectuar su diseño didáctico sobre las implicaciones éticas de la enseñanza de su materia.

---

<sup>3</sup> Etty H. Estévez. *Enseñar a aprender*. México, Paidós, 2004.

<sup>4</sup> El modelo –afirma Etty H. Estévez– fue construido y teóricamente sustentado bajo la realización de un estudio bibliográfico exhaustivo que hizo posible tomar en cuenta el mayor número de variables que se consideró pertinente en su formulación hipotética.

En cuanto al aspecto educativo, se partió de reconocer las limitaciones existentes en el campo del diseño didáctico para la práctica de la enseñanza y del aprendizaje en la preparatoria, ya que el diseño didáctico implica la capacidad para construir y desarrollar el currículo apropiado para cada situación escolar concreta. El modelo plantea ampliar los objetivos y contenidos de la educación para incluir en éstos que los estudiantes sean capaces de usar apropiadamente estrategias cognitivas, usarlas como medios de enseñanza y de motivación.

El presente trabajo integra la *línea de formación psicopedagógica–didáctica*, ya que en el *MODD* se justifica al diseño didáctico como la *ciencia de enlace* entre la teoría del aprendizaje y la práctica educativa y se amplía la noción tradicional de instrucción como una parte de la didáctica. El término “didáctico” se entiende como sinónimo de “instruccional” cuando la instrucción se entiende en un sentido amplio que incluye el desarrollo social, cognitivo y afectivo del estudiante.

La *línea de formación disciplinaria* está considerada en el presente trabajo bajo los lineamientos del *MODD* desde el momento en que éste se propone considerar al conocimiento en continua evolución, donde el uso del conocimiento está por encima de la mera adquisición del mismo y atiende a las necesidades cognitivas del alumno y no tanto a la lógica de la disciplina para su enseñanza.

El proceso de enseñanza-aprendizaje en el salón de clases durante la Práctica Docente II y III se realizó desde la perspectiva del *MODD*, el cual se compone de cinco *pasos o fases* y considera los diversos ámbitos de la formación del alumno, a saber: los conocimientos, las habilidades, las actitudes y la metacognición. Cabe señalar que para el quinto paso del *MODD*, denominado por la autora “Formulación del Sistema de Evaluación”, en este trabajo de tesis se optó por una alternativa de evaluación diferente. En síntesis, aquí se considera que la fundamentación teórica, académica y metodológica del *MODD* y su parte operativa constituyen una herramienta útil para el profesor que requiere una *programación integrada* de los múltiples factores que entran en juego durante el proceso de la enseñanza y del aprendizaje.

**Contenido de la tesis.** Está dividido en cuatro capítulos:

En el capítulo I se presentan la fundamentación académica y el marco teórico que delimitan el problema, se establece su contexto histórico-social, se analizan los antecedentes del tema y se describen aquellos fundamentos teórico-didácticos que resultan relevantes para la exposición del modelo de diseño didáctico que se propone.

En el capítulo II se presenta en forma general la metodología de trabajo correspondiente al *Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD*, así como la parte práctica de la aplicación del modelo para la elaboración de la secuencia didáctica.

En el capítulo III se presenta el producto obtenido de la aplicación del *Modelo Operativo de Diseño Didáctico* con relación a la *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell* donde se concretan aquellos aspectos que propone el modelo.

En el capítulo IV se aborda la interpretación de resultados con relación al uso del *MODD*, se proporciona una respuesta global a las preguntas relacionadas con el problema que se atiende. Se comentan tanto las limitaciones del trabajo de tesis como las repercusiones y perspectivas para el ejercicio de la práctica docente en general, y para la enseñanza del electromagnetismo en particular en el 6º año de la ENP del presente trabajo. A manera de conclusiones se incluye una sección denominada “Comentario general” donde se plantea desde una visión amplia del proceso enseñanza-aprendizaje la integración del uso de un modelo específico con el diseño de la secuencia didáctica que se elabora. La bibliografía utilizada y los anexos con la evidencia documentada que sustenta lo presentado durante el desarrollo de la tesis se incluyen al final.

**Planteamiento del problema.** La problemática del diseño didáctico tiene raíces en diferentes aspectos. Por ejemplo, se origina en la falta de un planteamiento pedagógico *integral* que se manifiesta desde las directrices curriculares de

algunas instituciones educativas y en combinación con la falta de una formación pedagógica sólida por parte del profesor, así como en los planteamientos pedagógicos de los paradigmas educativos que, de una manera u otra, no consideran o descuidan el aspecto *instruccional formalizado*. Veamos estos aspectos:

En cuanto al aspecto institucional, por ejemplo, en la perspectiva de Román y Díez<sup>5</sup> se señala:

La Administración suele definir el **currículo base** y el profesor desde una dimensión crítica, creadora y contextualizada elabora el **diseño de centro** y de **aula** y ello desde la perspectiva de sus pensamientos pedagógicos y el contexto en que se aplica.

Si entendemos el currículo base como aquel conjunto de lineamientos y directrices curriculares de los cuales se desprenden los elementos para el diseño didáctico de aula del profesor, nos daremos cuenta que generalmente existe una enorme distancia entre esas directrices y el “diseño didáctico” que en un momento dado logra el profesor; debido, por una parte, a la falta de algún modelo específico para el *diseño didáctico* integrado al plan de estudios de la institución, que lo oriente para hacer realidad las intenciones educativas de ésta y, por otra, a la falta de preparación pedagógica sólida por parte del profesor.

De ahí que el profesor termine “preparando la clase” del único modo que lo puede hacer; precisamente “desde la perspectiva de sus pensamientos pedagógicos” pero en *sentido deficiente*, ya que actualmente el profesor elabora un diseño que depende de su muy particular interpretación de la educación, de sus fines y sus medios; diseño que, en la mayoría de los casos no corresponde a los lineamientos curriculares de la institución.

En pocas palabras, la experiencia muestra que definir el currículo base es una condición necesaria para toda institución educativa pero no suficiente para el logro de sus objetivos educativos.

---

<sup>5</sup> Román y Díez. *Paradigmas educativos y aprendizaje-enseñanza*. Editorial EOS, p. 44.

Consideremos ahora, el apartado VI.1 denominado “Criterios y mecanismos mediante los cuales fue elaborada la propuesta” del *Plan de Estudios-1996* de la ENP, en donde se afirma:

... las estrategias didácticas se expresan en actividades de aprendizaje que promueven las siguientes competencias o habilidades en el alumno: -para la indagación, -para organizar información y -para aplicar esta información en la solución de problemas, ya sean disciplinarios o de la realidad circundante<sup>6</sup>.

El profesor puede preguntarse ¿qué es una estrategia didáctica? ¿Cómo se relaciona con la promoción de competencias o habilidades? Más aún, ¿qué es una competencia o qué es una habilidad? Dado el carácter propio del *Plan de Estudios-1996* no encontrará respuestas en él y en el “Programa de Estudios” sólo podrá encontrar algunas generalidades. Así pues, el señalamiento que expresa a las actividades de aprendizaje como estrategias didácticas, está muy lejos de ser una directriz curricular práctica que sea útil para el profesor en el desempeño cotidiano en el salón de clase.

En este sentido, para integrar debidamente las directrices curriculares con fines de diseño didáctico, hay que precisar en algún *lugar y tiempo diferente*, por ejemplo, que una estrategia didáctica es un plan, un curso de acción, procedimientos o actividades secuenciadas que orientan el desarrollo de las acciones del maestro y de los alumnos y conducen al logro de un propósito. Hay que indicar de las estrategias didácticas, cómo, cuándo y para qué se usan.

Un ejemplo que ilustra la problemática de falta de un planteamiento pedagógico integral con fines de diseño didáctico, aún cuando haya una directriz curricular que lo delinea en el Programa de Estudios de Física IV, Área I y que está relacionado específicamente con este trabajo de tesis, es el que se desprende del inciso c) *Características del curso o enfoque disciplinario* de la sección 2 denominada *Presentación* donde se afirma:

---

<sup>6</sup>Escuela Nacional Preparatoria. *Plan de Estudios 1996*. México, UNAM, 1997, p 17.

El curso posee un enfoque estructurado a partir de Secuencias Didácticas Teórico Experimentales (SEDITES): tomando como punto de partida las ideas previas o esquemas alternativos que los alumnos poseen sobre diversos conceptos físicos estudiados en el curso- y que previamente han sido detectados- la secuencia se inicia con experimentos diseñados para poner a prueba esas ideas. Los resultados experimentales se discuten e interpretan grupalmente, con la guía del profesor, en términos de los conceptos físicos y sus relaciones, obteniendo explicaciones preliminares que a su vez conducen a nuevos experimentos que permiten aproximarse a la estructuración de un modelo para el fenómeno físico abordado. En la mayor parte de los casos, las conclusiones experimentales difieren o contradicen las ideas previas de los alumnos, poniendo de relieve las limitaciones y, muchas veces, la falta de congruencia de dichas creencias y la necesidad de modificarlas o reemplazarlas<sup>7</sup>.

Es cierto que en la mayor parte de los casos, las conclusiones experimentales difieren o contradicen las ideas previas de los alumnos mostrando las limitaciones y la falta de congruencia de éstas, pero algo muy distinto es que el alumno sienta la necesidad de modificar sus ideas previas o de reemplazarlas. ¿Hasta dónde la contradicción de esos esquemas alternativos es el detonante para que el alumno emprenda el aprendizaje? y que, de acuerdo con el enfoque disciplinario, se cumpla que las discusiones en grupo y los nuevos experimentos permitan explicaciones preliminares que conlleven a la estructuración de un modelo físico. Si los alumnos no elaboran el modelo requerido, ¿qué hacer? Surge entonces la necesidad de otras actividades de aprendizaje complementarias que vayan más allá de la discusión en grupo o de nuevos experimentos.

Si con fines de calificación se hace la pregunta ¿cuál fue el grado de modificación de las ideas previas o el reemplazo logrado en esos alumnos? se desprende la necesidad de diversos instrumentos de evaluación, más allá del trillado y viciado reporte de *práctica de laboratorio*, el *examen* o las *tarea comunes*, que revelen el grado de aprendizaje logrado por ellos. En esta consideración, ni el enfoque disciplinario propuesto para la implementación de SEDITES ni los mecanismos de evaluación del programa de estudios ni el profesor están preparados didácticamente para responder esta pregunta; mucho menos se tiene la manera de contemplar su respuesta en un diseño didáctico integral.

---

<sup>7</sup> Escuela Nacional Preparatoria. *Programa de Estudios de Física IV, Área 1*, p. 3.

Ahora bien, si el profesor intenta elaborar una SEDITES necesariamente tendrá que indagar: ¿Qué es una secuencia didáctica? ¿Qué son las ideas previas o esquemas alternativos? ¿Cuáles son los criterios psicopedagógicos que hay que tomar en cuenta para elaborarla? ¿Qué es una evaluación diagnóstica? ¿Cómo se proporciona al educando elementos cognoscitivos, metodológicos y afectivos? etc. Durante el proceso de indagación, seguramente, el profesor encontrará otras dificultades a superar. Por ejemplo, hallará múltiples propuestas que pueden estar en contradicción con el enfoque de la enseñanza en la ENP, o tendrá que seleccionar propuestas que sean correctas pero que pueden no estar estructuradas en un sólo cuerpo de conocimiento que permita el diseño didáctico integrado.

Con respecto al origen del problema en relación con los paradigmas educativos, encontramos, de acuerdo con Hernández Rojas Gerardo<sup>8</sup>, que en el “Paradigma Humanista de la educación” expresa:

Como señala Hamachek (1987), las aplicaciones del paradigma humanista a la educación no ofrecen una teoría formalizada para la instrucción. En sentido estricto, algunos autores humanistas han señalado su desacuerdo con las posturas tecnologicistas de la educación (véase Zumwalt 1982, citado en Shulman 1989).

Así, para la corriente humanista una postura tecnologicista, es decir, que abusa de técnicas prescriptivas para la enseñanza, da poca oportunidad a la labor creativa de los profesores en su función docente. Para Hernández el profesor no debe seguir “recetas” estereotipadas, sino actuar en forma innovadora, tomando decisiones continuamente sobre los desafíos que exige la enseñanza. Esta postura es un punto importante que se abordará en la fundamentación teórica y académica del trabajo de tesis en el capítulo siguiente.

De lo anterior se puede afirmar que en algunas instituciones educativas del nivel medio superior, los programas oficiales de las materias suelen no tener un desarrollo adecuado en cuanto a las directrices curriculares para aspectos relacionados con el diseño didáctico.

---

<sup>8</sup> Gerardo Hernández. *Paradigmas en psicología de la educación*. México, Paidós, 2004. p 111.

Algunos programas de estudio resultan también poco explícitos en sus lineamientos. En consecuencia, su lectura y uso se presta a diversas y, en ocasiones, contradictorias interpretaciones donde aclarar y a la vez implementar los lineamientos curriculares en el ejercicio de la enseñanza es una tarea ardua a la que el profesor se puede enfrentar.

En este contexto, el presente trabajo aborda el problema de la falta de un modelo de diseño didáctico que proporcione los medios para concretar el currículo y que oriente las acciones y procedimientos que se necesitan para establecer un puente entre las intenciones y la realidad, entre lo deseable y lo posible, entre la teoría y la práctica del currículo. Se requiere un modelo que, en lo general, guíe la intervención del docente y de los alumnos en la práctica educativa en el aula; y que, en lo particular, plantee alternativas concretas, por ejemplo, en cómo seleccionar y desarrollar las estrategias de enseñanza que serán empleadas con los alumnos.

En este trabajo se considera un modelo de *diseño didáctico* en el que el profesor ha de guiar el proceso de enseñanza y de aprendizaje apegado a un diseño, en el que, con la guía del profesor, el alumno ha de construir su propio aprendizaje y donde ambos tomarán decisiones continuamente en el aula. Con ello se pretende que la falta de directrices para el *diseño didáctico* o escuetamente contempladas en el Plan y Programas de estudios actuales, no conlleven al profesor a ser un mero ejecutor de éstos. Entenderemos uno de los aspectos del *diseño didáctico* como aquella actividad que el profesor realiza con el fin de elaborar un *Plan de Enseñanza*, donde la aplicación de una metodología y la formalización de la instrucción en el aula pondrá al profesor en contacto con el análisis y la discusión de los principales desafíos de la educación actual.

Finalmente, como un aspecto colateral del problema que se plantea, podemos mencionar que la ENP ofrece a sus profesores cursos en los que se pretende mejorar el conocimiento, manejo e implementación de los programas de estudio. Pero estos cursos no son, del todo, lo que el profesor requiere para mejorar su

práctica docente; aunque se promueven algunos aspectos didácticos lo hacen de manera desarticulada e improvisada. Los cursos no están enfocados para que el profesor incorpore adecuadamente el *diseño didáctico* y pueda efectuar su labor educativa en el salón de clase.

La figura 1 muestra esquemáticamente el *problema teórico-metodológico* de fondo que se aborda en el presente trabajo de Tesis.

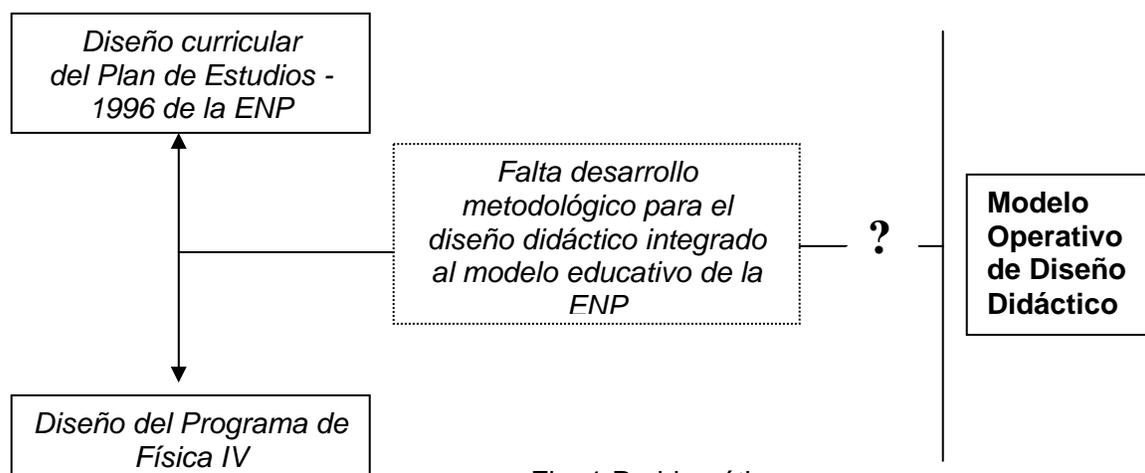


Fig. 1 Problemática

El cual, en un sentido concreto se refiere a cómo diseñar la *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell* de tal manera que se tomen en cuenta los múltiples elementos y componentes básicos de la enseñanza y que promueva el desarrollo cognitivo de los estudiantes.

En resumen las preguntas que aborda este trabajo son: ¿cómo diseñar una secuencia didáctica en la que se tomen en cuenta los elementos y componentes básicos de la enseñanza y que promueva el desarrollo cognitivo de los estudiantes? ¿cómo este diseño ha de contribuir a fortalecer el carácter propedéutico del curso de Física IV: Unidad IV y a la formación integral del alumno?

**Propósitos.** El propósito del presente trabajo es que la propuesta que aquí se presenta, ayude a vincular el *diseño curricular* elaborado por la ENP y la “nueva concepción de aprendizaje” que lo motiva, mediante un modelo de diseño

didáctico cuyo carácter teórico-metodológico permita implementar adecuadamente las directrices curriculares. Que el conocimiento y el uso de este modelo permita al profesor estructurar y elaborar adecuadamente diseños didácticos para ejercer su labor cotidiana dentro del salón de clase, acordes a las necesidades de los alumnos y de la institución.

En lo general, con el presente trabajo se busca contribuir a que el profesor mejore la docencia con el dominio de algunos conocimientos pedagógicos, filosóficos y técnicos de la educación. Además, que desarrolle una nueva *manera de promover* y de *lograr* los aprendizajes en aula, que adquiera la experiencia y el conocimiento que le ayude a trascender el sólo dominio de su materia y su particular concepción de lo pedagógico-didáctico para acogerse a un planteamiento profesional sobre estos aspectos, así como a una mejor comprensión del proceso enseñanza-aprendizaje.

En lo particular, el propósito fundamental de este trabajo es mostrar que aunque la enseñanza de la Síntesis de Maxwell es difícil en el nivel medio superior por los conceptos matemáticos involucrados, ésta es posible si se emprende un esfuerzo permanente en la elaboración de diseños didácticos que vayan perfeccionándose con la práctica.

## CAPÍTULO I

### **Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo.**

Aquí se presenta la fundamentación académica y el marco teórico del presente trabajo con base en la propuesta de Estévez, quien expone los elementos que le permiten llegar al planteamiento del *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* cuya parte operativa, el *MODD*, se presenta en el siguiente capítulo.

Por didáctico entenderemos el conjunto sistemático de principios, normas, recursos y procedimientos específicos para orientar a los alumnos en el aprendizaje, no sólo sobre los conocimientos, sino también en cuanto a las habilidades y las actitudes. A su vez, por diseño entenderemos un plan, un boceto o esquema que sirve para proyectar o planificar ideas, acciones u objetos, de tal modo que dicho proyecto oriente el desarrollo de la práctica. Como un diseño puede proporcionar un determinado tipo de estructura de las ideas o de las acciones, existen diferentes maneras de realizarlo, por lo que se hace necesario contar con un modelo. Por modelo se entiende un patrón, una especie de molde que se emplea como guía para el diseñador de la enseñanza.

El diseño didáctico, de acuerdo con la autora, se concibe como un cuerpo de conocimientos que se ocupa de la comprensión, el mejoramiento y la aplicación de métodos de enseñanza donde se define lo que se entiende por proceso enseñanza-aprendizaje desde un enfoque cognitivo acorde al diseño didáctico. ¿Qué es un modelo de diseño didáctico? Aquí, un modelo de diseño didáctico se entiende como un conjunto integrado por componentes estratégicos que contempla los diferentes aspectos que entran en juego en la enseñanza (la forma particular de secuenciar las ideas del contenido, el uso de síntesis y esquemas panorámicos, el uso de ejemplos, la incorporación de la práctica y de estrategias para motivar a los alumnos) con el fin de alcanzar los objetivos deseados del mejor modo posible bajo las condiciones específicas en que se elabora. La respuesta a esta pregunta se debe dar también en relación con el desarrollo de la teoría curricular.

**1.- Currículo y diseño didáctico.** Se dice que el diseño didáctico se encuentra inmerso cada vez más en lo curricular, lo que hace necesario referirse a un modelo determinado de currículo, e incluso a una teoría específica sobre éste. Sin embargo, dado el propósito del presente trabajo, el tema del currículo se considera sólo con la finalidad de situarlo con relación al diseño didáctico, ya que éste no se realiza en forma aislada, sino que se hace en función de una organización que regula la práctica escolar.

La palabra currículo es un término polisemántico que se usa indistintamente para referirse a planes de estudio, programas e incluso implementación didáctica. Actualmente existe un esfuerzo de conceptualización para estructurar la denominada *teoría curricular*, donde el objeto de conocimiento es el *currículo* más allá de contenidos y métodos, y se aborda desde diferentes visiones interdisciplinarias. Algunos autores lo presentan como un campo disciplinario autónomo y otros como un campo propio de la didáctica.

Una de las muchas maneras de plantear lo curricular es la que establece una conexión directa entre lo cognitivo y el currículo, que el autor Elliot W. Eisner expresa de manera sugerente en la frase: *De la cognición al currículo*<sup>1</sup>, con lo que alude al proceso de integración que surge entre una determinada concepción sobre lo cognitivo y las implicaciones curriculares necesarias para desarrollarla en el aula. Así por ejemplo, una visión de lo cognitivo que conlleve a plantear una postura de *aprendizaje centrado en problemas* tiene implicaciones de diseño curricular y de diseño didáctico diferentes a una postura de *aprendizaje centrado en el alumno*.

A mediados de la década de 1980 se retomaron algunos aspectos que no se consideraban en la didáctica tradicional. El estudio de las relaciones *docente – alumno*, *currículo – sociedad* y *currículo – metodología*, condujo a descubrir nuevas dimensiones asociadas con el acto educativo. Hoy en día, el avance de la didáctica como disciplina, no puede ser explicado sólo por la evolución misma de

---

<sup>1</sup> Elliot W. Eisner. *Cognición y currículo. Una visión nueva*. Buenos Aires, Amorrortu, 1998. p. 93.

ésta, sino por la interrelación que tiene con otras disciplinas y con el currículo; lo que ha permitido nuevas articulaciones que han llevado a “abordar los problemas educativos en su justa dimensión de complejidad”<sup>2</sup>.

La relación *sociedad – escuela* se establece en el hecho mismo del progreso de una sociedad y de los individuos que la conforman, depende del cómo se plantee y se resuelva el problema educativo. De modo que los requerimientos que se le plantean a la educación y al currículo conducen a las preguntas sobre cuáles son las necesidades sociales y culturales que deben considerarse prioritarias, cuáles valores y supuestos se han de tomar en cuenta y cómo se lleva a cabo la configuración de un currículo. Interrogantes que remiten a *factores externos* que la escuela asume de carácter filosófico, social, ideológico-político, ético y de valores, incluyendo lo pedagógico. Estos factores externos constituyen lo que se denomina: las “fuentes del currículo”.

Según una clasificación de los currículos del *nivel medio superior*, en especial para los que ofrecen *salidas terminales*, las fuentes del currículo se agrupan, por ejemplo, en:

- a) *La fuente sociolaboral*, sistematiza información en la vertiente social que trata de determinar las formas culturales o contenidos (conocimientos, valores, destrezas, normas, actitudes, etc.) cuya asimilación es necesaria para que el alumno pueda desempeñarse como miembro activo de la sociedad. En la vertiente laboral busca determinar la dimensión profesional.
- b) *La fuente psicopedagógica*, la cual proporciona información sobre los factores y los procesos que intervienen en el crecimiento personal del alumnado en relación con el aprendizaje.
- c) *La fuente epistemológica* que se refiere al cuerpo de conocimientos (dominios) que el género humano ha conformado en diversas áreas del saber. Alude, también, al análisis de las disciplinas para identificar su estructura, distinguir entre conocimientos esenciales y secundarios, y para identificar las relaciones que existen entre ellos.

---

<sup>2</sup> Margarita Pansza. *Pedagogía y currículo*. México, Gernika, 2003, p. 7.

El currículo se puede entender también como un “plan para cumplir con el propósito de la educación”<sup>3</sup> y como “guía de la actividad escolar” como en el caso de la ENP, ya que establece una estrategia común<sup>4</sup> para los docentes en la manera de concebir el proceso de enseñanza-aprendizaje. Propósito que se puede manejar desde la perspectiva del diseño didáctico para convertir las directrices preestablecidas en el currículo, en prescripciones y estrategias que guíen las experiencias de aprendizaje en el aula.

Como categoría analítica, el currículo se trabaja desde diferentes perspectivas teóricas que han servido de base para los diversos modelos de *diseño curricular* existentes. Ahora bien, desde la perspectiva de Estévez el *MODD* (que se expone en el siguiente capítulo) fue elaborado de acuerdo con una concepción de currículo que considera la naturaleza social de lo educativo y el reconocimiento de las características de la realidad en la que se pretende operar, para luego poder decidir qué tipo de diseño permite esa realidad y elaborar un “Plan de Enseñanza”.

El diseño curricular incluye suposiciones sobre el desarrollo individual de los estudiantes en lo físico, lo cognitivo y lo afectivo y, sobre ciertas características en lo social (Posner & Rudnitsky, 2001). Los diseñadores de currículos<sup>5</sup> también tienen que resolver el problema de cuál contenido del dominio de conocimiento debe ser seleccionado, cómo secuenciar los conceptos y métodos diferentes en un orden plausible, y cómo describir los objetivos en concordancia con la *edad* de los estudiantes. Para ello necesitan categorizar la información, determinar el nivel de complejidad de los dominios y materias para la educación del individuo y el desarrollo de su personalidad<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> La Escuela Nacional Preparatoria tiene como finalidad impartir enseñanza correspondiente a nivel de bachillerato, de acuerdo con su plan de estudios y con los programas correspondientes, dando a sus alumnos formación cultural, preparación adecuada para la vida y un desarrollo integral de su personalidad que los capacite para continuar estudios profesionales, conforme a su vocación y a las obligaciones de servicio social que señala el artículo 3 del *Estatuto General*.

<sup>4</sup> UNAM, *Plan de Estudios-1996*, p. 21

<sup>5</sup> Sanne Dijkstra, "The Integration of Curriculum Design, Instructional Design, and Media Choice" In *Curriculum, Instruction and Media Choice*. p. 150

<sup>6</sup> *Ibidem*.

Por ejemplo, para las ciencias empíricas y formales, la estructura jerárquica del contenido de la información y de los métodos constituye el aspecto principal para el diseño del currículo; los conceptos, las teorías y los métodos del dominio se analizan y se secuencian de lo simple a lo complejo.

De acuerdo a este criterio el diseño curricular de la ENP no se ajusta a él, ya que: “En general cada programa evita la ordenación de contenidos por jerarquización conceptual para referirse mejor a los grandes procesos y funciones en torno a los cuales se articula epistemológicamente el conocimiento conceptual” (*Plan de Estudios-1996*. p. 48).

Sin embargo, en su propuesta de diseño didáctico, Estévez considera la organización del conocimiento en jerarquías; ya que por ejemplo, propone el uso de la estrategia cognitiva relacionada con los “mapas conceptuales” que son despliegues visuales que muestran la estructuración del conocimiento. Así que, coincidiendo con la autora, en este trabajo se considera la organización del conocimiento en jerarquías o relaciones para la elaboración de la *SEDITES-SM*, sin descuidar los aspectos epistemológicos, considerando por ejemplo, el desarrollo conceptual del electromagnetismo a través de las analogías.

Un elemento importante que entra en juego en el diseño curricular es la *instrucción*. La cual se puede entender como una parte de la comunicación verbal o escrita entre el profesor y los aprendices<sup>7</sup> en torno a los objetos del aprendizaje. Ahora bien, si la instrucción es una forma de comunicación y de acción que está presente en el proceso de adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes referentes a toda actividad que se intenta para hacer posible el conocimiento o facilitararlo, ¿cómo puede diseñarse la instrucción?

La respuesta a esta pregunta lleva a explicar qué se entiende como *diseño instruccional* y lo sitúa como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje; lo que a su vez nos remite al currículo. En este sentido, ¿qué relación existe entre el

---

<sup>7</sup> Sanne Dijkstra, *Op.Cit*, p. 157

currículo y el diseño instruccional? Todas las teorías y modelos del diseño instruccional se fundamentan en teorías y modelos de aprendizaje. La manera en que se diseña el currículo con relación al *cómo* se estructura el contenido, influye en el *diseño instruccional*<sup>8</sup>.

Por otra parte, se dijo en el planteamiento del problema que el Paradigma Humanista de la educación se opone al abuso de técnicas prescriptivas para la enseñanza porque dan poca oportunidad a la labor creativa de los profesores. Para Estévez el término “instrucción” se ha utilizado y se sigue utilizando en un sentido limitado, principalmente para referirse a la impartición de conocimientos de una manera sistemática. Si bien la instrucción –adquisición de conocimientos– es indispensable y esencial en la labor educativa, ésta también incluye el terreno de las actitudes y el desarrollo social y psicológico del estudiante. Cuando esto ocurre, el término “instruccional” es sinónimo del término “didáctico”. En todo caso –comenta la autora– el término “*instrucción*”, cuando es utilizado en un sentido limitado (sólo impartición de conocimientos y habilidades) puede considerarse parte de un concepto más general que lo incluye, como es el de didáctica. Del mismo modo, lo instruccional puede ser concebido como uno de los aspectos centrales de lo didáctico<sup>9</sup>. De esta postura resulta entonces que la instrucción y el diseño instruccional son dos aspectos relacionados pero que dependerá de la perspectiva con que se manejen tanto en plano conceptual como en la acción concreta del profesor al considerarlos como parte del proceso de enseñanza y de aprendizaje.

Así, mediante el planteamiento anterior, se reconoce la relación entre el currículo y el diseño didáctico, entre el currículo y la planificación, así como la relación entre el diseño didáctico y la instrucción, todo ello para integrarse bajo una concepción determinada de modelo de diseño didáctico para cumplir con el propósito de la educación y como guía de la actividad escolar mediante una concepción específica del proceso enseñanza-aprendizaje.

---

<sup>8</sup> Sanne Dijkstra, *Op cit.*, p. 153.

<sup>9</sup> Estévez, *Op cit.*, pp.34-35.

**2.- Programa de estudios y diseño didáctico.** El programa de estudios es el conjunto de prescripciones de una institución para la enseñanza emanado del plan de estudios oficial. A partir de la interpretación que se haga de las fuentes del currículo se derivan los criterios, las finalidades y los principios que orientarán el diseño de un plan de estudios. Esta interpretación será la base para elaborar la justificación y las directrices curriculares que orientarán el diseño de las asignaturas.

La fundamentación de una materia es de suma importancia para el diseño didáctico; sin ella, la materia carece de razón de ser: el campo de estudio, los propósitos educativos y la orientación de un curso, se establecen después de situar la materia dentro del plan de estudio, es decir, después de haber esclarecido la función que ésta desempeña en el *conjunto de procesos formativos* de un currículo.<sup>10</sup> De esta manera, el diseñador establece puentes entre la generalidad del currículo y la particularidad de cada asignatura. Esos nexos constituyen la justificación de la materia.

Desde la perspectiva de este trabajo, una vez determinada la fundamentación de una materia (ubicación de la materia en el mapa curricular) y de haber precisado los lineamientos curriculares para su enseñanza, tales como: concepción del alumno, ambiente y forma de trabajar en el aula, papel del profesor, carácter de los contenidos de la disciplina, carácter de la enseñanza, perfil de egreso, etc., es necesario relacionar todo esto con el diseño didáctico integrado en un *Modelo de Diseño Didáctico*, de carácter *adaptativo*, que proporcione diferentes tipos de estrategias de enseñanza *ajustables* a las acciones y respuestas de los estudiantes que le permita al profesor elaborar su *Plan de enseñanza*.

Por otra parte, cabe distinguir entre el trabajo de planificación que se realiza en el plano institucional –en torno a cada materia del plan de estudios cuyo producto es el programa oficial de la materia– y el trabajo de planificación que corresponde al

---

<sup>10</sup> Véase, Mapa Curricular de la Escuela Nacional Preparatoria, p. 32, y Cambios relevantes en el Mapa Curricular y en los Programas de algunas asignaturas, pp. 47-48.

docente, que tiene a su cargo la enseñanza y cuyo producto es el diseño didáctico o la programación didáctica de una materia, un curso, una unidad o un tema destinado para un grupo concreto de alumnos. La consideración del currículo ofrece al docente la posibilidad de definir su trabajo en términos del proyecto global en el que está incluida la actividad concreta que desempeña, donde su aportación cobra significado en función del conjunto.

Según Miguel Zabalza, hay una gran diferencia entre el profesor que sabe por qué practica la enseñanza mediante determinados métodos (que está contribuyendo con ello para el desarrollo global del alumno en su asignatura y en relación con las demás) y aquel maestro que simplemente “da” su asignatura (véase Diseño y desarrollo curricular, p.14). De acuerdo con Zabalza, en la programación didáctica se reinterpretan tanto los parámetros de una situación, las condiciones específicas, las previsiones y los compromisos de un programa oficial. De ahí que, a partir de un mismo programa, puedan surgir tantos diseños didácticos como contextos en los que el programa se aplique.

Desde la perspectiva de este trabajo, el surgimiento de diferentes diseños no debe conllevar a diseños didácticos basados en una interpretación equivocista o, en su defecto, univocista. La aplicación mecánica, directa (univocista) o a ciegas (equivocista) de los programas institucionales es señal de una actividad estandarizada del profesor y, finalmente, también de la escuela. Y, de acuerdo con Zabalza, la aplicación de un programa *mediado* por el diseño didáctico con base en una interpretación adecuada, es “el punto clave a partir del cual se puede construir una nueva escuela, un nuevo modo de hacer educación.”<sup>11</sup>

**3.- Características generales del Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo.** Hasta ahora nos hemos referido a un *Modelo de Diseño Didáctico*, en lo que sigue de esta sección se presenta de manera muy general el *enfoque cognitivo* que caracteriza al modelo de diseño didáctico que se propone.

---

<sup>11</sup> Zabalza. *Diseño y desarrollo curricular*, p.21, citado en Estévez, *Op cit.*, p. 44.

**Antecedentes del modelo cognitivo.** El desarrollo de las capacidades intelectuales ha sido aspiración en la mayoría de los sistemas educativos del pasado siglo. La novedad radica en que las exigencias del avance de la ciencia, la tecnología y de la sociedad en su conjunto, han provocado que el tema pase de ser importante a ser imperativo<sup>12</sup>. La ciencia cognitiva nació en 1956, en el Massachussets Institute of Technology: Chomsky Simon, Newell y Miller, organizaron un simposio referente a la ciencia informática. Sus presentaciones concluyeron que una ciencia relacionada con la mente no sólo era posible sino necesaria. La introducción del programa de cómputo *Teórico lógico* proporcionó el eslabón entre la psicología y la computación, a partir del cual se desarrolló una rama de la psicología que permite el estudio de los procesos mentales con base en modelos dentro de una metáfora computacional.

El campo de la enseñanza de habilidades de pensamiento ha experimentado un rápido desarrollo y la disciplina cognitiva surgió a partir de la suma de intereses comunes de psicólogos cognitivos, investigadores en inteligencia artificial, lingüistas, filósofos y otros en su intento por comprender la mente humana mediante el estudio de los sistemas inteligentes. El análisis de la mente humana en términos del procesamiento de la información llevó a los científicos cognitivos a concebir la mente como un sistema complejo que recibe, almacena, recupera, transforma y transmite información para aprender y solucionar problemas.

El desarrollo de la investigación en torno a los procesos de pensamiento ha dado lugar al nacimiento de una nueva área de la psicología conocida con el nombre de “psicología instruccional”. También se trabaja una nueva área de la didáctica denominada la “didáctica de los procesos”. El objetivo común es utilizar el conocimiento acumulado sobre los procesos y mecanismos del pensamiento para ayudar a mejorar a los estudiantes sus habilidades de aprendizaje y sus estrategias cognoscitivas.

---

<sup>12</sup> Etty Estévez, *Op cit.*, p. 48.

Sin embargo, los diagnósticos más recientes en diversas sociedades indican que la labor educativa no está alcanzando los niveles de preparación científico-técnica ni la formación cultural y humanística esperadas:

+ Se admite que las habilidades, los conocimientos y las actitudes adquiridas en la formación básica no son suficientes para la continuación exitosa de los estudios en niveles superiores ni para el desempeño de las personas en una sociedad que exige diversas capacidades de adaptación o ajuste al cambio del entorno. Se acepta también que se necesitan habilidades para acceder a la información, comprenderla y usarla.

+ Hay consenso en que el ritmo de desarrollo científico y tecnológico cuestiona y acelera el ritmo de obsolescencia de lo aprendido en la escuela.

+ En el plano educativo, se admite en forma general, que los estudiantes no sólo deben adquirir información, sino que también deben aprender estrategias cognitivas, es decir, procedimientos para adquirir, recuperar y usar conocimientos.

En consecuencia, se requiere un cambio de enfoque para que las instituciones educativas enseñen a aprender y los estudiantes aprendan a aprender. Se exigen cambios radicales en la educación, ¿cómo lograr tales propósitos? La psicopedagogía sugiere que es imprescindible que las aportaciones se generen en el terreno de la *práctica educativa* para que éstas no se queden en el nivel de buenas intenciones del discurso político o de pronunciamientos abstractos sin sentido.

De acuerdo con María Luisa Martín, “hay consenso al considerar la figura del profesor como factor prioritario de la tan deseada mejora educativa.”<sup>13</sup> La naturaleza y calidad de los procesos de aprendizaje dependen de nuestra práctica cotidiana, de modo que, una vez establecida la relación del docente con la escuela, el currículo, los planes y programas de estudio que *norman* la actividad

---

<sup>13</sup> María Luisa Martín, *Manual del curso Planeación, administración y evaluación de la enseñanza*, p. 12. citado por Estévez, *Op, cit*, p. 18.

educativa, el eje para el cambio educativo se centra en el profesional de la docencia y en su actividad fundamental, a saber: el *diseño didáctico*.

**El enfoque cognitivo del modelo.** Ante la diversidad de enfoques o paradigmas cognitivos es necesario precisar también el enfoque cognitivo del modelo que se está presentando en este trabajo. Según Etty H. Estévez, la propuesta de modelo de diseño didáctico con enfoque cognitivo, se realizó desde una perspectiva amplia y flexible. Se parte, dice la autora, de varias fuentes teóricas, provenientes en su mayoría de la disciplina de la didáctica, de la ciencia cognitiva, de la psicología instruccional y de la psicología social y se integran planteamientos innovadores en el campo de la didáctica y del currículo. El modelo se apoya en el Paradigma del Procesamiento Humano de la Información (PHI) y recurre a otras perspectivas cognitivas como la ausbeliana en lo referente al “aprendizaje significativo”.

La propuesta representa una postura ecléctica que se basa en modelos que proponen procesos cognitivos en la enseñanza y el aprendizaje mediante el diseño y el uso de estrategias cognitivas, y, de acuerdo con la autora Estévez, se apoya también en el *Paradigma de Procesos*, el cual explica los aspectos conceptuales y metodológicos de un enfoque de pensamiento basado en la *operacionalización* del acto mental.<sup>14</sup> El modelo se caracteriza por:

- A. Una perspectiva multimodal, al estar basado en varias fuentes teóricas.
- B. Un enfoque holístico e integral, ya que considera tanto el ámbito de los conocimientos, como el de las habilidades, las actitudes y los valores.
- C. Privilegiar el empleo de estrategias cognitivas como medio para activar los procesos mentales necesarios para propiciar el aprendizaje.
- D. Una visión contextual, ya que ubica el diseño didáctico en el marco de un currículo que se concibe como reconstrucción del conocimiento y como propuesta

---

<sup>14</sup> Véase M. De Sánchez, “Programa Desarrollo de habilidades de pensamiento”, p. 216. Citado por Estévez, *Op, cit*, p. 32.

de acción para acercar la teoría a la práctica curricular, las intenciones a la realidad curricular.<sup>15</sup>

El *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* enfatiza lo cognitivo por considerarlo: Un ámbito de desarrollo en el que se ubican las capacidades directivas o metacognitivas de todo sujeto, las cuales permiten controlar el aprendizaje, y un ámbito que se encuentra estrechamente relacionado con los demás aspectos del desempeño y la formación del sujeto.

El desarrollo intelectual involucra el ámbito afectivo-social, en tanto que para el logro de aprendizajes autocontrolados es indispensable despertar en el estudiante una actitud positiva hacia su formación, confianza en sí mismo e interés por su medio, tanto por las personas que le rodean como por las ideas de los demás.<sup>16</sup>

**Definición del proceso enseñanza-aprendizaje.** En tanto que el diseño didáctico se concibe como un cuerpo de conocimientos que se ocupa de la comprensión, el mejoramiento y la aplicación de métodos de enseñanza, es necesario definir este proceso desde un enfoque cognitivo aplicable a esta concepción de diseño didáctico.

La enseñanza es una práctica fundamentada en concepciones, valoraciones, métodos y procedimientos que el profesor comienza a ejercer desde el momento mismo en que inicia la planificación de la materia que imparte, ya que al hacerlo toma decisiones sobre qué enseñar y cómo enseñar; es una actividad intencional dirigida a propiciar el aprendizaje.

El acto de enseñanza se explica como un proceso dinámico y flexible, acompañado por etapas de reflexión y de planificación que permiten utilizar la experiencia del maestro, los conocimientos existentes y los resultados de las investigaciones en el área. Todo ello tiene el fin de anticipar los eventos de

---

<sup>15</sup> Véase L. Stenhouse, *Investigación y desarrollo del currículo*, pp. 27-28, citado por Estévez en *Enseñar a aprender*. p. 33.

<sup>16</sup> Estévez, *Op, cit*, p. 32.

aprendizaje, conducir la actividad en el aula y aplicar la retroalimentación requerida, y así obtener resultados conforme a las metas educativas planteadas.

La visión de la educación y el diseño didáctico efectivo deben incluir el conocimiento de “*cómo aprenden los estudiantes*” para que dicho conocimiento pueda ser usado para mejorar las oportunidades y las condiciones para todos ellos. La figura 2 representa esquemáticamente los resultados de las investigaciones sobre aprendizaje revisadas por la Asociación para el Desarrollo y Superación del Currículo en Estados Unidos, (véase B. F. Jones (comp.), *Strategic Teaching and Learning*)<sup>17</sup> :

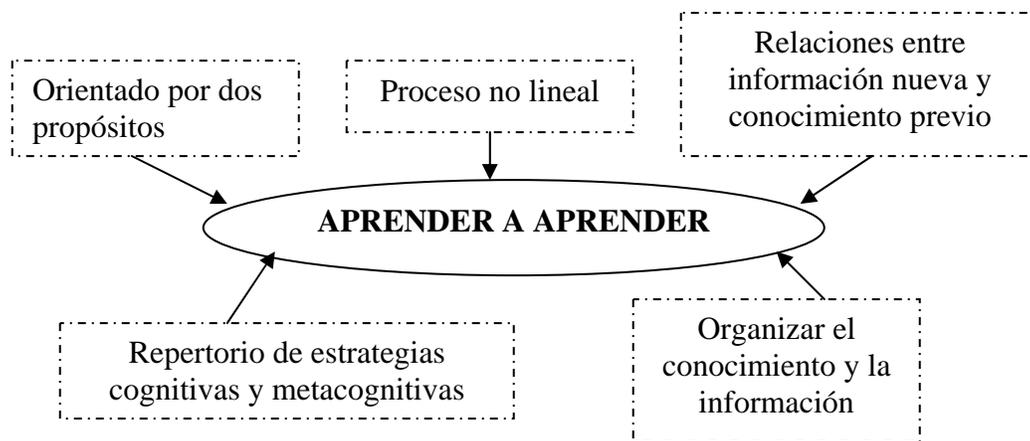


Fig. 2

Es decir, el aprendizaje:

1. Está orientado por dos propósitos: aprender algo específico (un concepto, un tema) y a la vez, emprender una actividad para aprender cómo controlar el proceso de aprendizaje.
2. Establecer relaciones entre información nueva y conocimiento previamente adquirido. El conocimiento previo y el uso de estrategias cognitivas y metacognitivas son dos elementos clave para que el estudiante logre la

<sup>17</sup> Citado en Estévez, *Op, cit.* p. 51

comprensión y adquisición de conocimientos y a la vez se convierta en un aprendizaje independiente.

3. Organiza información. Todo conocimiento tiene un patrón organizativo, es decir, un orden identificable de ideas o de información. Se encuentran presentes en la actividad mental y juegan un papel importante en el aprendizaje. El uso de esquemas gráficos tiene efectos positivos en la comprensión y el recuerdo.

4. Consiste en la adquisición de un repertorio de estructuras cognitivas y metacognitivas. Se dice que el aprendizaje es “estratégico” o metacognitivo cuando el estudiante tiene conciencia y control sobre lo que aprende y del modo en que aprende, es decir, cuando tiene conciencia y control sobre los esfuerzos para emplear determinadas habilidades y estrategias cognitivas y cuando sabe cómo y cuándo hacer uso de ella. El control se refiere: *a)* a la capacidad de monitorear y dirigir el éxito de la tarea que se realiza reconociendo las fallas y se utilicen estrategias de corrección y, *b)* la perseverancia para motivarse a sí mismo hasta concluir satisfactoriamente la tarea o el trabajo.

5. Es un proceso dinámico no lineal que ocurre por fases. Las cuales son: preparación para el aprendizaje, procesamiento, consolidación/extensión.

6. Está influido por el desarrollo<sup>18</sup>. Comparaciones entre estudiantes “expertos” y “novatos” así como entre estudiantes jóvenes y maduros, muestran que la mayoría de las diferencias encontradas se refieren a los conocimientos previos (incluyendo el vocabulario) y el repertorio de estrategias cognitivas y metacognitivas.

**Componentes de la cognición, habilidades y estrategias cognitivas.** Antes de presentar el tema de las habilidades y de las estrategias cognitivas, conviene establecer en qué consiste el sistema cognitivo y cuál es la naturaleza del pensamiento, para poder así reconocer las diferencias entre el concepto de habilidad de pensamiento y el de estrategia cognitiva.

---

<sup>18</sup> La explicación completa de cada afirmaciones se encuentran en Estévez, *Op cit.*, pp. 52-72

La revisión de teorías y modelos sobre el pensamiento, la inteligencia y el sistema cognitivo del individuo permite identificar puntos en común sobre la naturaleza del pensamiento. Independientemente de las preferencias por un modelo u otro sobre el funcionamiento de la mente (o del sistema cognitivo) se puede establecer que la mayoría de los investigadores reconocen, con distinta denominación, la existencia de: a) un *componente activo* de la mente conocido como los “procesos” y las “operaciones”; b) un *componente estático* conocido como las “estructuras” y los “esquemas”, que están conformados por los conocimientos y la información adquirida, y c) otro componente dinámico que permite vincular los dos anteriores y es conocido con el nombre de “estrategias”.

Los procesos pueden ser definidos también como operadores intelectuales que actúan sobre los conocimientos para transformarlos y generar nuevas estructuras de conocimientos. Dan lugar al conocimiento procedimental, es decir, los procesos se descomponen en procedimientos que generan estructuras mentales de tipo procedimental. Este tipo de conocimiento se almacena en los “esquemas de procesos”. Algunos procesos considerados básicos son: la observación, la relación, la comparación, la clasificación, el análisis, la síntesis, etc. Otros procesos de mayor complejidad, son los implicados en la solución de problemas, la toma de decisiones, la creatividad, etc.

Las estructuras en cambio, son entidades cognitivas de tipo *declarativo* o semántico en torno a las cuales actúan los procesos; son la materia prima indispensable para que ocurran las operaciones de pensamiento: hechos, conceptos, principios, reglas, teorías, que conforman una disciplina o un campo de estudio; también son la información acerca de hechos o situaciones de la vida cotidiana. Se dice que en este tipo de estructuras se almacenan los “esquemas de datos”. En este tipo de conocimiento declarativo se ha centrado la enseñanza tradicional.

Las estrategias se refieren a saber qué hacer, cuándo hacerlo y qué clase de operaciones mentales se es capaz de aplicar ante diferentes situaciones de

aprendizaje.<sup>19</sup> Las estrategias de pensamiento son mecanismos a través de los cuales se pueden relacionar los procesos y las estructuras, son heurísticos y dependen de las demandas del tipo de situación y del tipo de actividad.

Como una misma estrategia puede servir a muchas situaciones, todo depende de que el sujeto seleccione uno o varios procesos que sean los adecuados al tipo de situación y actividad, y que sea capaz de aplicarlos. No sólo hay que contar con los procesos correctos, sino también saber cómo combinarlos y así generar estrategias útiles para resolver problemas. Por esto, las estrategias son de alto nivel de complejidad cognitiva que dan lugar a *conocimiento condicional*, que es almacenado en esquemas de tipo “procesos”, figura 3:

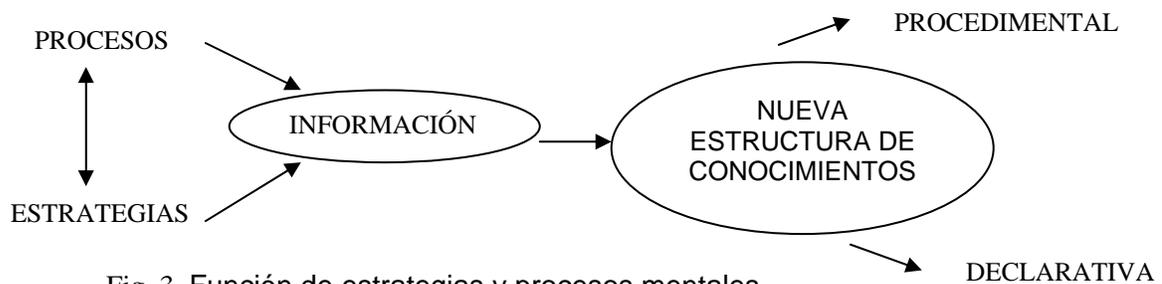


Fig. 3 Función de estrategias v procesos mentales

Los procesos mentales existen por sí mismos en todas las personas. No obstante, dado que la aplicación de un proceso implica su transformación en un procedimiento, cuando se practica de manera controlada y consciente produce la adquisición de una habilidad del pensamiento, es decir, la capacidad para utilizar un proceso mental con destreza y control. Entonces, la habilidad de pensamiento se adquiere mediante un aprendizaje sistemático y deliberado, mientras que el proceso o la operación mental existe por sí misma en el cerebro.

Un ejemplo de habilidad del pensamiento es la comparación. Una habilidad puede ser favorecida por el uso de estrategias cognitivas, siempre y cuando se trate de estrategias apropiadas para el tipo de conocimiento que se esté desarrollando.

<sup>19</sup> Véase R. Nickerson, D. Perkins y E. Smith, citados por Estévez, *Enseñar a aprender*, pp. 124-127.

Una representación visual se muestra en la figura 4,



Fig. 4 Desarrollo de habilidades del pensamiento

La necesidad de promover la enseñanza de habilidades y estrategias cognitivas ha sido demostrada por los resultados de las investigaciones en varios países. Dos de las principales evidencias que se han encontrado, son: que los estudiantes más eficaces son capaces de desarrollar un repertorio de estrategias cognitivas y metacognitivas para el aprendizaje durante su paso por la escuela, sin necesidad de intervenciones diseñadas con dicho fin, y que el desempeño de los estudiantes jóvenes menos eficaces puede modificarse en forma significativa mediante la enseñanza de estrategias cognitivas y metacognitivas, y con la creación de ambientes de aprendizaje apropiados.

Se considera de gran importancia para la educación que los estudiantes aprendan a realizar la *transferencia de habilidades y de estrategias*, es decir, que aprendan a utilizar algo que se aprendió en determinado contexto para apoyar el aprendizaje en otra situación. Hay dos tipos de mecanismos para la transferencia: la de bajo nivel se caracteriza por la aplicación de habilidades o conocimientos que se adquirieron con un dominio casi automático y que se practica en *circunstancias similares* a las del contexto de aprendizaje original; y la de alto nivel, que depende de un esfuerzo deliberado de abstracción mental ya sea de la habilidad o del conocimiento que fue adquirido para transferirlo de una situación a otra.

Según las investigaciones, la activación de conocimientos previos y la representación del problema, y el monitoreo del progreso propio y la capacidad de resumir o sintetizar son aplicables a diferentes áreas o disciplinas. Para aprender ciencia se señalan tres tipos de necesidades, las dos primeras se refieren al estudiante y la última al maestro:

1. Habilidades metacognitivas generales. Desarrollan la habilidad de pensar en su proceso de razonamiento para que así los estudiantes puedan probar sus concepciones intuitivas o las erróneas. Permiten adquirir la habilidad para entender los propios procesos utilizados para seleccionar diferentes concepciones.
2. Habilidades metacognitivas particulares. Se dividen en habilidades para planear las soluciones a los problemas y habilidades para evaluar la efectividad de las posibles soluciones.
3. Diseño de estrategias de enseñanza. Tiene dos fines, primero diagnosticar a los estudiantes y diferenciar entre los que tienen concepciones erróneas sobre conceptos científicos y aquellos que tienen concepciones incompletas. Segundo fin, diseñar diferentes formas de instrucción para cada situación o tipo de estudiante, ya que el primer tipo requiere de estrategias especiales para lograr el cambio de concepción.

Actualmente se ha demostrado que cuando las ideas erróneas están fuertemente arraigadas, no se produce el *cambio* por la simple vía de hacerlas entrar en contradicción con los conceptos válidos. Se requiere la utilización de mecanismos llamados de “*entrecruzamiento*”, que consisten en dar oportunidad a los estudiantes para que se planteen y resuelvan problemas científicos, mediante diferentes alternativas que incluyan sus nociones equivocadas. Se espera que establezcan diferencias y semejanzas y logren el aprendizaje de los conceptos nuevos mediante procesos de comparación. El fundamento principal de la enseñanza por cambio conceptual es el supuesto de que la enseñanza efectiva necesita estar enraizada en el entendimiento de cómo aprenden los estudiantes.

Vale la pena hacer un alto, aunque sea breve, en la exposición del *enfoque cognitivo* hasta aquí presentado, para observar el punto neurálgico sobre el aprendizaje entendido como cambio conceptual (y quizá el de todo el constructivismo y la cognición).

En el artículo denominado “Learning and Understanding Key Concepts of Electricity”<sup>20</sup> se menciona lo siguiente:

El término cambio conceptual no está bien escogido y hasta puede ser mal entendido. Cambio no significa cambio (o aun extinción) de los conceptos pre-instruccionales para los conceptos físicos. La investigación ha demostrado que esto no es posible y ha probado que tampoco es necesario. Como se dijo anteriormente, los estudiantes usualmente aprenden cuando mucho una especie de idea híbrida que fusiona facetas de las concepciones pre-instruccionales con los puntos de vista de la física

Pero en el artículo, “Teaching for Conceptual Change”<sup>21</sup> se tiene lo siguiente:

La enseñanza por cambio conceptual se construye sobre los conceptos centrales del modelo de cambio conceptual – estatus y ecología conceptual- dentro del contexto del constructivismo individual y social. Una poderosa forma de integrar estas ideas es a través de la noción de autoridad puesto que se refiere a las cuestiones de quién, de qué, decide lo que cuenta como conocimiento válido en el salón de clases.

Por otra parte, en el artículo denominado “Teaching for Conceptual Change: A Review of Strategies”<sup>22</sup> se concluye que:

Este documento ha revisado un rango de estrategias diseñadas por el profesor para promover el cambio conceptual en los estudiantes (...) Los estudiantes han sido retados a: cambiar sus ideas existentes por nuevas concepciones (Nussabaum y Novick, 1982); extender o desarrollar las visiones existentes y aplicarlas en nuevas situaciones (Brown y Clement, 1989); desarrollar un entendimiento científico que pueda ser sostenido en paralelo con las nociones existentes (Niederer, 1987); reconocer la apropiación y/o la aplicabilidad de modelos en diferentes situaciones (Stavy and Berkovitz, 1980). Una comparación de las concepciones existentes de los estudiantes con los propósitos de aprendizaje intentados proporciona un panorama sobre el deseado cambio conceptual y da una indicación de la extensión y naturaleza del viaje intelectual que el estudiante debe hacer. Adicionalmente, cualquier estrategia que sea seleccionada para promover ese cambio introducirá, para el aprendiz, sus propias demandas cognitivas, lo que necesita ser tomado en cuenta durante toda la planeación con otros factores relevantes.

---

<sup>20</sup> Reinders Duit y Christoph von Rhöneck. “Learning and Understanding Key Concepts of Electricity”, *Key Concepts of Electricity*. USA, International Commission on Physics Education 2004, pp. 1-8.

<sup>21</sup> Peter W. Hewson, Michel E. Beeth, N. Richard Thorley. “Teaching for Conceptual Change” in *International Handbook of Science Education*. London, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 199-218.

<sup>22</sup> P.H. Scott, H.M. Asoko, R.H Driver, “Teaching for Conceptual Change: a Review of Strategies” in *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceeding of an International Workshop*. R. Duit, F. Goldelberg, H. Niederer (Editors) USA. March 1991 IPN 131, ISBN 3-89088-06-2.

Además,

Un modelo de aprendizaje no prescribe un único conjunto de secuencias de enseñanza o de estrategias; y una estrategia particular de enseñanza no determina el tipo de aprendizaje que ocurrirá. En su lugar, en términos de Fenstermacher's (1986), la relación es ontológica: la enseñanza sin el intento de que el aprendizaje ocurrirá es una contradicción en sus términos. Los modelos de aprendizaje pueden, así, proveer un conjunto general de lineamientos que pueden ser usados en el diseño de diferentes aproximaciones.<sup>23</sup>

De estas citas se puede determinar que definitivamente no hay consenso entre los investigadores sobre el aprendizaje por cambio conceptual<sup>24</sup>. Que la propuesta de Estévez significa una forma consciente, metodológica y congruente de implementar un modelo para el diseño didáctico con base en estrategias didácticas cognitivas, pero ¿quién nos garantiza los resultados deseados? Tal vez, sólo el esmero del profesor que conociendo la situación concreta pueda dirigir sus orientaciones al punto y momento de las necesidades de cada estudiante.

Ante esta situación, en este trabajo se asume que aquella visión que no postule que el “aprendizaje ocurrirá” no sólo es un absurdo de términos, sino también un asunto con implicaciones de ética profesional en la educación. Es decir, ¿a qué va un profesor al salón de clases si piensa que el aprendizaje no es posible? (en relación con este problema y la evaluación formativa, ver propuesta, Anexo II ).

Se asume que el aprendizaje por cambio conceptual, aunque sea difícil de lograr, es un concepto que posee un *valor normativo* en la actividad cotidiana del profesor para tratar de promover la ocurrencia del aprendizaje. Decimos normativo para no sólo referirnos al problema desde una perspectiva meramente cognitiva sino con un sentido ético-profesional, sin el cual, el acto educativo se desvanece, día con día en la superficialidad.

**4.- La enseñanza basada en el uso de estrategias cognitivas.** Un modelo de enseñanza basado en el uso de estrategias cognitivas supone la necesidad de enseñar a los estudiantes a emplearlas durante el aprendizaje de los contenidos

---

<sup>23</sup> *Ibidem.*

<sup>24</sup> Véase, Anexo II, “Aprendizaje por cambio conceptual, un reto para el profesor y la didáctica de la ciencia”

de determinada materia. Además, como se ha señalado, se debe tomar en cuenta que cualquier estrategia que sea seleccionada para promover el aprendizaje introducirá, para el aprendiz, sus propias demandas cognitivas. Según West, Farmer y Wolf la enseñanza de estrategias cognitivas parte de la consideración de que este tipo de estrategias representan no sólo diversos caminos para que las personas aprendan, sino también constituyen vías de acceso al conocimiento que pueden ser activadas de manera sistemática. (Ver, *Instructional Design*, p. 26)<sup>25</sup>.

Se trata de incluir el objetivo de *aprender a aprender*, es decir, de aprender metacognitivamente. En la medida en que el maestro emplee las estrategias cognitivas como técnicas de diseño para desarrollar la programación de un curso, los estudiantes podrán adquirir determinada información o destreza, al tiempo que aprenderán a usarlas.

Así, el *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* que se ha expuesto se basa en el doble supuesto de que el aprendizaje de estrategias mejora y estimula el aprendizaje de contenidos y que mediante el aprendizaje de contenidos el estudiante aprende a usar estrategias cognitivas que lo *motivan* y capacitan para aprender a aprender (aprendizaje metacognitivo). En otras palabras, se da una relación recíproca o motivación mutua entre la enseñanza de estrategias cognitivas y la enseñanza de contenidos, ya que todo lo cognitivo está relacionado con los procesos afectivos y motivacionales. De modo que la propuesta se basa en una motivación intrínseca al proceso de aprendizaje del estudiante. En cuanto al diseño didáctico realizado por el profesor, requiere entonces, que éste plantee objetivos de enseñanza que vayan más allá de que el estudiante aprenda un contenido específico mediante el uso de estrategias cognitivas como medios de enseñanza. Lo que significa que el modelo permite emplear estrategias cognitivas de dos formas diferentes, pero simultáneas: como parte de los contenidos y como medios de enseñanza.

---

<sup>25</sup> Estévez *Op. cit.* p. 113.

## **CAPÍTULO II**

### **Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD.**

Este capítulo trata de las *Fases y los Componentes del Diseño Didáctico*, es decir: cuáles son y en qué consisten los elementos que constituyen el diseño didáctico y que llevan a establecer el *MODD*. Mismo que aplicado conduce al diseño de la *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell* que se presenta en el siguiente capítulo.

Centrar la educación en el *aprender a aprender* significa ampliar los objetivos y contenidos de la educación para incluir en ellos el que los estudiantes sean capaces de usar y aprender apropiadamente estrategias cognitivas y que el docente las emplee como medios de enseñanza e incluya en la evaluación del aprendizaje el conocimiento y el uso de ellas.

El *MODD* propone el diseño de dos tipos de *objetivos complementarios* para la enseñanza: los relacionados con el aprendizaje de contenidos específicos y los que tienen que ver con el aprendizaje metacognitivo. Se trata de un modelo que toma en cuenta la existencia de estrategias cognitivas al momento de diseñar la enseñanza y, con esto, se realiza la *fusión* de los procesos del pensamiento durante la enseñanza y el aprendizaje y, por tanto, se propicia la formación de *hábitos* para pensar en términos de procesos, así como el desarrollo de *habilidades* intelectuales para un aprendizaje independiente.

El *MODD* busca acercarse a la realidad en la que se piensa actuar, por ello incluye en sus fases la *realización* de diagnósticos de la situación del estudiante tanto durante la elaboración del diseño como durante su puesta en práctica. El modelo, según Estévez, supone: la participación activa del alumno; el aprovechamiento de los errores y la retroalimentación como fuentes de aprendizaje; la mediación, la guía y el monitoreo del aprendizaje (en este trabajo se prefiere usar el término *coucheo* para englobar estas actividades del profesor y referirnos implícitamente a aquellas otras que definen de manera holística su actividad frente a los alumnos).

**1.- Definición de las fases y los componentes del MODD.** La elaboración del diseño didáctico requiere de la toma de una serie de decisiones encadenadas que se efectúan en distintos momentos, denominados *fases*. En la medida que se avanza hacia nuevas fases, es necesario revisar y reajustar lo que se ha realizado, con el fin de lograr un diseño didáctico integrado y congruente. Las fases y los componentes del modelo de diseño didáctico se definen al responder las preguntas que aparecen en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1. Las fases y los componentes del MODD**

<b>Fase del diseño didáctico:</b>	<b>Aspecto al que se refiere cada fase:</b>
Primera	¿Por qué y para qué enseñar determinada materia? ELABORACIÓN DE FUNDAMENTACIÓN Y DE DIRECTRICES CURRICULARES
Segunda	¿Qué se espera lograr con lo que se enseña? FORMULACIÓN DE OBJETIVOS Y ESBOZO DE CONTENIDOS
Tercera	¿Qué secuencia darle a los contenidos? ORGANIZACIÓN Y DESGLOSE DE CONTENIDOS Y FORMULACIÓN DE OBJETIVOS PARTICULARES
Cuarta	¿Cómo enseñar esos contenidos? SELECCIÓN Y DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS
Quinta	¿Qué y cómo se enseñó? ¿Cómo validar el diseño didáctico propuesto? FORMULACIÓN DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

Por razones de espacio, en este trabajo sólo se presenta lo relativo a la *cuarta fase* por ser un aspecto imprescindible para esta exposición, las demás fases se pueden consultar en el libro de la autora<sup>1</sup>. En la *quinta fase* se argumenta el por qué no se adopta el sistema de evaluación propuesto por Estévez.

*Cuarta fase. Selección y desarrollo de estrategias didácticas y cognitivas.* En esta etapa del diseño se seleccionan y desarrollan las estrategias de enseñanza que serán empleadas para lograr el aprendizaje de los alumnos. El trabajo de esta fase cumple un papel central en la práctica educativa, ya que se diseñan el proceso de intervención del docente y de los alumnos. Consiste en el diseño de los medios, acciones y métodos que permiten concretar el currículo.

<sup>1</sup> La definición de la fase y los componentes del modelo se encuentra en el capítulo 3 de Ety H. Estévez. *Op, cit.*

Una estrategia didáctica es un plan, un curso de acción, procedimientos (para adquirir, organizar, almacenar, recuperar y usar conocimientos) o actividades secuenciadas que orientan el desarrollo de las acciones del profesor y de los alumnos y que conducen al logro de un objetivo.

De acuerdo con esta definición una actividad de aprendizaje se considera parte de una estrategia y se refiere a aspectos más puntuales de la intervención didáctica. En la medida que las actividades sean diseñadas en el marco de una estrategia, su selección se realiza de forma contextuada con una determinada secuencia de pasos. Para seleccionar y secuenciar las estrategias deben tomarse en cuenta: la naturaleza de lo que será enseñado y a los estudiantes. Para el diseño de estrategias se deben considerar las fases anteriores con el fin de asegurar que correspondan a la programación ya realizada, figura 5:

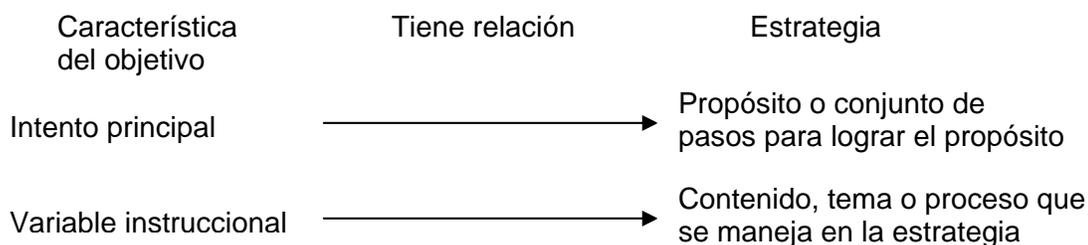


Fig. 5 Relación entre objetivo y estrategia

*Los dos tipos de estrategias cognitivas.* Las estrategias de enseñanza y de aprendizaje pueden clasificarse en dos grandes tipos según su propósito (véase M. de Sánchez, *Manual del curso Didáctica de los procesos cognitivos*, p. 112)<sup>2</sup> : las *organizativas*, cuya finalidad es crear un clima propicio para el aprendizaje y están relacionadas con las actitudes, por ejemplo, las discusiones en grupo son un medio excelente para incorporar creencias, fomentar actitudes y poner en acción las normas; y las *cognitivas*, destinadas a apoyar los procesos del pensamiento, se trata de actividades o procesos mentales realizados por los alumnos. Ambos tipos de estrategias se complementan y generalmente se emplean en forma simultánea durante la enseñanza; ver cuadro 2.

<sup>2</sup> Citado en Estévez. *Op, cit*, p.94.

**Cuadro 2. Los dos grandes tipos de estrategias**

<b>Estrategias organizativas</b>	<b>Estrategias cognitivas</b>
Interacción, comunicación, cooperación, socialización, trabajo en parejas, intercambio de experiencias, trabajo individual, estudio independiente	Procesamiento de la información, activación de conocimientos previos, activación de la creatividad, activación de procesos cognitivos, organización de contenidos y procesos, comprensión de contenidos y procesos, verificación de logros, regulación de la conducta, identificación de errores, retroalimentación, monitoreo, resolución de problemas, toma de decisiones

El trabajo de diseño por parte del profesor consiste en planear la enseñanza de tal manera que los estudiantes puedan usar una o más estrategias cognitivas para aprender el material, para procesar mentalmente el contenido. Por lo general, las estrategias se subdividen en estrategias más específicas o se descomponen en los elementos o actividades que las integran, por ejemplo, la siguiente estrategia puede adquirir diversas modalidades, figura 6:

Activación de  
procesos  
cognitivos

Preguntas  
Debates  
Torbellino de ideas  
Tácticas de interacción

Fig. 6

Según C. West, J. Farmer y P. Wolf, la selección de estrategias cognitivas es una tarea de diseño extremadamente importante, que consiste en decidir cuál estrategia cognitiva usar para qué contenido, así como con cuáles estudiantes y en qué momento de la enseñanza, figura 7.

Selección de estrategias cognitivas

Cuáles estrategias  
Para qué contenido  
Con cuáles estudiantes  
En qué momento

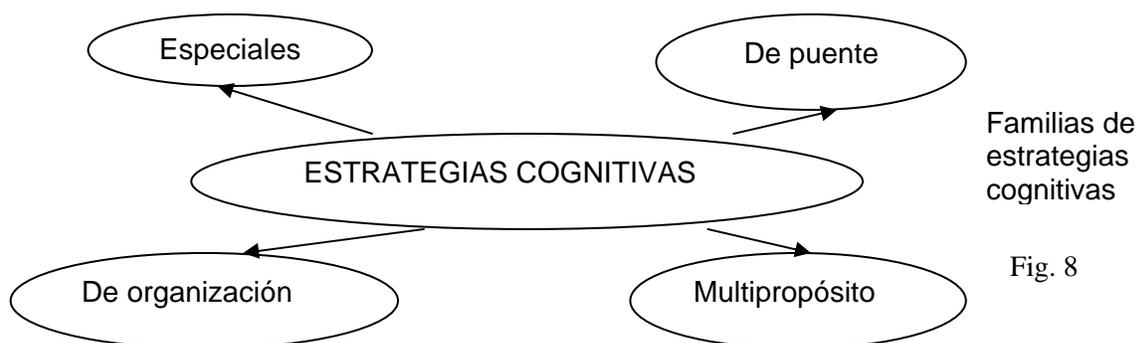
Fig. 7

En otras palabras, no todas las estrategias son apropiadas para todos los contenidos, ni para todas las personas, ni en todos los momentos o contextos de la enseñanza.

*Clasificaciones de estrategias cognitivas.* Dado el carácter adaptativo del modelo que se está presentando, las estrategias pueden clasificarse a partir del tipo de

aprendizaje que van a apoyar: *Adquisición de información* (conocimientos, metaconocimientos); *Desarrollo de habilidades* (motoras, intelectuales: cognitivas y metacognitivas) y; *Desarrollo de actitudes*. Las estrategias también pueden clasificarse en concretas y abstractas, según el nivel de abstracción que manejan; o en relación con la modalidad en que son presentadas, ya sea verbal o visualmente; pueden ser agrupadas por el nivel de adquisición de conocimientos y habilidades que apoyan, o bien por el nivel cognitivo o metacognitivo; también por el tipo de conocimiento al que están referidas, es decir, si se trata de conocimiento procedimental o declarativo.

En la propuesta de Estévez se utiliza la clasificación de estrategias cognitivas de West, Farmer y Wolf (1991), porque representa una alternativa viable para apoyar el trabajo de diseño didáctico. Las estrategias cognitivas pueden agruparse en cuatro familias, figura 8:



A continuación se presenta la descripción de las estrategias cognitivas y sus relaciones con los procesos cognitivos subyacentes en su ejecución, ver cuadros:

**Cuadro 3. Estrategias cognitivas “de organización”**

Descripción	Procesos cognitivos subyacentes
Permiten realizar ordenamientos y clasificaciones; ayudan a procesar grandes cantidades de información; son estrategias preparatorias o requisitos para el empleo de otro tipo de estrategias cognitivas que son más efectivas para lograr un procesamiento y aprendizaje más profundo	<b>Lineales / espaciales</b> <b>Clasificación</b> Corresponden a procesos básicos: observación, comparación, relación, clasificación simple, ordenamiento, clasificación jerárquica, análisis, síntesis, evaluación.

**Cuadro 4. Estrategias cognitivas espaciales**

Descripción	Procesos cognitivos subyacentes
Consisten en patrones para desplegar y organizar visualmente una gran cantidad de información y tener una visión panorámica	<p><b>Gráfica de recuperación tipo Uno:</b> Los seis primeros procesos básicos, ver cuadro 3, y un proceso integrador (análisis)</p> <p><b>Gráfica de recuperación tipo Dos:</b> Además de los seis primeros procesos básicos, el análisis, la síntesis y la evaluación, también se emplean formas de razonamiento deductivo e inductivo.</p> <p><b>Mapas conceptuales:</b> Para su realización se requiere la clasificación jerárquica, la cual puede ser aplicada para resolver problemas.</p>

**Cuadro 5. Estrategias cognitivas puente**

Descripción	Procesos cognitivos subyacentes
<p>Tienen el propósito de apoyar en forma sistemática la aplicación de los conocimientos previos en la nueva información.</p> <p>Es una declaración de transición, no sólo resume requisitos para el aprendizaje de material nuevo. Se usa para contenidos declarativos o procedimentales. Es diferente a la introducción común. Es un pasaje en prosa, corto y abstracto. Es un puente entre lo viejo y lo nuevo. Se hace al principio de una unidad o curso. Estimula a los estudiantes para que recuerden y apliquen lo que saben.</p>	<p><b>Organizador previo o avanzado:</b> Esta estrategia es la que menos dominan los estudiantes. Corresponde principalmente al profesor usarla, es un texto abstracto en prosa.</p> <p><b>Metáfora:</b> Tipo de razonamiento que se considera uno de los más poderosos para estimular la creatividad y desarrollar las estructuras cognitivas que sustentan el razonamiento abstracto y el pensamiento formal.</p> <p><b>Gráfica de recuperación tipo Dos:</b> Ver tabla anterior.</p>

**Cuadro 6. Estrategias multipropósito**

Descripción	Procesos cognitivos subyacentes
Consiste en una variedad de estrategias que se utilizan con diversos fines	<p><b>Refuerzo:</b> Ayuda a procesar información en la memoria de corto plazo de manera que pueda usarse en forma más profunda y pueda recordarse después de periodos largos. Incluye actividades como la repetición, la práctica o el estudio.</p> <p><b>Imágenes:</b> Son visualizaciones mentales de los objetos, los eventos y las ideas. Es una de las formas más importantes en las que se almacena el conocimiento en la mente.</p> <p><b>Nemotécnicas:</b> Ayudas artificiales para la memoria. Se dice que son "memoria artificial"</p>

Las estrategias cognitivas pueden ser utilizadas de tres formas: a) para comunicar el contenido o activar el procesamiento interno necesario para el aprendizaje; por ejemplo, presentar una analogía. b) El maestro puede activar de diferentes formas una estrategia cognitiva ya conocida por el alumno; por ejemplo, se pide a los

alumnos que piensen o elaboren una analogía apropiada al contenido en revisión.

c) La estrategia se enseña junto con los contenidos.

*Modelo para la enseñanza de estrategias cognitivas.* Tomando en cuenta los conceptos anteriores, West, Farmer y Wolf proponen un modelo para la enseñanza de estrategias cognitivas que se muestra en la figura 9.

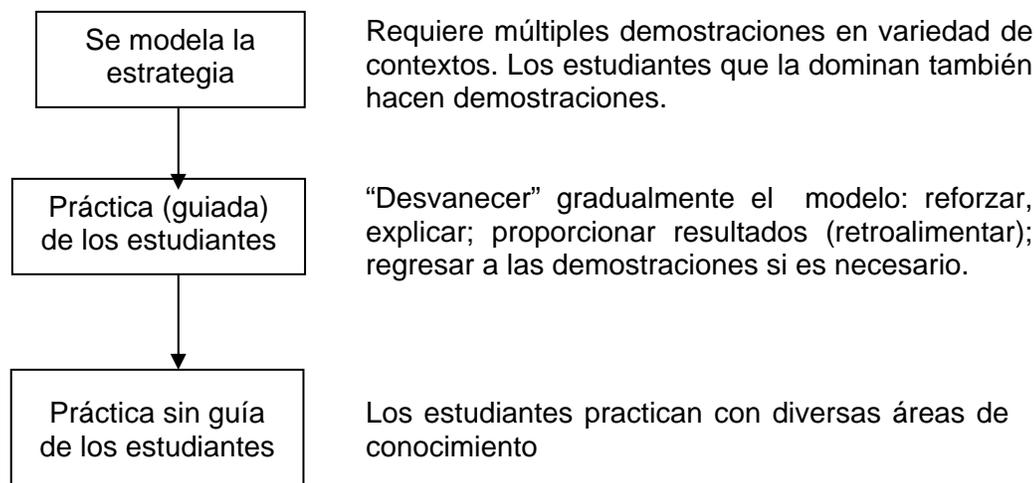


Fig. 9 Modelo para la enseñanza de estrategias

*Quinta fase. Formulación del sistema de evaluación.* Las investigaciones recientes ponen de manifiesto que la práctica de la evaluación tradicional padece una gran crisis<sup>3</sup>. Es uno de los aspectos menos entendido y valorado, mal planteado en el currículo escolar y deficientemente practicado por la generalidad de los profesores. Como concepto a definir presenta grandes dificultades epistemológicas e interpretativas de modo que no está todavía claramente establecido. Por ello, los procedimientos para evaluar, los medios, las técnicas, el reactivo, la evaluación de actitudes, etc. están llenos de *patologías* que conllevan a una evaluación disfuncional y desequilibrada. El campo de la evaluación da cuenta de posiciones controvertidas y polémicas en los terrenos filosófico, epistemológico, político y didáctico-pedagógico.

<sup>3</sup> Estévez enumera dieciséis limitaciones de la evaluación tradicional, véase *Op, cit*, pp. 117-119.

*La evaluación desde la perspectiva del modelo de diseño didáctico de Estévez.* La definición de tipo general sobre qué es evaluar y en la que la propuesta de la autora sintetiza sus ideas sobre la evaluación es la siguiente:

Evaluar hace referencia a cualquier proceso por medio del que alguna o varias características de un alumno, de un grupo de estudiantes (...) de objetivos educativos, de materiales, profesores, programas, etc. reciben la atención del que evalúa, se analizan y se valoran sus características y condiciones en función de unos criterios o puntos de referencia, para emitir un juicio que sea relevante para la educación ( S. Gimeno, *El currículo, una reflexión sobre la práctica*, pp. 13-14)

Más adelante la autora expresa:

La evaluación de la comprensión de un aprendizaje de calidad y la enseñanza para la misma no son actividades separadas. El profesor fomenta el aprendizaje comprensivo dando acceso al diálogo crítico sobre los problemas que encuentran al llevar a cabo sus tareas... ( citado en M. L. Martín, *Op.cit*, p. 143)

El problema, desde el punto de vista epistemológico, es precisamente qué es valorar, cómo establecer esos criterios o puntos de referencia, qué se entiende por calidad en el aprendizaje y la enseñanza y, con base en qué ha de emitirse un juicio. Términos que al no estar claramente definidos se constituyen en fuentes permanentes de patologías. Generalmente, el establecimiento de esos criterios se hace con discrecionalidad, sin consenso, sin sustento y muchas veces alejados de los intereses académicos para ceder a intereses extrínsecos de carácter político o ideológico.

Siguiendo un planteamiento epistemológico, por ejemplo, en la opinión de G. Domínguez, la construcción epistemológica del concepto de evaluación, implica análisis sobre los paradigmas educativos que han servido en la orientación del concepto. En el paradigma conductista, racional-científico (eficientista), la evaluación tiene como propósito recoger los resultados finales del proceso y valorar la eficiencia del mismo en función de los porcentajes de obtención de los objetivos prefijados. En el modelo conductual, el concepto de evaluación tiene sentido cuando se mira un acto mecánico a la luz de un referente prefijado. La valoración se da como el reflejo de un objeto en el espejo. De modo que en este paradigma, reproducir conductas o resultados esperados, según especifica un modelo de referencia, resume la valoración de la calidad educativa.

El paradigma humanista valora el esfuerzo del alumno con apego a los conocimientos, características y situaciones personales, posibilidades intelectuales y otros aspectos. En la evaluación de tinte humanista se valora la actitud o el esfuerzo del estudiante en el proceso del aprendizaje; importa cómo lo ha conseguido. En tal objetivo se recurre a diversos métodos, técnicas e instrumentos cualitativos. Resulta difícil que se pueda proceder a la valoración de aspectos tan difusos: ¿qué se entiende por conocimiento?, ¿cómo aprender la naturaleza del carácter o la personalidad?, ¿cómo valorar algo que todavía no es? Si existe esfuerzo del estudiante por aprender conocimientos novedosos, ¿en qué consiste ese esfuerzo? ¿qué referentes posibilitan la crítica de un esfuerzo no del todo aceptable o bien llevado a cabo? Si para tal propósito es necesario contar con métodos, técnicas o instrumentos, ¿cuál es su naturaleza y cómo participan en la valoración del esfuerzo? Aquí no es evidente la naturaleza del saber como influjo decisivo en la elucidación de los criterios de calidad ni aparece el factor externo como determinante de esos criterios.

Así, la falta de agudeza para distinguir aspectos psíquicos, manifestaciones fenomenológicas, epistemológicas y temáticas de la sociología, ha derivado en la imposibilidad de comprender el concepto de evaluación o de calidad educativa.

El paradigma cognitivo adolece de semejantes dudas. No es claro cómo habrá de procederse en la valoración de los procesos mentales para averiguar si se tiene o no un aprendizaje correcto. Menos aclara en qué consisten los métodos mixtos, cualitativos o cuantitativos, ni como participan en tal valoración. Se dice que el paradigma educativo sociopolítico y crítico rechaza el concepto de evaluación como control. Basa sus expectativas en el consenso que puedan tener maestros y alumnos para elucidar los criterios de calidad. En tal posición, los criterios abandonan el ideal epistemológico, la valoración de la distancia entre un proceso real y los criterios surgidos en el consenso es dudosa, si depende también de la discrecionalidad del consenso.

En síntesis, desde el punto de vista epistemológico, tanto el sistema de evaluación como la valoración de la calidad educativa, reclaman la existencia de criterios o categorías ideales para proceder a determinar la medida de las cosas. Cualquier criterio o referente ideal, demanda argumento para decir de su génesis, naturaleza y legitimidad. El contenido de los criterios puede ser externo o determinado por la naturaleza del conocimiento. En el primer caso se incluye el tipo de influjos o de decisiones que participan o jalonean la valoración de los procesos de aprendizaje o de otra cuestión en las instituciones educativas, que no claramente especificada en el currículo. En el segundo aspecto, ha de señalarse que la estructura del saber gobierna en la elucidación de criterios referentes. Evaluar es por ello aplicar los criterios referentes para medir la distancia que los separa de los fenómenos reales. Donde concurren múltiples aspectos que son factores comunes a lo que se nombra como evaluación o valoración de la calidad educativa, de ahí que evaluación y valoración de la calidad educativa sean conceptos similares.

Para Estévez la evaluación debe tomar en cuenta las fases y los componentes del *MODD* con el fin de conocer el nivel de eficacia y eficiencia del desarrollo de determinado diseño didáctico. Para la autora, en el proceso de evaluación: 1) Se evalúa el proceso de enseñanza-aprendizaje de manera integrada. Como forma parte del proceso, se considera que tiene los mismos tres momentos de éste inicial, desarrollo y final. 2) Se evalúa en forma holística, tomando en cuenta los distintos ámbitos del desarrollo del alumno: el conceptual, el procedimental y el afectivo. 3) Se evalúa de manera continua. Ello es inherente a la evaluación integrada en un procesos de enseñanza-aprendizaje cuya intención es formativa.

En contraposición al punto 3 de Estévez, en el trabajo denominado “La evaluación: campo de controversias y paradojas o un nuevo lugar para la buena enseñanza” en lo referente al subtema denominado “La evaluación: un análisis desde algunas derivaciones de la psicología cognitiva”, se indica lo siguiente: “que la evaluación no es una última etapa *ni es un proceso permanente*<sup>4</sup>”.

---

<sup>4</sup> Edith Litwin. *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*. Argentina, Paidós, 2001, p. 11.

Más adelante se indica: “carece de sentido la adquisición de una actividad evaluativa constante porque no permitiría desarrollar situaciones naturales de conocimiento o intereses no suscritos en una temática o materia. Se desvirtuaría de esta manera el sentido del conocimiento al transformar las prácticas en una constante de evaluación”.

La autora plantea una evaluación holística. Me parece que este tipo de evaluación presenta algunos de los inconvenientes señalados para el paradigma humanista mencionado en los párrafos anteriores. Además, se reconoce en el trabajo de Estévez que el conocimiento actitudinal es el menos conocido. De acuerdo con R. Gagné –dice la autora– el fundamento para establecer las actitudes en un programa de enseñanza se encuentra en el aprendizaje de habilidades y de la información relacionada con tales actitudes. Por ejemplo, si se trata de que el estudiante adquiera una actitud positiva hacia la metodología científica, el diseño deberá basarse en ciertas capacidades o destrezas en el empleo de estos métodos.

Cabe la pregunta, ¿aunque la metodología científica no sea su preferencia ni un valor en sus expectativas de vida, cómo serán las habilidades que resultan de esta situación?. No obstante, dice Estévez, la evaluación de actitudes requiere el uso de técnicas especiales. Recomienda para ello “las guías de observación”. En tal caso, se tiene la misma problemática: una cosa es reconocer la importancia de incluir las actitudes en un programa y otra muy diferente establecer el referente ideal y el modo de establecer la distancia entre éste y el proceso real para valorar la calidad del aprendizaje.

No obstante la discusión anterior, este trabajo asumen la postura de que es *imprescindible evaluar*, incluso cuando se trate de hacerlo sobre aspectos y procesos formativos que aun no han alcanzado su culminación en el estudiante adolescente. Por ello, se propone fortalecer el proceso formativo del estudiante para que la distancia a determinar entre el conocimiento establecido de la

disciplina y el logro por el alumno sea la que corresponde al desarrollo cognitivo teóricamente aceptado.

Además, se decide escoger un enfoque de evaluación que tenga un fin académico, que sea útil para el diseño didáctico y que ponga el acento en lograr su cometido, es decir: que proporcione elementos para la superación de las deficiencias. Se propone un enfoque que parte de: *reconocer el déficit y las fortalezas asociadas con el proceso de la enseñanza -aprendizaje y en correspondencia, intervenir para subsanar anomalías tanto del estudiante como del profesor.*

Donde intervenir se refiere al proceso de mediación que el diseño didáctico implica. Por otra parte, de acuerdo con lo anterior la formulación del sistema de evaluación, en este trabajo, no considera la *evaluación continua* ni la *evaluación de actitudes* por lo que la evaluación resultante tampoco será de *carácter holístico* como propone el modelo de Estévez.

Con este enfoque, de aquí en adelante, nos referimos a nuestra propuesta con el nombre de "Evaluación Estratégica"; la cual, a diferencia del Programa de Estudios de Física IV, contempla la Evaluación Diagnóstica, la Formativa y la Sumativa en forma diferenciada y secuenciada. Se deja para la realización de la "Tarea 5" del *MODD* definir otros elementos relacionados con el sistema de evaluación que se utiliza en este trabajo.

**2.- Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD.** En esta sección se plantea el aspecto operativo del modelo de diseño didáctico expuesto a lo largo de este capítulo. Una vez establecido qué es un modelo de diseño didáctico, cuáles son sus fases de elaboración y sus componentes, la pregunta a responder ahora es: ¿cómo se elabora un diseño didáctico según un modelo? Para responder a esta pregunta se requiere un *modelo de tipo procedimental*, es decir, un modelo que proporcione el formato para la realización de una serie de pasos y procedimientos con miras a lograr un objetivo: elaborar el diseño didáctico de una asignatura, una unidad o un tema correspondiente a un currículo determinado. A diferencia del

modelo de tipo declarativo (conocimiento sobre el qué de la enseñanza) desarrollado anteriormente, con el fin de proporcionar definiciones y conceptos. El modelo operativo o procedimental tiene la finalidad de ofrecer una alternativa práctica sobre el *cómo*. Es una guía para elaborar diseños didácticos.

El *Modelo Operativo de Diseño Didáctico (MODD) con Enfoque Cognitivo e Integral*, es una propuesta puntual para mejorar y modificar determinados aspectos del proceso educativo y corresponde a una innovación clasificada como “desarrollo tecnológico”, por ser una alternativa práctica que contribuye a resolver una necesidad en un determinado ámbito, a saber: el de la falta de diseño didáctico. El *MODD* consiste en una serie de pasos de un procedimiento gradual, a lo largo del cual se elaboran *productos parciales* que son utilizados en una actividad final integradora del proceso: la redacción formal de un texto en prosa de un diseño didáctico; ver cuadro 7.

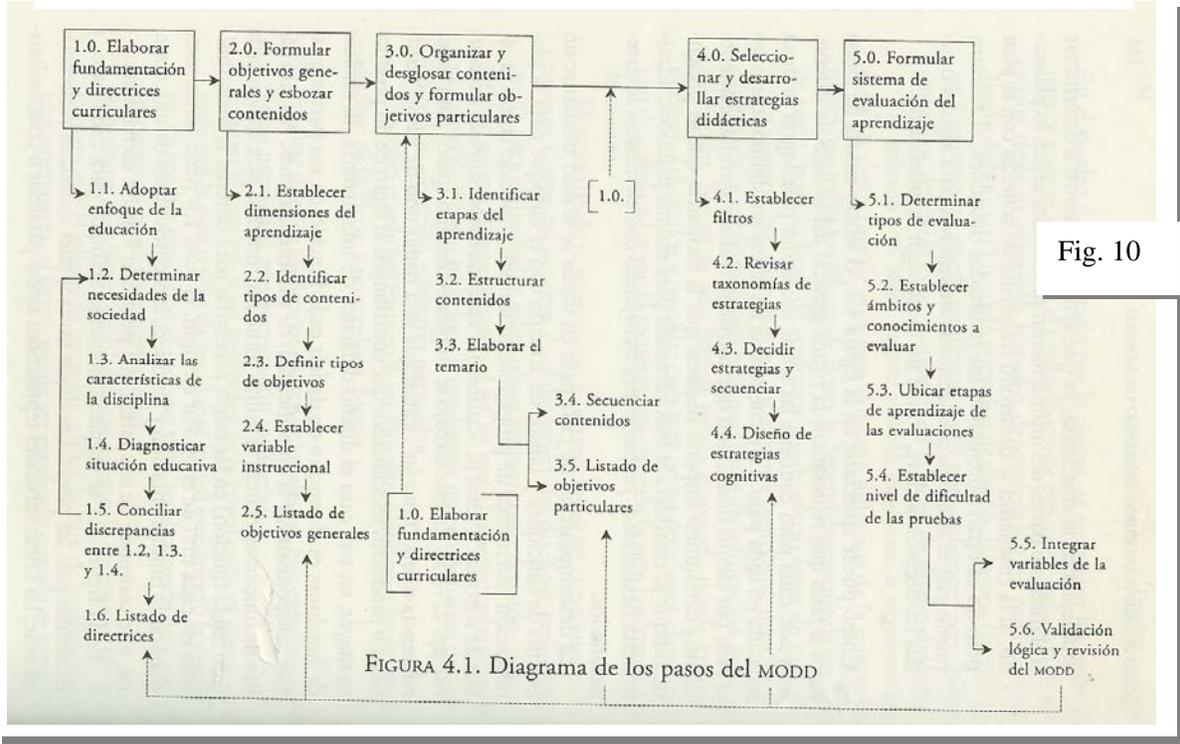
**Cuadro 7. Las fases del MODD / productos parciales**

<b>Pasos</b>	<b>Productos parciales</b>
1.0 Elaboración de fundamentación y de directrices curriculares	Introducción
2.0 Formulación de objetivos generales y esbozo de contenidos	Objetivos generales
3.0 Organización y desglose de contenidos y formulación de objetivos particulares	Estructura y desglose de los contenidos
4.0 Selección y desarrollo de estrategias didácticas	Estrategias didácticas: organizativas y cognitivas
5.0 Formulación del sistema de evaluación del aprendizaje.	Evaluación del aprendizaje

El *MODD* que aquí se presenta puede emplearse tanto por profesores principiantes como por docentes experimentados en la labor de diseño didáctico. Incluye sugerencias e instrucciones en cuestiones y momentos claves del proceso de elaboración del diseño didáctico y proporciona ayuda para el diseñador sobre cómo procesar cada decisión. La secuencia de las tareas en algunos casos no es cien por ciento lineal, sino que conviene realizar simultáneamente algunas decisiones ya que la secuencia que se presenta permite cierta flexibilidad.

Como puede verse en la figura 10, el modelo consta de cinco fases con diversas tareas, cada una de las cuales representa la rutina general del trabajo de diseño<sup>5</sup>:

### Modelo Operativo de Diseño Didáctico: fases y componentes



**3.- Elaboración de un diseño didáctico para la Síntesis de Maxwell.** En esta sección, para el diseño de la *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell, SEDITES-SM*, correspondiente a la Unidad IV del Programa de Estudios de Física IV, Área I de la ENP, se desarrollan las fases y las tareas del *MODD* presentado anteriormente. El resultado de la aplicación del modelo es la obtención de los criterios didácticos que sustentan la elaboración de la secuencia.

**Tarea 1.0.- Elaborar fundamentación y directrices curriculares.** Para realizar esta tarea las fuentes de información principal son el Plan de Estudios-1996 y el Programa de la Asignatura de Física IV de la ENP.

<sup>5</sup> Véase la descripción completa de pasos y tareas del MODD en el capítulo 4 de. Estévez, *Op, cit.*

**Adoptar enfoque de la educación.** Se refiere a los diferentes aspectos que pueden tomarse en cuenta en la consideración filosófica respecto de la educación:

“La Escuela Nacional Preparatoria tiene como finalidad impartir enseñanza correspondiente a nivel de bachillerato, de acuerdo con su plan de estudios y con los programas correspondientes, dando a sus alumnos formación cultural, preparación adecuada para la vida y un desarrollo integral de su personalidad, que los capacite para continuar estudios profesionales, conforme a su vocación y a las obligaciones de servicio social que señala el artículo del *Estatuto General*”.<sup>6</sup>

De acuerdo con el enfoque de una perspectiva centrada en la necesidad de *aprender a aprender* las condiciones para el cumplimiento del enfoque son: Participación activa del alumno, papel del maestro como mediador, guía y monitor del aprendizaje que en este trabajo se amplía al concepto de profesor como *couch* del proceso aprendizaje-enseñanza, la retroalimentación como fuente de aprendizaje y énfasis en el trabajo en el aula para promover la reflexión (metacognición) y la síntesis colectiva e individual.

**Determinar las necesidades de la sociedad.** La información del contexto social para identificar las correspondientes necesidades educativas se puede consultar, por ejemplo, en: *Naturaleza y fines de la educación superior*.<sup>7</sup>

**Analizar las características de la disciplina.** Este análisis permite de manera tentativa: seleccionar los posibles temas, jerarquizar conceptos, analizar el método de la disciplina, obtener posibles conductas o competencias cognitivas y psicomotora a desarrollar, definir el posible enfoque para la organización y conducción del proceso de enseñanza-aprendizaje. También surgen diferentes aspectos a considerar en la elaboración de la *SEDITES-SM*, por ejemplo: para concebir al conocimiento como un producto histórico; lo que fortalece la formación integral del alumno. La tarea se divide en dos grandes aspectos.

---

<sup>6</sup> “Reglamento general de la Escuela Nacional Preparatoria”, *Legislación Universitaria*. México, UNAM, 1995, p.395.

<sup>7</sup> Cf. Graciela Hierro, *Naturaleza y fines de la educación superior*. México, ANUIES, 1983.

*I. En relación con la disciplina.* Permite clarificar el marco de conocimientos en el que se ubica la asignatura objeto de diseño. En este sentido, la materia de Física se ubica en el Mapa Curricular de la ENP dentro del bloque denominado “Ciencias Experimentales”; existen dos programas de Física, el primero para alumnos que cursarán sexto año en el área I (Físico-Matemáticas y de las Ingenierías) y el segundo para el área II. Dentro de este apartado, nos podemos referir al *proceso histórico-cognitivo de desarrollo de la disciplina* en dos grandes apartados:

*A. Desarrollo del pensamiento científico.* Sobre este aspecto se puede considerar lo siguiente: 1) El surgimiento de la síntesis newtoniana que impulsa a otros campos del pensamiento y del conocimiento. 2) El desarrollo vertiginoso del cálculo diferencial e integral y la solución de ecuaciones para la resolución de problemas. 3) Para finales del siglo XVIII se disponía ya de una teoría de la electricidad construida de acuerdo con el modelo de la teoría de Newton. 4) Durante la mitad del siglo XIX las teorías de la electricidad y el magnetismo continuaban formulándose siguiendo las pautas del paradigma newtoniano de la acción a distancia. 5) Ampere apoyó sin reserva la visión newtoniana del mundo que Coulomb había extendido a la electricidad. 6) En Inglaterra, Faraday, Tomson y Maxwell buscaban un mecanismo de propagación para esas fuerzas y estaban interesados en estudiar los efectos del medio interpuesto. 7) Había al menos dos teorías de carácter no-newtoniano para explicar la propagación electromagnética a través de un medio material; la del calor de Fourier y la óptica ondulatoria de Fresnel, evocadas ambas por Maxwell en su trabajo, *On Faraday's Lines of Force*. 8) Fresnel, con sus vibraciones transversales de un éter óptico que precisaba de propiedades elásticas más parecidas a las de un sólido que a las de un fluido, abrió el “primer capítulo” de lo que hoy conocemos como la física de campos. Posteriormente, lo que sería el “segundo capítulo” tuvo que ver con las aportaciones de Faraday y Maxwell que se describen en los siguientes párrafos desde la perspectiva del razonamiento analógico usado por ellos.

*Construcción del electromagnetismo desde el enfoque del uso de analogías.* Muchas personas creen en la existencia de un omnipotente método científico

absoluto y universal, el cual puede aplicarse siguiendo una serie de reglas más o menos fijas. Quienes sostienen estas creencias suelen olvidar a menudo importantes rasgos del trabajo científico, tales como la invención de hipótesis y modelos, la creatividad y el uso de analogías y del razonamiento analógico por parte de los científicos para favorecer y desarrollar su pensamiento, generar nuevos conceptos y conocimientos, establecer una nueva teoría (Neresessian, 2002). Las analogías en el trabajo científico suponen mucho más que una forma de hablar como el uso cotidiano, pues se convierten en un potente instrumento cognitivo para el razonamiento y la explicación de ámbitos conceptuales novedosos y más abstractos (Genetner y Gentner, 1983).

Aquí se presenta un extracto de una perspectiva epistemológica que se apoya en la historia de las ciencias; para ello, se hará un análisis de las reflexiones de los propios científicos para establecer un desarrollo “histórico-cognitivo” en la construcción del electromagnetismo en el siglo XIX<sup>8</sup>.

Inspirado quizás por la analogía entre calor y la electricidad, que había establecido Thomson, Maxwell utilizó a lo largo de todo su trabajo sobre electromagnetismo el método de las analogías físicas. Exhibiendo en su manejo una extraordinaria flexibilidad de pensamiento para proponer imágenes y modelos que, si bien muchas veces parecían muy poco verosímiles, le permitían elaborar sistemas por los que estaba interesado. En su primer artículo sobre el electromagnetismo *On Faraday's Lines of Force* (escrito cuando tenía 24 años) expresa lo siguiente:

“Para conseguir ideas físicas sin adoptar una teoría física debemos familiarizarnos con la existencia de analogías físicas. Entiendo por analogía física esa similitud parcial entre las leyes de una ciencia y las de otra que hace que las unas iluminen a las otras” (Tomado de Berkson, 1974, p. 179 de la traducción castellana)

Esta manera de razonar había sido recomendada también por Faraday en su *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (1859):

---

<sup>8</sup> Acevedo, José Antonio. “El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias.” Revista *Eureka*, España, 2004, pp. 188-205.

Creo que en la práctica de ciencia física, la imaginación debería ser ejercitada para presentar la materia investigada desde todos los puntos de vista posibles, e incluso imposibles; para buscar analogías de semejanza y, digámoslo así, de oposición, inversas o contrapuestas (...) No podríamos razonar sobre la electricidad sin concebirla como un fluido, o una vibración, o alguna forma o estado” (Tomado de Berkson, 1974, p. 82 de la traducción castellana)

*Los primeros pasos en la física de campos.* Durante el siglo XVIII la teoría de la gravitación de Newton sirvió como fuente de analogía para el desarrollo de la electricidad llevado a cabo por científicos como los británicos Cavendish y Priestley o el francés Coulomb, entre otros. En el siglo XVII, Huygens había unido la suposición de que la luz se mueve con velocidad finita con la idea de que es un movimiento ondulatorio que se propaga longitudinalmente a través de un medio homogéneo – el éter lumínico-. Para explicarlo, Huygens recurrió a una analogía mecánica:

“Si se coge un cierto número de bolas de igual tamaño, hechas de una sustancia bastante dura, se disponen en línea recta, de tal modo que se toquen, y se golpea la primera de tales bolas con otra parecida, se observa que el movimiento pasa instantáneamente a la última, que se separa de la hilera, sin que se aprecie movimiento en ninguna otra. Para aplicar este tipo de movimiento al que produce la luz, nada impide que consideremos que las partículas de éter están hechas de una sustancia tan próxima como queramos a la dureza perfecta y a la prontitud de un resorte” (Tomado de Mayrargue, 1990. p. 469).

Por el contrario, la óptica de Fresnel estableció la hipótesis de que las vibraciones elásticas del éter (con propiedades elásticas más parecidas a las de un sólido que a las de un fluido) tienen lugar perpendicularmente al avance de las ondas luminosas; y con esto se abrió el primer capítulo de lo que hoy es la física clásica de los campos.

*El razonamiento analógico en la elaboración de la teoría electromagnética.* En noviembre de 1831 Faraday había hecho ya un dibujo de las curvas magnéticas que rodeaban a un imán de barra. Sostenía que las fuerzas eléctricas se transmitían entre partículas de un medio y usó la noción de líneas de fuerza para representar geoméricamente la disposición de las fuerzas eléctricas y magnéticas en el espacio. En 1845 llamó por primera vez *campo* a la región del espacio que hay entre los polos magnéticos, la cual está llena de líneas de fuerza eléctricas o

magnéticas que daban un visión puramente geométrica sin revelar su constitución física.

Maxwell señaló posteriormente en su *On Faraday's Lines of force* (1855-56), que las líneas de fuerza del espacio que rodea a un imán –las curvas magnéticas de Faraday– dan cuenta de la dirección de la fuerza del campo, pero no de su intensidad en cualquier punto. Para resolver esta cuestión, Maxwell elaboró un modelo en el que consideró que las curvas magnéticas no eran líneas simples, sino tubos muy finos de sección variable que transportaban un fluido incompresible. Así, la dirección y la intensidad de la fuerza quedaban respectivamente representadas en cualquier punto del campo por la dirección y la intensidad del fluido imaginario (Berkson, 1974).

Al utilizar la analogía entre el comportamiento de las líneas eléctricas y magnéticas, y la del movimiento de un hipotético fluido sin rozamiento, no pretendía que las líneas de fuerza fueran los movimientos de semejante fluido, tan sólo afirmaba que se podía conseguir una comprensión más clara de éstas articulando la analogía en términos matemáticos. Así, el modelo sirvió para proporcionar una idea más clara de las líneas de fuerza en el espacio y una materialización física de estas líneas de fuerza de Faraday. Posteriormente, introdujo una analogía hidrodinámica, en la cual la carga eléctrica positiva se consideraba como una fuente o manantial que vierte continuamente una cantidad de fluido que depende de su intensidad. La carga negativa era como un pozo o sumidero, que absorbe todo el fluido de las proximidades de manera proporcional a su intensidad. Se trataba de un fluido muy extraño, que continuamente estaba creándose en un lugar y destruyéndose en otro; pero, tratándose de una analogía, Maxwell estimaba que podía asignarle todas las propiedades que quisiera.

En su segundo escrito titulado *On Physical Lines of Force* (1861-1862) Maxwell propuso establecer una teoría del electromagnetismo basándose en la hipótesis de un éter único como sustrato del campo electromagnético. Con tal propósito, desarrolló un modelo mecánico analógico del éter. En éste representaba el medio electromagnético en forma de un éter celular, que describía como si fuera el panel de una colmena en el que cada célula era un vórtice.

En palabras de Maxwell:

“La única idea que me ha ayudado a concebir este tipo de movimiento es que los remolinos están separados por una capa de partículas girando cada una alrededor de su propio eje, en dirección opuesta a la de los remolinos, de forma que las superficies de contacto entre partículas y remolinos tienen el mismo sentido de movimiento (...) En mecánica, cuando se quiere que dos ruedas giren en la misma dirección, se coloca entre ellas otra rueda que engrane con ambas, y que se llama “piñón loco”, la hipótesis que sugiero sobre los remolinos es que entre cada dos remolinos contiguos se interpone una capa de partículas que actúa como piñón loco; de esta forma cada remolino tiende a hacer que sus vecinos se muevan en la misma dirección” (Tomado de Berkson, 1974, p. 187 de la traducción castellana).

Así, el modelo del éter de Maxwell supone un entramado de vórtices magnéticos inmersos en un fluido incompresible. Cada remolino está separado en direcciones opuestas por una capa de partículas eléctricas esféricas, que giran en direcciones opuestas a la rotación de los vórtices. La circulación de estas partículas constituiría la corriente eléctrica (Mason, 1986).

La transmisión de la acción eléctrica puede explicarse por la comunicación de la velocidad de rotación de los vórtices de una parte del campo a otra. Como no habiendo rozamiento sería posible mantener indefinidamente un campo magnético. Maxwell también supuso que los vórtices magnéticos eran elásticos, hipótesis que le permitía dar una explicación de la electricidad estática y aplicando este razonamiento explicó cómo se produce la inducción electromagnética (véase Berkson, 1974, pp. 190-191 de la traducción castellana, 1981).

En su primer escrito –*On Faraday’s Lines of Force*– Maxwell había desarrollado matemáticamente muchas de las ideas de Faraday. En el segundo –*On Physical Lines of Force*– expuso un modelo para el campo electromagnético y sus propiedades matemáticas, esbozando la nueva teoría del electromagnetismo. Este trabajo estaba plagado de imágenes mecánicas que, a pesar de ser abandonadas después en su tercer escrito, *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field*, fueron esenciales para formular las principales ecuaciones del campo electromagnético y enunciar el carácter electromagnético de la luz (Cazenoë, 1984). El método seguido por Maxwell llamó mucho la atención, por ejemplo de Boltzmann:

En su segundo escrito (*On Physical Lines of Force*) va mucho más lejos y construye un mecanismo admirable a partir de remolinos hidráulicos y rodillos de fricción que se mueven dentro de paredes eléctricas, y que sirve como modelo mecánico para el electromagnetismo (...) Quiero sólo añadir a las palabras de Hertz que las ecuaciones de Maxwell son mera consecuencia de sus modelos mecánicos y que su elogio entusiasta corresponde, en un principio, no al análisis de Maxwell, sino a su sagacidad para descubrir analogías mecánicas. (pp. 52-53 de la traducción castellana)

Más adelante, Maxwell diría que sus imágenes mecánicas para representar la estructura del campo electromagnético eran más una ilustración heurística que un verdadero modelo explicativo. No obstante, no faltaron críticos que no comprendieron su método declarando inverosímiles y absurdas sus hipótesis. Como señala Harman (1982), Maxwell era consciente de las limitaciones de su modelo mecánico, así como de su status tentativo e ilustrativo. Así, en una carta dirigida en 1867 a su amigo, el también físico escocés Tait, le manifiesta:

... construido para mostrar que los fenómenos pueden ser explicados por medio de un mecanismo. La naturaleza del mecanismo es a la naturaleza del verdadero mecanismo lo que un planetario de ruedas y engranajes es al sistema solar. (Tomado de Harman, 1982, p. 114 de la traducción castellana).

Aunque imaginario, la capacidad heurística de su modelo mecánico del éter quedó fuera de toda duda cuando Maxwell pudo deducir que la propagación de las perturbaciones ondulatorias se produciría a la velocidad de la luz. Así, la óptica quedaba relacionada cuantitativamente con el electromagnetismo. En palabras de Maxwell:

... la luz consiste en ondulaciones transversales del mismo medio, lo que constituye la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos. (Tomado de Mason, 1986, p. 123 de la traducción castellana).

A pesar de los resultados obtenidos, la insatisfacción de Maxwell con el modelo mecánico del éter y su preocupación por el *status* del mismo, le obligaba a profundizar más. En *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (1864-1865) Maxwell se decide por liberar su teoría de concepciones mecánicas. En palabras de Berkson (1974):

En un principio Maxwell se apoyó en la imagen “cartesiana” del mundo, donde el medio omnipresente (éter) obedece las leyes de la mecánica de Newton, Pero, incapaz de construir una explicación mecánica viable del campo electromagnético, independizó las ecuaciones de la analogía mecánica y, a pesar de no contar con un mecanismo para el campo, trató de defender una teoría de campos. Presentó para ello, un argumento fuerte, la deducción de la teoría electromagnética de la luz, así como la posibilidad de contrastarla. (p. 220 de la traducción castellana, 1981).

Aunque algunos analistas han afirmado que las analogías de Maxwell tienen sólo un valor meramente sugestivo y marginal, con el tiempo, las ecuaciones de Maxwell se incorporaron a la física como conocimiento ortodoxo; y por el contrario, los modelos del éter, que tanta importancia tuvieron en su desarrollo, fueron abandonados por *innecesarios* cuando más se demostró que la idea de la velocidad relativa de la luz respecto al éter carecía de sentido. El físico austriaco Ludwig Boltzmann reflexionaba así acerca de los métodos de investigación de la física teórica:

No podemos reprochar a una mera analogía que cojee en algunos aspectos. Por eso se interpretaron inmediatamente las viejas teorías, como la teoría elástica de la luz, la teoría de los gases, los esquemas químicos para los anillos bencénicos, etc., nada más que como analogías mecánicas, y finalmente la filosofía generalizó ideas de Maxwell hasta fundar una doctrina según la cual es conocimiento mismo no es otra cosa que el hallazgo de analogías. Con esto los métodos científicos fueron definidos de nuevo y la Ciencia habló nada más que medianamente comparaciones. (p. 54 de la traducción castellana, 1986).

El trabajo de Maxwell permitió reconocer la unidad de los fenómenos electromagnéticos al predecir las ondas electromagnéticas y su posterior comprobación por Hertz.

*B) Cambios operados en la disciplina y sus efectos sobre la sociedad.* El desarrollo del electromagnetismo parte desde el descubrimiento de la magnetita, la experiencia de la electricidad y construcción de la pila Voltaica. Pasa por el descubrimiento de Oersted, las aportaciones de Faraday sobre el concepto de campo eléctrico y de líneas de campo, para alcanzar su máximo desarrollo en la Síntesis de Maxwell. Posteriormente, es considerada una teoría estable y correcta que soporta la revisión hecha por Einstein en relación con la relatividad y las transformaciones de Lorentz. Sin embargo, la teoría no pudo resistir el análisis de

la interacción de la radiación electromagnética con la materia a nivel microscópico. Fue Max Planck quien propondría la cuantización de la energía electromagnética y Einstein quien propondría la existencia del fotón para dar paso a entender la naturaleza dual de la radiación electromagnética. Hechos a partir de los cuales se desarrolla la denominada teoría electrodinámica para conformar el *estadio* actual en el que se encuentra el desarrollo de los conceptos de la teoría electromagnética.

Finalmente, los cambios que se han presentado en esta disciplina van desde la óptica geométrica de la reflexión y la refracción con aplicaciones tecnológicas y consecuencias sociales hasta su concepción ondulatoria y, posteriormente, como una dualidad que conllevó al planteamiento de la teoría cuántica de la luz. Un vasto cuerpo de conocimientos acumulados por el ser humano durante aproximadamente tres mil años que involucra al desarrollo de la óptica de la reflexión y la refracción, las teorías ondulatorias y cuántica de la luz, se puede encontrar en el Capítulo I denominado “Una breve historia” del libro *Óptica* de Hechet-Zajac.

C) *El método.* Para la enseñanza del electromagnetismo, la relación entre el contenido y método la hacemos extensiva al papel fundamental que jugaron las analogías construidas por Faraday y Maxwell en la construcción de esta teoría. Puede ser discutible si el razonamiento analógico, como forma de pensamiento creativo, es parte del “método científico” pero hoy por hoy se está aceptando una conceptualización del “método científico” menos rígida, y se habla ya de los *métodos de la ciencia*. Esto tiene repercusión en el aula para concebir experiencias de laboratorio menos rígidas o encuadradas en la vieja concepción positivista de los años 70 sobre lo que se denominó “El método experimental”.

D) *Organización de los conocimientos.* Conforme al Plan de estudios, para organizar los conocimientos se tomarán en cuenta: las nociones básicas para desarrollar durante la unidad del programa; los problemas fundamentales que se abordarán con el estudio de la disciplina; y el método que se seguirá (estrategias

didácticas y actividades de aprendizaje ) para tratar dichos problemas, buscando la mejor comprensión de la diversidad y la síntesis que guardan los fenómenos eléctricos y magnéticos.

*E) Implicaciones éticas de la enseñanza del electromagnetismo.* El tema se presta para que el alumno adquiera valores sobre la tolerancia en cuanto a las opiniones de los demás sobre las consideraciones al trabajo científico y sus logros, así como la discusión de las analogías y el planteamiento de problemas y su resolución.

*F) Nivel de complejidad y de abstracción del electromagnetismo.* Se ubica tanto en la comprensión de las nociones de carga eléctrica, campos eléctrico y magnético como en el planteamiento matemático de las ecuaciones:

$$\text{Ley de Gauss: } \Phi_E = \iint_A \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad \text{y} \quad \Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\text{Ley de Faraday: } \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\text{Ley de Ampere-Maxwell: } \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \iint \left( \vec{J} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

O bien,

$$\text{Ley de Gauss: } \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \text{y} \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\text{Ley de Faraday: } \nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{Ley de Ampere-Maxwell: } \nabla \times \vec{B} = \mu \left( \vec{J} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

$$\text{Las ecuaciones de onda para el vacío: } \nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{o bien,} \quad \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

De esta sección se pueden obtener algunos elementos para el diseño didáctico de la secuencia: se considera necesario hacer referencia a las analogías propias del electromagnetismo e incluir otras para el desarrollo de la Síntesis de Maxwell de tal manera que se constituyan en recurso para emprender el aprendizaje, para definir nuevos conceptos, generar actitudes y fomentar la creatividad. El trabajo en el laboratorio se implementará de una manera que no sea tan rígida respecto al método científico (positivismo), para ello se propondrá discutir la diferencia entre

los conceptos de analogía, hipótesis, modelo heurístico y modelo físico, etc. Se incluirá un esquema de conceptos que permita diferenciar la síntesis newtoniana sobre el mundo mecánico y la síntesis maxwelliana del mundo electromagnético. Para contextualizar el aprendizaje se incluirá en la presentación de los temas aspectos históricos y anecdóticos sobre los científicos y sobre el desarrollo de los temas. Los cambios operados en la disciplina se incluirán a manera de presentar al alumno una visión panorámica del dominio de conocimientos del electromagnetismo.

El desarrollo histórico y tecnológico se promoverá en la síntesis para ofrecerle al alumno posibilidades de interés para su aprendizaje y aplicación de conocimientos. El nivel de complejidad y de abstracción de la Síntesis de Maxwell es el reto a superar. Es una dificultad importante pero que no debe conllevar al manejo del tema utilizando sólo demostraciones de laboratorio ni al uso excesivo de los planteamientos matemáticos. La secuencia didáctica se construirá buscando situaciones físicas que permitan considerar una matemática más sencilla pero que conserven el concepto físico al que se refieren aunque se pierda la generalidad matemática.

En aquellas situaciones en que aún esto sea difícil se hará la observación de que el desarrollo matemático respectivo es sólo para el maestro. Dado el vasto espectro de conocimientos sobre las implicaciones técnicas del electromagnetismo es deseable ofrecerle al alumno la oportunidad de elegir, desde la perspectiva de sus preferencias, aquellos tópicos que puedan ser de su interés: aplicaciones prácticas, tecnológicas, problemas epistemológicos o conceptuales relacionados con el electromagnetismo.

*II. En relación con el plan de estudios.* El Perfil de egreso, el Mapa curricular (materias paralelas, antecedentes y subsecuentes) así como el enfoque de la enseñanza se pueden consultar en el Programa de Estudios de Física IV.

**Diagnosticar la situación educativa.** En esta tarea se recoge la información necesaria sobre las condiciones y la situación en las que se llevará a cabo el

desarrollo de la secuencia didáctica. Su objetivo es adecuar la propuesta a las características y necesidades de la situación educativa, en especial a las necesidades y grado de conocimiento y destrezas de los estudiantes. Se divide en tres grandes bloques.

*I. Características y necesidades de los estudiantes.* En la práctica Docente se atendieron alumnos tanto del Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur, como de la Escuela Nacional Preparatoria, Plantel 5. En los alumnos del CCH-Sur se detectó una mayor disposición al trabajo y a la participación en grupo para realizar las actividades para el aprendizaje. La edad de los jóvenes en ambos planteles osciló entre los 15 y 18 años. Para los alumnos de la ENP se tiene que trabajar en lo siguiente:

*a) Hábitos Cognitivos.* De acuerdo con el Plan de Estudios el alumno de 6º año se encuentra en la Etapa III del bachillerato de la ENP, es decir, la etapa propedéutica y ya posee un cierto desarrollo cognitivo. Es ampliamente conocido que a pesar de que la ENP ha proporcionado un mayor peso específico a los lenguajes básicos (Español y Matemáticas así como la informática) el grado de adquisición no es el suficiente para esta última etapa del bachillerato. Lo que en general, les dificulta tanto leer textos relacionados con los contenidos de Física como el tomar notas durante la clase.

*b) Aptitudes y desempeño logrado: conocimiento acerca de las asignaturas, experiencia previa.* Parece como si el alumno no acumulara experiencia, como si cada día fuera el primer día de clase. Manifiesta falta de información o dominio de ésta acerca de los temas afines al nuevo tema. La desorganización, la falta de significado y la falta de claridad en la información procesada por el alumno es uno de los factores que afectan el uso de conocimiento anterior. En otras ocasiones, efectivamente existe la falta de información, lo cual limita seriamente la capacidad para reconocer los nuevos modelos y relacionar situaciones o problemas. El conocimiento muerto, es decir, aquel conocimiento que los estudiantes tienen pero que no pueden utilizar porque carecen de estrategias de memoria que les

permitan relacionar la información que llega con la ya adquirida es otra fuente de deficiencia en el uso de conocimiento que debería haber sido adquirido. El alumno llega al último año de preparatoria sin haber alcanzado un cambio sustantivo en sus actitudes o habilidades hacia el estudio.

*c) Aptitudes y desempeño logrado: conocimiento acerca de la asignatura, experiencia previa.* Los alumnos ya han cursado en Física IV la unidad de electromagnetismo. En principio deberían tener conocimientos básicos sobre la corriente eléctrica, circuitos, campo eléctrico y magnético, así, como de la síntesis de Maxwell. Pero existen muchos factores que limitan el que estos temas sean bien conocidos por los estudiantes cuando llegan a sexto año. Lo que significa que debe empezarse con una enseñanza de los principios básicos del electromagnetismo con el enfoque útil a esta secuencia didáctica.

*d) Actitudes y expectativas hacia la asignatura, los métodos de enseñanza y de aprendizaje, los materiales y medios didácticos.* Los alumnos de 6º año área I, comprenden las materias de Física y Matemáticas como los pilares sobre los que descansan sus estudios futuros; aunque acusen las deficiencias señaladas anteriormente en mayor o menor grado. En general se puede trabajar mejor con estos alumnos. Muchos de ellos son emprendedores, y dispuestos a aprender. Sus expectativas hacia los métodos de enseñanza las conciben como “*manera de enseñar del profesor*” y ésta por lo general no es del todo buena. En cuanto a los materiales y medios didácticos perciben limitaciones pero saben que pueden participar con la elaboración de algunos de éstos.

*II. Características del docente.* De acuerdo con Estévez,<sup>9</sup> se consideran características del docente: el grado académico, formación y experiencia docente, así como las que se mencionan los incisos *a)* y *b)* siguientes. Los primeros aspectos se pueden consultar directamente en el programa de la asignatura bajo el rubro de Perfil del Docente.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Cf. Estévez, *Op cit*, p. 140.

<sup>10</sup> Cf. Programa de Estudios de la asignatura de Física IV, área I, p. 21.

a) *Actitudes hacia la docencia y hacia la asignatura.* Promueve la enseñanza del electromagnetismo abusando de una perspectiva que más bien corresponde a la ingeniería. Por ejemplo, la ley de Faraday es ver motores eléctricos y medidores. La ley de Gauss para el magnetismo no se menciona en el programa de estudio pero sí se pide la Síntesis de Maxwell: la cual sería: “los aparatos eléctricos que ustedes ven funcionar en su casa”. En cuanto al profesor, las *actitudes y expectativas* hacia el tema es: “que no forme parte del programa de estudios”. Sólo dejan trabajos a los alumnos y les piden exponerlos, le dan la vuelta al tema o se presentan cuadros sinópticos para cubrirlo hasta en una clase.

b) *Material didáctico empleado.* Los materiales didácticos que se emplean son películas, experimentos demostrativos pero casi sin ningún sustento de desarrollo matemático (por elemental que este pueda ser). Los medios didácticos se reducen a las actividades de aprendizaje sustentados más en la metodología de disciplina. Los materiales didácticos algunas veces pueden ser vistosos pero casi nunca hay una explicación adecuada de los conceptos involucrados ni mucho menos cuantitativa. Las prácticas de laboratorio son de reciente incorporación pero no se puede trabajar con ellas (mal escritas, rutinarias, etc.)

III. Características institucionales. La infraestructura de la UNAM en el bachillerato es luz y sombra. Se pueden encontrar excelentes recursos y a la vez, hace falta lo más indispensable. Es cuestión de buscar y lograr reunir los elementos necesarios, lo cual puede ser más o menos fácil y rápido o toda una odisea y muy lento.

a) *Facilidades disponibles ( biblioteca, laboratorios, espacios, recursos, etc.)* La biblioteca del Plantel 5 “José Vaconcelos” está bien equipada y posee buenos libros para este nivel. En cuanto a los recursos, hay una tendencia a no crecer sino que cada vez recae más en el profesor y en los alumnos obtener los recursos mínimos indispensables.

b) *El nivel de explicitación y desarrollo de los programas institucionales.* Como se comentó en el planteamiento del problema que aborda el presente trabajo, el desarrollo del Programa de Estudios en algunos aspectos es deficiente.

c) *Modelo educativo vigente.* Autoaprendizaje o *aprender a aprender*.

d) *Innovaciones didácticas.* Un ejemplo de material didáctico elaborado recientemente en la ENP, es el manual de prácticas de laboratorio<sup>11</sup> que contiene algunas ideas innovadoras en el diseño de las prácticas de laboratorio; pero en general, dicho diseño contiene rasgos tradicionales (muy positivista su presentación).

De esta parte se pueden obtener los siguientes elementos para el diseño didáctico de la secuencia, la cual buscará mostrar que es viable enseñar la Síntesis de Maxwell a nivel de bachillerato de manera adecuada. Por ello, aunque sería más deseable elaborar material didáctico para el alumno, éste no tendría sentido ya que la Síntesis de Maxwell no se aborda para su enseñanza. De ahí que en este diseño se haya pensado en un material para el profesor, a quien se le proporcionará un soporte teórico y didáctico aprovechando que existe la infraestructura mínima necesaria en la escuela. Se considera que es posible mejorar las actitudes y expectativas de los alumnos hacia la Síntesis de Maxwell siempre y cuando el profesor mejore las suyas. Lo cual es uno de los propósitos de este trabajo. Por otra parte, las deficiencias del estudiante se manejarán mediante la implementación de estrategias cognitivas en la secuencia didáctica además del uso de experimentos demostrativos y métodos de trabajo propios de la Física. Se aprovechará en lo posible el “Manual de prácticas de laboratorio” y se propondrán algunos experimentos demostrativos.

**Conciliar discrepancias entre las tareas anteriores.** Aquí se determinan las compatibilidades e incompatibilidades que existan entre la información obtenida en la tareas anteriores para conciliar las discrepancias. En este análisis se parte de

---

<sup>11</sup> Cf. UNAM, *Manual de prácticas de Física IV área Físico- Matemáticas y de las Ingenierías*. México, UNAM, 2002.

que al establecer la materia de Física IV en el Programa de estudios de la ENP ya se analizó lo que esta materia puede aportar al estudiante. De que la incorporación del estudio de la Síntesis de Maxwell en el programa es correcta y que no hay por qué pensar en omitir su enseñanza en el nivel medio superior ya que ésta depende más de la realización e implementación de propuestas didácticas adecuadas al nivel del bachillerato.

De aquí se obtienen los siguientes elementos para el diseño didáctico de la secuencia: 1) Activar el conocimiento de los alumnos sobre la electricidad y magnetismo del curso de Física III (carga eléctrica, campos eléctrico y magnético y corriente eléctrica). Mediante una buena discusión de estos conceptos es posible pasar posteriormente a cada una de las ecuaciones de Maxwell en las que se considere de manera integrada los conceptos implicados en cada una de ellas (conceptos que en otras presentaciones aparecen primero como temas separados y posteriormente como un tema para “ver la Síntesis de Maxwell”). 2) Los conceptos implicados en las ecuaciones de Maxwell están interrelacionados fuertemente unos con otros, de manera que hay que separarlos en partes y jerarquizarlos para su manejo en el aula. 4) El método de la disciplina permite hacer las suficientes prácticas demostrativas y, como en el caso de la corriente de inducción en la que es difícil hacer un experimento se puede introducir, a la manera de Maxwell, el concepto de simetría. Lo que permite relacionar para cada ecuación de Maxwell un serie de experiencias ilustrativas así como la discusión de la analogía sobre las líneas respectivas. 6) Para la presentación, organización y conducción del proceso de aprendizaje es posible elaborar cinco secuencias didácticas buscando sistemáticamente la concatenación entre ellas hasta obtener una percepción clara y definida sobre la unidad conceptual que representa la Síntesis de Maxwell. Cada secuencia se caracterizará por una manera propia y diferente de abordarla didácticamente.

**Listado de directrices curriculares.** Son enunciados que sirven para orientar la planificación de la materia (en nuestro caso la unidad). Líneas que esbozan el para qué, el qué, el cómo y quiénes de la enseñanza con cierto enfoque filosófico.

Elementos para el diseño didáctico de la secuencia: El para qué: Impartir la enseñanza del electromagnetismo con un nivel correspondiente al del bachillerato, congruente con los lineamientos curriculares del plan de estudios. El qué: Formación integral que proporcione elementos cognoscitivos, metodológicos y afectivos que le permitan profundizar, progresivamente, en la comprensión de su medio natural y social, desarrollar su personalidad, definir su participación crítica y constructiva en la sociedad en que se desenvuelve en la perspectiva de la formación profesional universitaria. El cómo: 1) Enseñanza centrada en el alumno y en su actividad más que la del maestro o en los programas. 2) Los contenidos se constituyen no en el fin único del aprendizaje sino en medios para desarrollar habilidades y competencias que doten al alumno con herramientas que promuevan el autoaprendizaje; estructurados con arreglo a: la identificación de nociones básicas, identificación de problemas ejes. 3) Estrategias didácticas expresadas en actividades de aprendizaje con base en estrategias cognitivas que promuevan las competencias o habilidades de alumno para: la indagación, organizar información y aplicar información. 4) Enseñanza en atención con su estructura cognitiva (alumnos de la tercera etapa o propedéutica del bachillerato, 16-18 años de 6º año). 5) Construcción progresiva del conocimiento. 6) Equilibrio entre la promoción de adquisición de conocimiento y el uso del conocimiento. 7) Sentido crítico y reflexivo de las fuentes de conocimiento y concebir al conocimiento como un producto histórico. 8) Extender el dominio de los contenidos para incluir las estrategias cognitivas, actitudes y valores, de modo que el carácter propedéutico del desarrollo de la unidad contribuya al desarrollo integral del alumno. 9) Promover la Evaluación: Diagnóstica, Formativa y Sumativa como actividades del aprendizaje y simultáneamente como evaluación para los alumnos. 10) Promover la autoevaluación del profesor. 11) Promover la evaluación al profesor por parte del alumno, 12) Promover la metacognición como actividad de aprendizaje.

**Tarea 2.0.- Formular los objetivos generales y esbozar los contenidos.** En esta fase se inicia propiamente la construcción del diseño didáctico y en ella se

toman en cuenta las exigencias diagnosticadas y lo señalado como valioso y deseable en la fase anterior:

**Establecer las dimensiones del aprendizaje.** Cada alternativa se refiere a los distintos tipos o ámbitos de desarrollo del aprendizaje. Se requiere establecer cuáles dimensiones se trabajarán y determinarán el peso que tendrá cada una de ellas en la enseñanza de la *SEDITES-SM*.

Destrezas Mentales: habilidades, destrezas y estrategias cognitivas. Peso: 50%

Información: Conocimientos, datos, hechos. Peso: 40%

Actitudes: Demostración de preferencias, valores, sentimientos. Peso: 10%

**Identificar tipos de contenidos.** Para la elaboración de la *SEDITES-SM* se consideran cuatro tipos de contenidos, a saber: declarativo, procedimental, actitudinal y metacognitivo con la finalidad de fortalecer el desarrollo integral del alumno desde la materia de física.

*Contenido declarativo a considerar.* Este contenido es el correspondiente a las ecuaciones de Maxwell, se delimita para su enseñanza en dos grandes bloques, a saber: a) la electrostática y la magnetostática, por una parte, y b) la inducción de campos eléctrico y magnético variables en el tiempo, incluyendo a las ondas electromagnéticas. Se desarrollará, como tema, los conceptos fundamentales: carga eléctrica, ley de Coulomb y campos eléctricos y magnético corriente eléctrica y circuitos. Después, dentro de la inducción de campos se considera la corriente de desplazamiento, la naturaleza y propagación de la luz así como el espectro electromagnético.

*Contenido procedimental a considerar.* Relacionados con la instrucción. En este trabajo se refiere a aquel procedimiento que, en pasos secuenciados y relacionados entre sí constituyen una instrucción o un procedimiento específico que conduce a aprender tanto al procedimiento en sí como al contenido declarativo al que se refiere.

*Contenido actitudinal a considerar.* Se refiere a los diversos tipos de disposiciones para adquirir conocimientos y aplicarlos en el estudio. Se fomentarán actitudes y valores en relación con la discusión y el trabajo en equipo. Todas las secuencias deberán tener por lo menos una *actividad de aprendizaje* que permita al alumno valorar y reconocer resultados de la física o su método o la labor efectuada por los físicos.

*Contenido metacognitivo a considerar.* En relación con el *aprender a aprender* y el autoaprendizaje. En cada secuencia didáctica se promoverá la reflexión como parte del proceso de aprender a aprender, de adquirir valores y actitudes.

*I. Delimitación general de los contenidos.* Para trabajar en los objetivos en función de lo que se pretende enseñar. El contenido declarativo se basará en las nociones fundamentales, principios, leyes y las ecuaciones de Maxwell, en donde éstas son el eje principal para la estructuración de toda la unidad temática requerida por el Programa de Estudios. No se incluyen aspectos de la relatividad.

El contenido procedimental se refiere al cómo desarrollar una instrucción, una experiencia de laboratorio, un reporte, o construir un dispositivo, etc. Este contenido se manejará con más detenimiento cuando lo procedimental sea, precisamente, el obstáculo principal para el aprendizaje o la realización de actividades de los alumnos. El contenido actitudinal fomentará la observancia de la organización del curso en general pero sobre todo al cumplimiento de acuerdos y disposiciones para el sistema de evaluación. La observancia de normas de convivencia, así como la valoración de lo científico, tecnológico y cultural en la dirección de la formación integral del alumno mediante el desarrollo adecuado de sus actividades.

**Definir tipos de objetivos.** Para tomar en cuenta los elementos de la enseñanza, contenidos y condiciones de aprendizaje para la comprensión de la unidad y síntesis conceptual de los fenómenos electromagnéticos. Para ello, se consideran los verbos convenientes que expresan la acción o el desempeño que se va a realizar.

- 1) Declarativos / Verbo clave: *comprenderá*
- 2) Procedimentales / Verbo clave: *sistematizará*
- 3) Metacognitivos / Verbo clave: *reflexionará*
- 4) Actitudinales / Verbo clave: *valorará-expresará-reconocerá*

**Establecer variable instruccional.** Se refiere a las condiciones o contexto de enseñanza a partir de los cuales se intenta lograr los aprendizajes:

Condiciones materiales. Se implementarán experiencias demostrativas de laboratorio tanto por el profesor como por parte de los alumnos, se usará la computadora como medio de investigación práctica, bibliotecas, películas, etc.

Condiciones de referencia. Se implementará una sección para la revisión de las nociones fundamentales orientadas sistemáticamente hacia la integración y concatenación de los conceptos, principios y leyes para mostrar sus particularidades y su síntesis e integración.

**Listado de objetivos generales.** En general: fortalecer el logro del Perfil de Egreso de alumno y el carácter propedéutico del curso y de la unidad mediante el desarrollo de habilidades y destrezas en el manejo de los procedimientos implícitos en la exploración experimental, la organización de información y su aplicación en la resolución de problemas de la disciplina y de la realidad circundante. Desarrollar actitudes para que los alumnos expresen sus preferencias en relación al electromagnetismo, las disposiciones al aprendizaje y la convivencia. Promover el autoaprendizaje (aprender a aprender). En forma tentativa, que al finalizar la secuencia didáctica el alumno:

*A. Para el Contenido Declarativo:* Comprenderá los aspectos básicos del planteamiento matemático de las ecuaciones de Maxwell y su significado físico mediante el uso de las estrategias cognitivas apropiadas.

*B. Para el Contenido Procedimental:* Sistematizará procedimientos relacionados con el planteamiento abstracto, la instrucción y maneras de realizar algunos de los experimentos demostrativos mediante la redacción de la explicación de los fenómenos que se presenten.

*C: Para el contenido actitudinal.* Valorará el uso de las analogías como formas de emprender el aprendizaje; valorará su propio proceso de aprendizaje, así como los alcances y las aplicaciones de las leyes del electromagnetismo en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valorará el uso de estrategias cognitivas.

*D. Para el contenido metacognitivo.* Reflexionará sobre las dificultades para aprender sobre lo aprendido y cómo lo aprendió.

**TAREA 3.0.- ORGANIZAR Y DESGLOSAR CONTENIDOS Y FORMULAR OBJETIVOS PARTICULARES.** La finalidad de este paso es proporcionar estructura y desarrollo a los diferentes tipos de contenidos y formular de manera simultánea los objetivos particulares correspondientes.

**Identificar etapas del aprendizaje.** Se trata de identificar la etapa o nivel de aprendizaje que se quiere lograr y con ello el alcance de los contenidos en relación con los objetivos generales: En virtud de las materias antecedentes y paralelas y, dada la modalidad de curso teórico-práctico, que se imparte en 6º año, con carácter obligatorio y propedéutico; la etapa apropiada de aprendizaje para la SEDITES-SM se ubica en el concepto de “Síntesis integradora”, cuadro 8:

**CUADRO 8. SÍNTESIS INTEGRADORA**

<b>Contenidos declarativos (qué y acerca de qué)</b>	<b>Contenidos procedimentales (cómo se hace)</b>
Afirmación de las características de los temas estudiados; comprensión de las relaciones entre datos, hechos y conceptos; integración lógica, coherente y significativa de los temas analizados	Concientización y comprensión de la operación mental que define el proceso cognitivo o de los componentes del procedimiento

**Estructurar los contenidos.** Se requiere identificar cuál es el tipo de organización más adecuada para los fines de aprendizaje y para el tipo de conocimiento que se

trata de organizar: Se realizarán cinco secuencias didácticas, una para cada ecuación de Maxwell como partes de una secuencia general: las primeras dos se destinan a Ley de Gauss (Electricidad y Magnetismo); otra para la Ley de Faraday, una para la Ley de Ampere-Maxwell y la última para el desarrollo de la ecuación de onda electromagnética. Habrá un desarrollo didáctico particular para cada secuencia y uno general para toda la secuencia didáctica en su conjunto. La articulación de las partes se hará mediante un experimento demostrativo cuya explicación depende de la consideración de las ecuaciones de Maxwell en su conjunto.

El contenido declarativo se estructurará a partir de núcleos de conocimiento. Y el contenido procedimental en torno al desarrollo del contenido declarativo.

El contenido actitudinal se incrustará durante el desarrollo de los contenidos anteriores y el contenido metacognitivo englobará los aspectos principales de los demás contenidos.

**Formas de relación de las estructuras conceptuales.** En este trabajo se entiende por Síntesis de Maxwell la articulación efectuada por Maxwell de los conceptos de la electricidad y el magnetismo bajo un mismo lenguaje matemático y la creación de la visión unificada de los fenómenos electromagnéticos. Unificación que empieza con el establecimiento de la noción de líneas de fuerza y de campo, continúa con la introducción del concepto de corriente de desplazamiento, sigue con la determinación teórica de la velocidad de la luz, y alcanza su punto máximo con la predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas mediante el planteamiento matemático de la ecuación de onda.

Para lograr una visión integrada, a *diferencia* de cómo se estructuran los “núcleos” de conocimiento en el Programa de Estudio de Física IV, Área I, 6º año, aquí se considera el estudio de la Síntesis de Maxwell como la columna vertebral de la enseñanza del electromagnetismo y de toda la unidad. Es decir, los temas no se desarrollan en forma separada para luego y al final plantear la recapitulación de los temas para “construir” la Síntesis de Maxwell. Aquí cada ecuación de Maxwell

es *Núcleo básico* de conocimiento donde la ley que se estudia es el eje del desarrollo de aquellos temas que le dan soporte conceptual, fenomenológico y estructuran la ecuación.

Se propone estructurar jerárquicamente los temas de la secuencia de acuerdo a lo siguiente:

Conceptos fundamentales: carga eléctrica // ley de coulomb // campo eléctrico y magnético // corriente eléctrica

De este bloque se requiere poner especial énfasis en la caracterización del espacio que rodea a una carga en reposo y a una corriente eléctrica como campo vectorial eléctrico y magnético, respectivamente; también se requiere construir el concepto de líneas de campo. Posteriormente, la columna vertebral del desarrollo de los temas descansará en los conceptos de:

flujo // variación de flujo // inducción de campos // síntesis de maxwell // ondas electromagnéticas

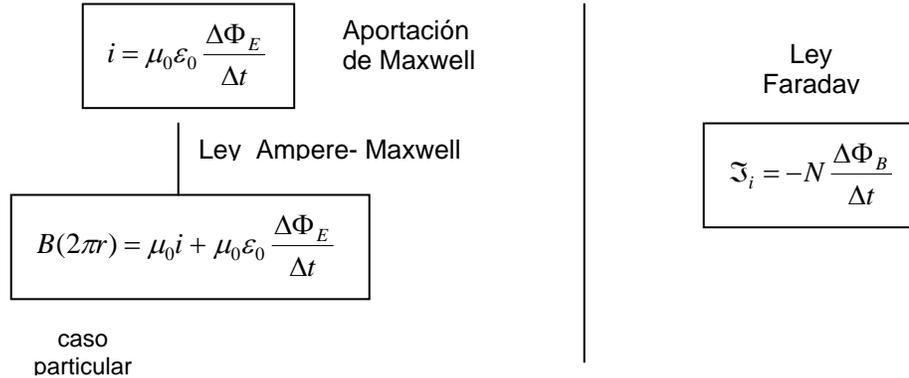
Se abordará el concepto de flujo tanto para el campo eléctrico como magnético:

flujo eléctrico // flujo magnético

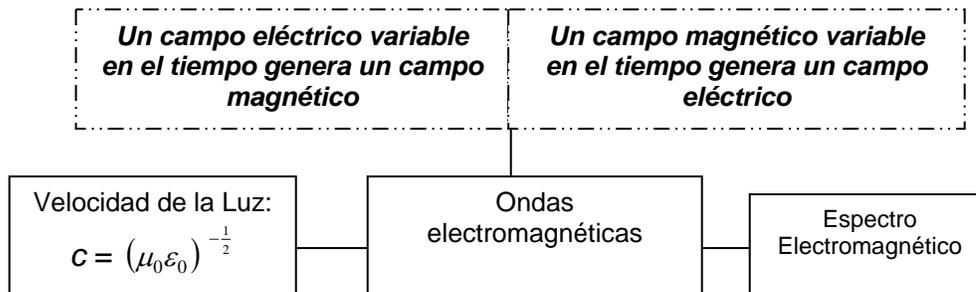
después se desarrollará el concepto de variación de flujo en los dos casos correspondientes:



posteriormente se abordará la inducción de campos:



Se culminará con la presentación de las ondas electromagnéticas, como se ilustra en el siguiente esquema:



Este desglose de ideas y de conceptos se integrará en forma de un *Organizador Previo* como una de las primeras actividades de la secuencia didáctica general. Este organizador será utilizado por el profesor y los alumnos durante toda la secuencia didáctica como: referencia, análisis y discusiones para el aprendizaje.

Cabe señalar que el desarrollo histórico no será considerado como eje central de la presentación de los contenidos. Este aspecto se trabajará como parte de los objetivos generales de la unidad. En esta *SEDITES-SM*, el funcionamiento de motores, generadores y medidores eléctricos, jugarán el papel de aplicaciones de lo aprendido.

**Formas de relación de las estructuras de procedimientos.** Este aspecto se procesará de acuerdo con un principio de relación de orden en los términos del

comentario efectuado en el párrafo correspondiente a la *Delimitación de contenidos procedimentales*.

### **Elaborar temario. Secuenciar contenidos y listado de objetivos particulares.**

Aquí se presentan estas tres tareas del *MODD* conjuntamente. Una vez elaborado el “*Organizador Previo*” sobre el contenido declarativo de la Síntesis de Maxwell, se procede a desglosar los contenidos para estructurar las diferentes secuencias:

#### I. Secuencia didáctica para ley de Gauss para el flujo eléctrico.

Propósitos: que al término de la secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Gauss para el flujo eléctrico mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren la comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de la ley de Gauss en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia // Introducción // Flujo de un campo de velocidades // Analogía entre flujo de agua y “flujo” eléctrico // Definición de “flujo” eléctrico para una superficie abierta // “Flujo” eléctrico a través de una superficie cerrada y Ley de Gauss // Ley de Gauss para el flujo eléctrico // La ley de Gauss y la Ley de Coulomb // El flujo del campo eléctrico es independiente de la forma de la superficie elegida // La ley de Gauss y el número de líneas de campo eléctrico // Conductor cargado aislado. Soporte experimental para la Ley de Gauss // El campo eléctrico externo // El campo eléctrico en un condensador de placas paralelas // Alcances y aplicaciones de la Ley de Gauss en los ámbitos científicos, culturales y tecnológicos // La ley de Gauss para la electricidad y la síntesis de Maxwell // Desarrollo del concepto de divergencia sólo para el profesor // Alcances y aplicaciones de la ley de Gauss para el flujo eléctrico en los ámbitos científico, tecnológico y cultural // Reflexión: cada alumno señalará en su *Organizador Previo* sus observaciones y comentarios, se discutirá en grupo los resultados de esta

actividad en cuanto a su aprendizaje. Elaborar un mapa conceptual sobre la ley de Gauss para el flujo eléctrico.

## II.- Secuencia didáctica para la ley de Gauss para el flujo magnético.

Propósitos: que al término del secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Gauss para el flujo magnético mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren la comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprece los alcances y las aplicaciones de la ley de Gauss en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su propio aprendizaje.

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia // Introducción // Ley de Ampere (análisis cualitativo) // Líneas de campo magnético para un alambre recto y largo // Ley de Ampere (análisis cuantitativo) // El campo magnético de un solenoide ideal // Fuerza magnética y fuerza de Lorentz // Fuerza ejercida sobre una corriente // Fuerza Magnética sobre una carga y fuerza de Lorentz // Fuerza y momento sobre una espira // Flujo magnético // Flujo magnético para una superficie abierta // El flujo magnético para una superficie cerrada y ley de Gauss // Desarrollo del concepto de divergencia sólo para el profesor // Alcances y aplicaciones de la ley de Gauss para el flujo magnético en los ámbitos científico, cultural y tecnológico // Reflexión: cada alumno señalará en su *Organizador Previo* sus observaciones y comentarios, se discutirá en grupo los resultados de esta actividad. El alumno reflexiona bajo el siguiente esquema:

<i>Actividad o concepto</i>	<i>Entendí</i>	<i>No entendí</i>	<i>Qué puedo hacer</i>

## III.- Secuencia didáctica para la ley de Faraday.

Propósitos: que al término del secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Faraday mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprece los alcances y las aplicaciones de la ley de Faraday en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia // Introducción // Situación problematizadora con ABP //  $fem$  // Variación de flujo magnético // Variación de flujo magnético en un solenoide // Ley de Faraday // Ley de Lenz //  $fem$  de movimiento // Generador y/o motor eléctrico // Alcances y aplicaciones de la ley de Faraday en los ámbitos, cultural, científico y tecnológico // Reflexión: cada alumno señalará en su *Organizador Previo* sus observaciones y comentarios, se discutirá en grupo los resultados de esta actividad en cuanto a su aprendizaje.

#### IV. Secuencia didáctica para la ley de Ampere-Maxwell.

Propósitos: que al término del secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la Ley de Ampere-Maxwell mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de la Ley de Ampere-Maxwell en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia // Introducción // Capacitancia de un condensador // Potencial eléctrico // Potencial eléctrico entre dos esferas cargadas y definición de capacitancia // Capacitancia de un condensador de placas paralelas // Un circuito RC // Ley de Ampere-Maxwell // Alcances y aplicaciones de la inducción de la ley de Ampere-Maxwell en el ámbito científico // Reflexión: cada alumno señalará en su *Organizador Previo* sus observaciones y comentarios, se discutirán en grupo los resultados de esta actividad en cuanto a su aprendizaje. El alumno, con el *coucheo* del profesor, hará un recuento de conceptos y su relación entre ellos sobre esta ley.

## V. Secuencia didáctica para las ondas electromagnéticas.

Propósitos: que al término del secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de las ondas electromagnéticas mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en la descripción de la ondas electromagnéticas y reconozca las ecuaciones de onda como parte de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.

Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia // Introducción // Producción de ondas electromagnéticas y el modelo cualitativo // Producción de ondas electromagnéticas por una carga puntual que se mueve lineal y aceleradamente // Producción de ondas electromagnéticas por medio de un dipolo eléctrico // Producción de ondas electromagnéticas por medio de una antena de media onda // El modelo cuantitativo // El espectro de ondas electromagnéticas // Alcances y aplicaciones de las ondas electromagnéticas en los ámbitos científicos, culturales y tecnológicos // Reflexión: cada alumno señalará en su Organizador Previo sus observaciones y comentarios, se discutirá en grupo los resultados de esta actividad en cuanto a su aprendizaje. Los alumnos efectuarán en grupo un cuadro que resuma lo más significativo de los aspectos que conforman la Síntesis de Maxwell.

**Tarea 4.0.- Seleccionar y desarrollar estrategias didácticas.** Para esta tarea deben tomarse en cuenta tres elementos: la naturaleza y secuencia de los contenidos, las necesidades y dificultades de los estudiante y los objetivos.

*Establecer filtros.* Como en todos los objetivos particulares está presente la comprensión de un contenido abstracto tanto en su aspecto matemático como en su aspecto físico se le dará prioridad al uso de estrategias cognitivas para los temas de mayor dificultad.

*Revisar taxonomías de estrategias.* Para esta tarea ver: “Cuarta Fase. Selección y desarrollo de estrategias didácticas y cognitivas”<sup>12</sup>.

*Decidir estrategias y su secuencia. Diseño específico de estrategias cognitivas. Diseño específico de estrategias cognitivas.* Se abordan estos tres aspectos de manera conjunta:

Se seleccionan primero las estrategias cognitivas (destinadas a apoyar los procesos del pensamiento). Su elección consiste en responder a las preguntas: cuál estrategia es la más apropiada para determinado contenido, con cuáles estudiantes y en qué momento durante la enseñanza. También se requiere explicitar cómo se piensa emplear cada estrategia y especificar su propósito y su función. Las estrategias cognitivas tienen tres funciones: A) usar estrategias para comunicar contenidos, B) activar estrategias cognitivas ya conocidas por el alumno y C) enseñar estrategias junto con los contenidos.

Posteriormente se seleccionan las estrategias organizativas (cuya finalidad es crear un clima propicio para el aprendizaje y están relacionadas con las actitudes). Consisten en una variedad de actividades tanto grupales como individuales que están estrechamente vinculadas con distintas actitudes y valores.

Finalmente se integran los dos tipos de estrategias y se explica el desarrollo particular de las estrategias cognitivas seleccionadas que especifica su forma de empleo con los estudiantes. Este desarrollo incluye el plan para enseñar estrategias por parte del maestro. Para ello se sugiere seguir : a) el “ modelo general para la enseñanza de estrategias” y b ) las orientaciones establecidas para cada estrategia en particular. El diseño específico de estrategias requiere determinar el plan de enseñanza de las estrategias cognitivas seleccionadas. Aquí se considera que primero hay que enseñar al alumno como utilizar una determinada estrategia por lo que el profesor efectuará la estrategia conjuntamente con los alumnos.

---

<sup>12</sup> Véase Estévez. *Op, cit*, pp. 79-118.

**Selección, secuencia, integración y diseño específico de estrategias didácticas.** En todos los casos el profesor enseñará a los alumnos a realizar las estrategias cognitivas al realizarlas conjuntamente.

Secuencia didáctica en general: Analogía de comparación entre los conceptos fundamentales entre los fenómenos mecánicos y eléctricos // Discusión de un “Organizador Previo” que jerarquice los conceptos (la finalidad de usar estas estrategias es la de activar los conocimientos previos del alumno mediante la discusión grupal) // Experimento demostrativo del encendido de un foco en un horno de microondas.

I. Secuencia didáctica para ley de Gauss para el flujo eléctrico: película, “El Universo Mecánico”. Vol. 8. Episodio 29. ILCE y establecer una analogía entre el flujo el de agua y el flujo eléctrico // Gráfica de recuperación tipo 1 sobre el planteamiento matemático del concepto de flujo // Mapa conceptual sobre la ley de Gauss // Consultar una dirección en *Internet* sobre el tema del producto escalar entre vectores // Reflexión: construcción de un cuadro que relacione situaciones, hechos, conceptos sobre los aspectos relevantes del tema de la ley de Gauss // Problemas // Uso de estrategias organizativas // *Las estrategias se usarán para reforzar la comprensión de los contenidos enseñados y el fomento de actitudes y valores.*

II.- Secuencia didáctica para la ley de Gauss para el flujo magnético: Uso de estrategias multipropósito en relación a diversos aspectos del campo magnético // Gráfica de Recuperación tipo 1, para las interacciones electromagnéticas // Cuadro de aspectos para la reflexión // Problemas // Resumen esquemático de las principales ideas en relación con la ley de Gauss en sus dos versiones // *Las estrategias se usarán para reforzar la comprensión de los contenidos enseñados.*

III.- Secuencia didáctica para la ley de Faraday. Utilizar el modelo de Aprendizaje Basado en Problemas como una estrategia de aprendizaje global pero reforzado con la siguientes estrategias cognitivas: Discutir analogía de Faraday relativa a las analogías que se usan en la física // Efectuar “Gráfica de recuperación tipo 1”

sobre la fuerza electromotriz // Resumen esquemático sobre las dos formas de enunciar la ley de Lenz en relación con la ley de Faraday // Hacer un resumen esquemático de resultados sobre la ley de Faraday con fines de apoyar a los alumnos a su explicación de encendido del foquito // Reflexión: narración de la explicación del fenómeno de inducción del encendido de un foquito. *El uso de esta estrategia tendrá el propósito de organizar el aprendizaje conjuntamente con los alumnos, la realizarán conjuntamente alumnos y profesor.*

IV. Secuencia didáctica para la ley de Ampere-Maxwell: Usar la analogía entre las operaciones de cargar un conductor y bombear aire en un tanque // Efectuar cuadro de relaciones sobre la dependencia de la capacitancia de factores geométrico // Gráfico de recuperación con nueve tipos de relación entre dos enunciados A y B // analizar en grupo el “mapa de araña” sobre nueve clases de relación que pueden establecerse en los mapas conceptuales y se elaborará un mapa conceptual correspondiente a la ley de Ampere-Maxwell aplicada a un condensador // Reflexión: hacer un recuento de conceptos y su relación en la ley de Ampere-Maxwell // problemas. *La estrategia de recuento la efectuarán entre profesor y alumnos para reforzar el aprendizaje.*

V. Secuencia didáctica para las ondas electromagnéticas: Gráfica de recuperación tipo 2 para las ondas electromagnéticas // Realizar cuadro de resumen sobre las ecuaciones de Maxwell // Reflexión: reporte de la explicación del experimento demostrativo del principio de la secuencia didáctica // La gráfica de recuperación la realizarán los alumnos y, posteriormente el profesor la desarrollará para su revisión.

*Nota:* La elaboración específica de las estrategias se puede observar directamente en cada una de las cinco secuencias. El “Plan de enseñanza” sólo se ejemplificará.

**Tarea 5.0.- Formular el sistema de evaluación del aprendizaje.** En esta tarea, con base en los diferentes tipos de evaluación, se toman las decisiones a partir de reflexionar sobre los propósitos educativos.

De acuerdo con la sección denominada “Quinta Fase. Formulación del sistema de evaluación” en este trabajo no se considerará la *evaluación continua* ni la *evaluación de actitudes* por lo que la evaluación resultante tampoco será de *carácter holístico* como propone el modelo de Estévez.

Por ser útil para el diseño didáctico, el enfoque de la evaluación que se propone en el presente trabajo, como se mencionó en esa sección, es el que la entiende como: *reconocer el déficit y las fortalezas asociadas con el proceso de la enseñanza-aprendizaje y en correspondencia, intervenir para subsanar anomalías tanto del estudiante como del profesor*. Por lo que indispensable agregar que la Evaluación Diagnóstica, la Formativa y la Sumativa se aplicarán en forma diferenciada y secuenciada de tal manera que el alumno pueda reconocer el “antes” y el “después” de su aprendizaje.

Como el modelo educativo es de *aprender a aprender* (autoaprendizaje), la evaluación estará *integrada* al proceso de enseñanza-aprendizaje. En este trabajo el tiempo requerido para el proceso evaluatorio se *incluirá* en el tiempo oficial de 30 horas otorgado para la unidad.

Se dará oportunidad a los alumnos de discutir, participar y establecer algunos criterios para la evaluación y de conocer aquellos criterios que son generales para todos. Se evaluará con apego a lo que realmente se enseñe. El resultado de este procedimiento adquirirá el estatus de *norma* que tanto el profesor como el alumno deberán respetar.

Se incluirá la *Autoevaluación del Profesor*, la *Evaluación al Profesor por parte de los Estudiantes* y la *Evaluación de Estrategias Cognitivas*, evaluaciones que constituirán la base para valorar cualitativamente tanto el aprendizaje de los alumnos como el diseño didáctico y el “Plan de Enseñanza<sup>13</sup>” implementados por el profesor.

---

<sup>13</sup> Nota: El “Plan de enseñanza” sólo se ejemplificará ya que su justificación no es parte del objetivo de este trabajo.

La siguiente figura 12, muestra la propuesta de evaluación del presente trabajo de tesis:

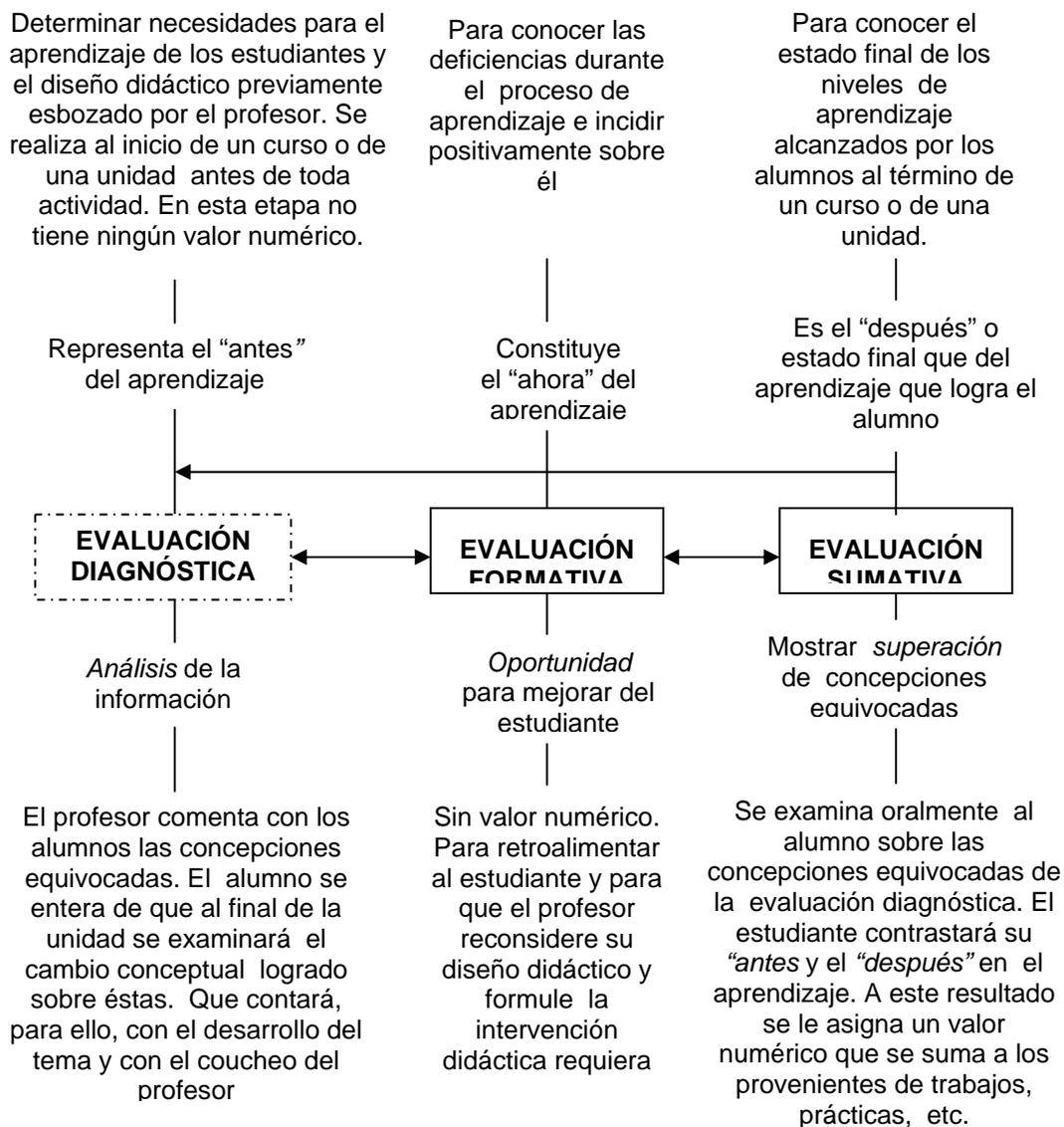


Fig.12 La Evaluación Diagnóstica en su primera fase: diagnóstica.  
En la segunda sirve para determinar el aprendizaje por cambio conceptual logrado por el alumno

De lo anterior: se establecerán *Criterios globales de evaluación* conjuntamente con los alumnos // Se implementarán los tres tipos de evaluación // La evaluación será conforme a la etapa de aprendizaje determinada para la unidad: "Síntesis integradora" // Para la evaluación sumativa se incluirá la resolución de problemas de transferencia de alto y bajo nivel adecuado al nivel de bachillerato // Se

evaluará el contenido declarativo y el procedimental (éste sólo en la ley de Faraday).

El resultado de estas consideraciones y la forma final de la propuesta de evaluación se incluye directamente en el desarrollo de la secuencia didáctica en el capítulo III. (Para ver el diseño didáctico específico sobre la evaluación que se implementó en la Práctica Docente II se puede consultar el Anexo I).

### CAPÍTULO III

#### Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell, (SEDITES-SM )

En este capítulo, se presenta la *SEDITES-SM*, que resulta de la aplicación del *MODD*. El contenido de la secuencia está dirigido al profesor para brindarle soporte teórico, experimental y didáctico. La estructuración de los temas y las actividades de aprendizaje proporcionan el apoyo necesario para que el profesor elabore su «Plan de Enseñanza» para la unidad IV: “Electromagnetismo”.

**Introducción.** Dada la complejidad de los temas para el nivel de bachillerato, la secuencia didáctica se construye a partir de casos sencillos en los que, aunque se pierde generalidad matemática, se conserva el contenido físico de la ecuación de Maxwell respectiva. En esta secuencia se busca que la enseñanza de los fenómenos electromagnéticos sea equilibrada entre una descripción cualitativa y una descripción cuantitativa por lo que se presenta cierto formalismo matemático para ser expuesto ante los alumnos; se considera que la expresión matemática de cada ecuación proporciona claridad sobre los conceptos involucrados en ella y sobre la manera de referirnos a los enunciados físicos del fenómeno que representan. Algunas consideraciones de teoría y expresiones matemáticas que no se expresan en forma sencilla, son referencias sólo para la consideración del profesor al momento de consultar la propuesta didáctica con fines de adquirir dominio sobre los temas. No obstante, la secuencia traduce en actividades de aprendizaje apropiadas al nivel de bachillerato aquellos planteamientos abstractos inevitables para el desarrollo de los conceptos.

El soporte teórico se construyó como núcleos de conocimiento en los que se desarrollan los conceptos físicos que cada ecuación de Maxwell involucra, siendo la Síntesis de Maxwell la columna vertebral para la enseñanza del electromagnetismo. En la exposición de los núcleos se incrustan las actividades de aprendizaje para los alumnos y los problemas respectivos. *El nivel de los problemas y las características de las actividades de aprendizaje son las que determinan la amplitud y profundidad de los temas que deben ser manejados ante los alumnos.* El soporte experimental se refiere básicamente a la realización de experimentos demostrativos. El soporte didáctico se refiere a las actividades que promueven los cuatro tipos de conocimiento: el declarativo, el procedimental, el actitudinal y el metacognitivo.

Es necesario que se desarrollen las actividades propuestas para los cuatro tipos de conocimiento, sin dejar de lado el contenido metacognitivo ya que el propósito fundamental es que el alumno *aprenda a aprender* mediante el uso de estrategias cognitivas. Se recomienda al profesor enterarse de las características del sistema de evaluación antes de iniciar la secuencia ya que ciertos aspectos de la evaluación son considerados como parte del proceso de aprendizaje del alumno.

**1. Aspectos generales de planificación y actividad inicial.** La *SEDITES-SM* está dividida en cinco secuencias didácticas correspondientes a cada una de las ecuaciones de Maxwell, a saber:

I. Secuencia Didáctica para la Ley de Gauss para el Flujo Eléctrico
II. Secuencia Didáctica para la Ley de Gauss para el Flujo Magnético
III. Secuencia Didáctica para la Ley de Faraday
IV. Secuencia Didáctica para la Ley de Ampere-Maxwell
V. Secuencia Didáctica para las Ondas Electromagnéticas

para las cuales, de acuerdo a los lineamientos del Programa de Estudios de la Asignatura de Física IV Área I (Físico-Matemáticas y de las Ingenierías), se ha considerado 30 horas/clase para su desarrollo, con las siguientes actividades :

Actividad	Horas /clase
1º. Aplicación de una Evaluación Diagnóstica para explorar las concepciones alternativas de los alumnos sobre aspectos relacionados con el electromagnetismo (conceptos, principios, leyes, funcionamiento de aparatos, datos históricos, etc.)	Una
2º. Establecimiento del proceso de evaluación	
3º. Comentarios del profesor sobre las concepciones alternativas que resultaron equivocadas en la Evaluación Diagnóstica y la posible forma de abordarlas en el transcurso de los temas.	Cinco
4º- Activación de conocimientos previos e Introducción al tema	
5º-Desarrollo de los temas correspondientes a los conceptos fundamentales: Carga eléctrica, Ley de Coulomb, Campos eléctrico y magnético, Corriente eléctrica.	

- *Evaluación Diagnóstica.* Para el desarrollo de esta evaluación, que se efectúa antes de cualquier otra actividad, se propone el siguiente instrumento:

## INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

Nombre del Alumno: \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

El siguiente cuestionario tiene como finalidad que el profesor conozca los conocimientos que Ustedes tienen sobre el tema del electromagnetismo para hacer un DIAGNÓSTICO y diseñar la estrategia de aprendizaje adecuada. Responda las preguntas tal como se le ocurra en el momento de contestarla.

I. La carga eléctrica es un concepto que se relaciona con la rama de la física llamada:
II. ¿Cómo se imagina un cuerpo electrizado?
III. ¿Cuáles son los modos de electrificar un cuerpo?
IV. ¿Qué dice la ley de Coulomb?
V. Qué entiende Usted por campo Eléctrico
VI. Qué entiende por Campo Magnético
VII. ¿Qué origina un campo eléctrico?
VIII. ¿Qué origina un campo magnético?
XI. ¿Comente lo que es la corriente eléctrica?
X. ¿Qué es un imán?
XI. Comente la ley sobre la que funciona un motor eléctrico:
XII. ¿Qué son las ondas electromagnéticas?
XIII. Qué tienen que ver las ondas electromagnéticas con los aparatos como la Televisión, la Radio y el Horno de microondas?:
VIX. Marque con una cruz los aparatos que ha visto funcionar: 1) Un circuito eléctrico    2) Una pila eléctrica    3) Un amperímetro    4) Un voltímetro 5) Un condensador    6) Una bobina    7) Un motor eléctrico    8) Una antena 8) Un generador de ondas electromagnéticas    9) Un solenoide
XV. Marque con una X los nombres de los científicos que ha escuchado mencionar: Faraday _____ Gauss _____ Maxwell _____ Ampere _____

- *Discusión de Criterios Generales para la Evaluación.* Para el desarrollo de esta actividad se sugiere discutir los siguientes aspectos:

*Aspecto didáctico:* Evaluación con apego a lo que realmente se enseña. Integrar la evaluación al proceso de enseñanza-aprendizaje (procurar que los alumnos comprendan lo que significa). Implementación de la Evaluación Formativa durante el desarrollo de los temas. Discutir su función (ver, un criterio para llevarla a cabo en la página 212 y una propuesta ejemplificada en la *Tabla N°2 Anexo II*).

*Aspecto técnico:* Determinar fechas de entrega de tareas, trabajos, prácticas, reportes, entre otros; así como: presentación, formato y características de los mismos, limpieza, ortografía, etc.

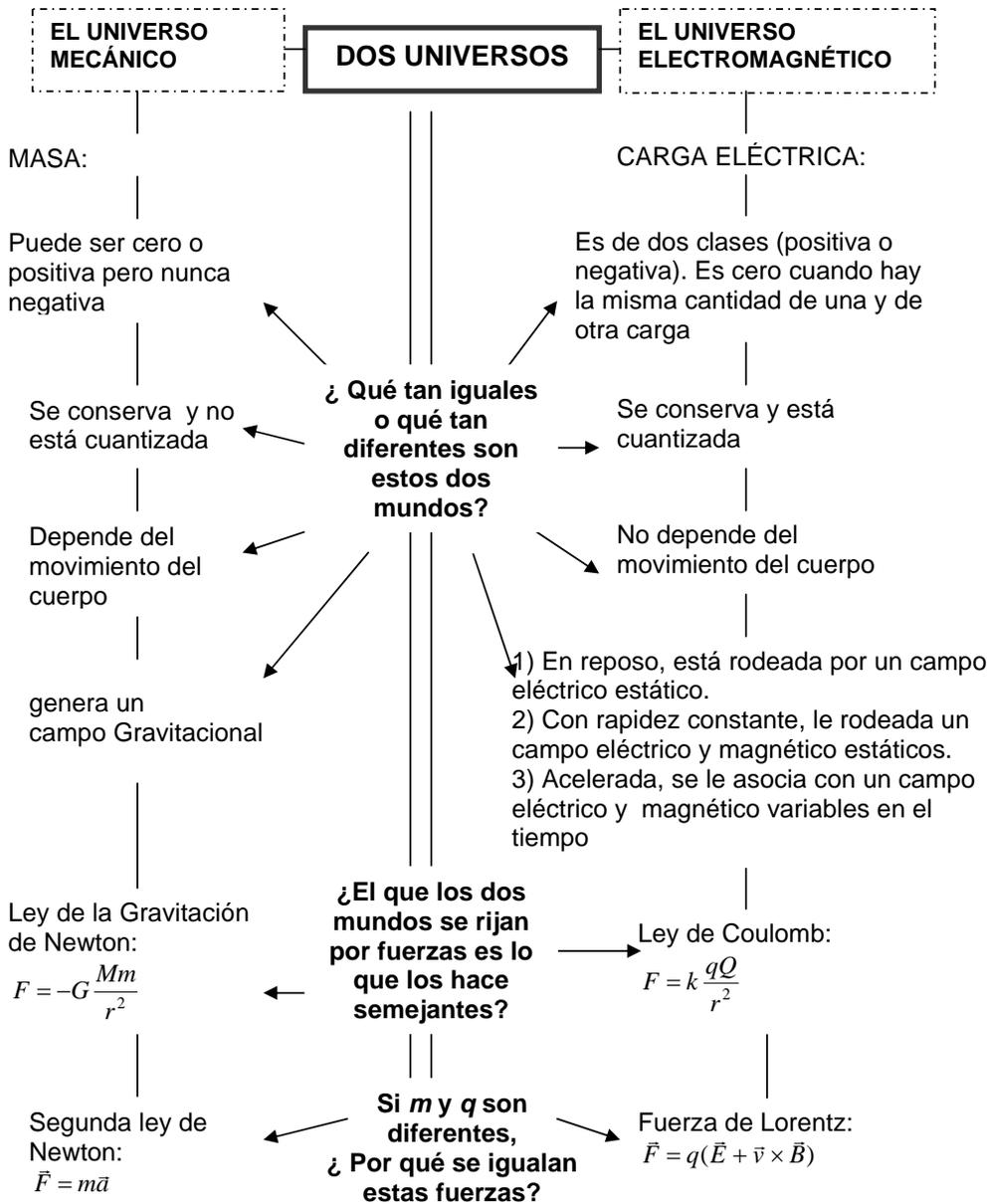
*Evaluación del Profesor a los Alumnos:* Se refiere a la Evaluación Sumativa. Aclarar cuales actividades son las que determinan este tipo de evaluación, cual es su propósito, función y los porcentajes de cada actividad.

*Evaluación de los Alumnos al Profesor:* Comentar su propósito y finalidad. Concebirla como una forma de retroalimentación para la actividad del profesor para mejorar constantemente el diseño didáctico de las actividades en el salón de clase. Se recomienda una evaluación de este tipo intermedia y otra al final.

- *Comentarios del profesor sobre las concepciones alternativas que resultaron equivocadas en la Evaluación Diagnóstica y la posible forma de abordarlas en el transcurso de los temas.* En esta actividad el profesor comenta ante los alumnos las concepciones alternativas que resultaron equivocadas en la evaluación diagnóstica y, que a su juicio, sea más relevante trabajar durante el aprendizaje de los temas. Adelanta el porque están equivocadas así como la concepción correcta y una estrategia para abordarlas. Las estrategias, pueden incluir experimentos demostrativos, actividades de aprendizaje o bien, determinadas estrategias cognitivas; las estrategias pueden ser de carácter general para ser aplicadas al grueso de los alumnos, o bien, de manera específica con algún alumno en lo particular. La finalidad, en todo caso, es dar un seguimiento a la superación de las concepciones alternativas equivocadas a lo largo de los temas.

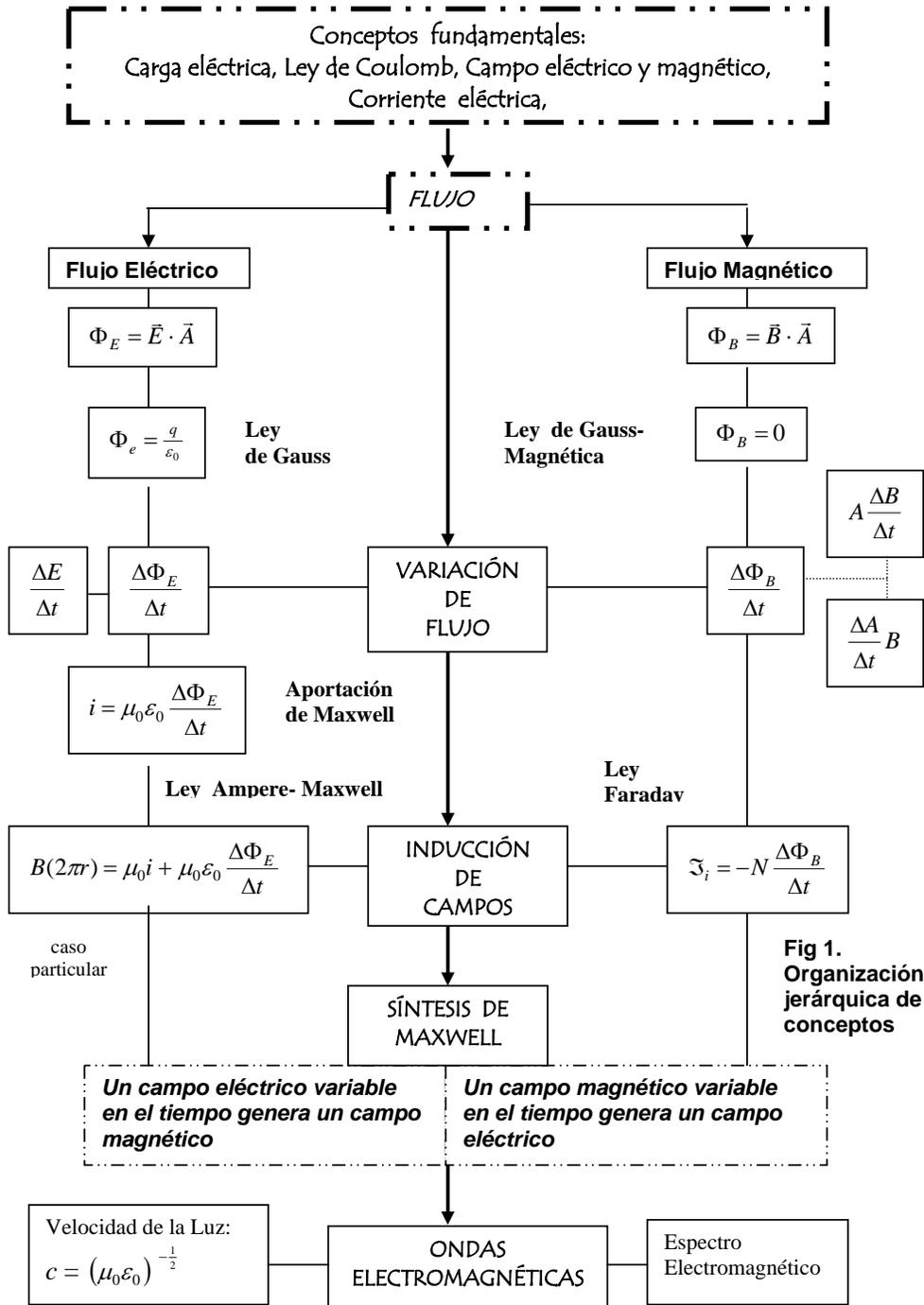
- *Activación de conocimientos previos e Introducción al tema.* Después de efectuar los comentarios sobre las concepciones alternativas equivocadas de los alumnos y la posible forma de abordarlas durante el desarrollo de los temas, se activan los conocimientos previos de los alumnos; para lo cual se proponen las actividades A y B. Para la introducción formal al tema se propone desarrollar la actividad C.

**A. Actividad de aprendizaje.** *Discutir en grupo el esquema denominado "Dos Universos". Se trata sólo de que el alumno perciba semejanzas y diferencias entre ambos dominios de conocimiento de la física.*



**B. Actividad de aprendizaje.** Efectuar el experimento demostrativo en el que se coloca un foco dentro de un horno de microondas (no más de 10 segundos). Se observará que el foco enciende. Establecer con los alumnos diversas preguntas y anotar las más significativas y mejor estructuradas. Indicar que su respuesta deberá hacerse al final de la secuencia didáctica con base en los conocimientos adquiridos durante el aprendizaje de las ecuaciones de Maxwell. Responder la pregunta: ¿Qué papel juega el campo magnético en el encendido del foco?

**C. Actividad de aprendizaje.** Por parte del profesor, comentar la organización jerárquica de conceptos contenida en el siguiente Organizador Previo:



Con esta actividad se pretende que el alumno perciba una secuencia, una lógica y una relación entre conceptos y temas relativos a la síntesis de Maxwell. Sin profundizar todavía en algún concepto en particular, lo importante es establecer una visión estructurada y panorámica que permita al alumno ver de dónde parte y a dónde va. Este esquema se utiliza durante todo el desarrollo de la secuencia didáctica, es conveniente que el alumno lo conserve y trabaje con él como se indicará oportunamente.

*-Desarrollo de los temas sobre conceptos fundamentales. se recomienda:*

**D. Actividad de Aprendizaje.** *Enfocar la atención en lo siguiente:*

*- Para la carga eléctrica: describir el estado neutro y no neutro de la materia, formas de cargar un cuerpo, noción de carga de Maxwell (ver analogía Anexo II), tipos de carga, concepto de carga puntual, principio de atracción y de repulsión, ley de Coulomb, y la cuantización de la carga.*

*- Para el Campo eléctrico: Describirlo como aquel que ejerce una fuerza sobre una carga eléctrica en todo punto del espacio. Con semillas de pasto en aceite, obtener diversos patrones de campo eléctrico. Caracterizar las líneas de campo eléctrico y comentar para diferentes configuraciones, que a cada punto del espacio se le puede asociar un único vector eléctrico tangente a ellas, es decir, reconocer este campo como campo vectorial.*

*- Para el Campo magnético (imanes, campo magnético terrestre). Visualización de las líneas de campo magnético de un imán de barra, utilizando limaduras de hierro. Establecer que a cada punto del punto del espacio se le puede asociar un único vector magnético, es decir: reconocer al campo magnético como campo vectorial. Inferir la ley de atracción y repulsión entre imanes.*

*- Para la corriente eléctrica: definición de corriente eléctrica, el concepto de diferencia de potencial y la características generales de un circuito eléctrico resistivo.*

En la medida que el alumno comprenda estos conceptos firmemente, que no exhaustivamente, podrá construir su conocimiento a medida que se desarrollen las diversas secuencias didácticas. Se trata de que el alumno se apropie del lenguaje apropiado, de establecer conceptos que le permitan empezar a formarse una idea de los fenómenos básicos del electromagnetismo y de como describirlos.

A partir de la séptima hora de clase y hasta la hora veintisiete, se desarrollan las cinco secuencias didácticas de acuerdo al siguiente cuadro:

Secuencia N°:	I	II	III	IV	V
Horas / clase	Cinco	Cinco	Seis	Dos	Tres

Las tres horas restantes:

Actividad	Horas/clase
- Reflexión final sobre la <i>SEDITES-SM</i> -Examen oral personalizado a cada alumno sobre aquellas concepciones alternativas que resultaron equivocadas en la evaluación diagnóstica y que se les dio seguimiento durante toda el desarrollo de toda la unidad.	Dos
Examen general sobre toda la unidad o secuencia didáctica: <i>SEDITES-SM</i> .	Una

*Para la reflexión final se considera el esquema de la figura 1. Se procura que los alumnos lo reconstruyan por sí mismos, lo expliquen, establezcan relaciones y muestren una comprensión unificada de los fenómenos electromagnéticos. Que hagan referencia a los experimentos y a las leyes involucradas o preguntas sobre aspectos no entendidos hasta entonces, etc. (a manera de preparación para el examen oral, ver última sección).*

Para la implementación de cada secuencia didáctica es necesario dividir las y secuenciarlas por día de clase conforme a un «Plan de Enseñanza» ( ver ejemplos en el Anexo II ).

**Plan de enseñanza:**

Tema: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de clase: \_\_\_\_\_ Profesor: \_\_\_\_\_

Tipo de Contenido	Estrategias didácticas y Actividades de aprendizaje	Recursos didácticos	Evaluación (en su caso)
<b>Apretura</b> Declarativo Procedimental Actitudinal <b>Desarrollo</b> Declarativo Procedimental Actitudinal <b>Cierre</b> Declarativo Procedimental Actitudinal			

## I. Secuencia didáctica para ley de Gauss para el flujo eléctrico.

**Propósitos:** que al término de la secuencia didáctica el alumno,

- 1) **Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Gauss para el flujo eléctrico mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.**
- 2) **Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren la comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.**
- 3) **Aprecie los alcances y las aplicaciones de la ley de Gauss en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.**

**Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia.** Aquí se aborda la ley de Gauss para el campo eléctrico. Antes de empezar esta secuencia es indispensable haber realizado la revisión de los conceptos fundamentales. Se verá el concepto de flujo de un campo de velocidades y, posteriormente, el de flujo de campo eléctrico estableciendo una analogía entre estos flujos que ayude a la mejor comprensión del concepto. Se discutirá el flujo de campo eléctrico a través de superficies abiertas y, a través de una superficie cerrada para establecer la ley de Gauss. Se presenta una sección sobre la relación entre ley de Gauss y número de líneas de campo eléctrico. También se discute la independencia del flujo eléctrico con respecto a la forma de la superficie elegida para determinarlo.

Se discute el soporte experimental para la Ley de Gauss y se aplica la ley para obtener el campo eléctrico entre las placas paralelas de un condensador. Se plantea también revisar los alcances y aplicaciones de la ley de Gauss en los ámbitos científico, cultural y tecnológico. Al final, se presenta el tema de la divergencia eléctrica para lectura *exclusiva* del profesor.

Desde el punto de vista didáctico, las actividades se basan en diversas estrategias cognitivas: mapa conceptual, gráficos de recuperación y de relación entre conceptos, y, solución de problemas. Se propone consultar una dirección en *internet* sobre el tema del producto escalar entre vectores. Como el alumno encontrará conceptos y planteamientos abstractos sobre los cuales puede no tener una referencia que provenga directamente de la vida cotidiana, el profesor deberá implementar el desarrollo didáctico, la evidencia física necesaria así como el aspecto matemático propuestos. El profesor encontrará una serie de actividades y reflexiones que son indispensables realizar para enseñar al alumno a: *aprender a aprender*.

**Introducción.** El matemático y astrónomo, Carl Friedeich Gauss (1777-1855) planteó la ley que lleva su nombre en términos matemáticos, lo que significa que muy probablemente no realizó experimento alguno que comprobara su enunciado. No obstante, en 1775, Benjamín Franklin obtenía evidencia física cuya explicación posteriormente sería dada por esta ley. Evidencia relacionada con el hecho de que la carga eléctrica en exceso en un conductor eléctrico aislado reside completamente en su superficie exterior.

**1. Flujo de un campo de velocidad.** El concepto de flujo proviene del latín *fluxus*, y éste de *fluere*, que significa fluir, manar. En el lenguaje cotidiano este concepto se utiliza para describir de manera general, por ejemplo, la circulación del agua por una tubería. Sin embargo, en el terreno científico es necesario construir su significado físico y una forma de calcularlo para analizar diferentes situaciones.

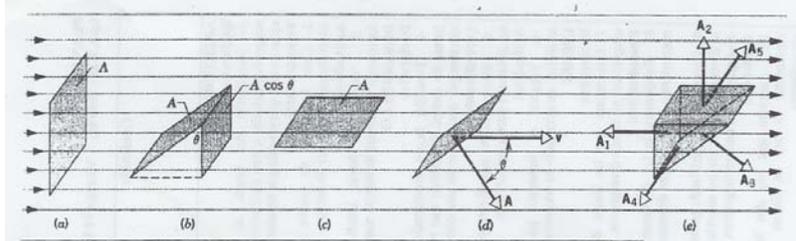
**A.1 Actividades de aprendizaje.** En equipos de cuatro alumnos, determinar el flujo de agua que circula por una manguera de sección transversal recta  $A$ . Para ello, medir la sección transversal, señalar una referencia de 2 a 3 m sobre la manguera para calcular la rapidez  $v$  de la velocidad de salida del agua. En un recipiente recolectar el agua que fluye durante cierto tiempo y determinar la cantidad de agua en metros cúbicos por segundo mediante el producto  $Av$ . Comprobar que coincide con la cantidad de agua recolectada.

Así, de la experiencia anterior se puede determinar que la operación  $(Av)$  representa la cantidad de agua que fluye a la rapidez  $v$  a través de la superficie  $A$  por unidad de tiempo. En la *Hidrodinámica de Fluidos* se conoce como *flujo de volumen*, se representa con el símbolo  $\Phi_v$  y tiene unidades de  $m^3/\text{seg}$ ,

$$\Phi_v = Av \quad (1)$$

**Líneas de corriente de un campo de velocidad.** La figura 1, muestra una superficie  $A$  con diferente orientación en relación con las *líneas de corriente* de un campo de velocidad. Cada línea corresponde a la trayectoria que siguen las partículas del fluido en su movimiento y en cada punto de estas líneas se puede definir un único vector velocidad tangente a ella que corresponde a la velocidad que tiene la partícula al pasar por ese punto. Es decir, las líneas de corriente no se pueden cruzar, de ser así en el punto de cruce se podría trazar un vector

velocidad tangente a cada a línea de corriente lo que significaría que una misma partícula de fluido tendría, al mismo tiempo, dos velocidades en ese punto lo cual no es físicamente posible. Nótese que las líneas de corriente tienen una orientación, la cual corresponde a la dirección en la que fluye el fluido.

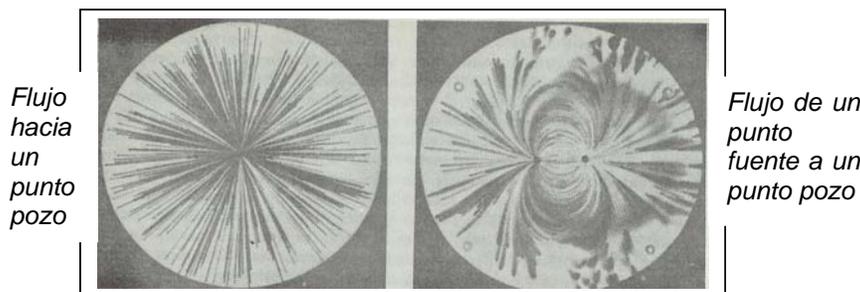


Líneas de campo de velocidad y superficies imaginarias.

Fia. 1

En este caso, como las líneas de corriente están uniformemente espaciadas quiere decir que la velocidad de las partículas del agua es la misma en todos los puntos, es decir, los vectores velocidad en cada uno de estos puntos tienen la misma magnitud, dirección y sentido a lo largo de las líneas de corriente y apuntan hacia la derecha; se dice entonces que el campo de velocidad es uniforme. No siempre este es el caso.

**A.2 Actividad de aprendizaje.** Construir una representación vectorial del campo de velocidad para cada figura partiendo de la siguiente información: 1) las líneas de corriente parten de la fuente y/o llegan al sumidero, y 2) la rapidez es mayor donde las líneas de corriente están más juntas que separadas. Explicar que los vectores constituyen una representación fija del fluido en la que el campo mismo no está fluyendo y que el flujo,  $\Phi$ , es una propiedad matemática inherente a cualquier campo vectorial en el que a cada punto del espacio se le asocia un único vector  $\vec{F} = \vec{F}(x, y, z)$ .



Flujo hacia un punto pozo

Flujo de un punto fuente a un punto pozo

**Flujo de un campo de velocidad en forma vectorial.** Ahora bien, la ecuación 1 se ha utilizado para un caso particular, en el que la superficie  $A$  es la sección recta de un tubo (forma un ángulo de  $90^\circ$  con la dirección en que fluye el agua). Sin embargo, la situación puede variar. La figura 2 ayuda a construir una expresión para considerar los casos en los que la superficie por la que atraviesa el fluido tiene una inclinación, por ejemplo, como en la figura 1b. En el lado izquierdo, la superficie  $A' = ab$ , es perpendicular a las líneas de corriente, las cuales, a su vez, cruzan la superficie inclinada  $A = bl$ , donde  $l$  es la longitud del rectángulo inclinado.

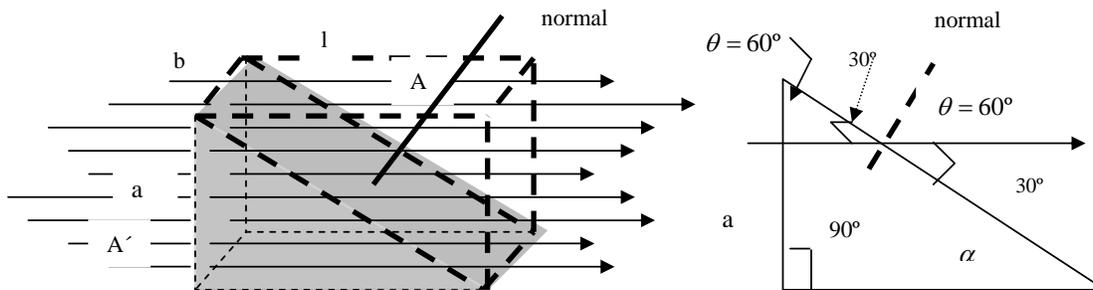


Fig.2 El flujo en ambas superficies es igual

De la figura del lado derecho, con la normal a la superficie por ejemplo, haciendo un ángulo  $\theta = 60^\circ$  se tiene,

$$a = l \operatorname{sen} \alpha = l \operatorname{sen}(90^\circ - \theta) = l \cos \theta$$

De modo que la superficie perpendicular a las líneas de corriente tiene un área  $A' = b(l \cos \theta) = A \cos \theta$  ya que  $bl$  es el área de la superficie inclinada. Esta cantidad representa la proyección de la superficie  $A$  y es la superficie neta sobre la cual se calcula el flujo, es decir

$$\Phi_v = vA' = vA \cos \theta \quad (2)$$

Como ambas superficies interceptan el mismo número de líneas de corriente, se dice que el flujo a través de ambas superficies es el mismo.

**A.3 Actividad de aprendizaje.** Utilizar la expresión (2) para analizar cualitativamente el flujo resultante en cada caso de la figura 1. En el último caso, se tiene una superficie cerrada por cuyas caras laterales fluyen diferentes flujos, la normal se considera hacia fuera.

Por otro lado, si a cada orientación de la superficie en la figura 1, se le asigna un vector  $\vec{A}$  perpendicular a ella que determine su magnitud y orientación con respecto a la línea de flujo, y se considera el vector velocidad  $\vec{v}$  correspondiente que la atraviesa; la expresión (2), representa el producto escalar entre estos vectores, lo que se escribe como,

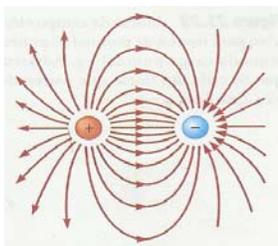
$$\Phi_v = \vec{A} \cdot \vec{v} \quad (3)$$

ya que, para cualesquiera dos vectores, por definición  $\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta$  donde  $\theta$  es el ángulo que hay entre los ellos. Cuando se considera el flujo como  $A(v \cos \theta)$  se puede decir que el flujo se define como la componente de la velocidad proyectada sobre el vector de superficie; lo que es equivalente a considerarlo como la componente del vector perpendicular proyectada sobre el vector velocidad, es decir  $v(A \cos \theta)$ .

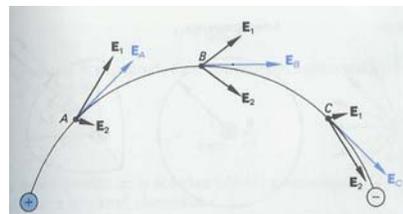
**A.4 Actividades de aprendizaje.** Visita la dirección, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vsca.html> y efectúa algunos cálculos del producto escalar siguiendo las indicaciones, las cuales te ayudarán a adquirir habilidad y destreza.

**2. Líneas de campo eléctrico.** En la sección de conceptos fundamentales se han observado diversos patrones de campo eléctrico utilizando semillas de pasto. Una manera de visualizarlos geoméricamente es dibujar líneas que apunten en la misma dirección que el vector de campo eléctrico en cualquier punto. Estas líneas, denominadas ahora, *líneas de campo eléctrico*, se relacionan con el campo eléctrico en cualquier región del espacio de la siguiente manera:

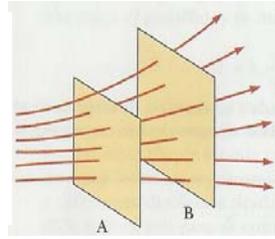
1) Las líneas de campo eléctrico empiezan en la carga positiva y terminan en la carga negativa.



2) El vector de campo eléctrico  $\vec{E}$  es tangente a la línea de campo eléctrico en cada punto.



3) El número de líneas por unidad de área a través de una superficie perpendicular a las líneas es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en esa región. Es decir,  $E$  es más intenso, en A, cuando las líneas de campo están más próximas entre sí que cuando están más separadas, en B.



4) Ningún par de líneas de campo puede cruzarse, por razón análoga con el campo de velocidad

5) El número de líneas dibujadas saliendo de una carga positiva o aproximándose a una carga negativa es igual a la magnitud de la carga. ( se discute más adelante)

**3. Analogía entre flujo de agua y “flujo” eléctrico.** En algunas ocasiones el flujo definido en términos matemáticos coincide con el flujo de algo de lo cual entendemos perfectamente lo que circula, tal como el agua. Sin embargo, en el flujo eléctrico, no necesariamente tenemos una percepción directa de *qué* es aquello que fluye. Veamos lo que dice al respecto Richard P. Feynmann<sup>1</sup>

*En el caso de un campo eléctrico, podemos definir matemáticamente algo análogo a un flujo saliente, que también llamaremos flujo, pero por supuesto no es el flujo de una sustancia, porque el campo eléctrico no es la velocidad de nada.*

Esta afirmación nos lleva a considerar la situación de un modo más general. Para ello, se considera que el flujo es una propiedad de todo campo vectorial; en el caso eléctrico (que también es un campo de este tipo en el que a todo punto del espacio que rodea a una carga eléctrica se le asocia un único vector  $\vec{E}$ ) podemos dejar de lado la especificación de qué es aquello que fluye y empezar a entender que lo que define al flujo eléctrico es la operación matemática en *sí misma*, es decir: “el producto de un vector  $\vec{A}$  con un vector eléctrico  $\vec{E}$  que la atraviesa”.

Con esta idea, como seguramente el lector ya empieza a notar, encontraremos en la siguiente sección, conceptos del campo de velocidad que también son aplicables al caso eléctrico pero con su respectiva diferencia. Como en este caso, en el que el concepto de flujo eléctrico es utilizado más con un sentido matemático que con un significado físico.

<sup>1</sup> Feynmann Richard P. Física The Feynman Lectures on Physics. Electromagnetismo y material, Volumen II. P. 1-7

**A.5 Actividades de aprendizaje.** Observar y analizar los conceptos presentados en la película: *El Universo Mecánico. Vol. 8. Episodio 29. ILCE* y establecer una analogía entre el flujo de agua y el flujo eléctrico, valorando aquello que es diferente, igual o parecido.

#### 4. Definición de “flujo” de campo eléctrico para una superficie abierta.

Consideremos un campo eléctrico uniforme generado, por ejemplo, entre las placas paralelas de un condensador y coloquemos una superficie imaginaria plana y perpendicular a las líneas de campo, como se ilustra en la figura 3.

Campo eléctrico uniforme entre las placas paralelas de un condensador (que no se muestra en la figura)

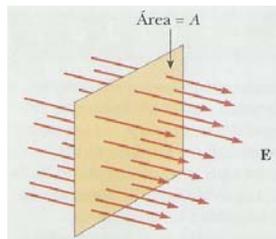
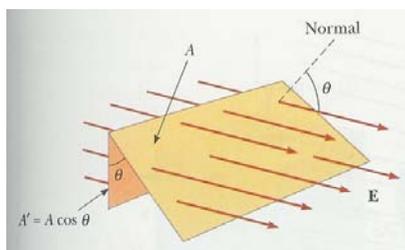


Fig. 3

Las líneas de campo penetran la superficie rectangular  $A$ , el flujo eléctrico a través de ésta, por analogía con el campo de velocidad, es

$$\Phi_E = AE \quad (4)$$

Nuevamente, si la normal a la superficie forma un ángulo  $\theta$  con las líneas de campo eléctrico, figura 4, el número de líneas que atraviesan el área  $A'$  es igual al número de líneas de campo eléctrico que cruzan  $A$ .



La cantidad  $A' = (A \cos \theta)$  es la proyección de  $A$ . Representa la superficie neta sobre la cual se calcula el flujo eléctrico

Fig. 4

El flujo a través de ambas superficies es el mismo y se calcula como,

$$\Phi_E = AE \cos \theta \quad (5)$$

La unidad correspondiente es el  $\frac{Nm^2}{C}$ . Considerando al flujo como  $E(A \cos \theta)$ , se puede decir que el flujo eléctrico es igual al producto de la componente del vector

de área proyectada sobre el vector de campo eléctrico y considerando  $A(E \cos \theta)$  el flujo eléctrico es igual la proyección del vector eléctrico sobre el vector de área asignado a la superficie. Al igual que en el caso del campo de velocidad, esta operación es la expresión del producto vectorial entre los vectores eléctrico y de superficie, es decir

$$\Phi_E = \vec{A} \cdot \vec{E} \quad (6)$$

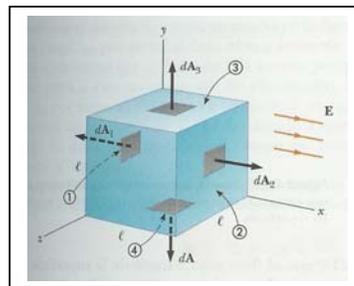
**Problema 1.** Calcular el flujo eléctrico a través de una superficie cuya magnitud es de  $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  y forma un ángulo de  $75^\circ$  con respecto a las líneas de campo eléctrico  $E = 1.0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ .

**Problema 2.** Se coloca un hemisferio de radio  $R$  en un campo eléctrico uniforme. Encuentre una forma fácil de calcular el flujo sobre esta superficie y dos formas equivalentes de calcularlo. Obtener un resultado numérico si la intensidad de campo eléctrico es  $2.0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  y el radio de la esfera es  $R = 1,0 \text{ cm}$

**5. “Flujo” eléctrico a través de una superficie cerrada.** En muchos casos interesa calcular el flujo eléctrico a través de una *superficie cerrada* que se conoce con el nombre de superficie gaussiana; la cual divide el espacio en una región interior y una exterior de tal manera que no se puede pasar de una región a otra sin cruzar la superficie, por ejemplo, una esfera, un cubo.

#### A.6 Actividad de aprendizaje.

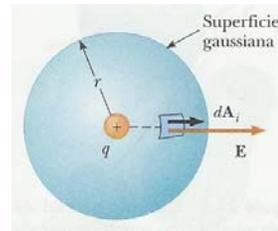
Considerando áreas finitas para cada lado del cubo, calcular el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada cúbica que no contiene carga, colocada en un campo eléctrico uniforme



Hasta ahora la ecuación  $\Phi_E = AE \cos \theta$  ha sido aplicada para superficies *planas abiertas o cerradas* donde el campo eléctrico es constante en todos los puntos de la superficie. Consideremos una superficie esférica cerrada que encierra a una carga puntual positiva, como se ilustra en la figura 5.

Campo eléctrico  
generado por una  
carga puntual

Fig. 5



En este caso, ¿cómo se aplica esa fórmula para obtener el flujo total que sale de la esfera? Hagamos las siguientes observaciones: la magnitud del campo eléctrico  $E$  a una distancia  $r$  de la carga puntual  $q$  es constante sobre toda la superficie y

está dada por  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$ . Sin embargo, la dirección y sentido del campo eléctrico

cambia de un punto a otro sobre la superficie imaginaria, lo que no sucedía para superficies planas. ¿Qué hacer?

Se puede pensar en lo siguiente, por ejemplo: la superficie de la tierra es “redonda” pero el cuadro de un mosaico de este salón es plano. ¡ Es casi imposible observar su curvatura ! Es decir, por analogía, la superficie esférica total tiene una curvatura pero si la subdividimos en pequeñas secciones  $\Delta\vec{A}$  éstas pueden ser consideradas como planas.

Por otra parte, al hacer la superficie cada vez más y más chica para que parezca plana, estamos logrando algo muy importante, a saber: que las diferentes direcciones que tienen los vectores de campo eléctrico que atraviesan la superficie se parezcan mucho entre sí. De modo que, cuando se considere un cuadro plano infinitamente pequeño, se podrá escoger a uno de ellos, como aquel que lo atraviesa.

**A.7 Actividades de aprendizaje:** Para este caso, simular y representar visualmente, los conceptos matemáticos que intervienen en la construcción de la expresión para el flujo eléctrico. Cada estudiante debe señalar sobre la superficie de una esfera de unicel, pequeños elementos de superficie,  $\Delta\vec{A}$ . Usar palillos para dientes de dos colores, unos que representen el campo eléctrico y otros que representen al vector  $\Delta\vec{A}$ . Representar, de esta manera, el producto punto entre los vectores para algún punto de la superficie simulando la magnitud, dirección y sentido de cada uno de estos vectores. Argumentar que entre más subdivisiones haya, en cada  $\Delta\vec{A}$  queda definido un campo eléctrico que no varía apreciablemente. Relacionar lo anterior con un proceso a límite.

Considerando el análisis cualitativo anterior y habiendo subdividido la superficie total en secciones muy pequeñas  $\Delta\vec{A}$ , en cada elemento de área el campo eléctrico no cambiará apreciablemente de una sección a la contigua. Ahora podemos aplicar la ecuación  $\Phi_E = EA \cos \theta$  en cada uno de esos pequeños elementos reemplazando  $\vec{A}$  por  $\Delta\vec{A}$ . El flujo eléctrico para *un sólo elemento de superficie* es,

$$\vec{E} \cdot \Delta\vec{A} = E \Delta A \cos \theta$$

donde  $E$  es la magnitud del campo eléctrico cuya dirección y sentido es también constante y  $\Delta A$  es la magnitud del elemento de área seleccionado. Si se construyen un número infinito de estos elementos y los sumamos se tiene,

$$\Phi_E = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \cdot \Delta\vec{A}_i = \lim_{n \rightarrow \infty} [\vec{E}_1 \cdot \Delta\vec{A}_1 + \vec{E}_2 \cdot \Delta\vec{A}_2 + \dots + \vec{E}_n \cdot \Delta\vec{A}_n] \quad (7)$$

Es decir, cuando el número de elementos de superficie tiende a infinito o sea cuando el área del elemento tiende a cero,  $\Delta\vec{A}_i \rightarrow 0$ ; sumando, se obtiene el flujo total a través de toda la esfera. En tal caso, se escribe

$$\Phi_E = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \cdot \Delta\vec{A}_i \quad (8)$$

#### **A.8 Actividad de aprendizaje.** Hacer Gráfica de Recuperación TIPO 1.

<b>Aspecto</b>	<b>Planteamiento</b>	<b>Procedimiento</b>
<i>La superficie es curva</i>	<i>Hay que representarla como plana</i>	<i>Aumentando indefinidamente el número de elementos de área</i>
<i>El campo eléctrico en una superficie curva apunta en diferentes direcciones en cada punto de la misma aunque su magnitud pueda ser constante</i>	<i>Al considerar elementos de superficie planos muy pequeñas, los vectores eléctricos en los diversos puntos tienden a parecerse más y más sobre la pequeña superficie</i>	<i>Aunque nadie va subdividir una esfera imaginaria en partes infinitamente pequeñas es una manera heurística de razonar muy útil que permite escribir los conceptos en términos matemáticos precisos.</i>
<i>El campo eléctrico y los elementos de área son magnitudes vectoriales que obedecen ciertas operaciones</i>	<i>Se considera el producto vectorial en el límite de los vectores eléctrico y elemento de área y se suman todos éstos productos</i>	<i>Aunque no se suman directamente un número infinito de términos, se tiene la forma de representar matemáticamente la suma</i>
$\Phi_E = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \cdot \Delta\vec{A}_i$ es el flujo total a través de toda la superficie	<i>La expresión <math>\vec{E} \cdot \Delta\vec{A}_i</math> representa el flujo en un pequeño elemento de superficie <math>\Delta\vec{A}</math></i>	<i>Este modo de sumar se llama "suma genérica de términos" porque todos ellos tienen algo en común</i>

**6.- Ley de Gauss para el “flujo” eléctrico.** De la expresión (8) obtenida en la sección anterior podemos obtener la Ley de Gauss para el flujo eléctrico para una carga puntual positiva (figura 5) de la siguiente manera:

$$\Phi_E = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \cdot \Delta A_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n E_i \Delta A_i \cos \theta = \lim_{n \rightarrow \infty} E \sum_{i=1}^n \Delta A_i$$

ya que el campo eléctrico  $E$  es constante a una distancia  $r$  y, a la vez, es factor común en toda la suma. Como el ángulo entre los vectores eléctricos y cada elemento de área es cero  $\cos 0^\circ = 1$  y, la suma del lado derecho es igual al área de la superficie total que encierra a la carga eléctrica. Se tiene lo siguiente,

$$\Phi_E = \lim_{n \rightarrow \infty} E \sum_{i=1}^n dA = \left[ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \right] (4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

o sea,

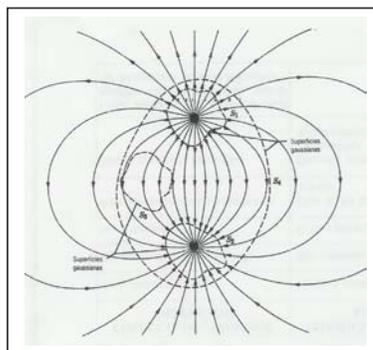
$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (9)$$

Es decir, la carga eléctrica  $Q$  contenida en la superficie cerrada es proporcional al flujo eléctrico, donde  $\epsilon_0 = 8.85418 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{Nm}}$  es la constante de proporción.

Aunque el resultado se obtuvo para una superficie esférica, éste es válido para cualquier tipo de superficie cerrada donde la carga esté contenida en ella.

**Problema 3.** Una carga puntual de  $1.0 \times 10^{-7} \text{coul}$  se ubica en el centro de una esfera de radio 3.0cm. Use la ley de Gauss para encontrar el campo eléctrico en diversos puntos ( ver figura 5)

**Problema 4.** Analizar el flujo debido a un dipolo eléctrico para las superficies,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  y  $S_4$  si las cargas contenidas son iguales y si una es el doble de la otra.



**La ley de Gauss y el número de líneas de campo eléctrico.** Para Faraday las líneas de fuerza significaron mucho más que un dispositivo heurístico. Usó tanto esta concepto y con tanto éxito que llegó a creer en las líneas “físicas” de fuerza que tenían propiedades y comportamiento preciso: *“actuaban como bandas de hule, longitudinalmente bajo tensión y se repelían unas a otras lateralmente”*.

William Thomson (Lord Kelvin), en trabajos publicados en 1847 y 1854, prestó atención a las analogías matemáticas entre teorías sobre el flujo de un fluido, el flujo del calor y la elasticidad, por un lado, y la electrostática y el magnetismo, descritos por líneas de fuerza, por otro. Faraday, consideró que estas analogías apoyaban su punto de vista sobre las líneas de fuerza.

James Clerk Maxwell, impresionado tanto con la concepción de Faraday de las líneas de fuerza como con las analogías matemáticas de Thomson analizó el concepto de líneas de fuerza en sus primeros trabajos sobre el electromagnetismo. Sin embargo, en el *Treatise on Electricity and Magnetismo*, publicado en 1837, solamente quedaban las ecuaciones matemáticas y el concepto de campo como base de su teoría electromagnética; ya no se presentaban las ideas heurísticas de fuentes de fluido, vórtices y de los modelos de líneas de fuerza.

Ahora bien, ¿la visualización del campo eléctrico en términos de líneas de campo es consistente con la ley de Gauss? Para responder esta pregunta consideremos una superficie esférica imaginaria de radio  $r$  concéntrica que encierra a una carga puntual positiva donde la magnitud del campo eléctrico,  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  es la misma en todas partes sobre la superficie de la esfera. Supongamos que el número total de líneas  $N$  que emergen (radialmente hacia fuera) de la carga positiva atraviesan la superficie esférica ( $4\pi r^2$ ) y que este número de líneas es proporcional al flujo eléctrico, es decir,  $N \propto EA$ . Si escogemos la constante de proporcionalidad como  $\epsilon_0$  (permisividad del espacio libre), el número total de líneas de campo eléctrico que la atraviesan es  $N = \epsilon_0 EA$ . Aplicando la expresión para el campo eléctrico debido a una carga puntual y la del área de una esfera, se tiene:

$$N = \varepsilon_0 \left( \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \right) [4\pi r^2] = q$$

es decir, el número de líneas de campo eléctrico que salen de la carga y que atraviesan la superficie es igual a la carga encerrada por la superficie (como se comentó en la sección II). O sea, bajo esta consideración, no se puede dibujar cualquier número de líneas de campo eléctrico atravesando la superficie una vez que se ha escogido una constante de proporcionalidad. A su vez, lo anterior implica que habrá una densidad de líneas por unidad de área sobre la esfera definida por  $\frac{N}{4\pi r^2}$ ; esto justifica la afirmación hecha anteriormente en el sentido de que ahí donde haya mayor número de líneas de campo eléctrico concentradas en una determinada área el campo eléctrico será más intenso que donde haya el mismo número de líneas pero en un área mayor.

Así, la ley de Gauss, se refiere a que *“el flujo eléctrico es proporcional al número de líneas de campo eléctrico que penetran alguna superficie cerrada”*, es decir

$$\Phi_E = \frac{N}{\varepsilon_0}.$$

Pero, en términos de la descripción matemática de un campo vectorial, como se ha dicho, las líneas de campo o de fuerza eléctricas son líneas imaginarias trazadas de tal manera que su dirección en cualquier punto es la misma que la dirección del campo eléctrico en ese punto. De modo que si los vectores eléctricos están definidos en todo punto del espacio entonces el número de líneas de campo ( como construcciones geométricas ) es infinito y llenan todo el espacio de acuerdo con el concepto matemático de campo vectorial. En este orden de ideas, las líneas de campo tampoco salen de la carga eléctrica ya que el campo no está definido para una distancia cero de la carga. Lo anterior nos previene a considerar las líneas de campo eléctrico de tal manera que no se debe abusar de su uso como modelo que ayuda a explicar ciertos aspectos del campo eléctrico. En la práctica, para efectuar diversos tipos de análisis, a las líneas de campo eléctrico se les atribuye cierta realidad física. Para ello, por convención, se asignan aproximadamente  $1.81 \times 10^{-8}$  líneas de campo eléctrico emanando de un electrón y de  $36\pi \times 10^9$  para un Coulomb (*Coul*) de carga eléctrica.

**7.- Ley de Gauss y ley de Coulomb.** Para hacer ver formalmente la relación entre estas dos leyes consideremos una esfera como superficie gaussiana. Es decir,

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = EA = \left( \frac{F}{q_0} \right) (4\pi r^2)$$

de donde

$$F = \frac{q_0 Q}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

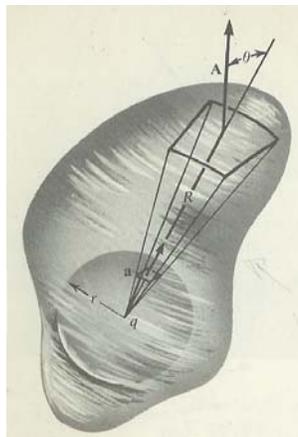
De modo que estas leyes son equivalentes cuando se aplican a cargas estacionarias. Sin embargo, aunque la importancia de la ley de Coulomb en la física es fundamental, la ley de Gauss es una de las ecuaciones de Maxwell mientras que la Ley de Coulomb no lo es. ¿ Se puede considerar este resultado como una evidencia física de la ley de Gauss?

**8.- Independencia del “flujo” de campo eléctrico de la forma de la superficie elegida.**

La ecuación (9) indica que el flujo eléctrico es independiente de la superficie puesto que no aparecen factores geométricos que hagan pensar lo contrario. Sin embargo, abordemos la situación de tal manera que se aprecie que el resultado depende de que en la ley de Coulomb se tiene una dependencia con el inverso al cuadrado de la distancia. Consideremos el campo eléctrico generado por una carga puntual aislada positiva encerrada al mismo tiempo en dos superficies como se ilustra en la figura 6.

En las dos superficies el flujo es el mismo sin importar su forma

Fig. 6



- 1) Flujo a través del pedazo exterior,  
 $\vec{E}_R \cdot \vec{A} = E_R A \cos \theta$  ,
- 2) Flujo a través del pedazo interior,  
 $\vec{E}_r \cdot \vec{a} = E_r a$

Como

$$E_R A \cos \theta = \left[ E_r \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \left[ a \left( \frac{R}{r} \right)^2 \frac{1}{\cos \theta} \right] \cos \theta$$

entonces  $E_R A \cos \theta = E_r a$  se tiene que el flujo eléctrico a través de estos elementos de superficie es el mismo. El flujo total también debe ser el mismo a través de las dos superficies completas, ya que lo mismo sucede para cualquier elemento de superficie exterior en correspondencia con uno de la superficie esférica y porque la superficie exterior es de forma y tamaño *arbitrarios*. Así, el flujo del campo eléctrico a través de cualquier superficie que contenga una carga  $q$  es,  $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$ .

**A.9 Actividades de aprendizaje.** *Traspasar una esfera de unicel grande con cierto número de popotillos (que representen a la cantidad de carga) y encerrar todo en otra superficie triangula. Argumentar, cómo este dispositivo ilustra que el flujo eléctrico es independiente de la forma de la superficie e igual a la carga encerrada. Definir, por ejemplo, para un Coulomb de carga eléctrica una cierta cantidad de cuántas líneas de campo eléctrico le corresponden.*

### 9. Conductor cargado aislado (soporte experimental para la ley de Gauss).

En los comienzos de la electricidad, Benjamín Franklin, introdujo una esfera de metal cargada positivamente dentro de una lata metálica en estado neutro. Evitó que la esfera tocara la superficie interna de la misma y se indujo una distribución de carga debido a la atracción eléctrica entre las cargas de distinto signo. En el interior de la lata se distribuyó la carga negativa y en el exterior su carga positiva. Posteriormente, al tocar el fondo de la lata con la esfera cargada positivamente tanto ésta como la superficie interna se descargaron completamente, pero la superficie exterior quedó con un exceso de cargada positiva  $Q$ .

A su vez, Michael Faraday diseñó un experimento para mostrar cualitativamente que *el exceso de carga reside completamente en la superficie exterior de un conductor aislado*, esté hueco o no; para lo cual, construyó una gran caja, en la cual se introdujo y no pudo detectar carga eléctrica alguna en su interior mientras que en su exterior se producían grandes chispazos eléctricos.

Ahora bien, la ley de Gauss nos permite probar este importante enunciado acerca de los conductores aislados. Por ejemplo, consideremos un conductor hueco cargado como se ilustra en la figura 7.



Conductor hueco  
cuya carga eléctrica  
emigra totalmente  
hacia el exterior

Fig. 7

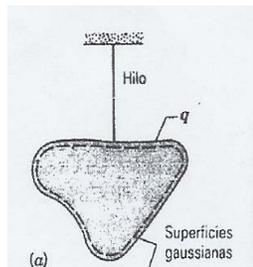
Se observa que en el interior del conductor hay ausencia de campo eléctrico por que no se ha formado algún tipo de patrón de líneas de campo como en la parte exterior donde las semillas de pasto se alinean perpendicularmente a la superficie externa, revelando la carga exterior y el campo eléctrico generado por ella.

**A.10 Actividades de aprendizaje.** En equipos, según las condiciones, los alumnos construirán el dispositivo real de la figura 7 o bien, simularán el experimento usando diversos materiales y vincularán el resultado experimental con los aspectos teóricos.

En la figura 8 se muestra un conductor aislado que cuelga de un hilo y es portador de una carga positiva neta  $q$  en su superficie exterior. La línea a trazos muestra la sección transversal de una superficie gaussiana que se encuentra justo por debajo de la superficie exterior del conductor pero lo suficientemente separada de ésta como para no contener a ninguna de las cargas ubicadas en el exterior.

Superficie gaussiana  
imaginaria dentro de  
un conductor

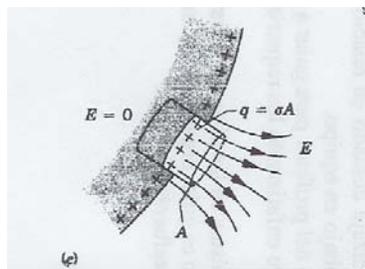
Fig. 8



En condiciones de equilibrio, el campo eléctrico dentro del conductor debe ser cero. Si no fuera así, el campo ejercería una fuerza sobre los electrones de conducción que están presentes en cualquier conductor, y se generarían corrientes eléctricas internas. Sin embargo, por experimentación, se sabe que no existen tales corrientes en un conductor aislado. Los campos eléctricos aparecen dentro de un conductor durante el proceso de carga, pero estos campos no duran mucho. Las corrientes internas actúan rápidamente para redistribuir la carga agregada de tal modo que los campos eléctricos dentro del conductor son cero, las corrientes cesan, y las condiciones de equilibrio electrostático prevalecen.

Si el campo eléctrico es cero en todas partes dentro del conductor, debe ser cero en todos los puntos de la superficie gaussiana seleccionada en la figura 8, ya que dicha superficie fue construida totalmente dentro del conductor. Esto significa que el flujo a través de ésta superficie debe ser cero. Por consiguiente, la ley de Gauss nos dice que la carga neta dentro de la superficie gaussiana debe también ser cero. Ahora bien, si la carga no está dentro de dicha superficie entonces sólo puede estar afuera, es decir: sobre la superficie exterior del conductor. De modo que probar que la carga se encuentra por completo en la superficie exterior, es una manera de probar la ley de Gauss.

Por otro lado, como la carga eléctrica en exceso en un conductor aislado se mueve por completo a su superficie y se distribuye por sí misma en ella, se puede aplicar la ley de Gauss para encontrar el campo eléctrico próximo a la superficie. La figura 9 muestra una superficie gaussiana cilíndrica muy pequeña, en la que  $A$  es el área de las dos tapas de los extremos.



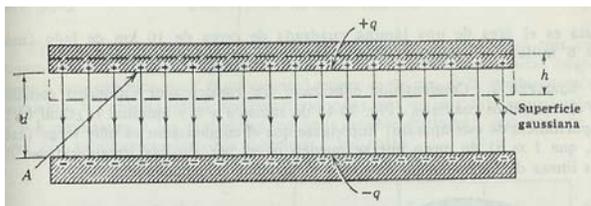
Superficie gaussiana: "caja de píldoras"

Fig. 9

El cilindro es perpendicular a la superficie del conductor y las tapas del cilindro son paralelas entre sí. Una de las tapas se encuentra totalmente dentro del conductor y la otra completamente fuera. Una vez alcanzado el equilibrio electrostático, el campo eléctrico debe ser perpendicular a la superficie, de lo contrario habría todavía movimiento de carga sobre ella. El flujo eléctrico en la tapa de adentro es cero porque el campo eléctrico es cero en todos los puntos. El flujo a través de las paredes cilíndricas es cero porque el campo eléctrico es paralelo a la tapa en la zona clara, es decir, perpendicular al vector normal de superficie. Si consideramos la ley de Gauss con  $q = \sigma A$  se tiene,  $q = \epsilon_0 \phi_E = \epsilon_0 EA$  de donde

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (10)$$

**10. El campo eléctrico en un condensador de placas paralelas.** Aprovechando el análisis anterior, vamos a calcular el campo eléctrico que existe entre las placas paralelas de un condensador aplicando la ley de Gauss. Consideremos una superficie gaussiana como se indica en la figura 10.



Aplicación de la ley de Gauss-Electricidad para calcular el campo eléctrico en un condensador de placas paralelas

Fig. 10

Sin considerar el efecto de borde en las orillas del condensador, el campo eléctrico es uniforme como lo indican las líneas de campo. En la cara de la superficie dentro de la placa metálica, el campo eléctrico es cero y en las caras laterales  $\vec{E} \cdot \vec{A} = 0$ . Sobre la cara inmersa en el campo, el vector de campo eléctrico es constante en todo punto y paralelo al vector de superficie, de modo que,  $\epsilon_0 \phi_E = \epsilon_0 EA = q$  y,

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad (11)$$

**Problema 5.** Dos placas metálicas de área  $1.0 \text{ m}^2$  están colocadas frente a frente y separadas 5 cm. Si el campo eléctrico es  $55 \text{ N/Coul}$ . ¿cuál es la carga en las placas?

**11. Alcances y aplicaciones de la ley de Gauss para el flujo eléctrico en los ámbitos científico, tecnológico y cultural.** La ley de Gauss se aplica para calcular el campo eléctrico cuando hay una gran simetría de la distribución de la carga; por ejemplo, para una línea infinita de carga uniforme, para un plano infinito uniformemente cargado y distribuciones de carga con simetría esférica. Por ejemplo, para un cascarón esférico delgado uniformemente cargado se utilizan dos superficies cerradas esféricas, una dentro del cascarón y otra afuera del mismo. Se puede demostrar que el cascarón se comporta: en los puntos externos, como si toda la carga estuviese concentrada en su centro, y que en todo punto interior no se ejerce fuerza electrostática sobre una partícula cargada.

Si un campo eléctrico externo se aplica, por ejemplo, a un conductor hueco cargado y se introduce una esfera metálica, ésta no mostrará desviación aun en el caso en el cual un campo eléctrico externo se aplicara al sistema entero. El campo eléctrico dentro de él seguiría siendo nulo. Esta capacidad de los conductores de “bloquear” los campos eléctricos externos se utiliza en muchas formas, desde los escudos electromagnéticos para los componentes de computadora hasta los finos recubrimientos metálicos en los vidrios de las torres de control en los aeropuertos para evitar que la radiación originada fuera de la torre afecte la electrónica en el interior de la misma. Los usuarios de teléfonos celulares que viajan en cierto tipo de trenes deben hablar muy alto para ser escuchados sobre el ruido del tren. En respuesta a las quejas de otros pasajeros, las compañías ferroviarias están considerando revestir las ventanas con un delgado conductor metálico. Este revestimiento, combinado con el marco metálico del carro del tren, bloquea las transmisiones del teléfono celular hacia el interior y fuera del tren.

La ley de Gauss se puede utilizar también para calcular el campo eléctrico entre dos cilindros coaxiales. Estos cables son indispensables en los aparatos y en las telecomunicaciones modernas de hoy en día. Otro resultado importante de la ley de Gauss es que, ésta predice la cantidad de carga eléctrica encerrada en una superficie ya sea que la carga este o no en movimiento.

**Comentario [MVT1]:** No sé si valdría la pena mencionar que se construyen jaulas de Faraday especiales que encierran instrumentos muy delicados de forma que no se vean afectados por campos electromagnéticos externos.

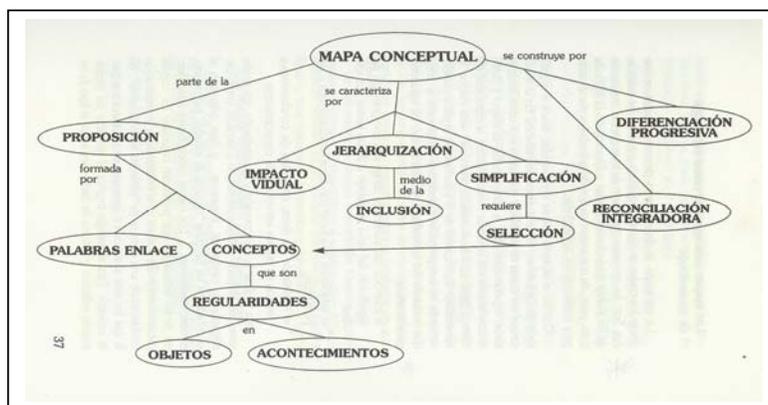
**A.11 Actividad de aprendizaje.** Los alumnos discutirán, en equipos de tres, y valorarán el hecho de que la ley de Gauss fue planteada primero matemáticamente y luego se le relacionó con cierta evidencia física. Aceptará esta forma de proceder como una forma actual de actuar en otros campos de conocimiento de la física.

**A.12 Actividad de aprendizaje.** Mediante discusión en grupo, el alumno valorará el impacto social del uso de la propiedad de los conductores aislados para bloquear los campos eléctricos externos.

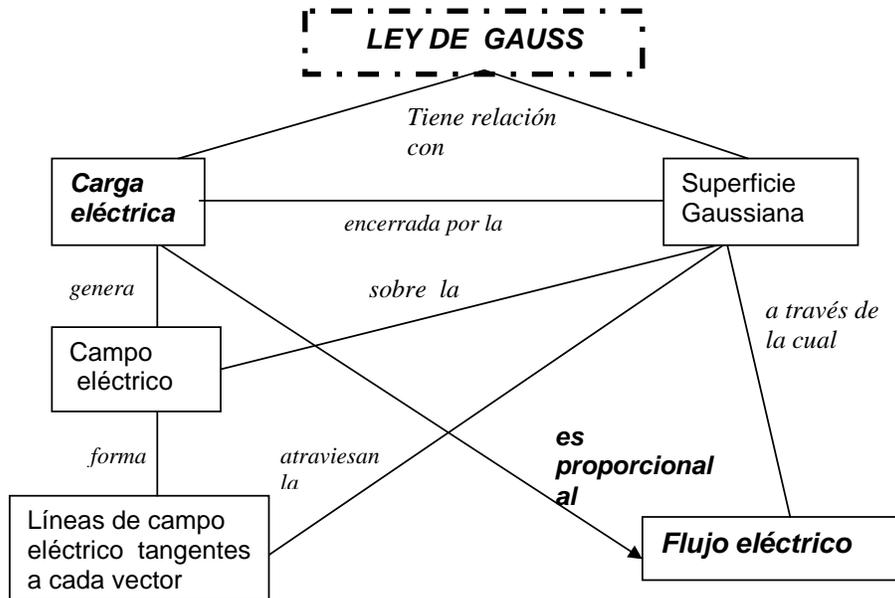
**12. Reflexión.** Una vez que se ha considerado este núcleo de conocimiento es necesario que el alumno reflexione, sobre este contenido. Para lo cual se recomiendan las siguientes actividades:

**A.13 Actividades de aprendizaje.** Ubicar la ley de Gauss para el flujo eléctrico y su conexión con los demás temas (antecedentes y consecuentes). Cada alumno señalará en su esquema correspondiente a la figura 1 sus observaciones y comentarios. Discusión en grupo de los resultados de esta actividad.

**A.14 Actividades de aprendizaje.** Mapa conceptual sobre la ley de Gauss. El profesor, enseña a los alumnos a hacer mapas conceptuales con base en el mapa conceptual que aquí se presenta. El mapa conceptual fomenta la producción y asociación de ideas en una estructura organizada en la que se jerarquizan los conceptos en modo útil para quien lo realiza y refleja el grado de comprensión del material enseñado. Los mapas conceptuales también se pueden hacer en equipo, fomenta la tolerancia y discusión de las ideas.



Con la participación del grupo, por ejemplo, puede quedar de la siguiente manera:



**A.15 Actividades de aprendizaje.** El profesor conjuntamente con los alumnos pueden construir un cuadro que relacione situaciones, hechos, conceptos, por ejemplo:

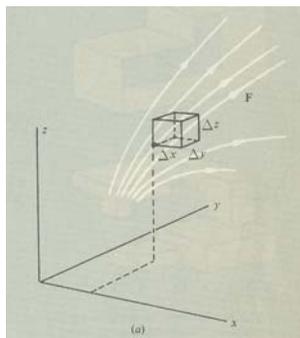
**Tabla 2. Reflexión sobre el contenido declarativo.**

<b>A</b>	<b>Tipo de relación</b>	<b>B</b>
La repulsión entre cargas del mismo signo	es la causa de	que se distribuya toda la carga eléctrica en la superficie de un conductor
El flujo eléctrico	es una propiedad	del campo vectorial eléctrico
$\epsilon_0$ veces el flujo eléctrico a través de una superficie que encierra a una carga eléctrica	es igual	a la carga encerrada por la superficie
La definición de flujo de agua, matemáticamente	es equivalente a	la definición de flujo eléctrico
La física que hay entre el flujo de agua	no es igual a	A la física que hay en el caso de flujo eléctrico
Una superficie gaussiana	es una parte	Indispensable del cálculo matemático para el flujo eléctrico
La ley de Coulomb	se deriva	de la ley de gauss
Qué el flujo eléctrico es independiente de la forma de la superficie	es una consecuencia de	que la ley de Coulomb depende del inverso al cuadrado
El número de líneas que atraviesan una superficie en el flujo eléctrico	es igual	A la carga encerrada por la superficie

**13. Divergencia del campo eléctrico (tema exclusivo para el profesor).** Este tema se presenta al profesor con la finalidad de que le sea útil para reafirmar algunos conceptos involucrados en el estudio del electromagnetismo. El desarrollo, se basa en una propiedad característica de todo campo vectorial en torno a un punto  $P$  denominada, *divergencia de campo eléctrico*. La cual es una magnitud escalar que se refiere a una de las dos operaciones básicas para los campos vectoriales (la otra operación es el rotacional) que son de vital importancia en la formulación de la teoría electromagnética.

Hasta aquí se ha analizado el flujo a través de superficies cerradas, (esferas, cubos) que limitan a un volumen finito  $V$  utilizando directamente la suma infinita del flujo eléctrico a través de pequeñas superficies  $\Delta A$ . Ahora se parte del análisis del flujo a través de una superficie que delimita a un volumen elemental  $\Delta V$  (apenas más grande que un punto  $P$  del espacio) para, posteriormente, comentar su relación con el flujo total a través de la superficie de  $V$ .

Ahora bien, para un campo eléctrico, en torno a un punto  $P$  del espacio se puede construir un pequeño volumen  $\Delta V$  que contenga al punto y que en su interior haya una cantidad de carga  $Q' = \rho \Delta V$  donde  $\rho$  es la densidad de carga por unidad de volumen. A través de las caras que limitan a este volumen habrá entonces un flujo neto como se ilustra en la siguiente figura.



Cubo de volumen  $\Delta V$  en la zona donde existe un campo vectorial  $\vec{E}$ . Las líneas de flujo atraviesan las caras laterales del cubo

Omitiendo el desarrollo matemático formal, el flujo a través de la superficie que limita al elemento de volumen  $\Delta V$ , es:

$$\Phi_{E, a \text{ través del elemento de volumen}} = \Delta V (\text{divergencia del campo eléctrico}) \quad (a)$$

donde la “*divergencia del campo eléctrico*” resulta ser la suma de la variación por unidad de longitud de cada componente del vector eléctrico en su *propia* dirección:

$$\text{Divergencia del campo eléctrico} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \quad (\text{b})$$

Para ilustrar cualitativamente el concepto, consideremos un campo eléctrico constante en todo punto  $P$  del espacio. En tal caso, la divergencia del campo eléctrico en  $P$  es nula ya que las dos últimas derivadas parciales son cero porque el campo eléctrico no tiene componentes en esas direcciones y la variación del campo eléctrico en la dirección  $x$  de las líneas de campo es nula puesto que el campo eléctrico es constante. De modo que, por la ecuación (a), el flujo a través de la superficie del elemento de volumen,  $\Delta V$ , debe ser cero. Un ejemplo en el que la divergencia tiene un valor distinto de cero, es el que se refiere a una carga puntual ya que en un punto  $P$  cualquiera habrá una variación del campo eléctrico a lo largo de la dirección radial; por lo que habrá un flujo neto a través de las caras de un volumen elemental. Si la divergencia es negativa, el punto será considerado un sumidero; si la divergencia es positiva el punto será considerado una fuente y habrá un flujo neto saliendo del volumen y; si la divergencia es igual a cero, ese punto ni es fuente ni sumidero.

Por otra parte, al despejar la divergencia de la ecuación (a), se obtiene

$$\text{Divergencia del Campo Eléctrico} = \frac{\text{Flujo Eléctrico}}{\text{Volumen infinitesimal del que emana el flujo}} \quad (\text{c})$$

lo que significa que la divergencia del campo eléctrico también puede ser considerada como la razón del flujo eléctrico al elemento de volumen  $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$ .

Ahora bien, consideremos la ley de Gauss aplicada a un sólo elemento de volumen  $\Delta V$  por cuya superficie que lo limita hay un flujo eléctrico, es decir,

$$\Phi_{E, \text{en } \Delta V} = \frac{Q'}{\epsilon_0} \quad (\text{d})$$

como la carga encerrada en  $\Delta V$  es  $Q' = \rho \Delta V$ , se tiene

$$\Phi_{E, \text{en } \Delta V} = \frac{\rho \Delta V}{\epsilon_0} \quad (\text{e})$$

igualando esta expresión con la ecuación (a), se tiene

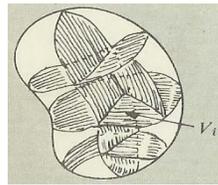
$$\Delta V(\text{divergencia del campo eléctrico}) = \frac{\rho \Delta V}{\epsilon_0} \quad (\text{f})$$

de donde,

$$\text{Divergencia del campo eléctrico} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{g})$$

que es la ley de Gauss en forma diferencial, es decir, establecida en función de una relación local entre la densidad de carga y el campo eléctrico.

Ahora bien, para ver la relación de esta cantidad con el flujo total a través de la superficie que limita a  $V$ , consideremos que éste se divide en dos volúmenes de tal manera que  $V_1$  y  $V_2$  están separados por una superficie común. Como esta superficie no altera el flujo total porque en ella los flujos se cancelan debido a que el vector de superficie tiene sentidos opuestos y el campo eléctrico tiene el mismo valor, el flujo total a través de toda la superficie es la suma de los flujos por cada uno de los volúmenes. Se puede proseguir dividiendo el volumen  $V$  en un número muy grande de volúmenes internos como se muestra en la siguiente figura y, con ello, se estará construyendo los  $\Delta V$  en los que se aplica la ecuación (a).



División de un volumen en elementos de volumen

El flujo total a través de la superficie que limita a  $V$  es,

$$\sum_{i=1}^N \Phi_{E, \text{a través del elemento de volumen}} = \sum_{i=1}^N \Delta V (\text{divergencia del campo eléctrico})$$

Cuando la suma se hace infinita, la expresión anterior se transforma en  $\int_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_V \nabla \cdot \vec{E} dV$  donde  $\nabla \cdot \vec{E}$  es la divergencia del campo eléctrico y la igualdad es el teorema de Gauss. Como el término  $\Delta V(\text{divergencia del campo eléctrico})$  es igual a  $\frac{Q'}{\epsilon_0}$ , es decir, la carga contenida en un elemento de volumen entonces la suma del lado izquierdo representa la carga total contenida en  $V$  que es igual al flujo eléctrico total a través de la superficie que limita a  $V$ .

## II.- Secuencia didáctica para la ley de Gauss para el flujo magnético.

**Propósitos:** que al término del secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Gauss para el flujo magnético mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.**
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren la comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.**
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de la ley de Gauss en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su propio aprendizaje.**

**Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia.** En la secuencia anterior se estableció la ley de Gauss para el caso eléctrico, ahí, se comentó que el concepto de flujo eléctrico, definido en términos matemáticos, resulta ser de gran utilidad. Esta secuencia didáctica comienza con una serie de experimentos demostrativos realizados por los alumnos y uno efectuado por el profesor. Posteriormente, se presenta un análisis cualitativo y cuantitativo de la ley de Ampere para establecer las características del campo magnético que rodea a un alambre conductor largo. Posteriormente se estudia un solenoide ideal como apoyo a la presentación y desarrollo de las siguientes dos secuencias didácticas. Antes de abordar la ley de Gauss magnética, se consideran otros temas afines con la finalidad de cubrir contenidos del electromagnetismo y que son necesarios de una u otra manera en diversos desarrollos o que intervienen en la solución de problemas. Posteriormente, se aborda el concepto de flujo magnético a través de superficies abiertas y, para establecer la ley de Gauss para el magnetismo, se considera el flujo a través de una superficie cerrada. Finalmente, para lectura exclusiva del profesor, se presenta el tema de la *divergencia* tanto para el campo magnético como para el campo eléctrico.

Desde el punto de vista didáctico, dado que el formalismo matemático para ambas leyes es el mismo, se espera que esta secuencia sirva como refuerzo de los conceptos desarrollados en relación con el concepto de flujo eléctrico, destacando las diferencias y similitudes de cada caso. Se usan estrategias cognitivas similares al caso de la ley de Gauss para el flujo eléctrico como un medio que ayuda al aprendizaje y la adquisición de actitudes. Realizar las actividades propuestas para la reflexión es indispensable para alcanzar el objetivo de que los alumnos aprendan a aprender.

**Introducción.** Durante mucho tiempo se pensó que el magnetismo y la electricidad eran fenómenos físicos independientes. Sin embargo, en 1819 el científico danés Hans Christian Oersted descubrió que una corriente eléctrica que circulaba por un alambre *desviaba* la aguja de una brújula colocada en las cercanías, lo que mostraba la existencia de un campo magnético. Poco tiempo después Ampere (1775-1836) formuló la ley que permitía calcular el campo magnético generado por un corriente así como la fuerza magnética ejercida entre dos alambres conductores de corriente. Ampere apoyó la idea de que *todo* magnetismo se origina en el movimiento de la carga eléctrica. Propuso que los imanes de hierro tienen corrientes eléctricas internas circulando alrededor del eje del imán en la misma forma en que la corriente circula a través de los alambres alrededor del eje de un solenoide.

Una vez que se determinó al campo magnético como una magnitud vectorial,  $\vec{B}$ , fue posible, como en el caso eléctrico, establecer una ley que permite obtener el flujo magnético y expresar el importante resultado al que se refiere: “*el flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada es siempre cero*”, lo que implica, como veremos, la “*no existencia de monopolos magnéticos*”. Actualmente, se acepta su existencia teórica ya que es compatible con los principios de la mecánica cuántica pero su búsqueda, hasta hoy, ha sido infructuosa.

**A.1.- Actividad de aprendizaje.** *En equipos de dos, los alumnos realizan y explican ante grupo experiencias de laboratorio preparadas previamente en su casa. (se sugiere al profesor “tomar” nota sobre las lagunas y concepciones alternativas de los alumnos). El profesor presenta un experimento demostrativo sobre la fuerza magnética ejercida entre corrientes eléctricas.*

**1) Avión suspendido en el aire.** *Propósito: Usar la fuerza magnética para suspender un avión de papel. Material: Alfiler recto, hilo para coser de 30cm, papel de china, imán de barra y tijeras. Procedimiento: Cortar una pequeña ala de 2.5cm de largo por 1cm de ancho del papel de china. Meter el alfiler por el centro del ala de papel para formar un aeroplano. Amarrar el hilo a la cabeza del alfiler. Colocar un imán en la orilla de una mesa y acercar el aeroplano hasta que quede suspendido en el aire. Anotar observaciones y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo ¿Porqué el avión se mantiene en el aire?*

**2) Fuerza magnética.** *Propósito: Determinar la fuerza magnética de un campo magnético. Material: caja de clips pequeños, Imanes de barra de distintos tamaños, cinta masking tape. Procedimiento: Pega un imán con uno de sus extremos en la orilla de la mesa. Desdobla uno de los extremos del clip y ponlo debajo de la parte del imán que sobresale. Agrega clips uno a uno en el clip abierto hasta que se suelte del imán y caigan todos. Repite este experimento con imanes de distintos tamaños y determina la fuerza magnética en términos de la que se requiere por cada clip. Anotar observaciones y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo. ¿Por qué varía el número de clips?.*

**3) Líneas de campo magnéticas.** *Propósito: Demostrar la distribución de las líneas de campo magnéticas para diferentes formas de imanes. Material: Varios imanes de diferentes formas, limaduras de hierro, hoja de papel, vaso de cartón. Procedimiento: Coloca las limaduras de hierro en vaso de cartón. Pon los imanes en una mesa. Cubre los imanes con la hoja de papel. Rocía una capa delgada de limaduras de hierro sobre el papel situado encima de los imanes. Observa las formas que adoptan las limaduras. Anotar observaciones y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo. ¿Por qué se alinean las limaduras?.*

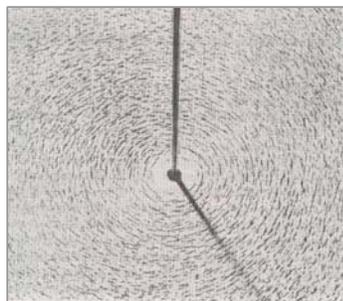
**4) Sacudida magnética.** *Propósito: Mostrar el efecto que una sacudida tiene sobre el imán. Material: limaduras de hierro, brújula, imán, popote, plastilina. Procedimiento: Llena el popote con limaduras de hierro hasta tres cuartos de su capacidad. Usa plastilina para sellar ambos extremos del popote. Coloca el popote sobre el imán durante un minuto. Con cuidado y sin sacudir el popote, levántalo por un extremo y ponlo cerca de la brújula. Observa si se mueve la aguja de la brújula. Sacude varias veces el popote y acércalo a la brújula. Observa si se mueve la aguja de la brújula. Anotar observaciones y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo. ¿Por qué la aguja de la brújula no se mueve después de sacudir el popote?.*

**5) Electroimán.** *Propósito: Demostrar que una corriente eléctrica produce un campo magnético. Material: Alambre aislado calibre 18 de 1m de largo, pila de 6voltios, clavo largo de hierro, clips. Procedimiento: Enrolla bien el alambre en el clavo; deja unos 15cm de alambre libre en cada extremo. Quita el aislante en ambos extremos. Fija un extremo a un polo de la pila. Pon el otro extremo del alambre al otro polo mientras que el clavo toca a un montón de clips. Levanta el clavo mientras conservas los extremos del alambre conectados a la pila. Cuando el clavo comience a calentarse desconecta el alambre. Anotar observaciones y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo. ¿Por qué los clips se pegan al clavo?.*

**6) Alineación.** *Propósito: Demostrar la forma en que están relacionados la electricidad y el magnetismo. Material: un clavo con alambre enrollado, pila de 6 voltios, masking tape, cartulina de 15cmx15cm, limaduras de hierro. Procedimiento: Hacer un agujero al centro de la cartulina. Mete el clavo con el alambre enrollado por el agujero de la cartulina, Coloca la cartulina sobre el rollo del masking tape. Une un extremo del alambre a cualquiera de los polos de la pila. Rocía una capa delgada de limaduras de hierro sobre la cartulina y alrededor del alambre enrollado. Desconecta los alambres. Anotar observaciones, analizar y obtener conclusiones para presentarlas ante grupo. ¿ Qué genera al campo magnético?*

**7) Fuerza magnética ejercida entre corrientes eléctricas.** *Para activar conocimiento previo, el profesor realiza su experimento demostrativo. Material: Kit de electricidad. ¿ por qué se ejerce esta fuerza sobre el alambre?*

**1.- Ley de Ampere (análisis cualitativo).** Con limaduras de hierro se pueden observar las líneas de campo magnético alrededor de un alambre largo y recto por el que circula una corriente eléctrica  $I$  como se muestra en la figura 1.



Limaduras de hierro alrededor de un alambre que forman un patrón circular

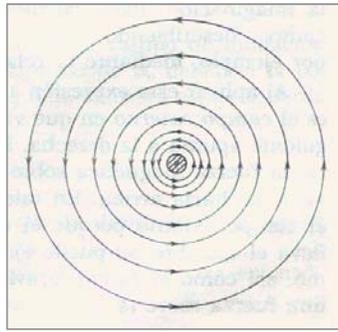
Fig. 1

**A.2 Actividad de aprendizaje.** *En equipos de cuatro alumnos, con el coucheo del profesor, obtener el patrón de las líneas de campo magnético de la figura 1, producido por una corriente eléctrica de 15-20 Amp.*

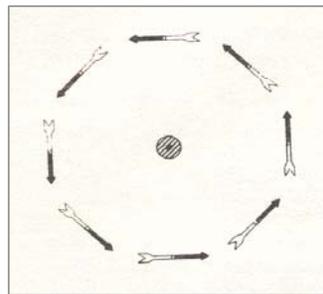
De esta figura, puede verse que la representación geométrica de las líneas de campo magnético serán círculos concéntricos con centro en el alambre. Obsérvese que los círculos están más juntos cerca del alambre y más separados lejos de él porque las limaduras de hierro tienden a concentrarse más en la zona cercana al alambre y menos lejos de él, como se ilustra en figura 2.

Líneas de campo magnético cerca de un alambre. El punto central indica que la corriente sale perpendicularmente a la hoja. Las pequeñas flechas sobre los círculos representan la circulación de estas líneas.

Fig. 2



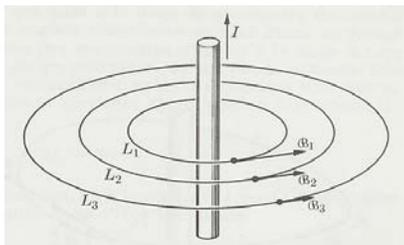
Cuando se colocan brújulas a una distancia  $r = cte$  del alambre conductor, cada una de las brújulas es un dipolo magnético que tiende a alinearse con el campo magnético  $\vec{B}$  con su polo norte en el sentido del campo, figura 3.



Los extremos negros de la brújulas son los polos norte

Fig. 3

La figura 4, ilustra una representación geométrica de tres líneas de campo magnético y los vectores de campo  $\vec{B}$  tangentes en un punto sobre las líneas de campo magnético  $L_1, L_2, L_3$  a diferentes distancias del alambre.



Líneas de campo magnético circulares y vector de campo magnético debido a la corriente  $I$  en tres puntos

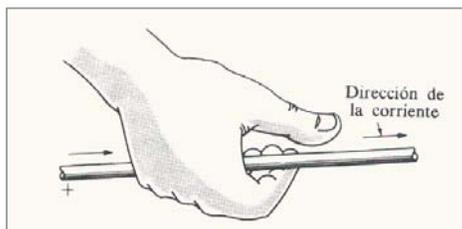
Fig. 4

**Circulación del campo magnético.** Si se invierte la dirección de la corriente (penetrando la hoja) todas las brújulas de la figura 2 girarán  $180^\circ$ . Este resultado experimental conduce a la “Regla de la mano derecha” para encontrar el sentido del campo magnético  $\vec{B}$  cerca de un alambre que lleva una corriente  $I$ , a saber:

se rodea el alambre con la mano derecha con el pulgar apuntando en dirección de la corriente. Entonces la curvatura de los dedos alrededor del alambre indican la circulación del campo magnético y da el sentido de  $\vec{B}$  en algún punto  $P$  de la línea de campo. La regla se ilustra en la figura 5,

Regla de la mano derecha para encontrar la dirección del campo magnético  $\vec{B}$

Fig. 5



Al igual que el campo eléctrico, el vector  $\vec{B}$  siempre es tangente a las líneas de campo magnético en todo punto  $P$ . Si en un punto sobre una línea de campo magnético se traza una recta tangente a la línea, esta recta indica la dirección del campo magnético y la punta de los dedos señalarán el sentido del campo. Debe notarse que al invertir la dirección de la corriente que circula por el alambre, no sólo se invierte la orientación de las brújulas sino que cambia tanto el sentido de la circulación de las líneas de campo magnético como el sentido del campo magnético en todo punto de las líneas de campo magnético que rodean al alambre. Se dice que donde las líneas de campo están más juntas (cerca del alambre) el campo magnético es más intenso que en donde se encuentran más separadas (lejos del alambre, ver figura 6).

Por último, consideraremos que a todo punto del espacio se le asocia un único vector de campo magnético  $\vec{B}$ , lo que significa que las líneas de campo magnético nunca se cruzan. Al igual que en el caso del campo eléctrico, si fuera posible que dos líneas de campo magnético se cruzaran entonces el concepto de campo magnético o eléctrico no tendría importancia física, ya que a un mismo punto del espacio (donde se cruzaran las líneas) habría que asignar dos vectores diferentes. Lo que significaría que matemáticamente no habría una correspondencia uno a uno entre puntos del espacio y los vectores de campo magnético, es decir: no se estaría hablando de un campo vectorial.

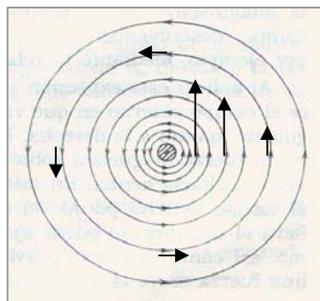
**2. Ley de Ampere (análisis cuantitativo).** En la sección anterior se especificó la dirección y el sentido del vector de campo magnético,  $\vec{B}$ . Ahora estamos interesados en indagar su magnitud, es decir  $B = |\vec{B}|$ .

**A.3 actividad de Aprendizaje.** Se sugiere al profesor efectuar la práctica de laboratorio correspondiente a la ley de Ampere indicada en el «Manual de prácticas de Física IV, área Físico-Matemáticas y de las Ingenierías»

De los resultados experimentales se ha obtenido que la magnitud del campo magnético en las cercanías de un alambre conductor es,

$$B = \mu_0 i / 2\pi r \quad (1)$$

donde  $\mu_0$  es la *permeabilidad* del espacio libre (vacío) y cuyo valor es,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ weber / amp - metro}$ . Esta relación expresa que la magnitud del campo magnético es directamente proporcional a la corriente eléctrica e inversamente proporcional de la distancia al alambre. Es decir, para una distancia  $r = \text{cte}$ , si la corriente varía, la intensidad del campo magnético en un punto aumentará conforme la corriente eléctrica aumente o disminuirá si la corriente disminuye. Y, para una corriente  $i = \text{cte}$  la magnitud del campo magnético será constante sobre un mismo círculo, figura 6, pero disminuirá o aumentará para círculos más lejanos o cercanos al alambre.



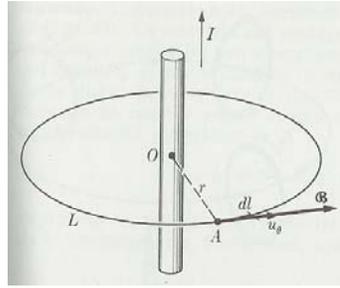
Magnitud, dirección y sentido del campo magnético.

Fig. 6

Por otra parte, se puede decir que la ley de Ampere es el resultado de un planteamiento matemático más general. Si la ley se escribe como,  $B(2\pi r) = \mu_0 i$ , donde la cantidad entre paréntesis es el perímetro  $L$  de un círculo de radio  $r$  y se consideran pequeños trozos de longitud  $\Delta l$  a lo largo del círculo, figura 7, entonces  $(2\pi r)$  no es más que la suma de todos los pequeños elementos  $\Delta l$ .

Planteamiento de la ley de Ampere en forma vectorial.  $d\vec{l}$  es el límite cuando  $\Delta\vec{l} \rightarrow 0$

Fig. 7



Esto nos da la idea de plantear una suma infinita de términos para obtener la ley de Ampere en forma más general. Considérese un elemento de trayectoria  $\Delta\vec{l}$  y un punto A del elemento en el que está definido un vector de campo magnético  $\vec{B}$ . Ambos vectores son completamente paralelos cuando  $\Delta\vec{l} \rightarrow 0$ , figura 7, lo cual sucede cuando el número de elementos de trayectoria tiende a infinito. Considerando el producto punto entre ambos vectores y sumando estos términos, se obtiene la ley de Ampere como,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta\vec{l} = \mu_0 i \quad (2)$$

Ahora, si se quiere recuperar la forma original de la ley de Ampere a partir de este resultado, se puede desarrollar el lado izquierdo de la ecuación 2, es decir:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta\vec{l} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n B \Delta l \cos \theta = \lim_{n \rightarrow \infty} B \sum_{i=1}^n \Delta l = \mu_0 i$$

donde  $\cos 0^\circ = 1$  y la magnitud  $B$  es constante a cierta distancia  $r$  del alambre.

Como la suma de elementos es  $L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \Delta l = 2\pi r$ . Sustituyendo este resultado,

se obtiene la forma  $B(2\pi r) = \mu_0 i$ . Finalmente, como resultado del análisis anterior se ha obtenido la magnitud, la dirección y el sentido del campo magnético  $\vec{B}$  en todo punto externo al alambre largo por el que circula una corriente  $i$ .

**Problema 1.** Utilizando los siguientes datos hacer una gráfica para representar la ley de Ampere.

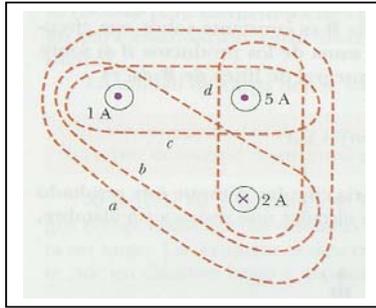
Para  $I = 10$  Amp :

<b>r (cm)</b>	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
<b>B (weber/m<sup>2</sup>)</b>						

Para  $r = 2.5 \text{ cm}$  :

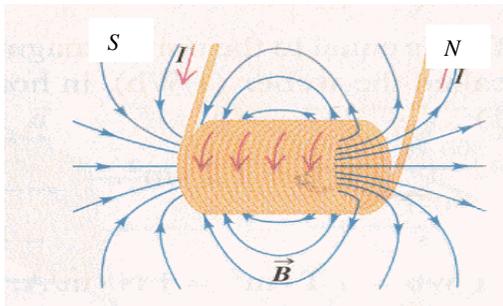
$I$ (Amp)	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0
$B$ (weber/m <sup>2</sup> )						

**Problema 2** La ecuación (2) es válida cuando el camino o trayectoria abarca más de una vez a la corriente en un alambre conductor? Clasificar las magnitudes de la suma infinita de términos usada en el planteamiento de la ley de Ampere, ecuación 2, de todas las trayectorias cerradas que se muestran en la figura siguiente.



Cuatro trayectorias cerradas alrededor de tres alambres que conducen corriente.

**3.- El campo magnético de un solenoide ideal.** Un solenoide es un alambre largo enrollado en forma de hélice. Cuando fluye una corriente por el alambre es posible producir un campo magnético aproximadamente uniforme en el espacio interior del solenoide. Si las vueltas están muy próximas entre sí y el solenoide es de longitud finita, las líneas de campo magnético son como se ilustran en la figura 8,

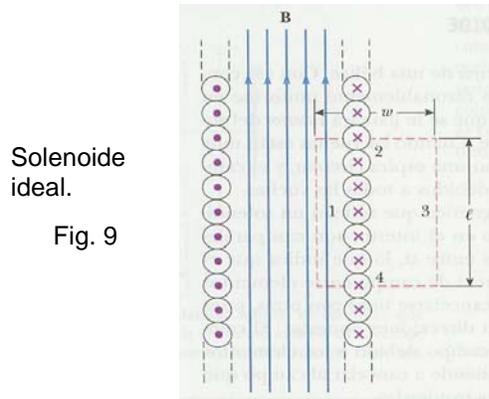


Líneas de campo magnético generadas por una corriente eléctrica que circula a través del solenoide. En la figura se muestra sus polos norte y polos.

Fig.8

En la medida que el solenoide es más grande, el campo magnético interior se hace cada vez más uniforme mientras que en el exterior se debilita. Un solenoide es ideal cuando el espacio entre las vueltas es pequeño y la longitud es grande

en comparación con el radio de las vueltas, en este caso el campo magnético externo es cero y el campo interno es uniforme. En la figura 9, se muestra una vista transversal de un solenoide ideal que conduce una corriente  $i$ , se considera que el campo magnético es constante en su interior y cero en el exterior.



Considérese la trayectoria rectangular de longitud  $l$  y ancho  $w$  para aplicar la ley de Ampere con la finalidad de obtener una expresión para el campo magnético en el interior del solenoide. La contribución del lado 3 del rectángulo es cero porque el campo magnético es cero. La contribución de los lados 2 y 4 es cero porque para las partes que están dentro de la zona del campo magnético, éste es perpendicular a todo elemento vectorial de trayectoria, es decir:  $\vec{B} \cdot \Delta\vec{l} = 0$ . De modo que la única parte del trayecto que contribuye es la 1. Aplicando la ecuación (2), se tiene

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta\vec{l} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n B \Delta l \cos \theta = B \left[ \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n \Delta l \right] = Bl$$

ya que el ángulo entre los vectores es  $0^\circ$ . El lado derecho de la ley de Ampere se refiere a la corriente total que atraviesa el área delimitada por la trayectoria de integración, de modo que es igual a la corriente que pasa por cada vuelta multiplicada por el número de vueltas. Es decir,  $Bl = \mu_0 Ni$ , por lo que

$$B = \mu_0 \left( \frac{N}{l} \right) i = \mu_0 ni \quad (3)$$

donde la cantidad  $(N/l)$  es el número de vueltas por unidad de longitud. Esta ecuación es válida sólo para puntos cercanos al centro del solenoide largo.

**Problema 3.-** Describir el cambio en el campo magnético en el interior de un solenoide que conduce una corriente estable  $I$ , a) si la longitud del solenoide se duplica pero el número de vueltas permanece igual, b) si el número de vueltas se duplica, pero la longitud permanece invariable.

**A.4 Actividades de aprendizaje.** Se sugiere al profesor desarrollar conjuntamente con los alumnos las siguientes estrategias didácticas:

<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Propósito:</b>
Espaciales	Que los alumnos describan con sus propias palabras el entorno de un alambre recto por el que circula una corriente así como las propiedades físicas fundamentales para el análisis cualitativo y cuantitativo.
Espaciales	Que describan por escrito el espacio que rodea a un solenoide ideal y uno que no lo es, así como las propiedades físicas definidas en ese espacio.
: Exposición	Construyan la lógica implícita en la que se basa la explicación de cómo se obtiene un campo magnético constante en el interior de un solenoide ideal debido a una corriente eléctrica.
Semejanzas y diferencias	Discuta las semejanzas y diferencias entre un solenoide por el que circula una corriente eléctrica y un imán permanente de barra.
Causa-efecto	Que responda a la pregunta ¿Cuál es la causa de que una brújula se oriente en la cercanía de un solenoide y de la tierra?

**4. Fuerza magnética ejercida sobre una corriente eléctrica.** En el comienzo de esta secuencia didáctica se realizó un experimento demostrativo en el que se observó que si se coloca un alambre por el que fluye una corriente eléctrica en la zona donde existe un campo magnético, el alambre experimenta una fuerza magnética. Se hizo la pregunta: ¿por qué se ejerce esta fuerza sobre el alambre?, aquí daremos una respuesta.

**A.5 Actividad de aprendizaje.** Mostrar experimentalmente la fuerza que ejerce un campo magnético sobre un conductor por el que circula una corriente eléctrica y discutir la relación fuerza-campo-corriente, discutir las unidades de campo magnético y obtener la regla para determinar la dirección de la fuerza:

A.- Considerar la variación de la intensidad del campo magnético mientras se mantiene constante su dirección. Con ello, se puede determinar que la fuerza que actúa sobre la corriente es proporcional a la magnitud del campo. Cambiando la dirección del campo se

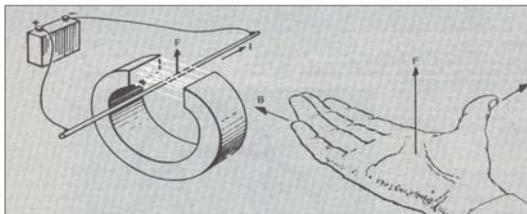
encuentra que únicamente contribuye a la fuerza la componente perpendicular  $B_{\perp}$  del campo magnético  $\vec{B}$ , es decir, la fuerza es proporcional a  $B_{\perp} = B \sin \theta$ .

B.- Para deducir la forma en que la fuerza depende de la corriente y de la longitud del conductor, razonamos del modo siguiente. Dos conductores situados paralelamente uno junto al otro transportando corrientes iguales en un campo magnético, experimentan una fuerza que es el doble a la experimentada por cada uno de los conductores si estuviera aislado. Es decir, al duplicar la corriente se duplica la fuerza: la fuerza,  $\vec{F}$ , es proporcional a la corriente,  $i$ .

C.- Dos conductores cortos y rectilíneos, de igual longitud, situados uno a continuación del otro, experimentan una fuerza que es el doble de la que corresponde a uno solo. Es decir, la fuerza es proporcional a la longitud del conductor,  $L$ . En resumen,  $F \propto iL(B \sin \theta)$  donde la constante de proporcionalidad depende sólo de las unidades elegidas. La fuerza se mide en newtons,  $i$  en amperes y  $L$  en metros y la unidad de campo magnético se elige de modo que la constante sea igual a 1. Entonces,  $F = iL B \sin \theta$ .

D.- Unidades del campo magnético,  $\vec{B}$ . Un campo magnético de  $1 \text{ N / Amp} \cdot \text{metro}$  es aquel que ejerce una fuerza de  $1 \text{ Newton}$  en un conductor de  $1 \text{ metro}$  por el que circula una corriente de  $1 \text{ Amp}$  perpendicular al campo.

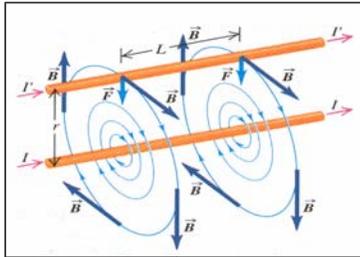
E.- Regla para la dirección de la fuerza. Si el pulgar señala la dirección en la que circula la corriente y los otros dedos siguen la dirección del campo magnético externo, la dirección de la fuerza que actúa sobre la corriente quedará automáticamente indicada.



Al conectar el interruptor, el alambre se levanta, debido a una fuerza magnética.

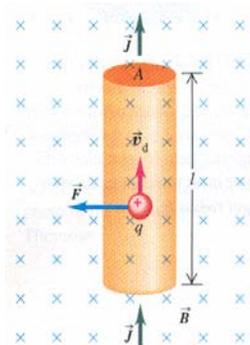
**Problema N° 4** Un alambre de  $2.8 \text{ m}$  de longitud conduce una corriente de  $5.0 \text{ Amp}$  en una región donde un campo magnético uniforme tiene una magnitud de  $0.39 \text{ T}$ . Calcular la magnitud de la fuerza magnética sobre el alambre si el ángulo entre el campo magnético y la corriente es a)  $60.0^\circ$ , b)  $90^\circ$  y c)  $120^\circ$ .

**Problema Nº 5** De acuerdo a la ley de Ampere y el resultado anterior, analizar cualitativamente la fuerza que ejerce un alambre sobre todo cuando circulan corrientes a través de ellos. Considerando valores numéricos para los parámetros en  $F = \frac{\mu_0 L I I'}{2\pi r}$  obtener una fuerza entre los conductores.



Para corrientes en el mismo sentido los alambres se atraen. En sentido contrario se repelen.

**5.- Fuerza ejercida por un campo magnético sobre una carga  $q$ .** Una corriente eléctrica es el flujo de muchísimas cargas eléctricas que se mueven en un conductor. La intensidad de corriente eléctrica es la carga que pasa por unidad de tiempo a través de una sección transversal  $A$  de un conductor. La figura 10 muestra un tramo de longitud  $l$  de un alambre por el que circula una corriente  $i$  y que está colocado en un campo magnético uniforme ( que penetra la hoja de papel del texto, lo cual se indica con las cruces).



La fuerza magnética que siente un protón

Fig. 10

La corriente  $i$  en un metal es transportada por los electrones libres o de conducción o bien, en forma equivalente se puede pensar que es la carga positiva la que se mueve. Sea  $q$  la carga de cada partícula,  $n$  el número total de éstas, contenidas en el volumen  $V = Al$ , y su velocidad,  $v_d = cte$ . ¿Cuántas partículas cruzan el área  $A$  en cierto tiempo  $\Delta t$ ? En promedio el número de partículas en el volumen es,  $nAv_d\Delta t$  de modo que el valor medio de la carga que atraviesa el área  $A$  por unidad de tiempo, es decir, la corriente eléctrica a través de dicha área es,

$$i = \frac{Q_{total}}{\Delta t} = nqAv_d$$

Sustituyendo esta expresión en  $F = iLB\text{sen}\theta$ , se tiene:  $F' = (nqv_dA)lB\text{sen}\theta$ , donde  $F$  es la magnitud de la fuerza sobre todo el alambre en función de toda la carga eléctrica en movimiento ( $nq$ ). Como lo que se requiere es la fuerza magnética sobre un sólo portador de carga  $q$ , figura 11, se divide esta expresión por el número de electrones en el volumen considerado, es decir,

$$F' = F / nAL = qvB\text{sen}\theta$$

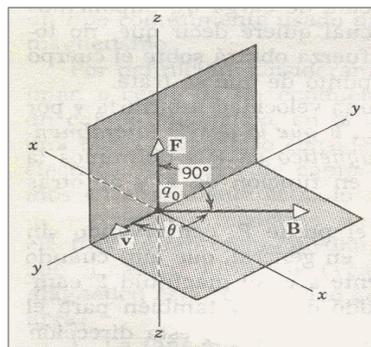
Esta relación es la expresión escalar del producto vectorial entre el vector velocidad de la carga eléctrica  $\vec{v}$  y el vector de campo magnético,  $\vec{B}$ . O sea,

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (4)$$

**6. Definición de  $\vec{B}$ .** Se dice que hay campo magnético en un punto  $P$  del espacio, si sobre una carga positiva de prueba  $q$  que se mueve con velocidad  $\vec{v}$  actúa una fuerza  $\vec{F}'$  al pasar por el punto, siendo  $\vec{B}$  el vector campo magnético que satisface la relación  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ . A esta operación entre vectores se le conoce con el nombre de producto vectorial y se lee: " $\vec{v}$  cruz  $\vec{B}$ ". El vector fuerza magnética  $\vec{F}'$  es perpendicular al plano formado por estos vectores, figura 11, y consecuentemente, perpendicular a cada uno de ellos.

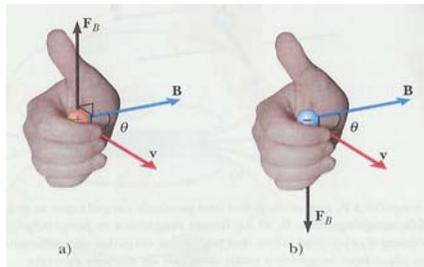
Relación entre los vectores velocidad, fuerza y campo magnético

Fig. 11



La figura 12 muestra la regla de la mano derecha para encontrar la dirección y el sentido de la fuerza magnética: "imagine un eje perpendicular al plano de los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  que pase por su origen común. Se cierran los dedos de la *mano derecha* alrededor de ese eje como empujando al vector  $\vec{v}$  hacia el vector  $\vec{B}$  con

las puntas de los dedos, haciéndolo girar el más pequeño de los ángulos que forman estos vectores y conservando el pulgar extendido. La dirección y sentido del pulgar extendido da la dirección y sentido del producto  $\vec{v} \times \vec{B}$ .



Regla de la mano derecha

Fig. 12

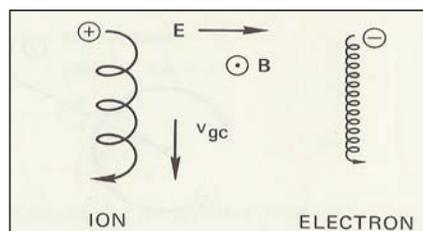
**Problema 6** Un protón de carga  $q = +e$  y masa de  $1.67 \times 10^{-27}$  kg se hace pasar por un campo magnético uniforme de 30 Gauss. Si la rapidez  $v$  del protón es de  $5.0 \times 10^6$  m/s encontrar el radio de la trayectoria circular.

**7. Fuerza de Lorentz.** Si en la región del espacio existe tanto un campo magnético como uno eléctrico, a la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento se le conoce como la fuerza de Lorentz,

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (5)$$

esta fuerza, junto con las ecuaciones de Maxwell constituyen la *teoría completa* que describe la interacción de objetos cargados y del electromagnetismo.

**Problema 7.** Un plasma es un gas ionizado cuasi-neutro, constituido por electrones, iones positivos y algunas partículas neutras. Estas partículas cargadas se mueven en un campo magnético uniforme externo que se aplica para evitar que el plasma por sí solo se desintegre y, también lo hacen en un campo eléctrico externo uniforme. Las cargas positivas y negativas interactúan con estos campos. Si los campos externos se colocan como ilustra la figura adjunta (considerando sólo estos campos), discutir con los alumnos cómo se mueven las partículas cargadas debido a la fuerza de Lorentz.



**A. 6 Actividad de aprendizaje.** En equipos de dos alumnos, se recomienda que llenen los espacios en blanco (aquí se llenaron para ilustrar el resultado).

**Gráfica de Recuperación tipo 1:**

<b>Interacción</b>	<b>Campo presente</b>	<b>Tipo de Fuerza sobre la carga</b>
Eléctrica	Eléctrico	$\vec{F} = q\vec{E}$
Magnética	Magnético	$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$
Eléctrica y magnética	Eléctrico y Magnético	$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

**8. Fuerza y momento sobre una espira.** Si fluye una corriente eléctrica por un alambre e interactúa con un campo magnético se puede calcular la fuerza total magnética y el momento o giro que experimenta. Considere una espira rectangular de largo ( $b$ ) y ancho ( $a$ ), inmersa en un campo magnético uniforme  $\vec{B}$  y una corriente  $I$ , ver figura 13.

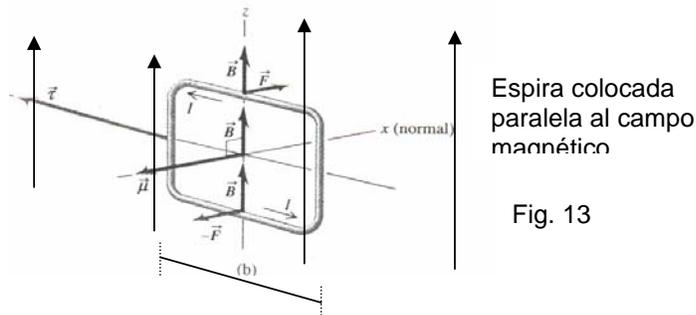


Fig. 13

En los lados de la espira paralelos al campo magnético, no se presenta ninguna fuerza, ya que el ángulo entre el campo magnético y un elemento de longitud es cero y  $\sin 0^\circ = 0$ . En la parte de la espira en que la corriente es perpendicular al campo magnético, se presenta una fuerza,  $F = iLb\sin\theta$ .

Como  $L = b$  y el ángulo entre  $\vec{B}$  y la dirección del alambre es  $90^\circ$ , la expresión de la fuerza se reduce a,  $F = IbB$ . El ángulo entre la fuerza  $\vec{F}$  y  $\vec{r}$  es también de  $90^\circ$  tenemos que el momento o giro debido a las dos fuerzas es,  $\tau = rF = 2(\frac{a}{2})IbB = IabB$  ya que la distancia del centro a la espira es  $a/2$ . El producto  $ab$  es igual al área de la espira, de modo que el giro o momento se puede escribir como,  $\tau = (IA)B$ .

A la cantidad  $(IA)$  se le llama momento magnético y se escribe como  $\mu = IA$ . En términos de este nuevo nombre y si consideramos el caso en que la espira pueda estar inclinada con respecto a las líneas de campo magnético, tenemos,

$$\tau = \mu B \sin \delta \quad (6)$$

donde  $\delta$  es el ángulo entre el momento magnético y el campo magnético.

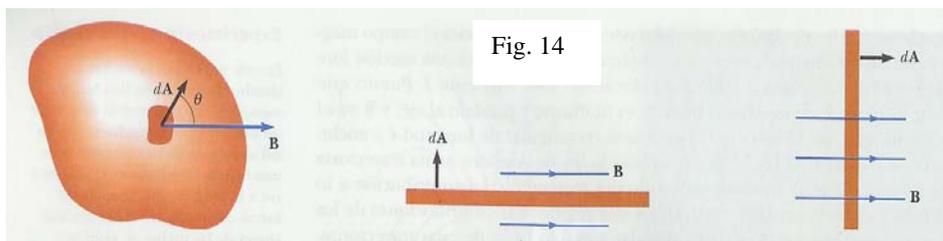
**Problema 8.** Una espira rectangular consta de  $N = 100$  vueltas enrolladas muy próximas entre sí y tiene dimensiones  $a = 0.400\text{m}$  y  $b = 0.300\text{m}$ . La espira se articula a lo largo del eje  $y$ , y su plano forma un ángulo  $\theta = 30.0^\circ$  con el eje  $x$ . ¿Cuál es la magnitud del momento de torsión ejercido sobre la espira por un campo magnético uniforme  $B = 0.800\text{T}$  dirigido a lo largo del eje  $x$  cuando la corriente es  $I = 1.2$  Amp en esa dirección? ¿Cuál es la dirección esperada de rotación de la espira?

**A.7 Actividades de aprendizaje.** Aplicar el resultado anterior para explicar el funcionamiento de un galvanómetro.

**9. Flujo magnético.** Cuando se trata de establecer el flujo de campo magnético,  $\Phi_B$ , a través de una superficie abierta, como se ha mencionado, el formalismo matemático es el mismo que para el caso de flujo eléctrico. Es decir,

$$\Phi_B = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \cdot \Delta \vec{A}_i \quad (7)$$

La figura 14 muestra tres superficies, el flujo magnético en forma genérica es:



Se aplica fórmula 8

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos 90^\circ = 0$$

$$\Phi_B = BA \cos 0^\circ = BA$$

Si se considera la componente perpendicular a la superficie  $A_\perp = A \cos \alpha$  y la unidad de flujo magnético,  $\Phi_B$ , como el *weber*, se puede definir la *densidad de flujo magnético* de la siguiente manera,

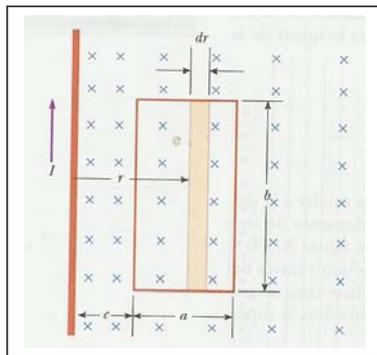
$$B = \frac{\Phi_B}{A_{\perp}}, \quad \left[ \frac{\text{weber}}{\text{m}^2} \right]$$

que es el número de líneas de campo que pasan a través de la unidad de área perpendicular en una región donde hay un campo magnético. Otra unidad del campo magnético utilizada es el *Tesla (T)*. La relación entre estas unidades es la siguiente:

$$1T = 1 \frac{\text{weber}}{\text{m}^2} = 1 \frac{N}{\text{Amp} \cdot \text{metro}}$$

Con frecuencia, en los trabajos prácticos, se utiliza también el Gauss, donde  $1\text{Gauss} = 10^{-4} \text{ T}$ .

**Problema 9.** Una espira rectangular de ancho  $a$  y longitud  $b$  se ubica a una distancia  $c$  de un alambre por el que circula una corriente  $I$ , como se ilustra en la figura. Asignar valores a los parámetros y calcular el flujo magnético.



Flujo magnético a través de la espira:

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{a}{c} \right)$$

¿Para qué valores de los parámetros el flujo vale cero?

**Problema 10.** Considerar una superficie plana  $A$  cuyo radio se igual al radio interior de un solenoide ideal por el que circula una corriente  $i$  ( ver figura 9), donde el campo magnético es uniforme. Calcular el flujo magnético.

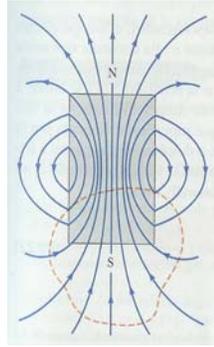
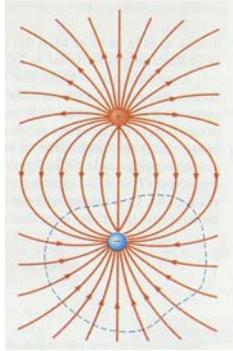
**Problema 11.** Una espira rectangular consta de  $N = 20$  vueltas apretadas y tiene dimensiones  $a = 0.300\text{m}$  y  $b = 0.400\text{m}$ . La espira se articula a lo largo del eje  $y$ , y su plano forma un ángulo  $\theta = 60.0^\circ$  con el eje  $x$  ¿Cuál es el flujo magnético a través de la espira si el campo magnético uniforme  $B = 0.820\text{T}$  está dirigido a lo largo del eje  $x$  cuando la corriente es  $I = 1.5 \text{ Amp}$  en esa dirección?

**10. Ley de Gauss para el flujo magnético.** En la secuencia didáctica anterior se encontró que el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada que contiene una carga neta es proporcional a la carga. Es decir, que el número de líneas de campo eléctrico que salen de la superficie depende sólo de la carga dentro de ella.

Esta propiedad se basa en el hecho de que las líneas de campo eléctrico se originan y terminan en las cargas eléctricas, ver figura 15. Sin embargo, el flujo magnético para superficies cerradas, es siempre cero. Esto se debe a que las líneas de campo magnético son siempre líneas cerradas que no empiezan ni terminan en las cargas eléctricas. La figura 16 muestra las líneas de campo de un imán que forman espiras cerradas.

El flujo eléctrico a través de una superficie cerrada que rodea una de las cargas no es cero.

Fig. 15



El flujo magnético neto a través de la superficie cerrada  $S$ , que rodea a uno de los polos es cero

Fig. 16

Para cualquier superficie cerrada construida en cualquier zona del campo magnético debido a este imán, el número de líneas de campo que entran por una parte de la superficie es igual al número de líneas que sale por otra parte de la misma, por lo que el flujo magnético es cero. Esto contrasta con el caso de una superficie cerrada que rodea a una carga en el dipolo eléctrico de la figura 15. De lo anterior, la ley de Gauss para el flujo magnético a través de una superficie cerrada es,

$$\Phi_B = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \cdot \Delta \vec{A}_i = 0 \quad (8)$$

Como se ha encerrado al polo del imán de la figura 16, con una superficie cerrada (delimitada por la línea punteada roja) y no ha sido posible encontrar un flujo neto, quiere decir que tampoco hay un monopolo aislado; ya que el flujo del otro polo del imán es el que contribuye a que *siempre* haya la misma cantidad de líneas de campo entrando por un lado de la superficie y saliendo por otro. Esta es la razón por la que en la introducción se dijo que: “*el flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada es siempre cero*” y que esto implica la “*no existencia de monopolos magnéticos*”.

**11. Alcances y aplicaciones de la Ley de Gauss para el flujo magnético en los ámbitos científico, cultural y tecnológico.** En este caso se refieren a la exhaustiva búsqueda de los monopolos magnéticos. Donde el planteamiento del monopolo magnético de Dirac y sus propiedades con base en el formalismo de Schrödinger, el principio de equivalencia de Dirac y la electrodinámica son aspectos fascinantes sobre este tema.

**A.8 Actividad de aprendizaje.** Con base en libro: “La gran ilusión” del autor Jorge Flores del FCE los alumnos efectúan un resumen sobre los temas tratados en él. Así mismo, enumeren algunas de las posibles consecuencias para la teoría electromagnética y sus repercusiones tecnológicas y culturales.

**A.9 Actividad de aprendizaje.** Mediante discusión en grupo y con base en el texto, los alumnos valorarán, en general, qué significa para ellos tener una ilusión en el aspecto científico. Posteriormente, discutirán qué entiende específicamente el autor cuando expresa la frase: “la gran ilusión”.

**12. Reflexión.** Una vez que se ha considerado este núcleo de conocimiento es necesario que el alumno reflexione sobre su aprendizaje, para ello se propone por ejemplo:

**A.10 Actividades de aprendizaje.** Ubicar la ley de Gauss para el flujo magnético y su conexión con los demás temas (antecedentes y consecuentes). En este proceso, cada alumno señalará en su esquema correspondiente a la figura 1 sus observaciones y comentarios. Discusión en grupo de los resultados de esta actividad.

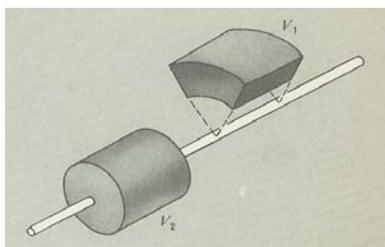
A continuación, el alumno podrá hacer un recuento de lo que ha aprendido y de lo que le falta por aprender; es necesario que el profesor revise este reporte del alumno sobre su aprendizaje antes de continuar con los temas:

**A.11 Actividad de aprendizaje.** El alumno revisa, lo siguiente:

<b>Actividad o concepto</b>	<b>Entendí</b>	<b>No entendí</b>	<b>Qué puedo hacer</b>
De la ley de Ampere			
Del campo magnético de un solenoide ideal			
De las estrategias del profesor denominadas: Espaciales, exposición, semejanzas y diferencias, causa- efecto			

De la fuerza magnética ejercida por un campo magnético sobre una carga eléctrica $q$ .			
De la ley de Gauss para el flujo magnético			
De la divergencia para el campo eléctrico y para el campo magnético.			

**13. Divergencia del campo magnético (tema exclusivo para el profesor).** Al igual que en caso eléctrico, esta sección se presenta sólo para el profesor con la finalidad de que redondee un planteamiento más completo sobre la formulación de la teoría electromagnética. La ley de Gauss para el flujo magnético se puede analizar de otra manera equivalente. Consideremos el campo magnético generado por una corriente eléctrica que fluye por un conductor rectilíneo largo, como se muestra en la siguiente figura, y construyamos los dos volúmenes que se ilustran.



A través de las superficies de los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$  el flujo magnético es cero.

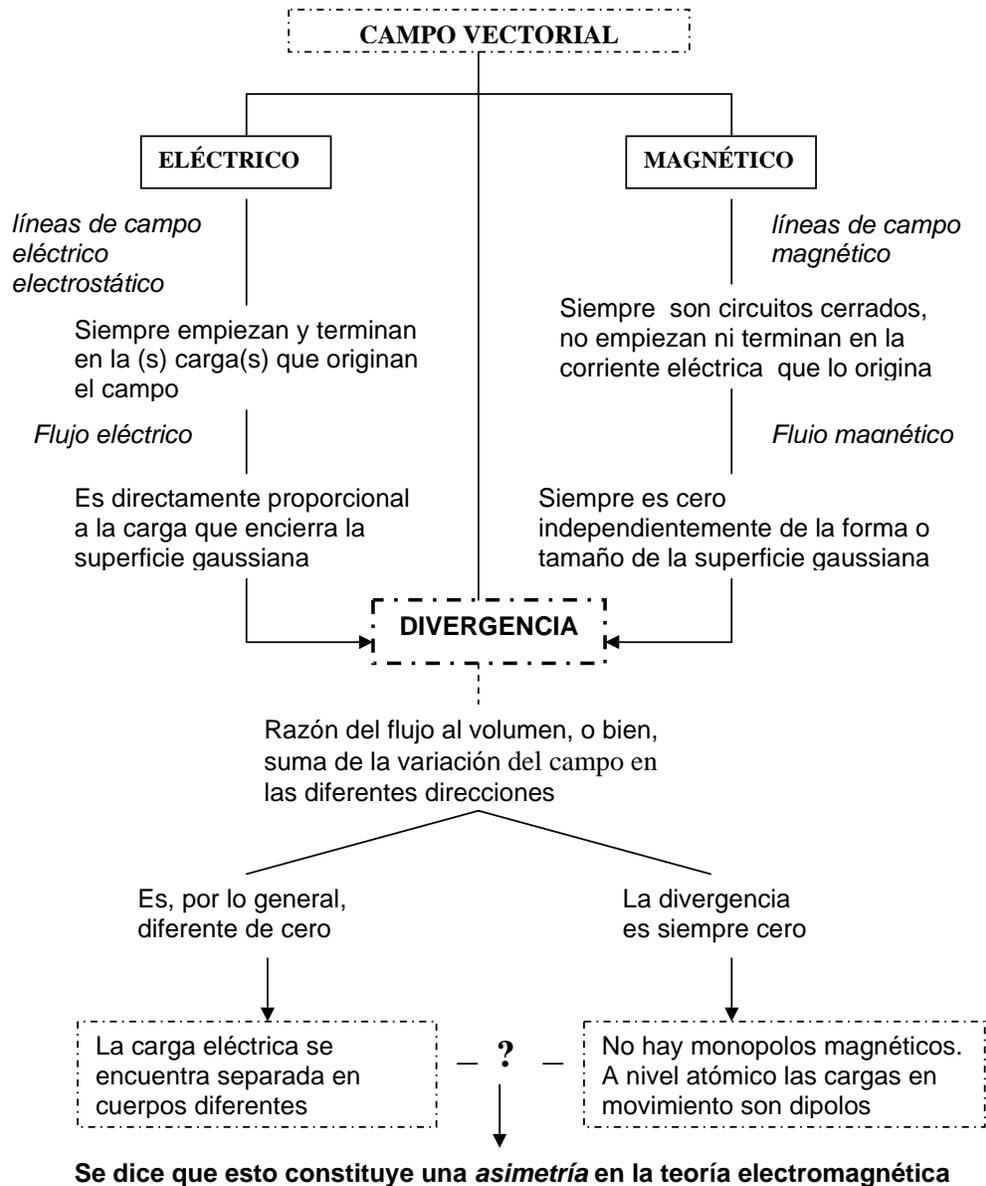
De acuerdo con la ley de Ampere, las líneas de campo magnético son círculos concéntricos con centro en el alambre. Las cuales se ubican sobre la superficie cilíndrica que limita al volumen  $V_2$  sin atravesarla. Como el vector de campo magnético es perpendicular al vector de área, se tiene que el flujo magnético es cero, es decir  $\vec{B} \cdot \Delta\vec{A} = 0$ . Para el volumen  $V_1$ , sobre las superficies que no son atravesadas por las líneas de campo, la situación es la misma y el flujo magnético es también cero y, para las dos superficies restantes el número de líneas de campo magnético que entran por un lado es igual al número de líneas que salen por el otro y el flujo magnético total es cero. Como no es posible construir en torno a un punto  $P$ , un volumen pequeño  $\Delta V$  o uno grande  $V$  (en el que haya o no carga eléctrica) y se tenga un flujo neto saliente o entrante, se tiene:

$$\Phi_{B,a \text{ través del elemento de volumen}} = \Delta V (\text{divergencia del campo eléctrico}) = 0$$

de modo que, a diferencia con el caso eléctrico,

$$\text{Divergencia del Campo Magnético} = 0 \quad (\text{a})$$

es decir, el cociente del flujo al volumen es siempre cero para el caso magnético. A continuación un resumen esquemático de las principales ideas en relación con la ley de Gauss en sus dos versiones:



### III.- Secuencia didáctica para la ley de Faraday.

**Propósitos:** que al término de la secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la ley de Faraday mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.**
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.**

**Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia.** Hasta ahora el estudio de la electricidad y el magnetismo se ha centrado en campos eléctricos producidos por cargas y corrientes eléctricas estacionarias. En esta secuencia se estudia al campo eléctrico generado por la variación temporal de campos magnéticos. El campo eléctrico así generado difiere de los campos electrostáticos en que las líneas de campo pueden formar circuitos cerrados sin que empiecen o terminen en las cargas eléctricas. Aquí, se revisan los conceptos de fuerza electromotriz, variación de flujo magnético y se establecen la ley de Faraday y de Lenz. En la parte final de la secuencia, se discute la *fem* de movimiento. Los conceptos estudiados se aplican al estudio y construcción de un generador y/o motor eléctrico.

En el aspecto didáctico, la secuencia empieza con una la discusión de la importancia de las analogías como punto de partida para empezar a analizar algún fenómeno físico. Se adoptan y se adaptan aspectos del modelo denominado «*Aprendizaje Basado en Problemas, (ABP)*», el cual promueve significativamente el autoaprendizaje y la construcción de conocimiento por parte del alumno a partir de la solución de algún problema. Éste, se refiere a la organización de la información para el estudio de la ley de Faraday con el propósito de *explicar el fenómeno de inducción electromagnética* que se presenta. El modelo requiere que el alumno efectúe todo el proceso por *sí mismo*. Sin embargo, en nuestro caso, dado que es la primera vez que se implementa, el profesor *couchea* el proceso. Se incluye el uso de la estrategia cognitiva denominada “Gráfica de recuperación tipo 1”. Al final se le sugiere al alumno un procedimiento para que realice su narración escrita sobre la explicación del fenómeno de inducción. Los desarrollos matemáticos que proporcionan soporte conceptual al núcleo de conocimiento y que van más allá de lo que se puede presentar a los alumnos, como se ha dicho, son sólo para el maestro durante la consulta de esta secuencia. Se insiste en la reflexión del alumno.

**Introducción.** Michael Faraday ( 1791-1867) es considerado uno de los más grandes físicos experimentales del siglo XIX. Sus contribuciones al estudio de la electricidad incluyen la invención del motor eléctrico, el generador eléctrico y el transformador, así como el descubrimiento de la inducción electromagnética y las leyes de la electrólisis. Su interés en el estudio del campo magnético le llevó a hacer, en 1831, un dibujo de las curvas magnéticas que rodean a un imán, lo cual publicó en sus memorias: *Experimental Researches in Electricity* (1839-1855). En 1845, durante el transcurso de sus investigaciones sobre el efecto magneto-óptico, llamó por primera vez *campo* a la región del espacio que hay entre los polos magnéticos, la cual está llena de *líneas de fuerza*. En la publicación denominada *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (1859) Faraday expresó:

“Creo que en la práctica de la ciencia física, la imaginación debería ser ejercitada para presentar la materia investigada desde todos los puntos de vista posibles, e incluso imposibles; para buscar analogías de semejanza y, digámoslo así, de oposición, inversas o contrapuestas...” (Berkson, q974, p. 82 de la traducción castellana)

Posteriormente, el concepto de campo y el modelo de Faraday para las líneas de fuerza fueron el punto de partida para la elaboración de la teoría electromagnética de Maxwell, quien las caracterizó en términos físico y matemático.

**A.1.- actividad de aprendizaje.** *Discutir en grupo la cita anterior de Faraday. Por ejemplo, ¿qué es una analogía? ¿ Por qué se necesitaría ejercitar la imaginación hasta presentar la materia desde todos los puntos de vista posibles o aun, imposibles? Hacer ver la importancia de hacer analogías como punto de partida para empezar a analizar un fenómeno físico.*

**A.2.- Actividad de aprendizaje.** *Presentar la experiencia de laboratorio en la que se enciende un foquito por inducción electromagnética. Colocar en el interior de una bobina grande de 1000 vueltas un núcleo de hierro dulce. Construir una pequeña bobina de aproximadamente 10 vueltas, con un foquito pequeño fijo. Hacer circular una corriente por la bobina grande e introducir la bobina chica a lo largo del núcleo de hierro. Como la corriente de laboratorio es alterna habrá una variación de flujo magnético a través de la superficie de la espira con foquito que hará que se induzca una fem que enciende al foquito.*

**A.2.1.- Actividad de aprendizaje.** Para empezar y organizar la información y el aprendizaje basado en el problema de explicar este fenómeno de inducción, después de haber observado el experimento, se le entrega a los alumnos, por escrito, un material que retoma hechos significativos del fenómeno. Por ejemplo, redactado en los términos siguientes:

**Material para el alumno**

**LEY DE FARADAY**

Jodel, estudiante de la preparatoria de sexto año Área I, llega al Laboratorio de Física B27; busca a sus amigos. Observa a sus compañeros sorprendidos por el hecho de que un foquito unido a una bobina está encendido sin estar conectado a batería alguna. Escucha a los alumnos comentar: “ para que el foco prenda es necesario introducir la bobina pequeña a lo largo del núcleo de hierro”. Jodel saca de su mochila un cuaderno y anota lo que alcanza a ver en el pizarrón

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

Este tipo de fórmula le parece haberlo visto en sus clases de cálculo. Finalmente, se retira pensativo porque quiere explicar el fenómeno.

*Pistas / Hechos / Datos:*

*Problema(s):*

*Hipótesis / Explicaciones/Diagnósticos:*

*Objetivos de aprendizaje:*

*Fuentes de Información:*

Se pide a los alumnos que proporcionen, a partir del texto, las Pistas/Hechos/Datos que dan información relevante. Lo cual se anota en el pizarrón y, a partir de ello, se plantean problemas (preguntas) a resolver por medio de preguntas sobre las diversas pistas encontradas. A continuación se establecen las Hipótesis/Explicaciones para cada una de las preguntas pueden ser afirmaciones sin la necesidad de ser hipótesis con rigor científico, lo importante es que éstas sean planteadas por los alumnos. Posteriormente, éstos elaboran los objetivos de aprendizaje y establecen las fuentes de información necesarias. La investigación en las fuentes de información se puede efectuar de una clase a otra, o bien, se les puede dar tiempo y materiales como: libros, revistas, etc. para que la efectúen en el salón de clase en grupos de cuatro alumnos.

El profesor orienta el trabajo con base en un texto elaborado previamente y de manera simultánea con el material para el alumno. Se refiere a lo que el profesor espera del desarrollo:

**Material del profesor**

**LEY DE FARADAY**

Propósito del caso problema:

Organización para el aprendizaje en relación al contenido de la Ley de Faraday y aprendizaje a partir de explicar un fenómeno de inducción electromagnética

I.- Pistas/Hechos/ Datos:

Un foquito fijo a una bobina chica está encendido sin estar conectado a batería alguna // Para que el foco prenda es necesario introducir la bobina pequeña a lo largo del núcleo de hierro. // Jodel anota:  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$  // este tipo de cociente le parece

haberlo visto en sus clases de cálculo.

II.- Problema(s):

¿Por qué enciende el foquito sin estar conectado a batería alguna? //  
 ¿ Qué hace el núcleo de hierro dulce para que al ser introducida la bobina pequeña encienda el foquito // ¿El cociente es parte de alguna fórmula? //  
 ¿ Qué significa el cociente? // ¿Qué tiene que ver con en el encendido del foquito?

III.- Hipótesis/Explicaciones/Diagnóstico:

El foco enciende porque hay algo que es equivalente a lo que una batería hace para encender un foco común, es decir, se establece una corriente // introducir la bobina chica a lo largo del núcleo de hierro ayuda a encender el foquito // El cociente

$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$  es parte de alguna ley del electromagnetismo // Como el cociente tiene una

$B$ , debe referirse al campo magnético y con algo que varía de un instante a otro // Lo que cambia con el tiempo,  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$ , puede ser lo que actúa como una batería.

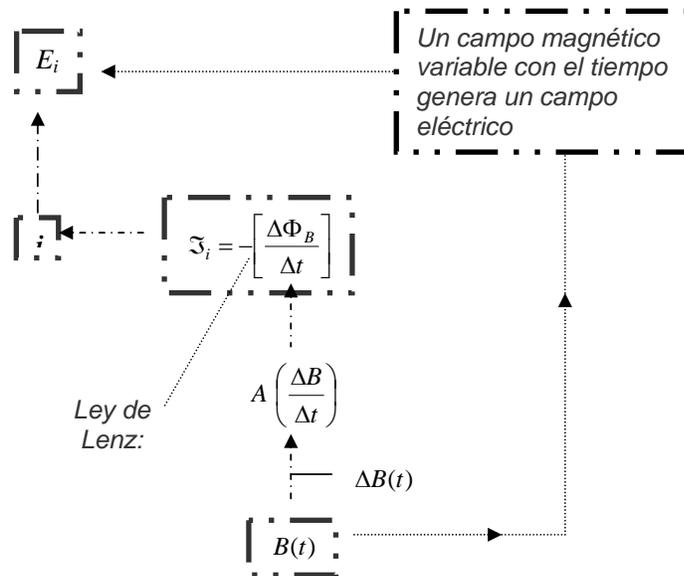
IV.- Objetivos de aprendizaje:

Concepto de variación de flujo magnético // Concepto de fuerza electromotriz inducida // Ley de Faraday // Explicación del fenómeno de inducción electromagnética.

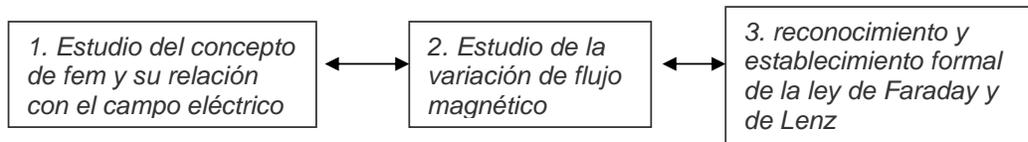
V.- Fuentes de Información:

Observaciones efectuadas en el experimento demostrativo, libros, revistas, Internet, etc.

**A.2.2.- Actividad de aprendizaje.** Efectuar observaciones y comentarios a las hipótesis, los problemas planteados y la información parcial que los equipos logran obtener para estructurar su coherencia y elaborar, con los alumnos, un agrupación de conceptos en el pizarrón, por ejemplo, de la siguiente manera:



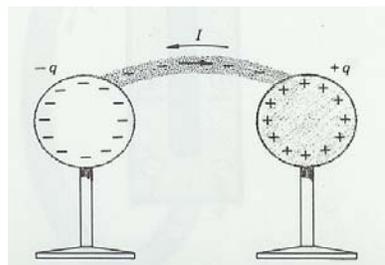
Con base en este esquema, se analiza con los alumnos una estrategia a seguir para el desarrollo y organización de los temas, por ejemplo:



**A.2.3.- Actividad de aprendizaje.** Como la explicación del fenómeno de inducción no pretende ser numéricamente rigurosa, se puede llevar a cabo una discusión en grupo para modelar, con los resultados para un solenoide ideal, el análisis de la situación real presentada en el experimento demostrativo, estableciendo similitudes, diferencias y paralelismos. Asegurarse de que los alumnos aceptan tal modelación como válida.

Una vez que se ha señalado la organización de los temas, el procedimiento a seguir para su estudio y la modelación para el fenómeno de inducción, se continua con el tema de fuerza electromotriz.

**1. Fuerza electromotriz, *fem*.** Si se conectan dos esferas cargadas mediante un alambre conductor, figura 1, los electrones libres del material fluyen a través del alambre en la dirección que va de la esfera cargada negativamente a la esfera cargada positivamente. Se dice entonces que se ha establecido una corriente eléctrica  $I$  en el alambre. Por convención, para evitar el signo menos de la carga negativa, se define la corriente convencional en un alambre como aquella que está dirigida en sentido contrario al flujo real de carga negativa; lo cual, es equivalente, ya que el movimiento relativo entre las cargas establece un flujo de carga negativa en una dirección que equivale a un flujo de carga positiva en dirección opuesta.



Dos esferas con carga igual y opuesta

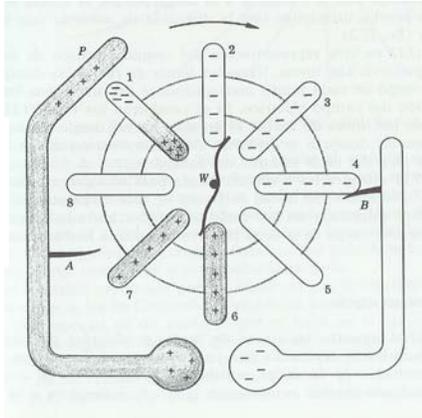
Fig 1

La corriente  $I$  que circula en el alambre, se mantiene hasta que las dos esferas se descargan (lo que ocurre en un tiempo muy breve), es decir, hasta que la diferencia de potencial entre ellas es nula. Sin embargo, se podría mantener una corriente constante en un hilo conductor si hubiera un mecanismo que restituyera la carga en las esferas, es decir, que mantuviera una diferencia de potencial constante.

Un mecanismo que mantiene un diferencia de potencial constante, recibe el nombre de generador de fuerza electromotriz (*fem*). Por ejemplo, la máquina de inducción, figura 2, es un generador que utiliza la energía mecánica para separar la carga positiva y negativa. Esta energía es proporcionada por una persona cuya energía gastada se convierte en trabajo realizado al girar la rueda y, éste trabajo (energía) se transforma en energía potencial eléctrica entre las esferas metálicas. En esta circunstancia, si se conecta un alambre conductor entre las esferas, la carga pasa por el alambre y una corriente eléctrica permanente puede mantenerse dando vueltas continuamente a la rueda.

Máquina de inducción eléctrica

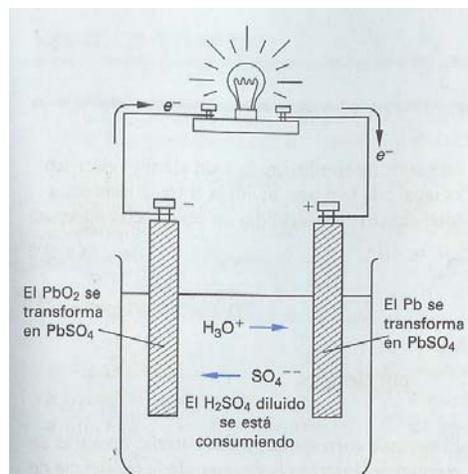
Fig.2



La placa P tiene inicialmente una pequeña carga positiva que induce carga negativa en la varilla 1, la cual en la posición 2 establece contacto con el hilo W que conecta a la varilla 6 de donde fluye carga negativa y queda cargada positivamente en la posición 7 mientras la varilla en la posición 3 queda cargada negativamente. Las varillas depositan su carga en las esferas conductoras al hacer contacto en A y en B quedando en estado neutro en las posiciones 5 y 8.

Otra fuente de fuerza electromotriz son las baterías comunes, que en términos físicos, dan como resultado la separación y acumulación de la carga eléctrica en los polos o terminales de la batería como en la maquina de inducción pero utilizando energía química.

Una batería común convierte la energía química almacenada en los enlaces químicos de las sustancias que intervienen en las reacciones, primero, en la separación de la carga eléctrica y, posteriormente, en el mantenimiento de una diferencia de potencial permanente en los polos de la batería circule o no una corriente eléctrica por el circuito. Por ejemplo, figura 3, en una batería recargable de plomo el cátodo consiste en una placa de plomo esponjoso (Pb), el ánodo es peróxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ) y el electrolito es ácido sulfúrico diluido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



Batería de plomo-ácido en proceso de descarga ( nota, los señalamientos en los polos están al revés polos están al revés)

Fig.3

Como resultado de las reacciones químicas, en el cátodo queda un depósito de sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ) y una carga negativa. Mientras que, en el ánodo, la reacción forma agua y un depósito de sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ), entregándose al ánodo una carga positiva. Con el uso, la batería se descarga, es decir, el ácido sulfúrico diluido se consume y lo que queda es agua en el interior de la batería. Se dice entonces que una batería común es un sistema cerrado en el que los subproductos de las reacciones químicas (agua y  $\text{PbSO}_4$ ) permanecen dentro de ella. En el proceso inverso de recarga de la batería, todas las reacciones químicas se invierten cuando se conecta una fuente de mayor *fem* en oposición a la salida de la celda, se dice entonces que la batería es recargable.

La separación inicial de carga eléctrica, genera un campo eléctrico en el interior de la batería, que va del polo positivo al polo negativo. Iones positivos y negativos presentes en el electrolito, son forzados a alcanzar el polo de su mismo signo; es decir, se mueven en contra de la repulsión eléctrica de las cargas ya presentes en los polos y en contra del campo eléctrico a través de la solución. Cada una de las reacciones químicas supone un número definido de iones desplazándose a través del electrolito, la energía liberada se emplea en impulsar un número determinado de cargas elementales hacia los polos de la batería. El proceso, en el que se mueve la carga en oposición al campo eléctrico debido a la energía química liberada, es el "mecanismo" que da origen a la fuerza electromotriz o diferencia de potencial.

Se dice también, que esa energía liberada se almacena en el campo eléctrico y es utilizada para efectuar el trabajo eléctrico sobre los portadores de carga para mantener la diferencia de potencial constante entre las terminales de la batería. Mientras la composición química y la disposición de los constituyentes de la batería permanezcan casi invariables, todas las reacciones químicas individuales serán idénticas entre sí y, por ello, se mantendrá la *fem* constante. En caso contrario la *fem* se altera y finalmente se hace nula.

Si una corriente  $I$  se mantiene en un circuito, en un tiempo  $t$ , la cantidad de carga positiva que pasa del polo positivo al negativo es  $q = It$ . El trabajo realizado sobre esta carga al moverla por el alambre es,

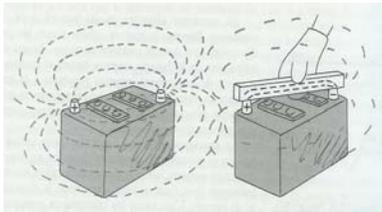
$$W = q\Delta V$$

donde  $\Delta V$  es la diferencia de potencial entre las terminales de la batería. El trabajo realizado cada segundo o potencia eléctrica es,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{q\Delta V}{t} = I\Delta V$$

de modo que la energía que gasta la batería es descargada en el circuito externo con esta rapidez.

Por otro lado, la figura 4 muestra una batería. A la izquierda se observan las líneas de campo eléctrico externas a la batería que corresponden a las de un dipolo eléctrico, a la derecha se ha colocado una barra metálica conductora. Las líneas de campo eléctrico entre las terminales se dirigen a través de la barra metálica conductora que las une.

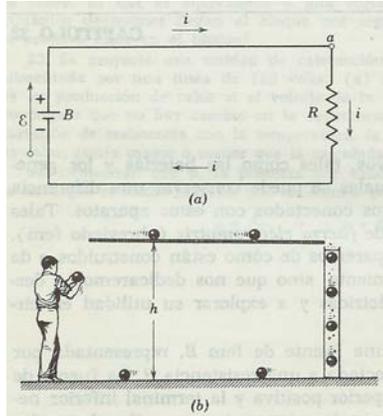


Líneas de campo eléctrico entre los polos de una batería antes y después de colocar un conductor metálico

Fig. 4

Los electrones libres del material reaccionan simultáneamente, en todo punto, al campo eléctrico; el cual, los acelera en una dirección paralela a las líneas de campo del polo negativo al positivo. En su movimiento, estos electrones chocan con los átomos neutros y fijos que constituyen la red del material conductor. Estas colisiones interrumpen el movimiento de los electrones impidiéndoles que alcancen grandes velocidades; hacen que los electrones se muevan, en promedio, con velocidad constante en el circuito externo, por lo que la velocidad real del flujo de electrones es muy baja, por ejemplo, de una centésima por segundo. Durante las colisiones, los electrones libres transfieren parte de la energía cinética recibida a la red del material conductor que se calienta, proceso irreversible en el que la red *no* retorna la energía a los electrones libres. Es decir, parte de la energía electroquímica transferida al campo eléctrico y, ésta energía transferida a los electrones libres como energía mecánica, aparece finalmente, como calor en el alambre debido a la resistencia del material conductor.

La figura 5a, muestra esquemáticamente una fuente de *fem*  $B$  de una batería, la cual ha sido conectada a una resistencia  $R$ . La *fem* se indica con una flecha colocada junto a la fuente y apunta en la dirección de la corriente convencional en el circuito exterior (aquí la denotamos con el símbolo  $\mathfrak{E}$ ).



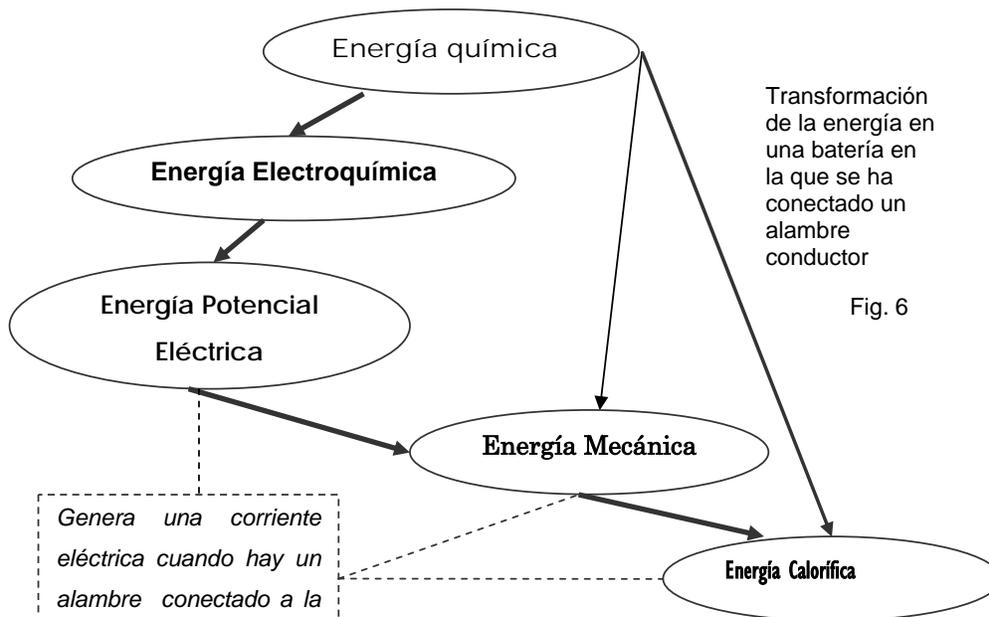
Arriba, un circuito eléctrico formado por una batería  $B$  y una resistencia  $R$ . Abajo, una analogía para el trabajo realizado por una fuente de fuerza electromotriz (batería  $B$ ), representada por el trabajo que el joven hace al subir las bolas hacia una zona de mayor potencial. La resistencia del circuito se representa por el movimiento de las bolas en aceite. Fig 5

Cuando las terminales de la batería no están conectadas a un alambre, se mantiene entre ellas la diferencia de potencial  $\mathfrak{E}$  o *fem* de la batería. Pero si las terminales están conectadas a un hilo conductor, esa *fem* se modifica ya que existe un campo eléctrico en la dirección y sentido del flujo de la corriente y la solución actúa como una resistencia óhmica ordinaria. La diferencia de potencial entre las terminales de la batería, ahora, es menor que  $\mathfrak{E}$ , debido a la caída interior del potencial en el electrolito. En lo que concierne a su papel en un circuito exterior, una batería puede representarse por un circuito equivalente que consiste en una fuerza electromotriz  $\mathfrak{E}$  en serie con una resistencia  $R_i$ . Al aplicar la ley de Ohm al circuito como el de la figura 5a, se debe tener en cuenta que la resistencia total  $R$  es la suma de la resistencia interna  $R_i$  de la fuente de *fem* y la resistencia externa  $R_e$  del conductor.

En síntesis, las reacciones químicas liberan energía y se acumula carga eléctrica en los polos de la batería. La energía, ahora, electroquímica se almacena en el campo eléctrico que rodea al circuito, este campo juega el papel de intermediario en el proceso de transmisión de energía. El campo eléctrico, hace trabajo sobre

los portadores de carga y el trabajo por unidad de carga es la energía potencial eléctrica almacenada en la batería. Cuando se conecta un alambre conductor entre las terminales de la batería, la energía potencial puede convertirse en corriente eléctrica y en energía térmica vía choques. La energía almacenada no aumenta porque se está gastando al transformarse en calor por el efecto Joule en la resistencia de la figura 4a con la misma rapidez con que es abastecida. El papel de la fuente de  $fem$   $\mathfrak{E}$ , es hacer trabajo sobre los portadores de carga que penetran a ella y su efecto es mover las cargas positivas de un punto de bajo potencial eléctrico (terminal negativa), a través de la fuente, a un punto de elevado potencial (terminal positiva). Así, en general, una fuente de  $fem$  es un dispositivo en el cual se transforma, en forma reversible, energía química, mecánica o de otra forma, en energía eléctrica.

Cabe señalar que la palabra fuerza no está correctamente aplicada porque se ha estado hablando siempre de energía, una mejor manera de referirnos a la fuente de  $fem$ , es sólo como: “fuente de energía electromotriz”. Las transformaciones de energía se resumen en la siguiente figura 6:



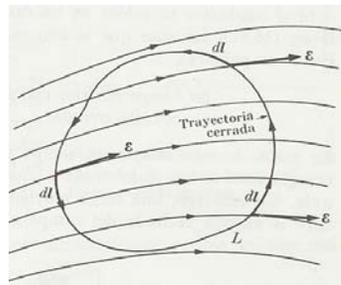
**2. Fuerza electromotriz como circulación del campo eléctrico  $\vec{E}$ .** Supongamos que una carga eléctrica se mueve del punto  $A$  al punto  $B$  siguiendo una trayectoria  $L$  en el espacio bajo la influencia de una fuerza eléctrica  $\vec{F} = q\vec{E}$ . El trabajo por unidad de carga realizado para mover la carga a lo largo de la trayectoria  $L$  es,  $\frac{W}{q} = \int_L \vec{E} \cdot d\vec{l}$ . Cuando la trayectoria es cerrada, figura 7, la integral curvilínea se convierte en la circulación del campo eléctrico y se denomina fuerza electromotriz, *fem*:

$$\mathfrak{S} = \frac{W}{q} = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1)$$

Es decir, *la fuerza electromotriz aplicada a una trayectoria cerrada es igual al trabajo hecho al mover una unidad de carga alrededor de la misma.*

Circuito cerrado en un campo eléctrico

Fig 7



Si el campo eléctrico se aplica a un conductor que forma un circuito cerrado, la ley de Ohm, que es una expresión de la conservación de la energía, se puede escribir como

$$\mathfrak{S} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = (R_i + R_e)I \quad (2)$$

donde  $L$  es la trayectoria cerrada del conductor,  $R$  es la resistencia eléctrica del mismo y  $\mathfrak{S}$  es la *fem* aplicada al circuito. Cuando la *fem* de esta expresión, se refiere a la de una batería, de acuerdo a la figura 6, puede ser interpretada como aquella que proviene de procesos físico-químicos, los cuales generan un campo eléctrico  $\vec{E}$  en todo el circuito cerrado que interacciona con los electrones libres del conductor para establecer una corriente eléctrica. Como veremos, otro modo para producir una *fem* es por medio del fenómeno de inducción electromagnética que, al igual que en el caso de una batería, esta fuente de energía electromotriz puede generar y mantener una corriente eléctrica.

**A.3 Actividad de aprendizaje.** Elaborar, profesor y alumnos, la siguiente “Gráfica de recuperación tipo 1”. La cual incluye rótulos de las principales ideas en las columnas y en las filas. La realización de la gráfica permite tener información sobre las relaciones entre las principales ideas que entran en los espacios. Esta información puede consistir en hechos o datos, ideas, ejemplos, conceptos, descripciones, explicaciones, procesos y procedimientos ya conocidos por el alumno o que pueden investigarse. Por ejemplo:

**Gráfica de recuperación tipo 1**  
(Referente a los hechos dentro de una batería o fem)

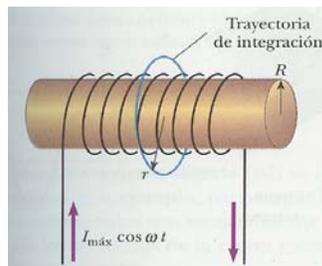
<b>fem de batería</b>	<b>Polo (+)</b>	<b>Polo (-)</b>	<b>Electrólisis</b>	<b>Energía química</b>
<b>Carga eléctrica</b>	Las reacciones químicas de un tipo hacen que se acumule carga positiva en este polo	Las reacciones químicas de otro tipo hacen que se acumule carga negativa en este polo	Una solución que se descompone en iones positivos y negativos de diferentes especies químicas	Se libera energía (entalpía) mediante las reacciones químicas y la conformación de subproductos químicos en los polos de la batería
<b>Campo eléctrico</b>	La carga en el polo genera un campo eléctrico/ Las líneas de campo salen de la carga positiva	La carga en el polo genera un campo eléctrico/ Las líneas de campo llegan a este polo	Hay un campo eléctrico a través de la solución dirigido del polo positivo al negativo	La energía liberada se almacena en el campo eléctrico que atraviesa al electrolito
<b>Trabajo eléctrico</b>	Se realiza para llevar carga eléctrica positiva a este polo en contra del campo eléctrico	Se realiza para llevar carga negativa a este polo en contra del campo eléctrico	Los iones positivos y negativos se mueven hacia los polos para generar las reacciones químicas que acumulan carga	La energía liberada y almacenada en el campo eléctrico es utilizada para hacer este trabajo eléctrico
<b>Diferencia de potencial</b>	La acumulación de carga en los polos debida al trabajo eléctrico genera un potencial eléctrico mayor en este polo	La acumulación de carga en los polos debida al trabajo eléctrico genera un potencial eléctrico menor en este polo	Interviene en el transporte de iones de la solución hacia los polos para continuar con los procesos químicos	La energía almacenada en el campo eléctrico está convertida en energía potencial eléctrica / Un portador de carga positiva puede desplazarse a un potencial mayor si al hacerlo puede intervenir en una reacción química que dará más energía que la requerida para escalar el desnivel eléctrico
<b>Corriente eléctrica</b>	El movimiento de iones positivos de la solución hacen posible reacciones en este polo	El movimiento de los iones negativos producen reacciones en este polo	Se mueven tanto iones positivos como negativos en direcciones opuestas	La energía liberada finalmente produce una corriente eléctrica

**Gráfica de recuperación tipo 1 (continuación)**  
**(Referente a los hechos fuera de una batería o fem conectada a un alambre)**

<b>Carga eléctrica</b>	<i>A este polo llega la carga negativa del conductor</i>	<i>De este polo sale la carga negativa o electrones libres del conductor</i>	<i>Repone rápidamente la carga eléctrica en los polos de la batería</i>	<i>Se sigue liberando energía continuamente para mantener la carga constante en los polos</i>
<b>Campo eléctrico</b>	<i>En este polo el campo eléctrico corresponde al de un dipolo eléctrico/ Las líneas de campo eléctrico externo parten de este polo y se ajustan al conductor</i>	<i>En este polo el campo eléctrico corresponde al de un dipolo eléctrico/ Las líneas de campo eléctrico externo llegan a este polo y se ajustan al conductor</i>	<i>El campo eléctrico a lo largo del conductor se relaciona con el campo que hay en la solución</i>	<i>La energía liberada se almacena también en el campo eléctrico externo para hacer trabajo sobre los electrones libres en el alambre.</i>
<b>Trabajo eléctrico</b>	<i>El trabajo realizado desplaza la carga eléctrica negativa hacia este polo</i>	<i>El trabajo realizado desplaza la carga negativa a partir de este polo debido a la fuerza eléctrica que ejerce el campo eléctrico</i>	<i>La misma cantidad de carga que se desplaza en la solución es la que circula por el alambre externo</i>	<i>La energía para este trabajo la proporciona las reacciones químicas en el interior</i>
<b>Diferencia de potencial</b>	<i>Se mantiene constante, tiene un valor mayor que en el polo opuesto</i>	<i>Se mantiene constante, tiene un valor menor que en polo opuesto</i>	<i>Se gasta el electrolito para mantener la diferencia de potencial / Ésta es menor que cuando no circula corriente por un alambre</i>	<i>La energía química está almacenada como energía potencial eléctrica / Esta energía es igual al trabajo por unidad de carga que la fuerza eléctrica puede realizar sobre los portadores de carga</i>
<b>Corriente eléctrica</b>	<i>A este polo llegan los electrones libres del alambre conductor</i>	<i>El movimiento simultáneo de electrones libres en el alambre debido a la fuerza eléctrica provoca que se desplace la carga negativa de este polo</i>	<i>La solución actúa como una resistencia óhmica para determinar la resistencia total del conductor y la corriente que fluye en todo el circuito</i>	<i>La energía química liberada y almacenada como energía potencial eléctrica genera finalmente la corriente eléctrica</i>
<b>Disipación de la energía en la circulación de la corriente</b>	<i>La energía que gasta la batería es transmitida al circuito externo desde este polo hasta el polo opuesto</i>	<i>La potencia entregada por la batería al circuito exterior es igual a la corriente que circula y a la diferencia de potencial entre los polos</i>	<i>La solución repone la pérdida de energía calorífica en la resistencia externa del circuito debido a la corriente eléctrica que circula</i>	<i>La energía química se comunica a la red del material conductor (vía choques) en igual cantidad que el trabajo por unidad de carga que efectúa la fuerza eléctrica sobre los electrones libres en la corriente eléctrica/ La energía se conserva</i>

**3. Fuerza electromotriz inducida para el experimento demostrativo.** Hemos dicho que una *fem* es capaz de generar y sostener una corriente eléctrica. La evidencia física de que en nuestro experimento demostrativo existe una *fem* lo muestra el hecho de que el pequeño foco, fijo a la bobina chica, enciende al introducir ésta a lo largo del núcleo de hierro y colocarla cerca de la bobina grande de nuestro experimento.

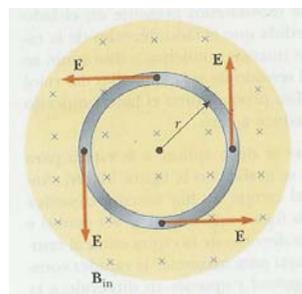
Para calcular esta *fem*, que denominaremos de ahora en adelante *fem inducida*, partimos de la actividad de aprendizaje A.2.3, donde se acordó simular o modelar la situación real de nuestro experimento demostrativo con un solenoide como el de la figura 8, por el cual circula una corriente alterna  $I = I_{\max} \cos \omega t$  donde  $I_{\max}$  es la amplitud máxima de la corriente y  $\omega = 2\pi f$  su frecuencia.



Solenoide largo que conduce una corriente alterna. Un campo eléctrico es inducido tanto en el interior como en el exterior del solenoide

Fig 8

Si se considera un punto externo sobre un círculo de radio  $r$  centrado en el solenoide como se ilustra en la figura 8, y se toma a este círculo como la trayectoria para la integración; por simetría, en un momento dado, la magnitud del campo eléctrico es constante sobre esta trayectoria y tangente a ella en todo punto como se ilustra en la figura 9 para un caso en que se tiene un anillo conductor.



Campo eléctrico inducido

Fig. 9

De acuerdo a la ecuación 1, a una distancia  $r$  del centro del solenoide, la *fem inducida* es

$$\mathfrak{F} = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = E(2\pi r) \quad (3)$$

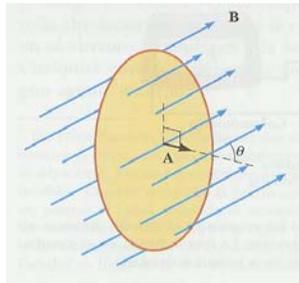
ya que el ángulo entre el vector desplazamiento y el vector eléctrico es cero. Esta *fem inducida*, es la que provee una diferencia de potencial constante que genera y sostiene la *corriente inducida* en la bobina chica, ya que el campo *eléctrico inducido* interactúa con los electrones libres de esta bobina para ponerlos en movimiento.

Obsérvese que, de acuerdo a la definición de *fem* como la circulación del campo eléctrico, no es indispensable tener una bobina para poder afirmar que el *campo eléctrico inducido* existe sobre cualquier punto del circuito cerrado de la figura 8. De hecho, basta con considerar un circuito espacial, como la trayectoria circular, para que podamos calcular la *fem inducida* en relación con el campo eléctrico inducido. O bien, *¡ justo como lo hemos hecho en nuestro experimento demostrativo !*, al colocar la bobina chica con un foquito para observar la presencia del campo *eléctrico inducido* y la *fem inducida* como en la figura 9.

El campo eléctrico inducido hace circular a los electrones libres a lo largo de la bobina y se genera la *corriente eléctrica inducida*. De modo que ambas situaciones son completamente equivalentes. Así, en nuestro experimento demostrativo también podemos pensar, que hemos detectado el campo *eléctrico inducido* correspondiente a la *fem inducida* colocando nuestra bobina chica en el entrono del solenoide de la figura 8.

En las secciones que siguen estudiaremos la causa de esta *fem inducida* y reconoceremos la relación que tiene con la variación de flujo magnético que hay a través de la superficie de la bobina chica debido a la corriente alterna que circula por el solenoide. Posteriormente, estaremos en condiciones de establecer la expresión matemática del campo eléctrico inducido con relación a la variación de flujo magnético.

**4. Variación de flujo magnético.** En la secuencia didáctica para la ley de Gauss magnética se definió el concepto de flujo para una superficie abierta y para una superficie cerrada. Aquí estamos interesados en la *variación* del flujo magnético a través de superficies abiertas; esta variación de flujo nos conducirá a la ley de Faraday. Considere un campo magnético  $\vec{B}$  y una espira que delimita un área  $A$  como se muestra en la figura 10.



Flujo magnético a través de una espira circular.

Fig 10

En cierto instante el flujo magnético inicial a través de la espira es,  $\Phi_{B,i}$ ; un tiempo después, al variar alguna o algunas de las magnitudes habrá un flujo magnético final  $\Phi_{B,f}$ . La variación de flujo en un intervalo de tiempo finito se escribe como,

$$\frac{\Phi_{B,f} - \Phi_{B,i}}{t_f - t_i} = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

y cuando el intervalo de tiempo es infinitesimal, la variación instantánea del flujo magnético se denota por,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

Para obtener valores instantáneos de la variación de flujo se utiliza esta expresión, pero si sólo interesa el valor medio de la variación de flujo, la expresión  $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$  será útil para resolver este tipo de problemas. Ahora bien, la variación de flujo magnético se puede obtener experimentalmente de diversas maneras, por ejemplo, para el caso de la espira de la figura 9, el flujo cambia cuando:

Caso 1: la magnitud del campo magnético varía pero el tamaño del área de la espira y el ángulo entre el vector normal a ésta y el campo magnético son fijos,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = (A \cos \theta) \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

Esta ecuación se puede aplicar, por ejemplo, para calcular el flujo magnético instantáneo en un solenoide por el que circula una corriente alterna.

Caso 2: la magnitud o tamaño del área delimitada por la espira cambia con el tiempo pero la dirección, magnitud y el sentido del campo magnético se conservan en todo momento,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = (B \cos \theta) \frac{dA}{dt} \quad (5)$$

Este caso se presenta, por ejemplo, cuando una barra conductora se desliza con una rapidez  $v$  constante a lo largo de dos rieles conductores en una zona donde hay un campo magnético.

Caso 3: el ángulo  $\theta$  entre el campo magnético y el vector de área asociado puede cambiar con el tiempo pero la magnitud del campo magnético y la del área es la misma,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = (AB) \frac{d}{dt} \cos \theta(t) \quad (6)$$

Esta situación puede presentarse para una bobina inmersa en un campo magnético que gira alrededor de un eje, este dispositivo que se conoce con el nombre de generador.

**5.- Variación de flujo magnético para el experimento demostrativo.** Ahora retomemos nuestro problema de explicar el fenómeno de encendido del foquito. Lo hacemos mediante la *modelación* planteada en la figura 8 . Sí se coloca la bobina pequeña con el foquito al centro del solenoide ( de tal manera que la trayectoria de integración sea como se muestra en esa figura), el campo magnético está dado por,  $B = \mu_0 n I$  donde  $n = \frac{N}{l}$  (número de vueltas por unidad de longitud) y, como se ha dicho, la corriente alterna que circula por el solenoide es  $I = I_{m\acute{a}x} \cos \omega t$ ; de estas dos últimas expresiones, la magnitud del campo magnético se escribe como,

$$B(t) = \mu_0 n I_{m\acute{a}x} \cos \omega t \quad (7)$$

la cual varía con el tiempo en forma senoidal. Nótese que el campo magnético,  $B(t)$ , queda expresado con la misma dependencia temporal y frecuencia que la de la corriente alterna. La figura 11, muestra la dirección del campo magnético mientras que la magnitud del campo magnético es variable para diferentes tiempos en un cuarto de ciclo. Se muestra también el vector  $\vec{A}$ , cuya magnitud y dirección permanecen constantes; el ángulo entre estos vectores es cero en esta parte del ciclo. Posteriormente, al terminar el tiempo de este ciclo, el campo magnético se invierte, partiendo de cero se hace cada vez más negativo hasta alcanzar su valor máximo negativo; a partir de este valor, empieza a decrecer hasta alcanzar el valor cero y, finalmente, para completar el ciclo, crece a partir de cero hasta su valor máximo positivo que tenía al principio del ciclo.

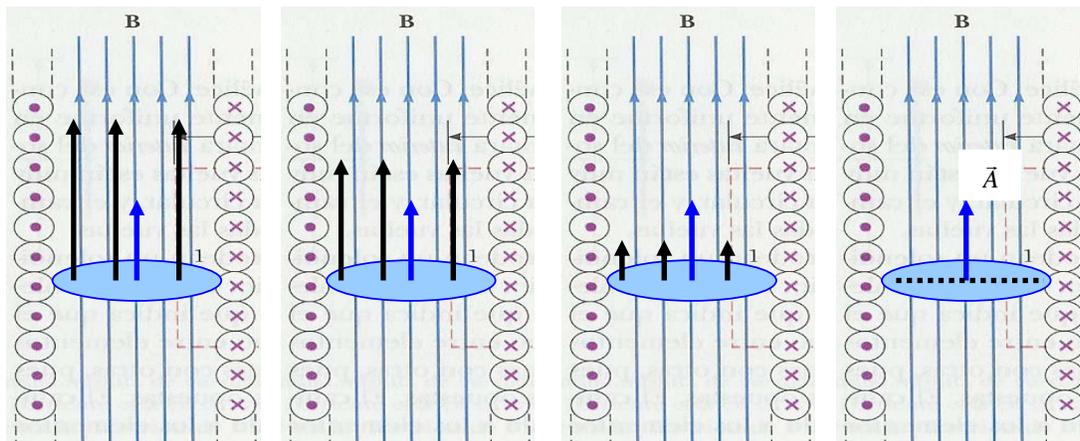


Fig. 11 Variación temporal del campo magnético en un primer cuarto de ciclo

Ahora bien, de acuerdo con los casos mencionados en la sección anterior, la variación de flujo magnético se calcula con la ecuación 4 del Caso 1, es decir

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = - (A \cos \theta) \frac{dB}{dt} = A \frac{d}{dt} [\mu_0 n I_{m\acute{a}x} \cos wt]$$

donde se ha usado sustituido la ecuación 7. Efectuando la derivada con respecto al tiempo y considerando,  $A = \pi R^2$  y  $w = 2\pi f$ , se obtiene

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = (\pi R^2) w \mu_0 n I_{m\acute{a}x} \text{sen} wt \quad (8)$$

**A.4 Actividad de aprendizaje.** El profesor grafica las funciones seno y coseno.

**6. Reconocimiento de la ley de Faraday.** Con los resultados hasta ahora obtenidos y recordando que en la actividad de aprendizaje A.1.1 se planteó la hipótesis: *lo que cambia con el tiempo,  $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ , puede ser lo que actúa como una batería*, estamos en posibilidades de reconocer la ley de Faraday. “Si desconectamos la bobina grande de la fuente de voltaje, la corriente eléctrica alterna dejará de circular, la variación de flujo magnético a través de la bobina chica con el foquito fijo cesa y éste se apaga; de modo que se tiene una buena razón para afirmar que la variación de flujo magnético, efectivamente, tiene relación con la *fem inducida*, la cual provee la energía electromotriz para que el foquito del experimento demostrativo encienda. Así, la *fem inducida*,  $\mathfrak{E}$ , de la ecuación 3 se puede igualar con el resultado de la ecuación 8, se obtiene

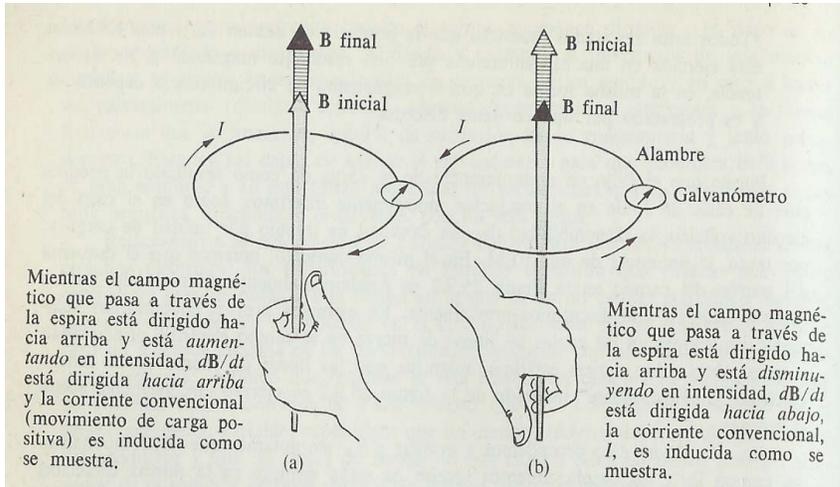
$$\mathfrak{E} = \frac{d\Phi_B}{dt} = (\pi R^2) \omega \mu_0 n I_{m\acute{a}x} \text{sen} \omega t \quad (9)$$

Esta ecuación quiere decir que para valores fijos de la frecuencia  $\omega = 2\pi f$ , de la amplitud  $I_{m\acute{a}x}$ , del radio  $R$  del solenoide y de  $n = \frac{N}{l}$ ; la *fem inducida* es periódica. ¿Cuál es la dirección de la *fem* inducida para el solenoide? la respuesta la encontramos en lo que se conoce como la ley de Lenz, es decir:

*la polaridad de la fem inducida es tal que ésta tiende a producir una corriente eléctrica que crea un flujo magnético que se opone al cambio en el flujo magnético a través del área encerrada por la espira de corriente.*

Otra forma de expresar la ley de Lenz, que va de acuerdo con los resultados de la sección anterior, es mediante la *regla de la mano izquierda*, ver figura 12, a saber:

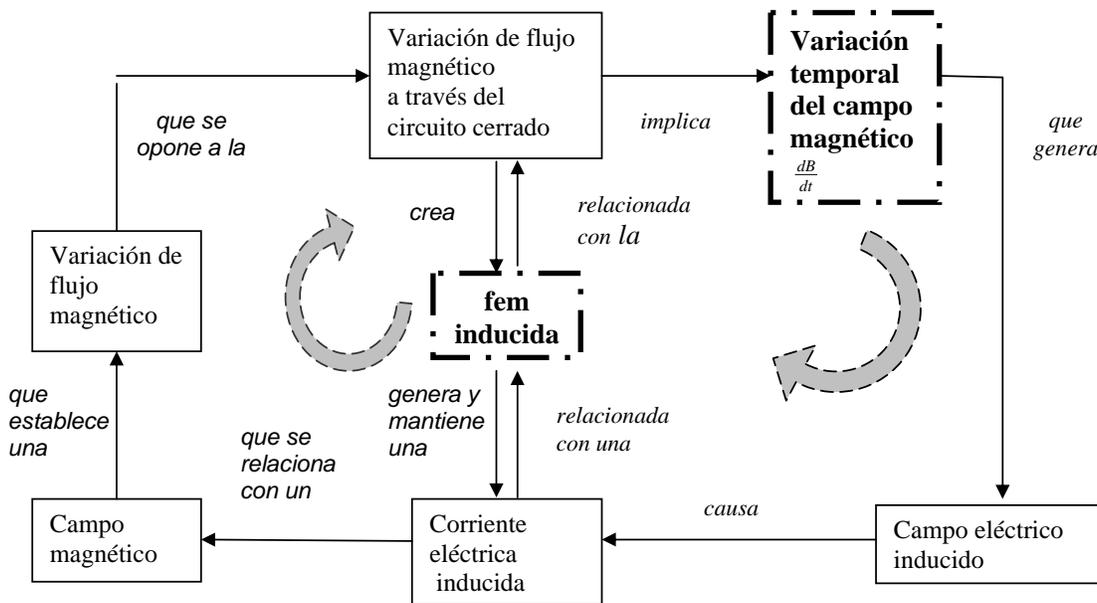
*diríjase el pulgar de la mano izquierda en la dirección de  $\frac{dB}{dt}$ , los dedos doblados muestran la dirección de la corriente eléctrica inducida y la del campo eléctrico inducido.*



Regla de la mano izquierda.

Fig 12

**A. 5 Actividad de aprendizaje.** Profesor y alumnos realizan un esquema de conceptos en torno a las dos formas de expresar los conceptos involucrados en la ley de Lenz:



*Ley de Lenz.* En el lado izquierdo se reconoce primero la *fem inducida* y en lado derecho se determina primero la dirección de  $\frac{dB}{dt}$  a través del circuito cerrado, con ambas formas se obtiene una misma dirección de la corriente y del campo eléctrico inducidos

Ahora bien, con la ecuación 3 para la *fem inducida* y con la ecuación 9 podemos escribir

$$E(2\pi r) = (\pi R^2) w \mu_0 n I_{\text{máx}} \text{sen} wt \quad (10)$$

que es la ley de Faraday para el caso particular del solenoide por el que fluye una corriente alterna  $I$ , además, muestra claramente al campo eléctrico inducido debido a la variación temporal del flujo magnético.

Como el lado izquierdo de esta ecuación es la *fem inducida*  $\mathfrak{E}$  y el lado derecho es la variación de flujo magnético,  $\frac{d\Phi_B}{dt}$  a través de una bobina de  $N$  vueltas, utilizando las expresiones correspondientes, la ley de Faraday se puede escribir en forma general como,

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (11)$$

O bien, en forma compacta,

$$\mathfrak{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (12)$$

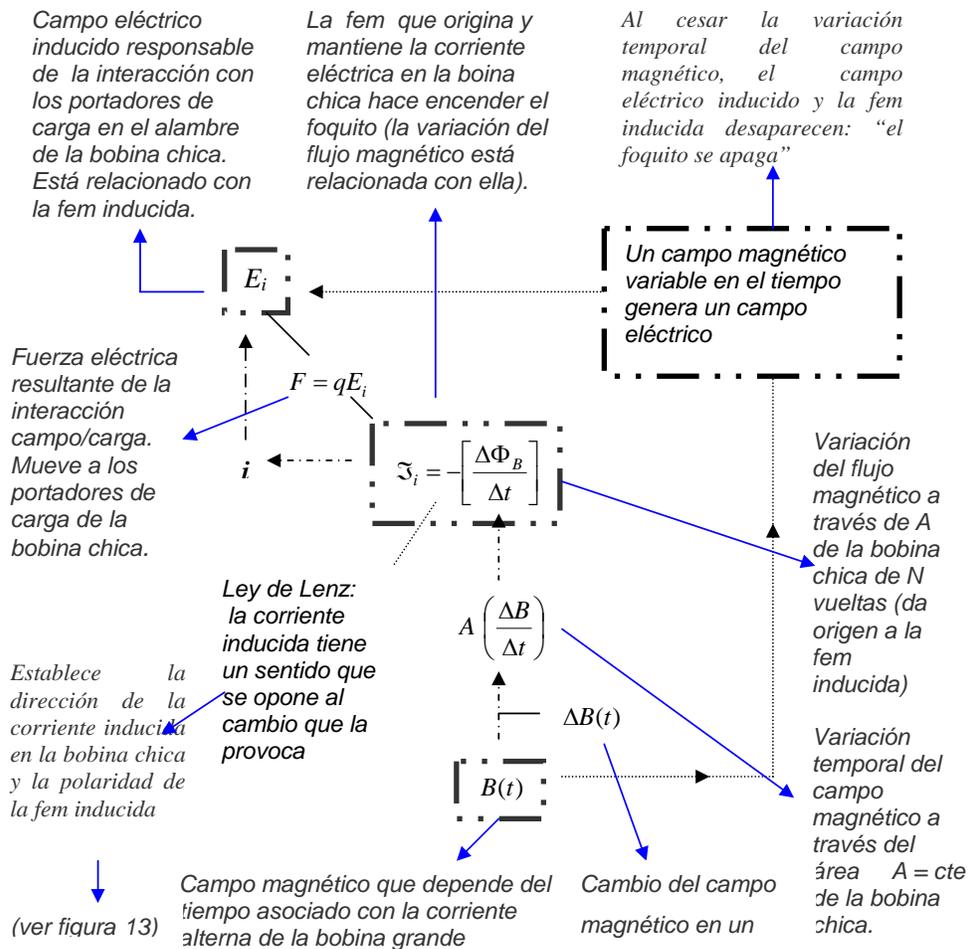
donde el signo menos de esta ecuación nos recuerda la ley de Lenz.

**7. El campo eléctrico inducido.** Como se indicó en la sección 3, ahora estamos en posibilidades de plantear la expresión matemática para el campo eléctrico inducido. De la ecuación 10, despejando se obtiene

$$E = \frac{wR^2 \mu_0 n I_{\text{máx}}}{2r} \text{sen} wt \quad (13)$$

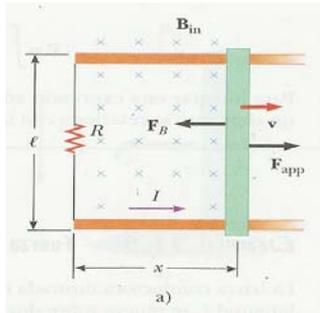
donde el campo varía periódicamente con el tiempo y su amplitud disminuye como el inverso de  $r$ . Obsérvese que el campo tiene la misma frecuencia angular que la corriente eléctrica alterna y que el campo magnético. Como la variación temporal de flujo magnético a través de la bobina chica de nuestro experimento se debe a la variación temporal de un campo magnético, diremos solamente que: *el campo eléctrico inducido se debe a la variación temporal de un campo magnético.*

**A.6 Actividades de aprendizaje.** Para que los alumnos elaboren su explicación del fenómeno demostrativo, éstos y el profesor construyen un resumen de resultados:



**A.6.1 Actividades de aprendizaje.** Efectuar una revisión y un análisis (en el salón de clases) de las hipótesis de los alumnos del inicio de la secuencia y efectuar su contraste con las conclusiones a las que conduce el desarrollo del tema. Después de la actividad anterior, que cada alumno, narre por escrito una explicación TENTATIVA del fenómeno de inducción del experimento demostrativo. La cual deberá ser revisada por el profesor para posibles correcciones.

**8.- Fuerza electromotriz de movimiento.** La figura 13 muestra una barra conductora que se desliza con una velocidad  $\vec{v}$  a lo largo de dos rieles conductores bajo la acción de una fuerza aplicada  $\vec{F}_{app}$  en un campo magnético uniforme. La fuerza magnética  $\vec{F}_B$  se opone al movimiento de la barra y una corriente  $I$  en el sentido contrario de las manecillas del reloj se induce en la espira.



Representación de las fuerzas y diagrama de circuito equivalente

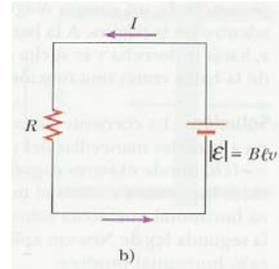


Fig 13

Supongamos que la barra tiene resistencia cero y que la parte estacionaria del circuito tiene una resistencia  $R$ . Cuando la barra se jala hacia la derecha a una velocidad  $\vec{v}$  debido a la fuerza aplicada  $\vec{F}_{app}$ , cada carga libre en la barra experimenta una fuerza magnética ( $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ ) dirigida a lo largo de la longitud de la barra y establece así una corriente inducida porque las cargas son libres de moverse en una trayectoria conductora cerrada.

En este caso, la rapidez de cambio de flujo magnético a través de la espira y la correspondiente *fem de movimiento* a través de la barra móvil, son proporcionales al cambio del área de la espira. Como el área encerrada por el circuito en cualquier instante es  $lx$ , donde  $x$  es el ancho del circuito, el flujo magnético a través de dicha área es,  $\Phi_B = Blx$ . Usando la ley de Faraday, y observando que  $x$  cambia con el tiempo a una rapidez  $\frac{dx}{dt} = v$  se encuentra que la *fem de movimiento inducida* es,

$$\mathfrak{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(Blx) = -Blv \quad (14)$$

Por otra parte, como la resistencia en el circuito es  $R$ , la magnitud de la corriente inducida, de acuerdo al diagrama de circuito equivalente, es

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

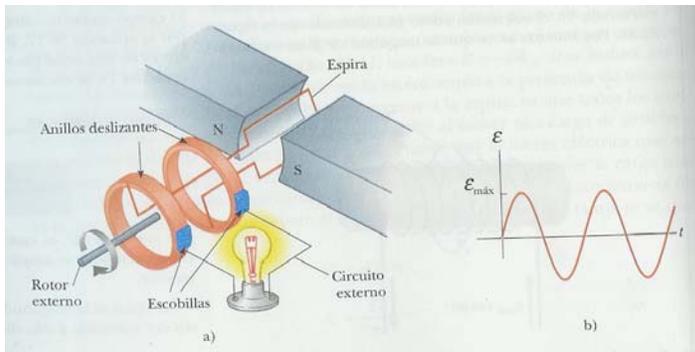
*Consideraciones de energía.* Como no hay batería en el circuito, uno se puede preguntar acerca del origen de la corriente inducida y la energía eléctrica en el sistema. La fuerza aplicada realiza trabajo sobre la barra conductora moviéndola, como un todo, con una velocidad  $\bar{v}$  hacia la derecha. La carga eléctrica de la barra se mueve entonces a través del campo magnético con esa velocidad e interacciona con el campo. La fuerza magnética que resulta de esta interacción mueve individualmente a las cargas a lo largo de la barra con cierta *velocidad de arrastre*  $v_d$  (en promedio constante) estableciendo una corriente eléctrica  $I$ .

Como la energía se debe conservar, el trabajo hecho por la fuerza aplicada sobre la barra debe ser igual a la energía eléctrica suministrada por la *fem de movimiento*. Conforme se mueve a través del campo magnético uniforme, la barra experimenta una fuerza magnética  $\vec{F}_B$  de magnitud  $IlB$ , su dirección es opuesta al movimiento de la barra, hacia la izquierda en la figura 13. Si la fuerza  $\vec{F}_B$  actuara en la dirección del movimiento, provocaría que la barra se acelerara y se violaría el principio de la conservación de la energía. La potencia entregada por la fuerza aplicada es,

$$P = F_{app}v = (IlB)v = \frac{B^2l^2v^2}{R} \quad (15)$$

Este ejemplo es una muestra de la conservación de energía mecánica, que primero se transforma en energía eléctrica y, luego en energía interna en el resistor ya que el trabajo hecho sobre la barra debe ser igual a la energía entregada al resistor durante cierto tiempo.

**9.- Generador y/o motor eléctrico.** Los generadores eléctricos son dispositivos que transforman la energía mecánica en eléctrica. La figura 14 muestra un generador de corriente alterna. Se compone de una espira de alambre que gira mecánicamente por medio de un rotor externo en un campo magnético generado por dos grandes imanes.



Esquema de un generador de corriente alterna y la fem inducida alterna

Fig. 14

En las centrales eléctricas comerciales la energía requerida para rotar la espira puede obtenerse de diversas formas y fuentes. Por ejemplo, en una planta hidroeléctrica el agua que cae directamente sobre los alabes de una turbina produce el movimiento rotatorio; en una planta carboeléctrica, la energía liberada por el carbón en combustión se usa para convertir agua en vapor y éste se dirige hacia los alabes de la turbina.

Cuando la espira gira en el campo magnético constante, el flujo  $\Phi_B = BA \cos \theta$  a través del área delimitada por las  $N$  vueltas (cada una de la misma área) cambia al transcurrir el tiempo de acuerdo con la ecuación 6. Esto induce una fem y una corriente en la espira de acuerdo con la ley de Faraday. Como  $\theta = \omega t$  es el ángulo entre el campo magnético y el vector perpendicular asociado con el área entonces la variación del flujo magnético a través de la espira en cualquier momento es,

$$\mathfrak{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N(AB) \frac{d}{dt} \cos \theta(t) = NAB\omega \text{sen} \omega t \quad (16)$$

lo que significa que la fem inducida varía sinusoidalmente. Tiene su valor máximo para  $\text{sen} \omega t = 1$  en  $\omega t = \frac{\pi}{2} \text{rad}$  y, tiene su mínimo para  $\text{sen} \omega t = -1$  en  $\omega t = \frac{3}{2} \pi \text{rad}$ ; su valor es  $\mathfrak{E} = \pm NAB\omega$  respectivamente. En otras palabras: imaginemos que la espira está efectuando una vuelta completa (girando en el sentido contrario a las manecillas del reloj), un instante antes de llegar a la posición inicial,  $t = 0$ , en la que plano de la espira es paralelo a las líneas de campo magnético, el área expuesta al campo magnético es una franja muy delgada y la variación de flujo a través de ésta tiende a cero. De modo que la fem inducida es instantáneamente cero, en  $t = 0$ . Lo que ocurre cuando la espira empieza un nuevo ciclo en  $0^\circ$ .

A partir de  $0^\circ$  el área de la espira expuesta al campo magnético empieza a crecer conforme sigue girando. De modo que la variación del flujo magnético aumenta constantemente y con ello la *fem* inducida adquiere valores cada vez más grandes hasta alcanzar su valor máximo:  $\mathfrak{S}_{m\acute{a}x} = +NABw$ , cuando el plano de la espira es perpendicular a las líneas de campo magnético. Lo que ocurre cuando la espira ha girado  $90^\circ$ . Posteriormente, el área expuesta al campo magnético empieza a decrecer y con ello la variación del flujo magnético. La *fem* inducida se reduce hasta cero cuando el plano del área de la espira es nuevamente paralelo a las líneas de campo magnético. Lo cual ocurre cuando la espira ha girado  $180^\circ$ .

A partir de  $180^\circ$  y hasta antes de  $270^\circ$  el área de la espira expuesta al campo magnético se incrementa continuamente pero la variación del flujo magnético es ahora negativa ya que el seno de un ángulo mayor a  $180^\circ$  es negativo. En  $270^\circ$  esta variación de flujo adquiere su valor más negativo, es decir, se tiene una *fem* inducida mínima  $\mathfrak{S}_{m\acute{i}n} = -NABw$ .

A partir de  $270^\circ$  y hasta antes de  $360^\circ$  el área expuesta al campo magnético se reduce continuamente y la variación del flujo sigue siendo negativa por la misma razón que antes, pero cada vez es menos negativa; de modo que la *fem* inducida se hace cada vez menos negativa hasta alcanzar el valor cero.

**A.7 Actividad de aprendizaje.** De acuerdo al “Manual de prácticas de Física IV área Físico-Matemáticas y de las Ingenierías” que los alumnos construyan un motor eléctrico casero siguiendo las instrucciones de la práctica denominada “Motor eléctrico”.

**10.- Alcances y aplicaciones de la Ley de Faraday en los ámbitos científico, cultural y tecnológico.** Para la creación de la teoría electromagnética por parte de Maxwell, esta ley anticipaba, por razones de *simetría*, el descubrimiento de la inducción de un campo magnético por la variación temporal de un campo eléctrico. Posteriormente, el concepto de simetría en forma más general, ha dado origen al desarrollo de toda una rama de la física que se encarga de estudiar aspectos relacionados con las estructuras atómicas. Una discusión sobre esta ley se puede encontrar en el artículo denominado “19 argumentos contra la ley de Faraday” en la dirección: <http://100cia.com/opinion/foros/shwthread.php?t=3742> de internet.

Esta ley es una de las que más impacto directo ha tenido y tiene en la tecnología y en la cultura de nuestro tiempo. Por ejemplo, el interruptor de falla a tierra es un dispositivo de seguridad que protege a los usuarios contra choques eléctricos, donde una *fem* inducida se usa para activar un interruptor de circuito que detiene la corriente antes de que alcance un nivel nocivo.

Otra interesante de la ley de Faraday es en la producción de sonido en una guitarra eléctrica. Una bobina *fonocaptora*, se pone cerca de la cuerda vibrante, la cual está hecha de un metal que puede magnetizarse. Un imán permanente dentro de la bobina magnetiza la porción de la cuerda más cercana. A cierta frecuencia de vibración de la cuerda, el segmento magnetizado produce un flujo magnético variable a través de la bobina que induce una *fem*, la cual alimenta a un amplificador. La salida del amplificador se envía a los altavoces, lo cual produce las ondas sonoras que se escuchan.

La creación de motores eléctricos para cubrir un gran número de necesidades domésticas, industriales y de investigación científica ha hecho posible un gran avance de la sociedad, ha modificado nuestro modo de vida, y las expectativas futuras descansan en buena medida en este tipo de motores y transformadores eléctricos. Por ejemplo, aún cuando algunas fuentes de energía, como el petróleo o el carbón, desaparezcan en el futuro y se encuentren nuevas formas que las sustituyan, como la energía solar o la energía nuclear, siempre será necesario convertir estas energías en una forma útil, doméstica, para el funcionamiento de la vida cotidiana, es decir, en energía eléctrica.

**11. Reflexión.** Una vez que se ha considerado el núcleo de conocimiento sobre la Ley de Faraday y que el propósito es lograr la mejor explicación del fenómeno de inducción presentado al inicio de la secuencia, es necesario que el alumno reflexione, en que actualmente, encender un foquito por inducción es relativamente fácil desde el punto de vista práctico pero su explicación con base a la ley de Faraday puede tener, al principio, cierto grado de dificultad ya que la trama de causas y efectos, y los diversos conceptos involucrados es muy amplia.

**A.8 Actividades de aprendizaje.** Ubicar la ley de Faraday y su conexión con los demás temas (antecedentes y consecuentes). En este proceso, cada alumno señalará en su esquema correspondiente a la figura 1 sus observaciones y comentarios.

**A.9 Actividad de aprendizaje.** Que los alumnos efectúen la redacción final de la explicación del fenómeno de inducción. Para ello:

A. Considerar las observaciones realizadas por el profesor en la narración TENTATIVA efectuada en la actividad de aprendizaje A.5.1

B. Para la explicación del fenómeno de inducción de encendido del foco:

<b>Hechos o situación a considerar:</b>	<b>Conceptos involucrados clave:</b>	<b>Tiene la función de:</b>	<b>Proceso:</b>
Actividad de aprendizaje A.5 y A.5.1	Campo magnético variable en el tiempo, flujo, variación de flujo, fem inducida, corriente eléctrica, ley de Lenz y campo eléctrico.	Reconocer los diversos fenómenos que están involucrados en el encendido del foquito y su relación	Encender un foco sin necesidad de una batería común

C. Para redactar mi explicación del fenómeno de encendido del foco:

<b>Parte a redactar</b>	<b>Considerar</b>	<b>Orden de redacción</b>	<b>Actitud para la realización de la labor</b>
Primero, redactar lo que se refiere al dispositivo experimental	La bobina grande, la bobina chica con foquito, el núcleo de hierro, pasos o procedimiento para hacer que encienda el foquito, etc.	Se puede empezar con describir el materiales, dispositivo y posteriormente cómo se utiliza para que foquito encienda	Acabar de describir parte por parte completamente sin mezclar esto con otras cosas
Segundo, tomar en cuenta lo referente al lado derecho de la ley de Faraday	Los conceptos involucrados señalados anteriormente con base en la actividad A.5 del desarrollo del tema	Establecer una secuencia de pasos que se vea que se encadenan fácilmente al querer escribirlos	No mezclar ideas ni adelantarse a escribir algo que se va a poner después ni repetir cosas
Tercero, tomar en cuenta lo referente al lado izquierdo de la ley de Faraday	Ubicar el contenido en la actividad A.5 del desarrollo del tema	Empezar de lo sencillo a lo más elaborado hasta cubrir todo lo importante	Ir paso a paso sin mezclar o repetir ideas.
Cuarto, redacción final de la ley completa	Los dos grandes escritos anteriores como un todo	No importa por cual se empiece	Corregir posibles errores de conceptos o de ortografía

#### IV. Secuencia didáctica para la ley de Ampere-Maxwell.

**Propósitos:** que al término de la secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de la Ley de Ampere-Maxwell mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.**
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en dicha ley y la reconozca como una de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.**
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de la Ley de Ampere-Maxwell en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.**

**Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia.** En la secuencia didáctica anterior se estudió al campo eléctrico  $\vec{E}$  debido a la variación temporal de un campo magnético. Ahora corresponde estudiar el fenómeno de inducción opuesto, es decir: *la inducción de un campo magnético  $\vec{B}$  debido a la variación temporal de un campo eléctrico*. Al principio de la secuencia se plantea la definición de capacitancia y su estudio para un conductor esférico aislado y la capacitancia de un condensador de placas paralelas. Se analiza también, el proceso de carga o descarga de un condensador de placas paralelas en forma cualitativa y cuantitativa. Posteriormente se llega al planteamiento de la ley de Ampere-Maxwell, la cual, junto con la fuerza de Lorentz hace que las ecuaciones de Maxwell sean un conjunto completo de ecuaciones.

En el aspecto didáctico, se utiliza una analogía para discutir la capacidad de carga de un conductor. Dada la dificultad de hacer experimentos demostrativos que permitan detectar o medir al campo magnético inducido entre las placas de un condensador, se presenta un desarrollo que insiste en el dominio y la relación entre conceptos, para ello, se utiliza: un “Gráfico de recuperación con nueve tipos de relación entre dos enunciados A y B”. Se propone también analizar en grupo el “mapa de araña” sobre nueve clases de relación que pueden establecerse en los mapas conceptuales y se elabora un mapa conceptual correspondiente a la ley de Ampere-Maxwell aplicada a un condensador. Como en las demás secuencias, se procura la reflexión del alumno que lo conduzcan al autoaprendizaje o al “aprender a aprender”. Para ello se propone un esquema de conceptos y relaciones a manera de *recuento* sobre los resultados más importantes involucrados en la ley de Ampere-Maxwell. Así mismo se proponen algunos problemas relacionados con el tema.

**Introducción.** Las leyes de la electricidad y el magnetismo hasta aquí estudiadas eran las conocidas hasta antes de los trabajos de Maxwell. Sin embargo, observó que en términos matemáticos, había una contradicción. La cual desde el punto de vista físico significaba una discontinuidad de la corriente eléctrica entre las placas de un condensador. Si se considera una superficie gaussiana que envuelva a uno de los hilos conductores y a la placa correspondiente (sin incluir la otra) entonces, por un lado la superficie está siendo atravesada por la corriente eléctrica de conducción que circula por el alambre del circuito pero en el hueco del condensador no circula ninguna corriente que la atraviese. Para superar esta contradicción, Maxwell supuso que existía una corriente entre las placas del condensador que denominó *corriente de desplazamiento*. De tal manera que ésta atravesaba la superficie gaussiana por el lado del condensador mientras que la corriente de conducción la atravesaba por el lado del hilo conductor conectado a la placa. Esta suposición, implicaba a la vez, la presencia de un campo magnético inducido,  $\vec{B}$ , debido a la variación del flujo eléctrico entre las placas del condensador. A este fenómeno de inducción es al que nos referiremos en esta secuencia.

**1. Capacitor (condensador).** Dos conductores aislados de cualquier forma con cargas iguales y opuestas constituyen un *capacitor*. Es un dispositivo que almacena carga eléctrica y se caracteriza por una propiedad denominada *capacitancia*. Esta propiedad, como veremos en la siguiente sección, se define a partir de la carga  $Q$  y de la diferencia de potencial  $\Delta V$  correspondiente entre las placas y depende de las características geométricas de cada condensador y del medio que lo circunda.

**A.1 Actividad de aprendizaje.** a) Armar un condensador y cargarlo de distintas formas (por ejemplo, frotando una de las placas con una película de plástico, tela o piel y después cargando la otra placa por inducción, tocándola, o conectándola y desconectándola de la tierra, al conectar un electroscopio se advierte una deflexión). b) Discutir en grupo un modelo cuantitativo del proceso de carga de un condensador por medio de una batería. Se sugiere una explicación del tipo siguiente: 1) Como cada placa está conectada a la

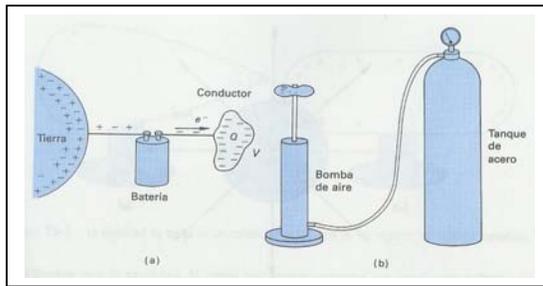
*terminal de una batería y establece un campo eléctrico en los alambres conectores, los electrones del alambre conectados al polo negativo interactúan con el campo eléctrico y fluyen hacia la placa respectiva cargándola negativamente. Este flujo continúa hasta que la placa, el alambre y la terminal están al mismo potencial eléctrico. Una vez alcanzado este punto de equilibrio ya no hay una diferencia de potencial entre la terminal de la batería y la placa y, el campo eléctrico en el alambre desaparece por lo que el flujo de electrones se detiene. La placa porta ahora una carga negativa. Un proceso similar ocurre en la otra placa, los electrones se mueven desde la placa, a través del alambre, dejándola cargada positivamente. En esta configuración final la diferencia de potencial en las placas del capacitor es la misma que existe entre las terminales de la batería.*

**Capacitancia de un condensador.** Una vez que se ha formado un capacitor uno se puede preguntar: ¿Qué determina cuánta carga está sobre las placas del capacitor para un voltaje determinado? Es decir, ¿cuál es la *capacidad* del dispositivo para almacenar carga a un valor particular de  $\Delta V$ ? Los experimentos muestran que la cantidad de carga  $Q$  sobre cada placa de un capacitor es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre los conductores:  $Q \propto \Delta V$ , donde la constante de proporcionalidad depende de la forma y separación de los mismos. La capacitancia de un condensador es el cociente entre la magnitud de la carga en cualquiera de los dos conductores y la diferencia de potencial entre ellos,  $C = \frac{Q}{\Delta V}$ ; es siempre una cantidad positiva. Puesto que la diferencia de potencial aumenta linealmente con la carga almacenada, la proporción  $C = \frac{Q}{\Delta V}$  es constante para un capacitor dado y, por ello, la capacitancia es una medida de la capacidad del condensador para almacenar carga. Las unidades de la capacitancia son el *Coul/volt*, que en SI es el *farad*, denominado así en honor a Michael Faraday:

$$1 \text{ farad} = 1 \frac{\text{Coul}}{\text{volt}} = \frac{\text{m}^2 \text{seg}^2 \text{Coul}^2}{\text{kg}}$$

Para fines prácticos los capacitores se indican en microfarad, *mfarad*, ( $1 \mu\text{f} = 10^{-6} \text{ farad}$ ) o micromicrofarada, *mmfarad*, ( $1 \mu\mu\text{f} = 10^{-12} \text{ farad}$ ) o bien el *picofarad* (*pfarad*).

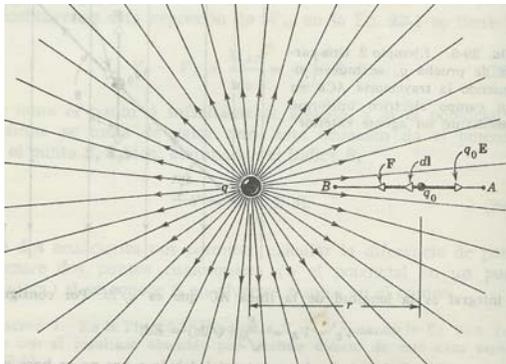
**A.2 Actividad de aprendizaje.** Discutir la analogía entre las operaciones de cargar un conductor y bombear aire en un tanque esquematizada en la figura adjunta.



Una descripción se encuentra en:  
*Física, Conceptos y aplicaciones. Paul E. Tippens, páginas, 570,571.*

**Problema 1.** ¿Cuánta carga existe en cada placa de un condensador de  $4.0\ \mu\text{farad}$  cuando se conecta a una batería de  $12.0\ \text{Volt}$  ?

**Capacitancia de un conductor esférico aislado de radio R y carga Q.** Consideremos primero la diferencia de potencial entre dos puntos debido a una carga puntual, como se muestra en la figura 1.



Campo eléctrico generado por una carga positiva. Cálculo de la diferencia de potencial entre los puntos A y B sobre una línea radial

Fig. 1

Para calcular la diferencia de potencial entre estos puntos, se mueve una carga de prueba  $q_0$ , sin aceleración, a lo largo de la línea de campo desde el punto A al B. El trabajo por unidad de carga es,

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = - \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E} \cdot \Delta \vec{l} = V_B - V_A \quad (1)$$

donde se observa que el producto escalar es  $\vec{E} \cdot d\vec{l} = -E\Delta l \cos 180^\circ = E\Delta l$ .

Al movernos una distancia  $\Delta l$  a la izquierda, lo hacemos en la dirección de la  $r$  decreciente, de modo que  $\Delta l = -\Delta r$ ; con estos dos resultados se obtiene,

$$V_B - V_A = - \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n E \Delta r$$

sustituyendo la expresión para el campo eléctrico debido a una carga puntual, considerando la sumatoria al límite, y que  $V_A = 0$  en el infinito, se obtiene,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (2)$$

Esta ecuación muestra que para una carga puntual aislada, toda superficie concéntrica con la carga como centro tienen un potencial  $V = cte$ , y se denominan *superficies equipotenciales*.

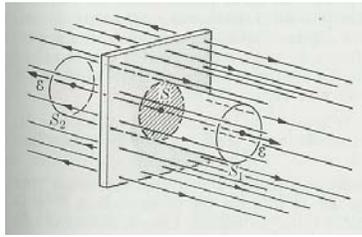
La expresión (2) también es válida para puntos externos a las distribuciones de carga de *simetría esférica* lo que se aprovecha para el cálculo de la capacitancia para dos esferas aisladas conductoras. Considérese un conductor esférico aislado de radio  $R$  y carga  $Q$ , si se supone un segundo conductor esférico hueco concéntrico al primero y de radio infinito para formar al condensador; el potencial eléctrico de la esfera de radio  $R$  es,

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = 4\pi\epsilon_0 R \quad (3)$$

Esta igualdad muestra que la capacitancia de una esfera cargada aislada es proporcional a su radio y es independiente de la carga sobre la esfera como de la diferencia de potencial.

**Problema 2.** Una esfera conductora cargada y aislada de 12.0 cm de radio crea un campo eléctrico de  $4.90 \times 10^4 \frac{N}{Coul}$  a una distancia de 21.0 cm de su centro. a) Cuál es su densidad de carga superficial? b) Cuál es su capacitancia?

**Capacitancia de un condensador de placas paralelas.** Supongamos que el plano de la figura 2 contiene una carga por unidad de área:  $\sigma = \frac{Q}{A}$ . De la simetría del problema se deduce que las líneas de campo son perpendiculares al plano y están orientadas como se indica cuando la carga es positiva.



Campo eléctrico de una superficie plana cargada uniformemente

Fig. 2

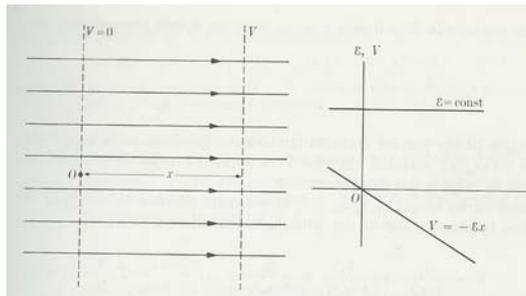
Considerando como superficie cerrada al cilindro que se ilustra en esta figura, se obtiene que, el flujo eléctrico total a través del cilindro es  $\Phi_E = +ES_1 + ES_2$  y como  $S_1 = S_2 = S$  se tiene que  $\Phi_E = 2ES$ . La carga en la superficie sombreada  $S$  es igual a  $Q = \sigma S$ . Aplicando la ley de Gauss se tiene:  $2ES = \frac{\sigma S}{\epsilon_0}$  de donde,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (4)$$

Lo cual indica que el campo eléctrico es independiente de la distancia al plano. Una vez que se conoce el campo eléctrico, se puede usar la relación  $E_x = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$  para calcular el potencial. Si el potencial en plano es cero, se obtiene,

$$V = -Ex = -\left(\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\right)x \quad (5)$$

La figura 3, muestra la variación del campo  $E$  y el potencial  $V$  para el campo eléctrico uniforme anterior. Las superficies equipotenciales son planos perpendiculares a las líneas de campo. Debido al signo negativo en la ecuación (5) el campo eléctrico se orienta hacia los potenciales decrecientes.

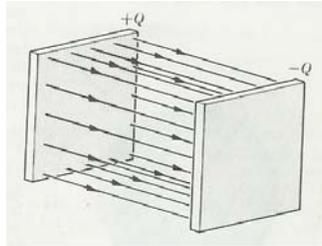


Relación lineal entre voltaje y campo eléctrico uniforme

Fig. 3

Por otro lado, al considerar una segunda placa plana cargada uniformemente y colocarla paralelamente a la primera se forma un condensador de placas paralelas como se ilustra en la figura 4.

Debe hacerse trabajo para configurar de esta manera al sistema, energía que queda almacenada en el campo eléctrico entre las placas como energía potencial eléctrica,  $E_P$ .



Campo eléctrico en el espacio comprendido entre dos superficies planas y paralelas que contienen cargas iguales y opuestas

Fig. 4

Aplicando el principio de superposición a la región fuera de los dos planos se puede decir que la suma de campos eléctricos debidos a cada una de las placas en cada punto del espacio se anulan porque son iguales en magnitud y dirección pero de sentido opuesto. En la región entre los planos, los campos tienen la misma dirección y el campo resultante es dos veces mayor que el de un sólo plano, es decir, de la ecuación (4), se obtiene,

$$E = 2 \left( \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (6)$$

el cual es nuevamente un campo eléctrico constante cuya magnitud es el doble. Si la separación entre las placas es mucho menor que el área de las mismas, se pueden despreciar los efectos de borde o deformaciones del campo eléctrico cercano a los extremos del condensador. Aplicando nuevamente la ecuación  $E_x = -\frac{dV}{dx}$ , la diferencia de potencial entre las placas es,

$$V_2 - V_1 = -E(x_2 - x_1) = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} d \quad (7)$$

donde se ha considerado la separación entre las placas como  $d = (x_2 - x_1)$ . De la ecuación de la izquierda se observa que la unidad para el campo eléctrico se puede definir también como  $\frac{\text{Volt}}{\text{metro}}$  ya que  $E = \frac{V_1 - V_2}{d}$ . Con los resultados anteriores, se puede calcular la capacitancia del condensador de placas paralelas partiendo de la ecuación (7). Recordando que  $Q = \sigma A$  se tiene,

$$V_2 - V_1 = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} d = -\frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

De acuerdo a la definición de capacitancia, el cociente de la carga a la diferencia de potencial es,

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (8)$$

lo que significa que  $C$  es directamente proporcional al área  $A$  de las placas e inversamente proporcional a la distancia  $d$  de separación. De modo que, como en el caso de dos esferas conductoras, la capacitancia depende de factores geométricos propios del condensador, por lo que esta expresión es válida sólo para condensadores de placas paralelas.

**Problema 3.** *A qué distancia deben estar las placas paralelas de dos condensadores de la misma área  $A$  para que una de las capacitancias sea el doble de la otra.*

**A.3 Actividad de Aprendizaje.** *Discutir en grupo la influencia de los factores geométricos en la capacitancia de un condensador de placas paralelas. Se sugiere una explicación del tipo siguiente: 1) Para una distancia fija  $d$  y una determinada diferencia de potencial, si las placas son grandes la carga se puede distribuir sobre un área mayor y la cantidad de carga que se puede almacenar sobre ellas se incrementa conforme se incrementa el área de las placas. 2) Para una  $A$  constante y una batería en la que  $\Delta V_{BATERIA} = cte$ , si se acercan las placas, el campo eléctrico entre ellas se incrementa y la diferencia de potencial entre ellas se reajusta a un valor:  $\Delta V_{CONDENSADOR}$ . Ambas diferencias de potencial, momentáneamente, son diferentes entre sí. La diferencia entre  $\Delta V_{BATERIA}$  y  $\Delta V_{CONDENSADOR}$ , ahora existe como una diferencia de potencial a través de los alambres que conectan la batería al condensador. Esta diferencia de potencial resulta en un campo eléctrico en los alambres, que conduce más carga a las placas. Cuando  $\Delta V_{CONDENSADOR}$  se empareja con  $\Delta V_{BATERIA}$ , la diferencia de potencial a través de los alambres cae a cero entonces el flujo de carga se detiene. Así, al mover las placas para que se acerquen provoca que aumente la carga sobre el condensador y, con ello, el campo eléctrico entre las placas dada la relación  $Q = (\epsilon_0 A)E$ . De modo que, la capacitancia del dispositivo es inversamente proporcional a la distancia  $d$ . Finalmente, si  $d$  aumenta, el proceso de reajustes es al contrario donde el campo se debilita.*

**A.4 Actividad de aprendizaje.** Utilizando las explicaciones sobre el modelo cualitativo del proceso de carga de un condensador por medio de una batería y sobre la dependencia de la capacitancia de factores geométricos, sustituya la letra A por una frase que se relacione con B de la manera que se ilustra:

**Gráfica de recuperación con nueve clases de relación entre dos enunciados**

<b>Tipo de relación</b>	<b>Relación encontrada</b>
A es una parte de B	Dos placas metálicas conductoras son una parte de un circuito eléctrico formado también por una batería y unos cables
A es una propiedad de B	La capacidad de almacenar carga eléctrica es una propiedad de un condensador
A es igual B	La capacitancia es igual a la carga de una de las placas entre la diferencia de potencial entre las mismas
A es similar a B	Aumentar el área de las placas de un condensador es similar a aumentar su capacidad de almacenar carga eléctrica
A no es similar a B	La dependencia de la capacitancia con el área de las placas no es similar a su dependencia con la distancia de separación entre las mismas.
A es la causa de B	Separar o acercar las placas de un condensador es la causa de que se modifique la capacitancia, el campo eléctrico y la diferencia de potencial entre ellas.
A es mayor o menor que B	Si se juntan las placas de un condensador el campo eléctrico entre ellas es mayor o si se alejan, el campo eléctrico es menor
A permite B	La diferencia de potencial momentánea entre la batería y las placas de un condensador permite el flujo de electrones hacia una de las placas del condensador
A ocurre antes que B	Modificar la separación entre las placas de un condensador o el aumentar el áreas de las mismas ocurre antes de que se alcance un nuevo equilibrio en dispositivo

En general, la capacitancia depende tanto de factores geométricos como de la naturaleza del medio entre las placas. Si se introduce un material dieléctrico entre ellas la capacitancia se modifica de acuerdo con  $C = kC_0$ ; donde  $k$  es la constante dieléctrica del material.

**A.5 Actividad de aprendizaje:** Determinar a) la capacitancia para un condensador relleno de papel y b) la carga máxima que se puede colocar en el condensador. Si las placas miden 2.0 cm por 3.0 cm y están separadas por un espesor de papel de 1.0mm y se sabe que  $k=3.7$ . Con ayuda del profesor, discutir por qué al introducir un material dieléctrico entre las placas del condensador se modifica la capacitancia.

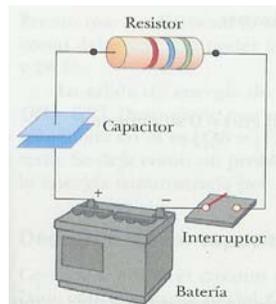
**Problema 4.** Un condensador lleno de aire está compuesto de dos placas paralelas, cada una con un área  $7.60 \text{ cm}^2$ , separadas por una distancia de  $1.80 \text{ mm}$ . Si se aplica una diferencia de potencial de  $20.0 \text{ Volt}$ , calcula: a) el campo eléctrico entre las placas, b) la densidad de carga superficial, c) la capacitancia y d) la carga sobre cada placa.

**2. Circuito RC.** Hasta ahora se conocen circuitos en estado estable, en los que la corriente es constante. En circuitos que contienen capacitores la corriente puede variar en el tiempo. Un circuito que contiene una combinación en serie de un resistor y un condensador se denomina *circuito RC*.

**Carga y descarga de un capacitor (modelo cuantitativo).** Supongamos que el capacitor en la figura 5 inicialmente está descargado. Cuando el interruptor se cierra al tiempo  $t = 0$  empiezan a fluir cargas, de modo que se establece una corriente en el circuito y el capacitor empieza a cargarse hasta conseguir, posteriormente, un estado estable ya que el voltaje aplicado es constante. Durante el proceso de carga las cargas no brincan de una placa a la otra del capacitor debido a que el espacio entre las mismas representa un circuito abierto.

Un capacitor  
en serie con  
un resistor y  
una batería

Fig 5



En lugar de eso la carga se transfiere entre cada placa y su alambre conector debido al campo eléctrico establecido en los alambres por la batería. Conforme las placas comienzan a cargarse, la diferencia de potencial a través del capacitor aumenta. El valor de la carga máxima depende del voltaje de la batería. Una vez alcanzada la carga máxima, la corriente en el circuito es cero por que la diferencia de potencial a través del capacitor se igual con la suministrada por la batería.

Para analizar este circuito de manera cuantitativa se aplica la regla de Kirchhoff después de que se cierra el interruptor. Al recorrer la espira en el sentido de las manecillas del reloj se obtiene,

$$E - \frac{q}{C} - IR = 0 \quad (9)$$

donde  $IR$  es la diferencia de potencial en el resistor y  $\frac{q}{C}$  la diferencia de potencial en el capacitor. Donde  $q$  e  $I$  son valores instantáneos que dependen del tiempo (a diferencia del caso estable) conforme el capacitor se está cargando. Para determinar expresiones analíticas relativas a la dependencia en el tiempo de la carga y la corriente se debe resolver la ecuación 9 que contiene dos variables. La corriente en todas las partes del circuito en serie debe ser la misma. Por tanto, la corriente en la resistencia  $R$  debe ser la misma conforme la corriente fluye afuera de y hacia las placas del capacitor. Esta corriente es igual a la rapidez de cambio en el tiempo de la carga sobre las placas del capacitor de modo que  $I = \frac{dq}{dt}$ . Así, la ecuación 10 se puede escribir como,

$$\frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} - \frac{q}{RC}$$

ecuación cuya solución es,

$$q(t) = CE \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) = Q \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (10)$$

al calcular la derivada de esta expresión se obtiene,

$$I(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

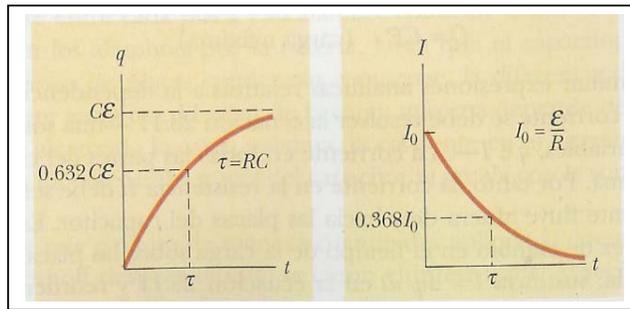
En esta situación, el proceso de carga del condensador en el circuito  $RC$ , se caracteriza por lo que se denomina: *constante de tiempo capacitiva*  $\tau = RC$ ; ya

$$\text{que } \tau = RC = \left[ \frac{\Delta V}{I} \times \frac{Q}{\Delta V} \right] = \left[ \frac{Q}{I/\Delta V} \right] = \Delta t.$$

Ahora bien, en el proceso de descarga, mediante un análisis similar se tiene,

$$q(t) = Q e^{-\frac{t}{RC}} \text{ y que } I(t) = -\frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}$$

**A.6. Actividad de aprendizaje.** Analizar cualitativamente las gráficas  $q$  vs  $t$  e  $i$  vs  $t$  de un condensador en un circuito RC, así como la constante de tiempo capacitiva  $\tau = RC$  del circuito.

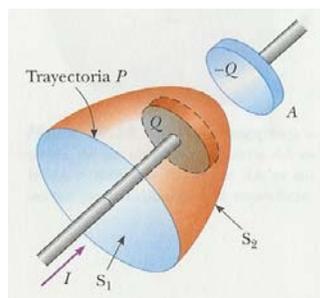


**A.7 Actividad de aprendizaje.** Discutir en grupo lo siguiente: Muchos automóviles están equipados con limpiaparabrisas que pueden funcionar intermitentemente durante una lluvia ¿Cómo depende el funcionamiento de estos aparatos de la carga y la descarga de un condensador? Nota: los limpiadores son parte de un circuito RC.

**3.- Ley de Ampere-Maxwell.** Como hemos visto, Ampere relacionó la corriente eléctrica con un campo magnético de acuerdo con la ecuación,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta \vec{l} = \mu_0 i \quad (12)$$

donde el cálculo se efectúa sobre cualquier trayectoria cerrada a través de la cual pasa la corriente total de conducción. Ahora bien, consideremos un condensador que se está cargando, como se ilustra en la figura 6, consideremos también dos superficies  $S_1$  y  $S_2$  delimitadas por una trayectoria común  $P$ .

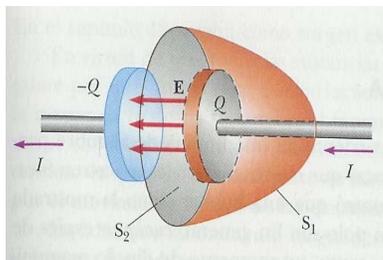


Dos superficies  $S_1$  y  $S_2$  limitadas por la misma trayectoria  $P$

Fig. 6

Cuando la trayectoria  $P$  se considera como la frontera de la superficie  $S_1$ , la ecuación 12 da el valor de la corriente eléctrica de conducción que pasa a través de esa superficie. Cuando la trayectoria se considera como la frontera de  $S_2$ , la igualdad 12 es nula porque ninguna corriente de conducción pasa a través de  $S_2$ . Esta contradicción que surgía de la discontinuidad de la corriente de conducción, Maxwell la resolvió postulando un término *adicional* a la ley de Ampere. Propuso lo que denominó *corriente de desplazamiento*,  $i_d$ .

El significado físico de esta corriente se puede entender haciendo referencia a la figura 7. Considere el caso de un condensador de placas paralelas en el que la carga eléctrica es variable con el tiempo.



La corriente de conducción  $i$  pasa por  $S_1$  pero no por  $S_2$ ; por esta superficie sólo pasa la corriente de desplazamiento  $i_d$ . Las dos corrientes deben ser iguales por continuidad.

Fig. 7

De la expresión  $Q = \epsilon_0 EA$ , el cambio de carga en las placas se puede expresar como,  $\Delta Q = \epsilon_0 A \Delta E$  donde  $A$  es el área constante de las placas del condensador. Dividiendo entre el intervalo de tiempo transcurrido se obtiene,

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon_0 A \left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right) \quad (13)$$

cuando  $\Delta t \rightarrow 0$ , la expresión toma la forma,

$$i = \frac{dQ}{dt} = \epsilon_0 A \frac{dE}{dt} \quad (14)$$

donde el término  $A \frac{dE}{dt}$  es la variación de flujo eléctrico que atraviesa la superficie  $S_2$ , de modo que esta ecuación puede escribirse como,

$$i = \frac{dQ}{dt} = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (15)$$

donde  $\epsilon_0$  es la permitividad del vacío.

Un análisis de las unidades muestra que efectivamente se trata de un nuevo tipo de corriente eléctrica,

$$\left( \frac{\text{Coul}^2}{N m^2} \right) \left( \frac{\frac{N}{\text{Coul}} m^2}{\text{Seg}} \right) = \frac{\text{Coul}^2}{N m^2} \frac{N m^2}{\text{Coul Seg}} = \frac{\text{Coul}}{\text{Seg}} = \text{Amp}$$

Es decir, a medida que el condensador se está cargando (o descargando), el término  $\varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$  debe considerarse equivalente a una corriente que actúa como una continuación de la corriente de conducción en el alambre. La corriente eléctrica de conducción,  $i$ , implica el transporte explícito de carga a lo largo de los alambres del circuito mientras que la corriente de desplazamiento,  $i_d$ , proviene de una variación temporal del flujo eléctrico entre las placas del condensador. Variación de flujo, que a su vez, está relacionado con la variación temporal de un campo eléctrico como lo muestra la ecuación 13. Este resultado se puede expresar como,

$$i = \frac{dQ}{dt} = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = i_d \quad (16)$$

Así, la corriente de desplazamiento *cierra* el circuito, tiene su origen físico en el campo eléctrico variable en el tiempo y es la fuente del campo magnético sobre la frontera de la superficie  $S_2$ .

La ecuación que resulta de agregar esta corriente a la ley de Ampere, se conoce con el nombre de ley de Ampere-Maxwell y se escribe,

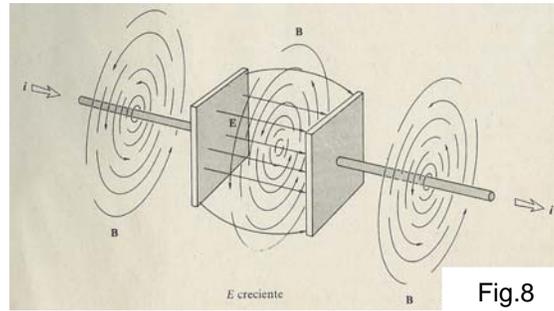
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta \vec{l} = \mu_0 (i + i_d) \quad (17)$$

o bien

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta \vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} \quad (18)$$

La figura 8 ilustra las líneas de campo en las dos situaciones en las que se aplica la ley de Ampere-Maxwell: a) para obtener el campo magnético alrededor del alambre generado por la corriente de conducción y, b) para obtener el campo magnético inducido entre las placas del condensador generado por la variación temporal del campo eléctrico.

Campo magnético  $\mathbf{B}$  debido a un campo eléctrico  $\mathbf{E}$  variable en el tiempo en el espacio de un condensador.



Ahora bien, si sólo se considera la región entre las placas de un condensador ( $i=0$ ) como el de figura 8 y una trayectoria circular de radio  $R$  que limita a una superficie  $A = \pi R^2$  por la cual varía el flujo eléctrico. Por la ley de Ampere-Maxwell, ecuación 18, se tiene,

$$B (2\pi R) = \mu_0 \epsilon_0 A \frac{dE}{dt} \quad (19)$$

lo que muestra, cuantitativamente, que la *variación temporal de un campo eléctrico genera un campo magnético* entre las placas del condensador. En estas condiciones ¿Cuál es la magnitud del campo *magnético inducido* si el radio de la trayectoria es  $R=0.04m$  y la rapidez con la que varía el campo eléctrico entre las placas es  $\frac{dE}{dt} = 10^{12} \frac{\text{volt}}{m \text{ seg}}$ ? Despejando al campo magnético de la ecuación 19, se

obtiene,

$$B = \frac{\mu_0 \epsilon_0 R}{2} \frac{dE}{dt} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ weber / Amp})(8.9 \times 10^{-12} \text{ coul / Nm}^2)(0.04m)}{2} \left[ 10^{12} \frac{\text{volt}}{m \text{ seg}} \right] = 2.24 \times 10^{-7} \frac{\text{weber}}{m^2}$$

Para encontrar la circulación del campo magnético se puede utilizar la regla de la mano derecha tal como en el caso de la corriente de conducción. El campo magnético inducido es tangente en todo punto a las líneas de campo eléctrico.

**Corriente de desplazamiento en función de la variación de voltaje.** De la definición de capacitancia,  $C = \frac{Q}{V}$ , se puede derivar con respecto al tiempo para obtener una expresión para la corriente de desplazamiento, es decir

$$i_d = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt} \quad (20)$$

así, la corriente de desplazamiento es directamente proporcional a la rapidez con la que varía el voltaje entre las placas, siendo la capacitancia  $C$  la constante de proporcionalidad.

**Problema 5.** Si un condensador tiene una capacitancia de  $1.0\mu\text{f}$ . ¿A qué razón de cambio debe variar el voltaje con el tiempo para producir una corriente de desplazamiento instantánea de  $1.0\text{Amp}$ ?

Ahora bien, ¿Cuál es la corriente de desplazamiento entre las placas de un condensador cuya capacitancia es  $8\mu\text{f}$  y se le aplica una diferencia de potencial sinusoidal de frecuencia  $3.00\text{kHz}$  y de amplitud de voltaje  $V_{\text{máx}} = 30.0\text{Volt}$ ? Como la frecuencia angular de la fuente es  $\omega = 2\pi f = 2\pi(3.00 \times 10^3 \text{Hz}) = 1.88 \times 10^4 \text{seg}^{-1}$ , el voltaje aplicado al condensador en función del tiempo es,

$$V(t) = (30.0\text{Volt}) \text{sen} \left( \frac{1.88 \times 10^4}{\text{seg}} t \right)$$

y la variación temporal del voltaje resulta ser

$$\frac{dV}{dt} = (56.4 \times 10^4 \frac{\text{Volt}}{\text{seg}}) \cos \left( \frac{1.88 \times 10^4}{\text{seg}} t \right)$$

de la ecuación 20, la corriente de desplazamiento se obtiene como

$$i_d = (4.51\text{Amp}) \cos \left( \frac{1.88 \times 10^4}{\text{seg}} t \right) \quad (21)$$

la cual tiene un valor máximo de  $4.51\text{Amp}$ . Ahora bien, ¿Cuál es la variación temporal del campo eléctrico entre las placas del condensador? De la ecuación (14) con  $A = 8.0 \times 10^{-3} \text{m}^2$ , la variación temporal del campo eléctrico está dada por,

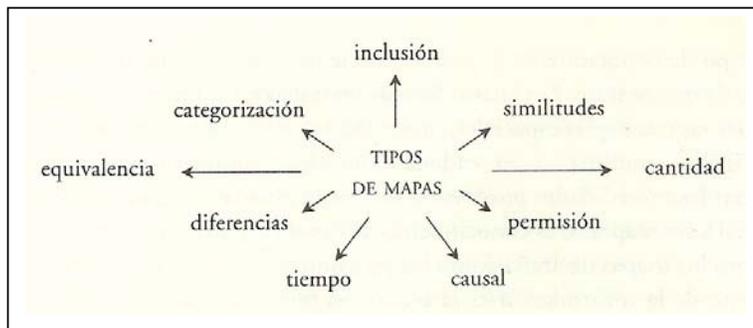
$$\frac{dE}{dt} = \left( 6.5 \times 10^{13} \frac{\text{N}}{\text{Coul seg}} \right) \text{Cos} \frac{1.88 \times 10^4}{\text{seg}} t \quad (22)$$

¿Cuál es el campo eléctrico? integrando con respecto al tiempo, se obtiene el campo en función del tiempo como,

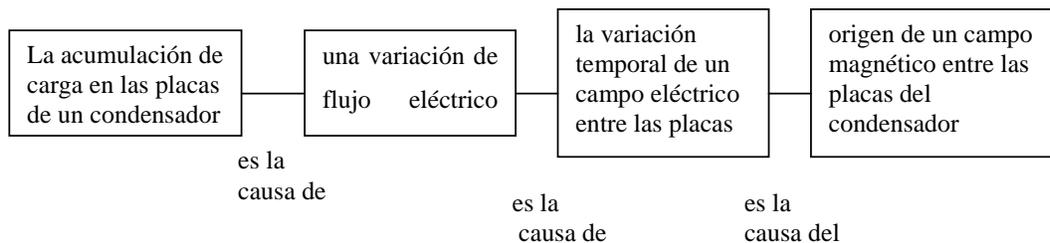
$$E(t) = \left( 3.46 \frac{N}{Coul} \right) \text{Sen} \frac{1.88 \times 10^4}{seg} t \quad (23)$$

la cantidad entre paréntesis es la amplitud máxima de la variación sinusoidal del campo eléctrico entre las placas del condensador.

**A.8 Actividad de aprendizaje.** Analizar en grupo el siguiente mapa de araña sobre nueve clases de relación que pueden establecerse en los mapas conceptuales. Discutir con los alumnos cuál de ellos es el más apropiado para realizar un mapa conceptual sobre la ley de Ampere-Maxwell entre las placas de un condensador:



La discusión puede ser por ejemplo: Si se escoge un mapa conceptual del tipo “similitudes” lo predominante será establecer a grandes rasgos a qué tipo de similitudes de la ley de Ampere-Maxwell nos referiremos o bien se podrían escoger similitudes con la ley de Faraday conjuntamente. Un posible mapa de cantidad no parece adecuado porque las cantidades en sí no son lo fundamental,... etc. En nuestro caso, según lo que se quiera destacar parece apropiado el de equivalencia o el causal. Así, se tiene el siguiente mapa conceptual de causalidad para el caso de un condensador:



**4. Alcances y aplicaciones de la inducción de la ley de Ampere-Maxwell en el ámbito científico.** Una pregunta interesante es por qué Faraday, suponiendo que hubiera querido calcular el campo magnético en un punto  $P$  entre las placas de un condensador, no podía descubrir el efecto de inducción de un campo magnético por un campo eléctrico variable en el tiempo. En este aparato, como sabemos ahora, hay un campo eléctrico variable y, están presentes tanto una corriente de conducción en los alambres como una corriente de desplazamiento en las placas del condensador. Faraday hubiera calculado el campo magnético, en ese punto, como el producido por las corrientes de conducción y no se hubiera equivocado ya que, en el caso de campos eléctricos lentamente variables, la contribución total de todas las corrientes de desplazamiento al campo magnético en cierto punto entre las placas de un condensador, es despreciable.

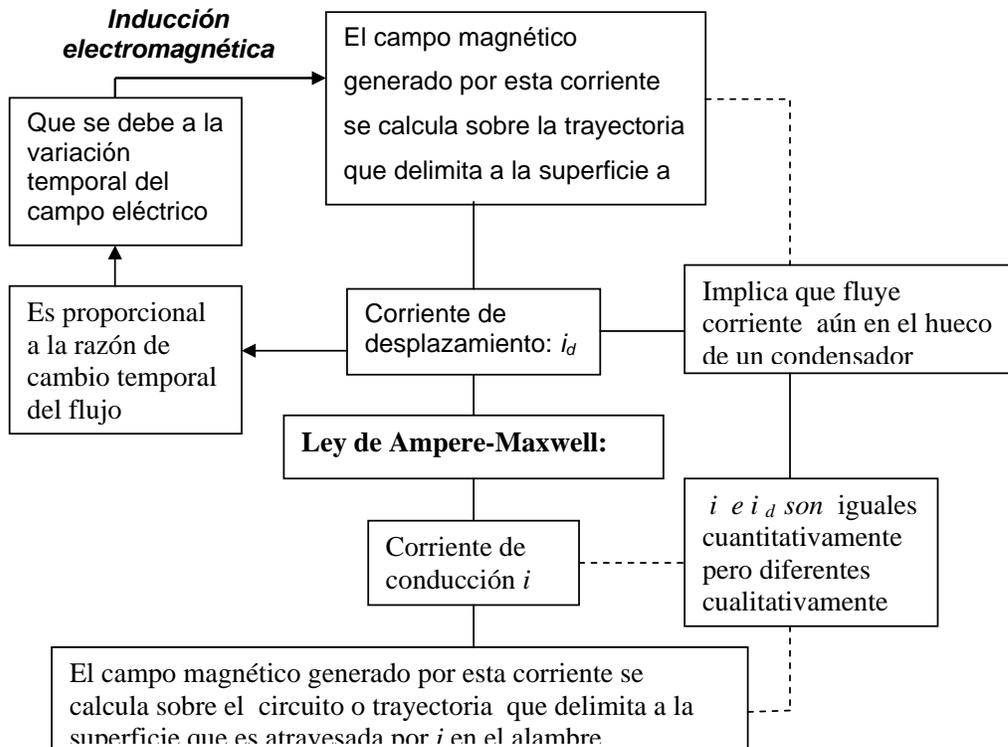
Es decir, el campo magnético en algún punto  $P$  puede calcularse a partir de los elementos de corriente de conducción y, Faraday, no hubiera detectado un campo magnético diferente al predicho por la corriente de conducción que lo obligara a hacer nuevas hipótesis. Sin embargo, por razones de simetría y en forma matemática, Maxwell, necesitó postular una corriente de desplazamiento que significó la existencia de un campo magnético, de origen diferente al debido a las corrientes de conducción, generado por un campo eléctrico variable en el tiempo entre las placas de un condensador. Este paso significó para la teoría electromagnética, poseer un conjunto de ecuaciones a partir de las cuales Maxwell pudo predecir la existencia de las ondas electromagnéticas.

*A.9 Actividad de aprendizaje. Mediante discusión en grupo los alumnos valorarán la importancia del planteamiento teórico-matemático del concepto de corriente de desplazamiento. Discutir el siguiente planteamiento general: ¿Qué tan importante es la evidencia física para desarrollar una teoría?*

**5.- Reflexión.** Una vez que se ha considerado el núcleo de conocimiento sobre la Ley de Ampere-Maxwell es necesario que el alumno reflexione y considere las siguientes actividades:

**A.10 Actividades de aprendizaje.** Ubicar la ley de Ampere-Maxwell y su conexión con los demás temas (antecedentes y consecuentes). En este proceso, cada alumno señalará en su esquema correspondiente a la figura 1 sus observaciones y comentarios. Discusión en grupo de los resultados de esta actividad.

**A.11 Actividades de aprendizaje.** El alumno, con el coucheo del profesor, hace un recuento de conceptos y su relación entre ellos, por ejemplo:



## V. Secuencia didáctica para las ondas electromagnéticas.

**Propósitos:** que al término de la secuencia didáctica el alumno,

- 1) Comprenda el significado físico y los aspectos básicos del planteamiento matemático de las ondas electromagnéticas mediante diversas actividades de aprendizaje y el uso de estrategias cognitivas.
- 2) Desarrolle actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos involucrados en la descripción de las ondas electromagnéticas y reconozca las ecuaciones de onda como parte de las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.
- 3) Aprecie los alcances y las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en los ámbitos científico, tecnológico y cultural. Valore su aprendizaje.

**Descripción de las características del contenido declarativo y didáctico de la secuencia.** En las secuencias didácticas anteriores, se ha presentado una discusión simplificada de las ecuaciones de Maxwell, por ejemplo, en las situaciones expuestas, las sumatorias representaban casos particulares sencillos en los que una vez realizado el producto escalar, el campo eléctrico o magnético era constante y la suma infinita de términos era conocida. Los resultados hasta ahora obtenidos son:

$$\text{Ley de Gauss para el flujo eléctrico: } \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E} \cdot \Delta \vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\text{a})$$

$$\text{Ley de Gauss para el flujo magnético: } \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta \vec{A} = 0 \quad (\text{b})$$

$$\text{Ley de Faraday: } \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{E} \cdot \Delta \vec{l} = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \quad (\text{c})$$

$$\text{Ley de Ampere-Maxwell: } \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \vec{B} \cdot \Delta \vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\Delta \Phi_E}{\Delta t} \quad (\text{d})$$

En esta secuencia se estudian algunos aspectos de la producción de ondas electromagnéticas, se describirá a grandes rasgos lo que es una onda plana y veremos se deduce matemáticamente una ecuación de onda para el campo eléctrico  $\vec{E}$  y una para el campo  $\vec{B}$ ; las cuales, constituyen una onda electromagnética que viaja a la velocidad de la luz expresada, ésta, en términos de las constantes fundamentales del electromagnetismo y donde los campos se entienden como dos aspectos de un sólo fenómeno físico, a saber: el campo electromagnético. Se aborda la descripción del espectro electromagnético y la síntesis a la que dio lugar la teoría electromagnética de Maxwell en relación con los fenómenos ópticos, eléctricos y magnéticos.

En el aspecto didáctico, se propone discutir qué es un modelo heurístico y qué una hipótesis así como comentar el papel que juegan en el trabajo científico. Se plantea revisar y discutir aspectos básicos sobre los modelos mecánicos para explicar qué es la luz elaborados por Fresnel, Huygens y Maxwell. La secuencia se caracteriza por discutir cualitativamente lo que es una onda electromagnética; para ello se ha escogido como estrategia cognitiva central la elaboración de una “Gráfica de recuperación tipo 2”. Como en las anteriores secuencias, se insiste en la reflexión del alumno.

**Introducción.** Mediante una analogía de semejanza con la ley de Faraday, es decir, la inducción de un campo eléctrico por un campo magnético variable en el tiempo, Maxwell consideró la posibilidad del fenómeno contrario: “la inducción de un campo magnético debido a la variación temporal de un campo eléctrico”. La postulación de la corriente de desplazamiento por parte de Maxwell, significó reconocer una simetría fundamental entre la electricidad y el magnetismo que conllevó, conjuntamente con la ley de Faraday, a la predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas; las cuales, se pensaba, necesitaban de un medio (éter) para propagarse. En la búsqueda de las características de este medio, Maxwell construyó un modelo mecánico del éter, considerando remolinos hidráulicos y rodillos de fricción que se mueven dentro de paredes eléctricas, pero no tuvo éxito. Aunque no quedó del todo satisfecho, Maxwell, tuvo que deshacerse de su modelo del éter y plantear su teoría electromagnética libre de concepciones mecanicistas. Pudo demostrar que la forma diferencial de las ecuaciones obtenidas conducían a la expresión de una *ecuación diferencial de onda*,  $\frac{\partial \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}$ , para el campo eléctrico y una para el campo magnético. Estas ondas, deberían viajar en el espacio libre a la velocidad de la luz ya que del cálculo se desprendía que  $v = c = \left( \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \right)$ , donde  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$  son las constantes eléctricas fundamentales. Cuando se demostró que la idea de la velocidad relativa de la luz con respecto al éter carecía de sentido, se comprendió también, que no era necesario algún tipo de modelo del éter a pesar de la gran importancia que éstos modelos tuvieron en el desarrollo de la teoría electromagnética.

**A.1 Actividad de aprendizaje.** *Discutir en grupo qué es un modelo heurístico y qué una hipótesis. Comentar sus diferencias y el papel que juegan en el trabajo científico.*

**A.2 Actividad de aprendizaje.** *A) Efectuar un repaso de las características básicas de las ondas mecánicas; destacar que son longitudinales y que necesitan un medio para su transmisión. B) Discutir aspectos básicos sobre los modelos mecánicos elaborados por Fresnel, Huygens y Maxwell, para explicar qué es la luz, cómo se propaga y a qué velocidad lo hace. Destacar: 1) Los esfuerzos para encontrar un medio homogéneo, rígido y elástico, omnipresente e invisible capaz de entrar en un estado de vibración, que pudiera transmitir las perturbaciones y actuar como soporte de las ondas luminosas (éter). 2) Que con el experimento de Michelson-Morley se demostró que la hipótesis del éter era innecesaria y carecía de sentido por lo que se aceptó que las ondas luminosas no necesitan de un medio material para propagarse sino que se generan a partir de campos eléctricos y magnéticos. 3) Establecer la diferencia entre ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.*

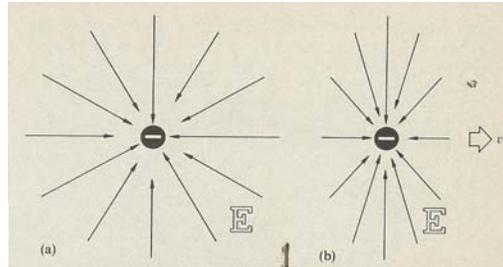
**1. Producción de ondas electromagnéticas.** Los dispositivos que se utilizan para generar ondas electromagnéticas tienen como principio la aceleración de la carga eléctrica debido a que las cargas estacionarias y las corrientes eléctricas estables no pueden producir ondas electromagnéticas. Se puede acelerar ya sea una sola carga o un conjunto de ellas, por ejemplo, en algún material conductor. En los dispositivos más comunes (cable coaxial, guía de onda, una lámina conductora, antenas) en los que se generan y transmiten ondas electromagnéticas se activan corrientes eléctricas variables con el tiempo por medio de una diferencia de potencial variable que cambia conforme transcurre el tiempo. Los dispositivos en los que se aceleran partículas cargadas que radian, son, por ejemplo, los betatrones, sincrotrones y ciclotrones.

**Producción de ondas electromagnéticas por una carga puntual que se mueve lineal y aceleradamente.** Para acercarnos a una comprensión de cómo es que las cargas eléctricas aceleradas son la fuente de las ondas electromagnéticas, comparemos primero el campo eléctrico de una carga en *reposo* con el de una carga que se mueve con *rapidez constante*  $v$ .

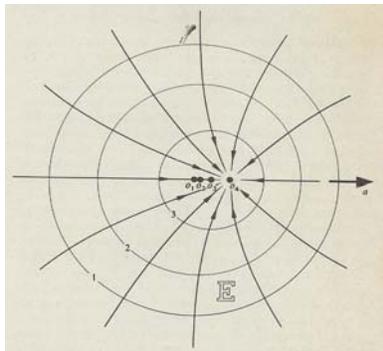
La figura 1(a), muestra el campo eléctrico de una carga puntual estacionaria, las líneas de campo eléctrico son uniformemente espaciadas, radiales y dirigidas hacia la carga negativa. Sin embargo, cuando la carga se mueve con una gran rapidez constante  $v$ , figura 1(b), las líneas de campo eléctrico se “comprimen” en la dirección del movimiento; aún son radiales y rectas pero ya no están uniformemente espaciadas. El campo eléctrico es más intenso en la dirección perpendicular al movimiento en que se mueve la carga.

- (a) Campo eléctrico de un electrón estacionario.  
 (b) Campo eléctrico del electrón en movimiento con rapidez constante  $v$ .

Fig. 1



En contraste, la figura 2, muestra las líneas de campo de un electrón que tiene una aceleración constante hacia la derecha. Los puntos  $O$ 's son las posiciones del electrón a intervalos de tiempo iguales. Las líneas de campo eléctrico están ahora curvadas y esto, es la *diferencia más significativa*.



Campo eléctrico de un electrón uniformemente acelerado.

Fig 2

Ahora, consideremos que un electrón en reposo en el punto  $O$ , a partir del tiempo  $t=0$  es acelerado hasta el tiempo  $t_1$  y alcanza una velocidad final  $v$  en la posición  $O_1$ , la cual se mantiene constante de ahí en adelante hasta alcanzar, por ejemplo, la posición  $O_2$  en el tiempo  $t_2$ . La configuración del campo eléctrico se divide en tres grandes zonas, como se muestran en la figura 3: a) La zona exterior está

formada por líneas de campo eléctrico radial y uniformemente espaciadas, esta parte del campo no se ha enterado de la perturbación generada por el movimiento acelerado de la carga.

Configuración del campo eléctrico para una carga que perturba fuertemente su campo eléctrico inicial debido a una aceleración repentina. Posteriormente "relaja" la perturbación al moverse con rapidez constante

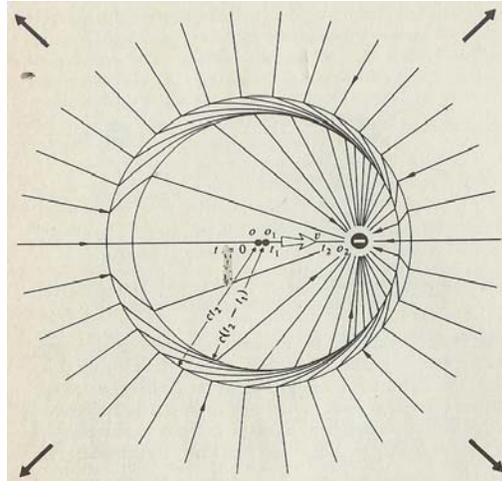
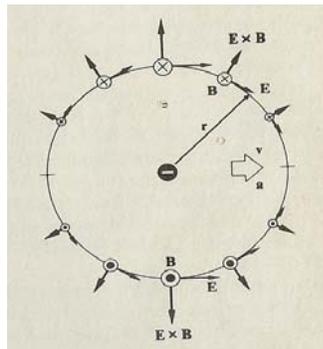


Fig. 3

b) La zona central, *anillo*, corresponde a la torcedura que adquieren las líneas de campo durante la aceleración del tiempo  $t=0$  al tiempo  $t_1$ . c) En la zona interna (próxima a la carga), las líneas de campo eléctrico corresponde al de la figura 1(b) porque la carga se ha estado moviendo a partir de  $t_1$  en  $O_1$  hasta la posición  $O_2$  al tiempo  $t_2$  con rapidez constante  $v$ . En la zona del anillo lo importante es que existe una componente transversal del campo eléctrico  $\vec{E}_T$  que decae como  $\frac{1}{r}$  y se propaga hacia fuera como un *pulso*. En este caso, se dice que en algún punto del espacio el campo eléctrico transversal será una función del tiempo y por consiguiente estará acompañado de un campo magnético. A distancias muy grandes de la carga, el único campo significativo será  $\vec{E}_T$ , se conoce como *campo de radiación*, ya que la componente radial  $\vec{E}_R$  decae como  $\frac{1}{r^2}$ .

La figura 4 muestra, el campo de radiación eléctrico y magnético para una carga negativa que se mueve lentamente ( $v \ll c$ ). Una partícula cargada acelerada irradia también cuando su aceleración es centrípeta. En los betatrones, ciclotrones, sincrotrones se hace que una partícula de alta velocidad interaccione con un campo magnético, el cual ejerce una fuerza centrípeta en la carga

haciendo que se mueva en una órbita circular. Una fracci3n de la energí3a impartida se perder3a en forma de radiaci3n.



Radiaci3n electromagn3tica irradiada hacia el espacio por una carga negativa acelerada linealmente. La energí3a que irradia es suministrada a la carga por alg3n agente externo que la acelera.

Fig. 4

La primera producci3n de radiaci3n electromagn3tica hecha por el hombre utilizando esta t3cnica tuvo lugar en un sincrotr3n en 1947. A esta radiaci3n emitida por las partículas cargadas, circulando a velocidades relativistas en un campo magn3tico se conoce como *radiaci3n sincrotr3nica*. Para partículas no relativistas radiando por aceleraci3n centrípeta, se habla de *radiaci3n de ciclotr3n*.

**A.3 Actividad de aprendizaje.** indagaci3n bibliogr3fica sobre el uso de la radiaci3n ciclotr3nica y sincrotr3nica para analizar informaci3n astron3mica (ver Eugene Hecht /Alfred Zajac, *Optica*, pp. 53-57)

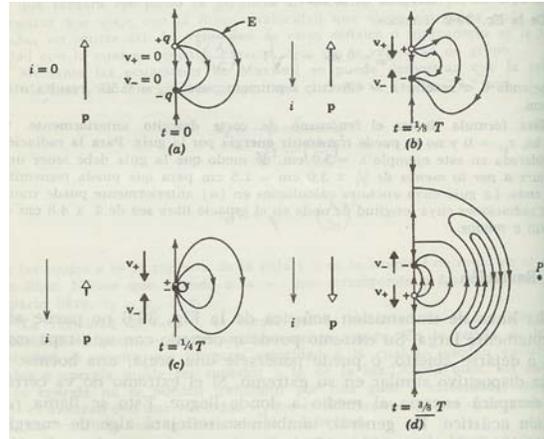
### **Producci3n de ondas electromagn3ticas por medio de un dipolo el3ctrico.**

Tanto la luz visible como la radiaci3n ultravioleta provienen principalmente de la redistribuci3n de los electrones d3bilmente ligados en los átomos, lo que permite explicar la manera como los átomos emiten las ondas electromagn3ticas en t3rminos de un dipolo el3ctrico. La figura 5, muestra un dipolo de este tipo representado por dos cargas iguales y opuestas que oscilan. En el esquema simplificado, se presenta una carga el3ctrica negativa oscilando linealmente con movimiento arm3nico simple en torno a una carga positiva estacionaria. La configuraci3n es una secuencia de patrones de lín3as de campo cuando el desplazamiento , y por consiguiente el momento dipolar, disminuye, llega despu3s a cero y finalmente cambia de direcci3n. El momento dipolar es un vector que va

de la carga negativa a la positiva, cuya magnitud es  $P(t) = P_0 \cos \omega t$ , donde  $\omega$  es la frecuencia angular de la oscilación. Cuando las cargas se superponen,  $P(t)$  es cero y las líneas de campo eléctrico se cierran formando espiras que avanzan en el espacio libre con velocidad  $c$ .

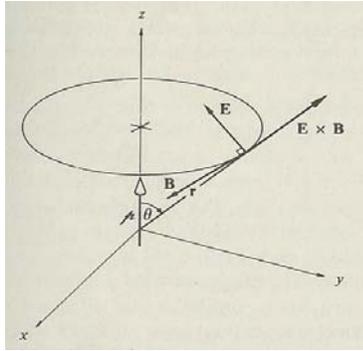
Se muestra cómo escapa la radiación electromagnética de un dipolo eléctrico oscilante. Las líneas de campo eléctrico corresponden a cuatro etapas de oscilación

Fig. 5



Cabe señalar, que este momento dipolar aún puede representar el momento dipolar colectivo de la distribución de carga oscilante en la escala atómica o a una corriente eléctrica oscilante en una antena de TV. Muy cerca del dipolo, el campo  $\vec{E}$  tiene la forma de un dipolo eléctrico estático, cuya magnitud para puntos a lo largo de la perpendicular bisectriz está dado por  $E \cong \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{r^3}$ , donde la cantidad  $p = 2aq$  es el momento del dipolo. Un poco más allá, en la región donde las curvas cerradas se forman, no hay una longitud de onda específica.

El tratamiento matemático detallado muestra que el campo eléctrico se compone de *cinco términos diferentes* y que se complican los cálculos. Sin embargo, lejos del dipolo, en lo que se llama la *zona de radiación*, la configuración del campo se simplifica. Para entonces, una longitud de onda fija ha sido establecida,  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son transversales, mutuamente perpendiculares y ya están en fase. Las cargas oscilantes constituyen una corriente eléctrica que se representa en la figura 5 por las flechas marcadas  $i$ . En este caso, estas corrientes variables en el tiempo son la fuente para generar un campo magnético  $\vec{B}$  como se ilustra en la figura 6.

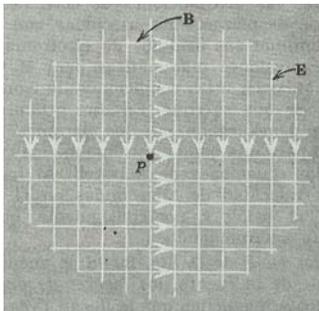


Orientaciones de campo para un dipolo eléctrico oscilante. Se muestra el vector de Poynting.

Fig. 6

Las líneas de campo magnético son círculos concéntricos con respecto al eje del dipolo eléctrico, se ubican en un plano perpendicular al mismo y forman espiras cerradas que se mueven alejándose del dipolo con rapidez  $c$ . En esta figura, el vector  $\vec{E} \times \vec{B}$ , apunta siempre en la dirección radial y hacia fuera de la zona de la onda, al producto vectorial así formado se le conoce con el nombre de vector de Poynting, el cual determina el flujo de energía electromagnética.

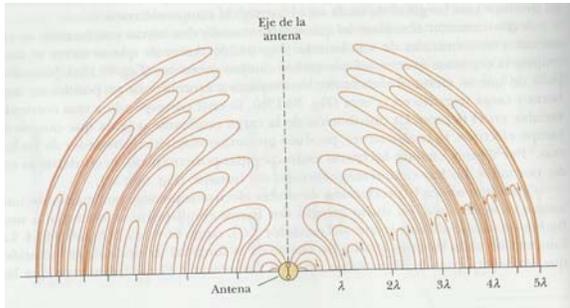
Por otra parte, la figura 7, muestra una parte del frente de onda tal como lo vería un observador colocado en el punto  $P$  en la figura 5d. La onda se está moviendo saliendo directamente de la página del libro.



Una vista instantánea de una onda electromagnética vista en  $P$  de la figura 5d. Medio periodo más tarde, el observador en  $P$  verá un patrón de campo con las direcciones de los vectores eléctrico y magnético invertidos.

Fig. 7

El dipolo eléctrico, figura 5, después efectuar muchos ciclos emite un patrón de radiación como el que se muestra en la figura 8. La longitud de onda está definida a partir de  $3\lambda$  en adelante mientras que antes, como se indicó, no hay una longitud de onda definida para la zona cercana al dipolo.



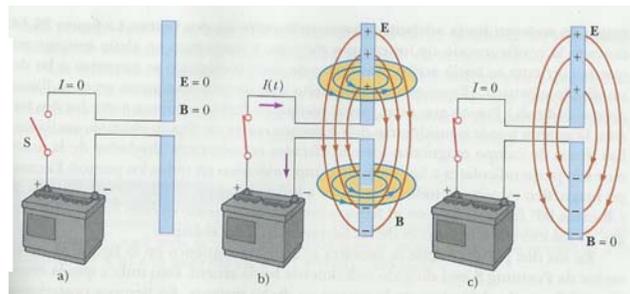
Líneas de campo eléctrico que rodean a un dipolo o a una antena de dipolo en un momento dado. La radiación electromagnética se propaga hacia fuera con rapidez  $c$

Fig. 8

**Producción de ondas electromagnéticas por medio de una antena de media onda.** Consideremos primero, lo que ocurre cuando dos barras conductoras se conectan a las terminales de una batería cuya diferencia de potencial es constante como en la figura 9.

Mientras la corriente es variable hay campos eléctrico y magnético variables

Fig.9



Antes de cerrar el interruptor la corriente es cero, figura 9a, lo que significa que no hay campos eléctrico ni magnético presentes. Inmediatamente después de que se cierra el interruptor la carga fluye y se empieza a acumular carga positiva en una de las barras y carga negativa en la otra, lo cual corresponde a una corriente variable en el tiempo.

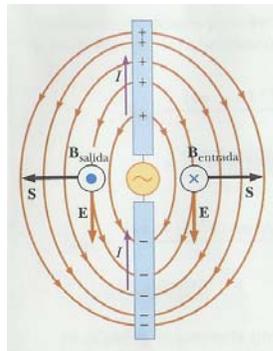
El proceso de acumulación y distribución de la carga cambiante en las barras origina que cambie el campo eléctrico conforme transcurre el tiempo, lo que a su vez, produce un campo magnético alrededor de las mismas, figura 9b; se han ignorado los campos producidos por los alambres que llegan a las barras, pero es una buena aproximación si las dimensiones del circuito son mucho menores que la longitud de las barras.

Después de cierto tiempo, las barras estarán completamente cargadas y la corriente eléctrica será cero en ese instante, por lo que no habrá campo magnético pero sí un campo eléctrico estable representado en la figura 9c.

Por otro lado, consideremos ahora, una *antena de media onda*. En este arreglo, dos barras conductoras se conectan a una fuente de voltaje alterno, como se ilustra en la figura 10. La longitud de cada barra es igual a un cuarto de longitud de onda de la radiación que se emitirá cuando el oscilador funcione a una frecuencia  $f$ . El oscilador hace que las cargas se aceleren hacia delante y hacia atrás entre las dos barras.

Se muestran los campos eléctrico y magnético en un instante en que la corriente va hacia arriba

Fig. 10



La figura 10 muestra la configuración de los campos eléctrico y magnético en algún instante en que la corriente es hacia arriba. Las líneas de campo eléctrico se parecen a las de un dipolo eléctrico (por lo que a veces se le denomina también *antena de dipolo*).

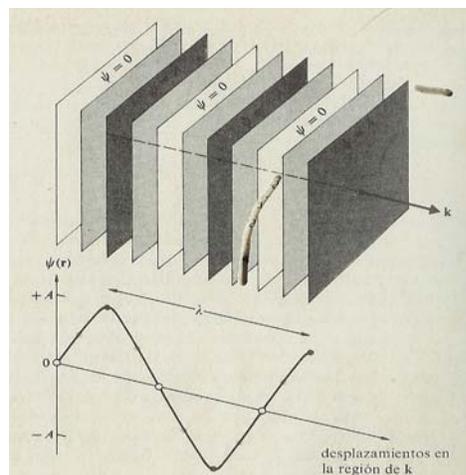
Puesto que estas cargas oscilan en forma continua entre las dos barras, la antena puede considerarse más o menos como un dipolo eléctrico oscilante, sólo que éste será el resultado de muchos dipolos oscilando en la barra al mismo tiempo. Las líneas de campo magnético forman círculos concéntricos alrededor de la antena y son perpendiculares a las líneas de campo en todos los puntos. El campo magnético es cero en todos los puntos a lo largo del eje de la antena. Además, los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  están  $90^\circ$  fuera de fase en *el tiempo* porque la corriente es cero cuando las carga en los extremos exteriores de las barras están en un máximo.

El vector de Poynting  $\vec{S}$ , en la figura 9, muestra la dirección en la que fluye la energía alejándose de la antena. Como  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  están  $90^\circ$  fuera de fase en puntos cercanos de la antena de dipolo, el flujo de energía neto es cero; no obstante, que se está radiando energía. Puesto que los campos de dipolo disminuyen como  $\frac{1}{r^3}$ , éstos son importantes a distancias cercanas pero no a grande distancias donde el campo decae como  $\frac{1}{r}$ .

En estas distancias, zona de radiación, la fuente de ésta es la inducción continua de campos de acuerdo con las leyes de Farady y de Ampere-Maxwell. Como en el caso del dipolo eléctrico, en la zona de radiación, ya hay una longitud de onda fija, los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son transversales, mutuamente perpendiculares y están en fase. Las líneas de campo eléctrico producidas por una antena de dipolo en algún instante son como las de la figura 8 mientras se propagan alejándose de la antena con una rapidez  $c$ .

**A.4 Actividad de aprendizaje.** *Discutir en grupo el funcionamiento de lo que se conoce con el nombre de “Radio de Galeana” y construir un radio de este tipo revisando el material denominado “Radio de galeana (energía estática)”.* [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

**2. Ondas planas.** La onda plana es el ejemplo más sencillo de una onda tridimensional, figura 11. Existe cuando todas las superficies sobre las cuales una perturbación tiene fase constante forman un conjunto de planos, cada uno generalmente perpendicular a la dirección de propagación.



Frentes de onda para una onda plana armónica

Fig.11

La forma más concisa de la ecuación de un plano perpendicular a  $\vec{k}$  es  $\vec{k} \cdot \vec{r} = \text{constante} = a$ . Es decir, el plano es lugar geométrico de todos los puntos cuya proyección en la dirección  $\vec{k}$  es una constante. Se puede construir un conjunto de planos sobre los cuales  $\Psi(\vec{r})$  varía senoidalmente en una sola dimensión y a lo largo, por ejemplo, del eje  $x$  considerando  $\vec{k} \cdot \vec{r} = kx = a$ , es decir

$$\Psi(x) = A \text{Sen}(kx) \quad \text{o} \quad \Psi(x) = A \text{Cos}(kx)$$

En cada expresión,  $\Psi(x)$  es constante sobre cada plano definido por  $\vec{k} \cdot \vec{r} = kx = a$ . Por ser funciones armónicas se repiten a sí mismas en un desplazamiento  $\lambda$  en la dirección de  $k$ , la figura 11 es una representación simplificada. Ahora bien, estos planos están inmóviles ya que en cualquier punto fijo en el espacio donde  $x$  es constante, la fase es constante y también lo es  $\Psi(x)$  y para tener planos que se muevan se introduce la dependencia en el tiempo, o sea

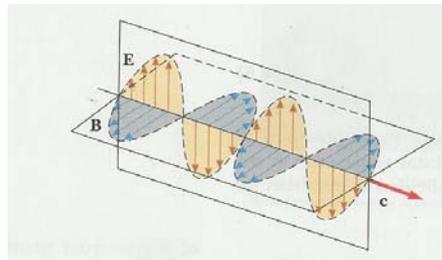
$$\Psi(x,t) = A \text{Sen}(kx + \omega t) \quad \text{o} \quad \Psi(x,t) = A \text{Cos}(kx + \omega t)$$

donde  $A$ ,  $\omega$  y  $k$  son constantes. A medida que esta perturbación viaja a lo largo de la dirección  $k$  se le puede asignar una fase correspondiente en cada punto del espacio y en el tiempo. En cualquier instante, las superficies que unen todos los puntos de igual fase se conocen como *frentes de onda*.

**3. Ecuación de onda para los campos eléctrico y magnético.** Consideremos una onda electromagnética plana que viaja en el vacío cuya dirección de propagación es el eje  $x$  positivo, figura 12.

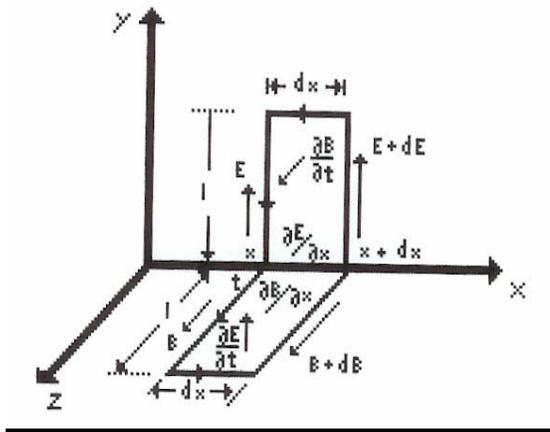
Onda plana electromagnética que muestra la variación sinusoidal de los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$

Fig.12



Se dice que una onda así, está linealmente polarizada y el plano de polarización se define como aquel en el cual oscila el campo eléctrico. Los campos son mutuamente perpendiculares, están en fase y las magnitudes dependen sólo de  $x$

y de  $t$ , es decir,  $E = E(x, t)$  y  $B = B(x, t)$ . La figura 13 muestra un campo eléctrico  $E(x, t)$  y un campo magnético  $B(x, t)$  acoplados en la posición  $x$  al tiempo  $t$  a lo largo de los ejes  $y$  y  $z$  respectivamente. Un tiempo después la onda electromagnética ha avanzado hasta la posición  $x + dx$  donde se tienen los campos inducidos  $E' = E + dE$  y  $B' = B + dB$  como se indica en la figura.



Propagación de una onda electromagnética plana

Fig. 13

Conforme a la ley de Faraday, en la posición  $x$ , la variación temporal del campo magnético,  $\left(\frac{\partial B}{\partial t}\right)_{x=cte}$ , en la dirección  $z$  positiva establece una variación de flujo magnético a través de la superficie de ancho  $dx$  y longitud  $l$  ubicada en plano  $xy$ , lo que genera al campo eléctrico  $E' = E + dE$  en lado derecho del rectángulo.

En forma similar, de acuerdo con la ley de Ampere-Maxwell la variación temporal del campo eléctrico,  $\left(\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{x=cte}$ , en la dirección  $y$  positiva a través del área del rectángulo en el plano  $xz$  genera el campo magnético  $B' = B + dB$  en el lado derecho de esa superficie. Así, la variación temporal de cada campo da lugar a un campo eléctrico y uno magnético respectivamente, cuya variación espacial,  $\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{t=cte}$  y  $\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)_{t=cte}$ , es a lo largo de la dirección de propagación de la onda como se muestra en la figura 13.

La dirección del campo eléctrico inducido se obtiene de la regla de la mano izquierda. Al colocar el pulgar en la dirección en que aumenta la variación temporal del campo magnético (dirección z positiva) el campo eléctrico inducido, que tiene sólo componente en la dirección y, es el que se muestra en la figura. En forma similar, de la regla de la mano derecha. Al colocar el pulgar en la dirección en que crece temporalmente el campo eléctrico, el campo magnético inducido tiene la dirección señalada en la figura puesto que tiene sólo componente en la dirección z. Se consideran las trayectorias en el sentido contrario a las manecillas del reloj en ambos casos.

Para obtener la ecuación diferencial que relaciona la variación temporal del campo magnético con la variación espacial del campo eléctrico, se evalúa la integral de línea alrededor del rectángulo y se toman en cuenta las contribuciones de cada lado. El campo eléctrico sobre el lado derecho de rectángulo evaluado en  $x + dx$  se puede expresar como,  $E(x + dx, t)$  mientras que en el lado izquierdo es  $E(x, t)$ . La integral de línea consta de cuatro términos: sobre la parte superior e inferior del rectángulo el campo eléctrico es perpendicular al vector  $d\vec{l}$  de modo que la contribución a la integral total es nula. Para la parte izquierda como el campo eléctrico es constante y el ángulo que forma con  $d\vec{l}$  es de  $180^\circ$  la suma infinita de términos es  $-E(x, t)l$ . En el segmento de la parte derecha, la integral de línea es  $E(x + dx, t)l$  ya que los vectores forman un ángulo de  $0^\circ$  entre sí y el campo es constante a lo largo de la dirección y. Sumando las partes obtenemos que la integral total es,

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = E(x + dx, t)l - E(x, t)l$$

pero la expresión  $E(x + dx, t)$  se puede escribir como

$$E(x + dx, t) = E(x, t) + \left( \frac{\partial E}{\partial x} \right) dx$$

sustituyendo en el resultado anterior, se tiene que la circulación del campo eléctrico es

$$E(x + dx, t)l - E(x, t)l = \left( \frac{\partial E}{\partial x} dx \right) l \quad (1)$$

Por otra parte, como  $\vec{B}$  está en la dirección z, el flujo magnético a través del rectángulo de área  $l dx$  es aproximadamente  $\Phi_B = Bl$  y la variación de flujo magnético es,

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = (l dx) \frac{dB}{dt} \Big|_{x=cte} = l dx \left( \frac{\partial B}{\partial t} \right) \quad (2)$$

Por la ley de Faraday se pueden igual las expresiones (1) y (2), se obtiene

$$\frac{\partial E}{\partial x} (l dx) = - \frac{\partial B}{\partial t} (l dx)$$

de donde

$$\frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

Obsérvese que la ecuación resultante no hace referencia alguna a las superficie por la que atraviesa el flujo y que la variación espacial del campo eléctrico es igual a la variación temporal negativa del campo magnético.

En forma similar, para obtener la segunda ecuación diferencial de Maxwell se evalúa la integral de línea alrededor del rectángulo que se muestra en la figura la figura 13. La magnitud del campo magnético cambia de  $B(x, t)$  a  $B(x + dx, t)$  sobre el ancho del rectángulo  $dx$ . La integral de línea total es

$$B(x, t)l - B(x + dx, t)l = - \left( \frac{\partial B}{\partial x} \right) dx l$$

El flujo eléctrico que pasa por el rectángulo es  $\Phi_E = Eldx$  y diferenciando con respecto al tiempo, se obtiene,

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = l dx \frac{dE}{dt} \Big|_{x=cte} = l dx \frac{\partial E}{\partial t}$$

igualando expresiones,

$$- \frac{\partial B}{\partial x} l dx = \mu_0 \epsilon_0 l dx \frac{\partial E}{\partial t}$$

de donde la circulación del campo magnético es,

$$\frac{\partial B}{\partial x} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (4)$$

Así, para obtener la ecuación de onda para el campo eléctrico, de la ecuación (3) se puede considerar la derivada parcial con respecto a  $x$  y combinar el resultado con la ecuación (4), se obtiene,

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (5)$$

Del mismo modo, tomando la derivada parcial de la ecuación (4) respecto a  $x$  y combinando el resultado se obtiene la ecuación de onda magnética,

$$\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} \quad (6)$$

que son las ecuaciones de onda para el campo eléctrico y magnético respectivamente. Así, una onda electromagnética consta de dos ondas acopladas: una onda eléctrica y una onda magnética. Ahora bien, de la forma general de la ecuación diferencial de onda,  $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}$ , resulta que,  $\frac{1}{v^2} = \mu_0 \epsilon_0$ , de donde,

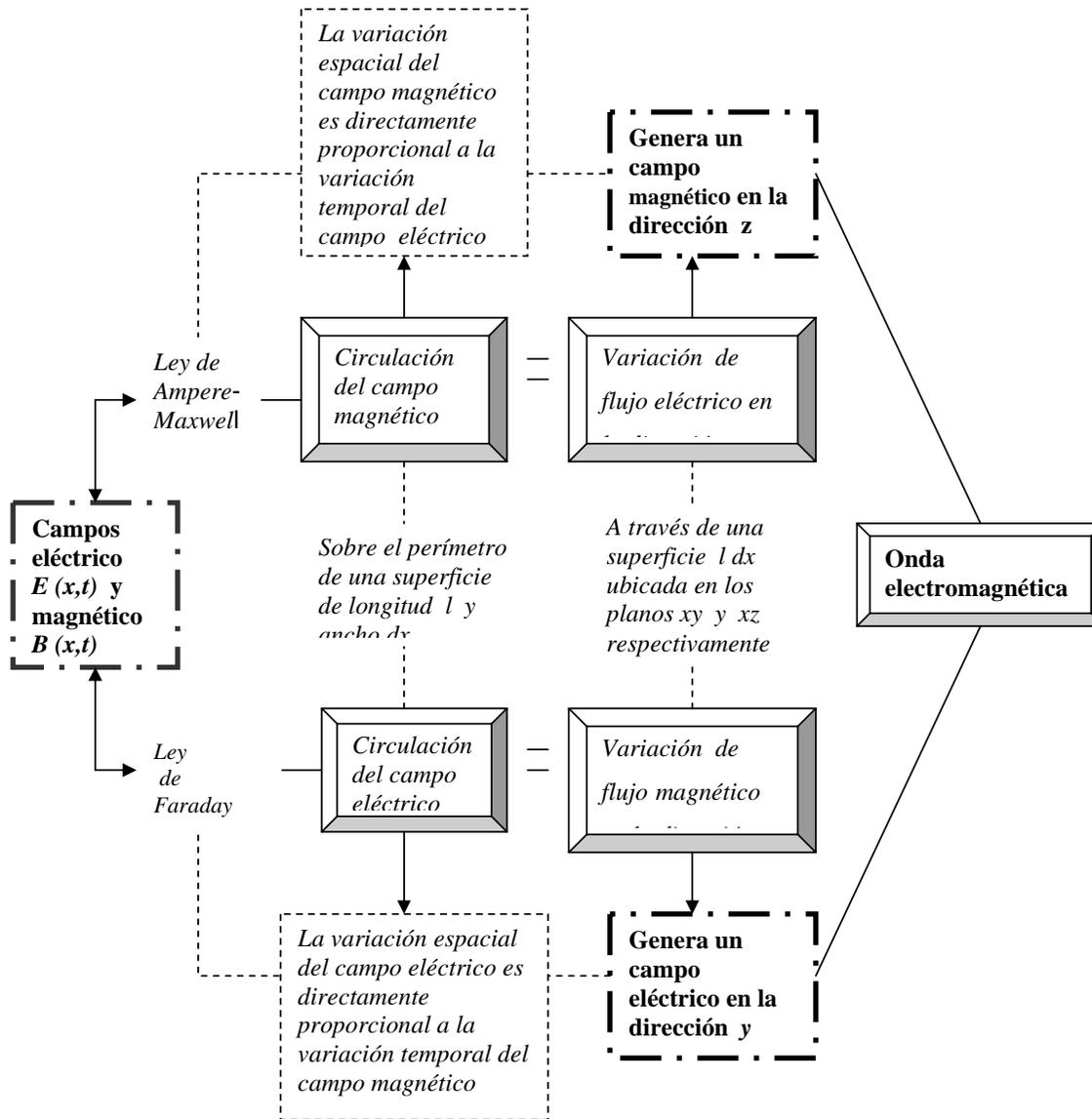
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{weber}}{\text{A m}})(8.9 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2})}} = 3.0 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = c \quad (7)$$

siendo  $c$  la velocidad de la luz en el espacio libre. La deducción de  $c$  a partir de consideraciones puramente electromagnéticas representó el éxito inicial de la teoría electromagnética de Maxwell.

Una solución de las ecuaciones (5) y (6) son las ondas armónicas planas:  $E = E_{\text{máx}} \text{Cos}(kx - \omega t)$  y  $B = B_{\text{máx}} \text{Cos}(kx - \omega t)$  donde  $E_{\text{máx}}$  y  $B_{\text{máx}}$  son la amplitud máxima de la onda eléctrica y magnética respectivamente. Al calcular la variación espacial del campo eléctrico y la variación temporal del campo magnético para estas ondas se puede obtener la velocidad de la luz como,

$$\frac{E_{\text{máx}}}{B_{\text{máx}}} = c$$

**A.5 Actividad de aprendizaje.** El profesor comenta a los alumnos las ideas principales sobre la propagación de las ondas electromagnéticas en forma cualitativa. Por ejemplo:



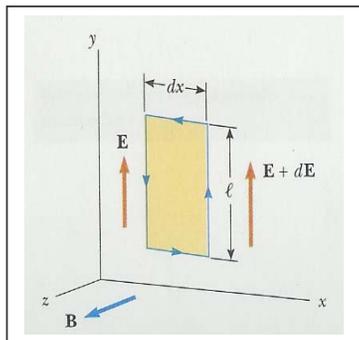
**A. 6 Actividad de aprendizaje.** Elaborar una grafía de recuperación tipos 2. Los espacios en blanco se llenan como producto de inferencias realizadas a partir de un marco o principio teórico ( en este caso, el único cuadro que originalmente tiene información con el o los principios a considerar es el de la parte superior izquierda). Las inferencias se realizan de los principios generales a la información específica de un espacio a otro.

Los principios y los conceptos que serán utilizados deben ser ya conocidos por los estudiantes. En una primera ocasión, se recomienda que el profesor y los alumnos la realicen conjuntamente. Obsérvese que la diagonal son inferencias una de otras y divide los conceptos simétricamente arriba y debajo de ella.

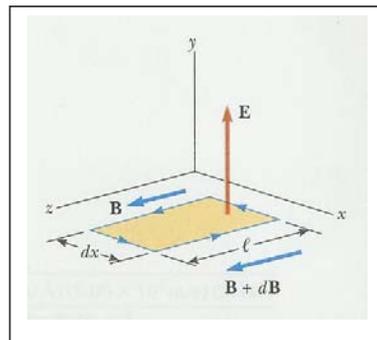
**Gráfica de recuperación tipo 2.**

<u>Principio: Inducción electromagnética y de simetría para una onda electromagnética plana:</u>	Ley de Faraday	La variación de flujo magnético es a través de una superficie imaginaria ubicada en el plano $xy$	La superficie imaginaria está limitada por un perímetro
Ley de Ampere-Maxwell	<b>Variación de flujo</b>	La variación de flujo magnético se debe a la variación temporal de un campo magnético	Se establece un campo eléctrico alrededor del perímetro de la superficie
La variación de flujo eléctrico es a través de una superficie imaginaria ubicada en el plano $xz$	La variación de flujo eléctrico se debe a la variación temporal del un campo eléctrico	<b>Da lugar a un campo inducido</b>	El campo eléctrico varía espacialmente en la dirección $x$ de propagación de la onda electromagnética
La superficie imaginaria está limitada por un perímetro	Se establece un campo magnético alrededor del perímetro de la superficie	El campo magnético varía espacialmente en la dirección $x$ de propagación de la onda electromagnética	<b>La circulación del campo es igual a la variación de flujo</b>

**A.7 Actividad de aprendizaje.** Analizar en grupo el enunciado contenido en cada figura y discutir su equivalencia con el análisis presentado en la figura 13 y en la actividad de aprendizaje 6.



La variación espacial en  $\vec{E}$  da lugar a un campo magnético variable en el tiempo a lo largo de la dirección  $z$ , de acuerdo con la ecuación 3 (ley de Faraday)



La variación espacial en  $\vec{B}$  da lugar a un campo eléctrico variable en el tiempo a lo largo de la dirección  $y$ , de acuerdo con la ecuación 4 (ley de Ampere-Maxwell)

**Características de las ondas electromagnéticas.** Las ondas predichas por las ecuaciones de Maxwell se caracterizan por:

- Los campos eléctrico y magnético satisfacen, cada uno, una ecuación de onda
- Las ondas viajan a través del espacio vacío a la rapidez de la luz  $c$
- Los campos eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Es decir, las ondas electromagnéticas son transversales.
- Las ondas transportan energía. La rapidez de flujo de energía que cruza un área unitaria se describe por medio del vector de Poyting.
- Las ondas transportan cantidad de movimiento (momentum) por lo que pueden ejercer presión de radiación sobre superficies. Si una onda electromagnética cuyo vector de Poyting es absorbido por completo por una superficie sobre la cual incide normalmente, la presión de radiación sobre esa superficie es  $P = \frac{S}{c}$

**4. Descubrimiento experimental de las ondas electromagnéticas.** Finalmente, la confirmación experimental de la teoría de Maxwell la llevó a cabo en 1887, el físico Heinrich Hertz (1857-1894), quién generó ondas electromagnéticas estacionarias aprovechando lo que se conocía sobre chispas eléctricas que ocurrían entre las terminales de una bobina de inducción. Se había observado que cuando una bobina de este tipo producía chispas intermitentes en el aire, las chispas mismas eran oscilatorias, implicando un movimiento de la carga en un sentido y en otro entre las terminales. Hertz vio esta oscilación como un mecanismo posible para la generación de ondas electromagnéticas.

En sus experimentos Hertz generó ondas electromagnéticas estacionarias de una frecuencia y longitud de onda particulares mediante la oscilación de cargas eléctricas. Estimó la frecuencia de su fuente alrededor de  $3 \times 10^7 \frac{\text{ciclos}}{\text{seg}}$  y determinó que las ondas tenían una longitud de onda de aproximadamente  $10m$ , lo que dio una velocidad de propagación de cercana a los  $3 \times 10^8 \frac{m}{\text{seg}}$ .

**A.8 Actividad de aprendizaje.** Efectuar investigación bibliográfica sobre los experimentos de Hertz con ondas electromagnéticas estacionarias para determinar la longitud de onda y la velocidad de la luz ( ver Marcelo Alonso, Eduard J. Finn. Física: campos y ondas. Vol II. pp 907-910) y producir ondas electromagnéticas en el laboratorio.

**5.- El espectro electromagnético.** Incluye todas las longitudes de onda como se muestra en la figura 14.

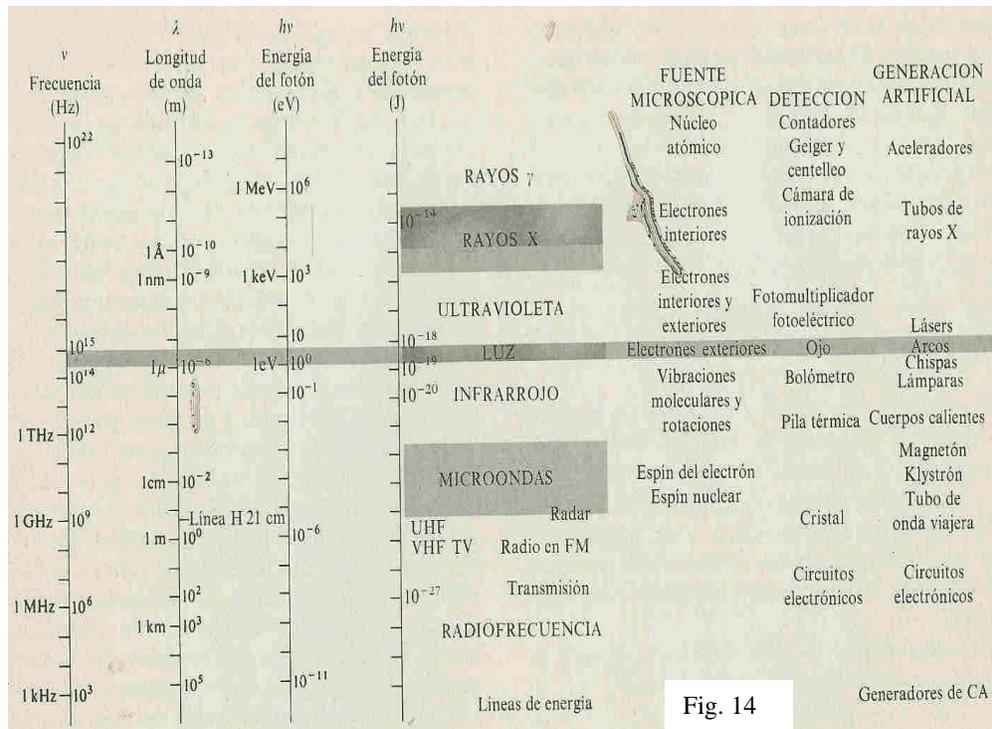


Fig. 14

La luz visible, que abarca una región muy pequeña de longitudes de onda cortas, sería aquella parte del espectro continuo capaz de producir en la retina los efectos químicos que excitan el sentido de la vista. La figura 16 muestra el amplio intervalo de frecuencias, longitudes de onda, las energías de los fotones, las diversas regiones para los rayos X, la luz, las microondas, etc así como la fuente microscópica, la detección y la generación artificial.

Descripción y comentarios:

1) Las *ondas de radio* son el resultado de cargas que se aceleran a través de alambres de conducción. Ubicadas en una escala que va de los  $10^4 m$  a casi  $0.1m$  en su longitud de onda, son generadas por dispositivos electrónicos, como los osciladores *LC* y se usan en sistemas de comunicación de radio y televisión.

2) Las *microondas* tienen longitudes de onda que varían aproximadamente desde  $0.3 m$  a  $10^4 m$ , y también son generadas por dispositivos electrónicos. Debido a su corta longitud de onda, son muy adecuadas en los sistemas de radar y para el estudio de las propiedades atómicas y moleculares de la materia. Los hornos de microondas (en los cuales la longitud de onda de la radiación es  $\lambda = 0.122m$ ) representan una intensa aplicación doméstica de estas ondas. Se ha sugerido que la energía solar se podría aprovechar por medio de un haz de microondas dirigido hacia la Tierra desde un colector solar en el espacio.

3) Las *ondas infrarrojas* tienen longitudes de onda que varían desde  $10^{-3} m$  hasta longitudes de onda más largas de luz visible,  $7 \times 10^{-7} m$ . Tales ondas, producidas por moléculas y objetos a temperatura ambiente, son absorbidas con facilidad por la mayoría de los materiales. La energía infrarroja (IR) absorbida por una sustancia aparece como energía interna debido a que la energía agita los átomos del objeto, aumentando su movimiento vibratorio y traslacional, lo cual origina un aumento de temperatura. La radiación infrarroja tiene muchas aplicaciones prácticas y científicas en varias áreas, las cuales incluyen la terapia física, la fotografía infrarroja y la espectroscopia vibratoria.

4) La *luz visible* es la parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. La luz es producida por el reacomodo de los electrones en átomos y moléculas. Las diversas longitudes de onda de la luz visible, las cuales corresponden a los diferentes colores, van de rojo ( $\lambda \approx 7 \times 10^{-7} m$ ) al violeta ( $\lambda \approx 4 \times 10^{-7} m$ ). La sensibilidad del ojo humano es una función de la longitud de onda, la cual es máxima a una longitud de onda de aproximadamente  $5.5 \times 10^{-7} m$ .

5) Las *ondas ultravioleta* abarcan longitudes de onda que varían de aproximadamente  $4 \times 10^{-7} m$  a  $6 \times 10^{-10} m$ . El Sol es una importante fuente de luz

ultravioleta (UV), la cual es la principal causa del bronceado. Las lociones bloqueadoras son transparentes a la luz visible, pero absorben la mayor parte de la luz UV. Mientras más elevado sea el factor de protección solar (SPF) del bloqueador, mayor será el porcentaje de luz UV absorbida. Los rayos ultravioletas también han sido implicados en la formación de cataratas, una nube del cristalino dentro del ojo. Usar gafas para el sol que no bloqueen la luz UV es peor para sus ojos que no usarlas. Los lentes de cualesquiera gafas para el sol absorben alguna luz visible, lo cual provoca que la pupila del usuario se dilate. Si las gafas no bloquean también la luz UV, entonces se puede causar más daño a los cristalinos del ojo debido a la dilatación de la pupila. Las gafas para el sol de alta calidad bloquean casi toda la luz UV dañina al ojo. La mayor parte de la luz UV proveniente del Sol es absorbida por las moléculas de ozono ( $O_3$ ) en la capa superior de la atmósfera terrestre, llamada estratosfera. El escudo de ozono convierte a la letal radiación UV de alta energía en radiación infrarroja, la cual a su vez, calienta la estratosfera.

6) Los rayos X tienen longitudes de onda en el intervalo de aproximadamente  $10^{-8} m$  a  $10^{-12} m$ . La fuente más comunes de rayos X es la desaceleración de electrones de alta energía que bombardean aun blanco metálico. Se usan como una herramienta de diagnóstico en medicina y como tratamiento para ciertas formas de cáncer. Puesto que los rayos X dañan o destruyen tejidos y organismos vivos, debe tenerse cuidado para evitar una exposición o sobre exposición innecesarias. Este tipo de rayos se usan también en el estudio de la estructura cristalina, ya que sus longitudes de onda son comparables a las distancias de separación atómicas en sólidos (alrededor de  $0.1 nm$ ).

7) Los rayos gamma son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radioactivos (como  $^{60}Co$  y  $^{137}Cs$ ) y durante ciertas reacciones nucleares. Los rayos gamma de alta energía son un componente de los rayos cósmicos que ingresan a la atmósfera de la Tierra desde el espacio. Tienen longitudes de onda que van desde más o menos de  $10^{-10} m$  a menos de  $10^{-14} m$ . Son muy penetrantes y producen serios daños cuando son absorbidos por tejidos vivos. En

consecuencia, quienes trabajan cerca de dicha radiación peligrosa deben protegerse con gruesas capas de plomo.

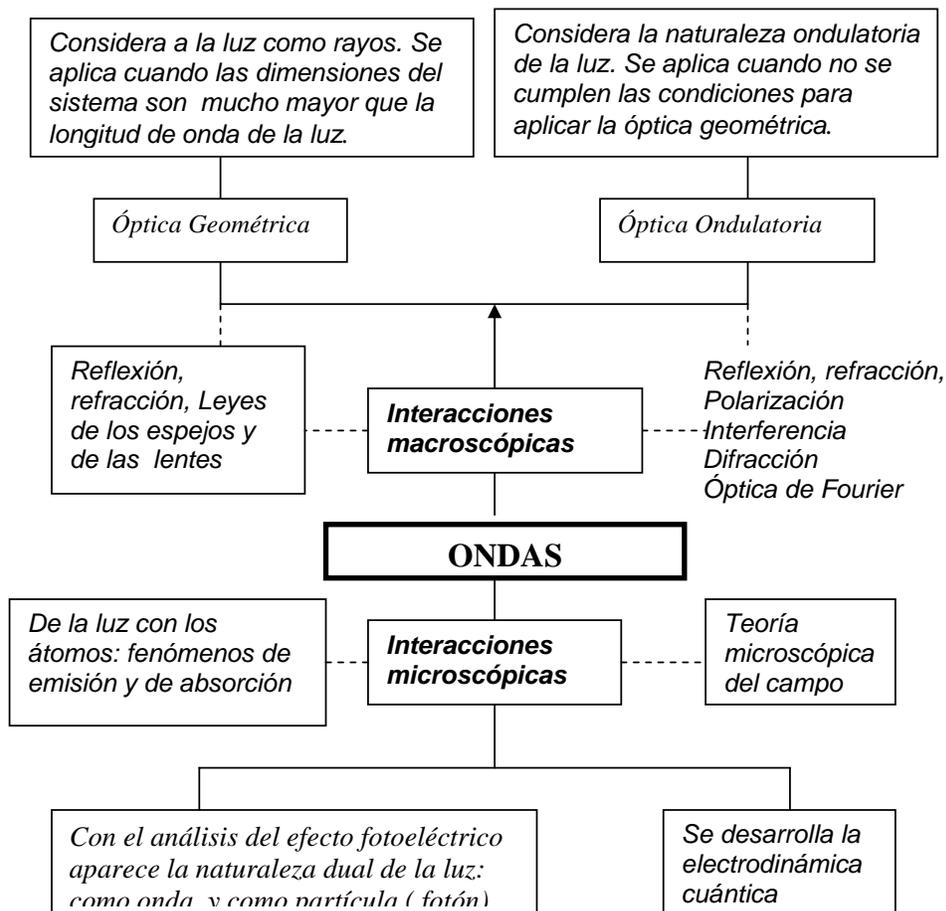
**6. Alcances y aplicaciones de las ondas electromagnéticas en los ámbitos científico, cultural y tecnológico.** El trabajo de Maxwell permitió establecer teóricamente la unidad de los fenómenos electromagnéticos y los experimentos de Hertz la confirmación de la existencia de las ondas electromagnéticas, lo que condujo a la rápida aceptación de la teoría desarrollada por Maxwell. Se dice que la teoría de Maxwell es una de las grandes síntesis del desarrollo de la física tal como lo fue, en su momento, la teoría de Newton sobre el universo mecánico. La teoría electromagnética estableció el carácter ondulatorio de la luz y fue aplicada para construir lo que se conoce con el nombre de *Óptica Física* que analiza un vasto rango de fenómenos tales como: la reflexión, la refracción, la interferencia, la difracción y la polarización de la luz, entre otros fenómenos.

La teoría electromagnética de Maxwell fue considerada una teoría estable que describía correctamente las interacciones de la luz con el mundo macroscópico, soportó la revisión hecha por Einstein ( 1879-1955) en la construcción de la *Teoría Especial de la Relatividad*. Sin embargo, fue el mismo Einstein quién puso en entredicho la capacidad de la teoría para explicar la interacción de la luz con el mundo microscópico. Con base en las ideas de Max Planck ( 1858-1947) para explicar la radiación de cuerpo negro, Einstein en la explicación del efecto fotoeléctrico, propuso la existencia del fotón o *quantum* de luz; que representaba una nueva forma de teoría corpuscular en la cual, la luz consistía de globos o partículas de energía.

Así, con base en la teoría ondulatoria de la luz de Maxwell y, a la vez, con base en el quantum o partícula de luz de Einstein, la discusión sobre su naturaleza se inclinó a favor de la *dualidad* de la luz, que no es otra cosa que la reunión de dos caracteres distintos en un mismo objeto; en contraposición a la *dicotomía* onda-partícula en la que el comportamiento de la luz se divide en onda y en partícula; o más aún, en contraposición a un principio excluyente de onda o partícula como ocurría en la época de Newton.

**A.8 Actividad de aprendizaje.** Mediante la discusión en grupo los alumnos expresarán su opinión sobre el valor de predicción de las ondas electromagnéticas así como el valor de su comprobación experimental. La discusión puede empezar con la pregunta: ¿Qué es más importante predecir un hecho físico o comprobarlo?

**A.9 Actividad de aprendizaje.** Discutir con los alumnos el siguiente esquema que muestra de manera simplificada, el desarrollo de nuevas áreas de estudio en la física dependiendo del tipo de interacción que se efectúa entre la radiación electromagnética y la materia:



**7. Reflexión.** Una vez considerado este núcleo de conocimientos y habiendo estudiado los aspectos básicos de la teoría electromagnética clásica, conviene que los alumnos:

**A.10 Actividades de aprendizaje.** Ubiquen las ondas electromagnéticas y su conexión con los demás temas que le anteceden. En este proceso, cada alumno señalará en su esquema correspondiente a la figura 1 sus observaciones y comentarios. Discusión en grupo de los resultados de esta actividad.

**A.11 Actividad de aprendizaje.** Respondan las preguntas planteadas al inicio de la «Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell» con relación al experimento en el que se introduce un foco en un horno de microondas.

**A. 12 Actividad de aprendizaje.** Cada alumno efectúa un cuadro que resuma lo más significativo de los aspectos que conforman la Síntesis de Maxwell. Por ejemplo, del tipo siguiente:

*Tabla de Resumen*

<b>Nombre</b>	<b>Describe</b>	<b>Experimento clave</b>
<i>Ley de Gauss para la electricidad</i>	<i>La relación entre carga, campo eléctrico.</i>	<i>Una carga en exceso en un conductor aislado se mueve a su superficie exterior</i>
<i>Ley de Gauss para el magnetismo</i>	<i>Que no hay monopolos magnéticos</i>	<i>El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero.</i>
<i>Ley de Faraday</i>	<i>El efecto eléctrico de un campo magnético variable en el tiempo</i>	<i>Un imán que se hace pasar por una espira cerrada de alambre produce una corriente eléctrica en la espira</i>
<i>Ley de Ampere-Maxwell</i>	<i>El efecto magnético generado por una corriente de conducción o por una corriente de desplazamiento</i>	<i>La corriente eléctrica en un alambre de conductor La carga o descarga de un condensador</i>
<i>Ecuación de onda</i>	<i>Al fenómeno electromagnético como una sola entidad</i>	<i>La comprobación experimental de las ondas electromagnéticas por Hertz</i>
<i>La fuerza de Lorentz</i>	<i>La interacción de las cargas eléctricas con los campos eléctrico y magnético</i>	<i>Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre una carga eléctrica Un campo magnético ejerce una fuerza sobre un alambre por el que circula una corriente eléctrica</i>

Un vez terminado el desarrollo de cada secuencia didáctica se procede a la evaluación de la SEDITES.

**8. Evaluación SEDITES-SM.** En esta sección se presentan criterios generales y propuestas concretas para la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje de acuerdo con el enfoque adoptado para la implementación de la «*Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell*», SEDITES-SM.

*Evaluación Diagnóstica.* Se implementó al inicio de la secuencia didáctica.

*Evaluación Formativa.* Se llevó a cabo durante el desarrollo de la unidad a través del monitoreo de resúmenes, preguntas al alumno o del alumno, resolución de problemas, mapas conceptuales, etc. Se vincula con la superación de las concepciones alternativas de los alumnos que resultaron equivocadas en la evaluación diagnóstica. Para la Evaluación Formativa, el profesor deberá llevar la cuenta del proceso real de enseñanza-aprendizaje que se está dando en ese grupo y de las necesidades del alumno para decidir cómo y cuándo aplicarla. Ninguna resultado de esta evaluación adquiere valor numérico, es una oportunidad para el aprendizaje del alumno.

**Evaluación Sumativa.** Es deseable por lo menos una evaluación numérica parcial durante la unidad. En virtud del tiempo disponible se propone una evaluación de este tipo al final de la unidad en los siguiente términos:

**Rubros que constituyen la Evaluación Sumativa en esta propuesta:**

<b>Rubro 1</b>	Entrega de la Hoja/formato con las <i>correcciones</i> efectuadas por el alumno a sus concepciones alternativas equivocadas detectadas en la evaluación diagnóstica
<b>Rubro 2</b>	Examen oral personalizado sobre las correcciones efectuadas a las concepciones alternativas
<b>Rubro 3</b>	Examen escrito al finalizar la unidad
<b>Rubro 4</b>	Explicación escrita sobre el fenómeno demostrativo de inducción electromagnética relativo a la Ley de Faraday
<b>Rubro 5</b>	Construcción de un motor eléctrico casero
<b>Rubro 6</b>	Tareas, trabajos de indagación, reportes de experimentos demostrativos, cuestionarios, resúmenes, etc.
<b>Rubro 7</b>	Examen sobre el conocimiento y uso de alguna estrategia cognitiva
<b>Rubro 8</b>	Respuestas a las preguntas en torno al experimento de encendido del foco en el horno de microondas.

**Rubro 1:** El alumno **corrige por su cuenta sus concepciones alternativas equivocadas** preguntándole al profesor o consultando otras fuentes.

**“Entrega por escrito de la Hoja/formato” con las correcciones de las concepciones alternativas equivocadas**

<b>Objetivo de aprendizaje</b>	El alumno logrará como aprendizaje mínimo el contenido referente a las concepciones alternativas
<b>Instrumento de evaluación</b>	Hoja/Formato en la que se corrigieron las concepciones alternativas a lo largo de las sesiones
<b>Variables a evaluar o taxonomía</b>	Redacción y escritura, orden, limpieza, claridad y puntualidad en la entrega
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Procedimental: Dedicación y esmero para llevar a cabo la corrección escrita de las concepciones alternativas
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Logro de aprendizaje por cambio conceptual

**Rubro 2:** El alumno debe mostrar no sólo por escrito la corrección de sus concepciones alternativas equivocadas sino que debe mostrar *que es capaz de expresar verbalmente su superación lograda ante el profesor*. Éste deberá actuar deliberadamente para *complementar*, en su caso, el esfuerzo del alumno hacia la mejor producción de conocimiento por parte del alumno y para que aprenda de ello. Tanto el profesor como el alumno deben tener la hoja formato en el momento de la realización del examen.

**“Examen oral sobre correcciones a las concepciones alternativas”**

<b>Objetivo de aprendizaje.</b>	El alumno se dará cuenta de su propio aprendizaje a la vez que se evalúa (Aprender a aprender)
<b>Instrumento de evaluación</b>	Interrogatorio sobre corrección de las respuestas en la Hoja/formato
<b>Variables a evaluar o taxonomía</b>	Grado de superación de las concepciones alternativas o tipo de aprendizaje logrado
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Declarativo: Conceptos, principios, leyes, etc.
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Transformación de las concepciones previas acordes con las concepciones científicas

**Rubro 3:** **Se examina el aprendizaje del contenido declarativo** que se enseñó con el propósito de que el alumno: 1) Comprenda los aspectos básicos y elementales del planteamiento matemático de la Síntesis de Maxwell y su significado físico.

**“Examen escrito sobre la unidad”**

<b>Objetivo de aprendizaje</b>	Comprensión de la Síntesis de Maxwell
<b>Instrumento de evaluación</b>	Cuestionario y problemas
<b>VARIABLES A EVALUAR O TAXONOMÍA</b>	Comprensión, análisis y resolución de problemas del electromagnetismo
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Declarativo: Hechos, conceptos, principios, leyes, etc
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Reconocimiento, aplicación y transferencia de conocimiento de tipo declarativo

Considerando que el desarrollo de la unidad, es decir de la SEDITES-SM, se diseñó dentro de la etapa de aprendizaje denominada “*Síntesis integradora*” que consisten en la afirmación de las características esenciales de los temas, la comprensión de la relaciones entre datos, hechos y conceptos así como la integración lógica, coherente y significativa de los temas ; se pueden utilizar dos tipos de problemas de manera balanceada.

**De “rutina” o de “transferencia de bajo nivel” :**

**Problema 1.** Dos carga eléctricas se encuentran encerradas en una caja. Calcule el flujo eléctrico cuando: a) las cargas son de la misma magnitud, b) la carga positiva es el doble de la negativa y c) la caja contiene a las dos carga de 1) pero tiene la mitad del tamaño.

**Problema 2.** Cuatro largos alambres conductores paralelos entre sí forman un cuadro cuyo lado es de  $0.200m$  y llevan corrientes iguales de  $I = 5.0Amp$ . En las esquinas de la izquierda del cuadro, la dirección de la corriente es en sentido contrario a la dirección de la corriente en las otras dos esquinas de la derecha. Calcule magnitud y dirección del campo magnético en el centro del cuadrado.

**Problema 3.** Un solenoide de  $2.50cm$  de diámetro y  $30.0cm$  de largo tiene  $300$  vueltas y conduce una corriente de  $12.0Amp$ . a) Calcule el flujo a través de la superficie de un disco de  $5.00cm$  de radio que está colocado perpendicularmente al solenoide y centrado en su eje.

**Problema 4.** Una bobina consta de  $200$  vueltas de alambre y tiene una resistencia total de  $2.0\Omega$ . Cada vuelta es un cuadro de  $18 cm$  de lado, y se activa un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la bobina. Si el campo cambia

linealmente de  $0.0$  a  $0.5T$  en  $0.8$  seg, ¿Cuál es la magnitud de la *fem inducida* en la bobina mientras está cambiando el campo?

**Problema 5.** Considera una corriente de desplazamiento de  $0.100Amp$  en un capacitor de placas cuadradas de  $5.00cm$  de lado, encuentre la razón de cambio temporal del flujo eléctrico entre las placas

**Problema 6.** Un observador observa un punto luminoso. Calcular la magnitud del campo magnético si se sabe que el campo eléctrico es de  $E = 240 \frac{volts}{m}$

#### Problemas abiertos o de “Transferencia de alto nivel” :

**Problema 7.** Un cascarón esférico se pone en un campo eléctrico uniforme. Determine el flujo eléctrico total a través del cascarón.

**Problema 8.** ¿Por qué en el electromagnetismo clásico se dice que la ley de Gauss para el magnetismo implica que no hay monopolos magnéticos?

**Problema 9.** Si se introduce una pequeña bobina en un solenoide de corriente continua ¿qué pasa? cuando se conecta, se desconecta y cuando se deja que fluya la corriente por un tiempo largo. Explique detalladamente cada situación.

**Problema 10.** En la inducción de campos en una onda electromagnética, comúnmente, no se dice cuál campo induce primero a cuál. En su opinión ¿ qué tan necesario es aclarar este aspecto?

**Rubro 4: La explicación escrita sobre el fenómeno demostrativo** de inducción electromagnética relativo a la Ley de Faraday es parte de la evaluación sobre contenido declarativo.

#### “Experimento demostrativo relativo a la Ley de Faraday”

<b>Objetivo de aprendizaje</b>	El alumno comprenderá la Ley de Faraday y explicará un fenómeno de inducción electromagnética
<b>Instrumento de evaluación</b>	Reporte de laboratorio
<b>Variables a evaluar o taxonomía</b>	Explicación concisa, coherente y clara del experimento demostrativo
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Declarativo y Procedimental:Hechos, conceptos, principios, secuencias
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Explicación Física/científica del experimento demostrativo sobre la Ley de Faraday

**Rubro 5: Reportes Práctica de laboratorio.** Para evaluar principalmente contenido Procedimental.

**“Construcción de un motor eléctrico casero”**

<b>Objetivo de aprendizaje</b>	Desarrollo de actividades teórico-experimentales que muestren la comprensión de los conceptos electromagnéticos por parte del alumno
<b>Instrumento de evaluación</b>	El Motor casero construido por el alumno
<b>VARIABLES A EVALUAR O TAXONOMÍA</b>	Funcionamiento del motor, ingenio para armarlo, presentarlo y explicarlo
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Procedimental: Funcionamiento del motor
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Habilidades, destrezas, secuencia de pasos, situaciones de aplicación, restricciones, condiciones, procedimientos operacionales

**Rubro 6: Actividades diversas a evaluar en la evaluación sumativa.** Aquí se consideran: Tareas, Trabajos, Prácticas, Etc. de acuerdo con los porcentajes que hayan sido estipulados en el inciso 1.

**Evaluación de Actividades de Aprendizaje:**

<b>Tareas</b>	<b>Trabajos de indagación.</b>	<b>Reporte de prácticas y de experiencias demostrativas de laboratorio</b>
Dejar una tarea para el contenido de cada una de las secuencias didácticas, con preguntas y problemas	Ley de Gauss Electricidad: A.11 // Ley de Gauss Magnetismo: A.14 // Ley de Ampere-Maxwell: A.4 // Ondas electromagnéticas: A.3, A.8	Ley de Gauss Electricidad: A.9 //Ley de Gauss Magnetismo: A.1, A.3, A.7 // Ley de Ampere-Maxwell: A.1// Ondas electromagnéticas: A.4

Para cada uno de estos aspectos, según se indicó en el anexo, se deben indicar el peso numérico de cada uno de ellos. Aquí se incluyen los criterios indicados en el inciso C, por ejemplo, sobre: fechas de entrega de trabajos, características de los mismos ( limpieza, impresos, etc.)

**Rubro 7: Evaluación del uso y la comprensión de estrategias cognitivas.** Una de las estrategias cognitivas que mejor se presta para la evaluación del alumno es el “Mapa conceptual” que puede ser usado en las diferentes fases del proceso del

aprendizaje del alumno. En este trabajo, se prefiere el uso del mapa conceptual para la evaluación formativa y, en especial, para la evaluación sumativa ya que:

“Los mapas conceptuales constituyen un método para mostrar, tanto al profesor como al alumno, que ha tenido lugar una auténtica reorganización cognitiva” (Novak), porque indican con relativa precisión el grado de diferenciación de los conceptos que posee una persona<sup>2</sup>.

Aunque cada alumno puede realizar un mapa conceptual diferente a los demás, sin que ello signifique necesariamente que *su* mapa conceptual esté mal, es posible identificar siempre tres aspectos básicos, a los cuales el profesor puede asignar algún valor numérico, que ayudan a evaluar un mapa conceptual, a saber:

**1 ) Las proposiciones**, es decir, los conceptos con las palabras enlace apropiadas, que indicarán las relaciones válidas o erróneas.

**2) La jerarquización**, siempre en el sentido que los conceptos más generales incluyan los más específicos. Tiene mayor valoración que el punto anterior, ya que supone mayor grado de comprensión y elaboración.

**3) Las relaciones cruzadas**, que muestran relaciones entre conceptos pertenecientes a partes diferentes del mapa conceptual, suponen un grado de reflexión mayor y se valorarán más.

Por otra parte, para la evaluación, se puede escoger la elaboración de rejillas, por ejemplo, la A.5 (ley de Gauss para el flujo magnético), la A.6 (ley de Gauss-electricidad), A.4 ( ley de Ampere-Maxwell). En general, al evaluar el uso y la comprensión de las estrategias cognitivas se puede considerar:

#### Evaluación de estrategias cognitivas

<b>Objetivo de aprendizaje</b>	El alumno usará y aprenderá estrategias cognitivas para el aprendizaje.
<b>Instrumento de evaluación</b>	Esquemas, gráficas de recuperación, etc
<b>Variables a evaluar o taxonomía</b>	La que determina la estrategia de que se trate (ver características y funciones de las diversas estrategias).
<b>Tipo de contenido a evaluar</b>	Declarativo y contenido procedimental del contenido declarativo.
<b>Producción de conocimiento y aprendizaje esperado</b>	Habilidades, destrezas, secuencia de pasos, jerarquización de conceptos

<sup>2</sup> Los mapas conceptuales en el aula. P 36

**Rubro 8.** Entrega de las respuestas por parte de los alumnos.

**Evaluación de los alumnos al profesor.** Se puede aplicar este cuestionario o bien, otros de los que se disponga.

Pregunta	Mucho	Aceptable	Poco	Nada
I. ¿Las explicaciones del profesor, ¿te facilitaron entender los conceptos?				
II. ¿El profesor trata de que reflexiones sobre los temas vistos?				
III. Consideras que el profesor, ¿explica los temas con el detenimiento necesario para que tú aprendas?				
IV. Las explicaciones del profesor, ¿te motivan a aprender?				
V. La evidencia experimental para apoyar los conceptos y temas a aprender, ¿te han facilitado la comprensión?				
VI. Las respuestas del profesor a las preguntas de los alumnos, ¿favorece el entendimiento del concepto o las ideas?				
VII. ¿El ambiente de trabajo en clase es propicio para aprender?				
VIII. La forma de dar clase del profesor, ¿te ayuda para aprender?				
IX. Cuando el profesor indica hacer cierta actividad, ¿las instrucciones te han parecido claras?				
X. ¿El examen te pareció adecuado a los temas expuestos en clase?				
Si quieres hacer alguna observación o sugerencia, anótala aquí:				

**Autoevaluación del profesor.** Se puede aplicar este instrumento o cualquier otro disponible que tenga el mismo propósito.

Escala:

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

INDICADOR	1	2	3	4	5
1. Relaciono y organizo los contenidos temáticos					
2. Inicio y termino una explicación					
3. Realizo actividades para enlazar los conocimientos ya poseídos con los nuevos que se pretenden enseñar					
4. Imparto instrucciones -señala- verifica la comprensión de la tarea, garantiza la retroalimentación					

5. Organizo el grupo para cubrir algunos contenidos mediante el trabajo colaborativo					
6. La realización de las prácticas o actividades se relacionan con los contenidos expuestos en clase					
7. Los objetivos planteados al inicio del tema corresponden a los contenidos expuestos					
8. Transmito a los alumnos entusiasmo y ganas de trabajar					
9. Empleo estrategias de aprendizaje novedosas y atractivas, adecuadas al tema					
10. Observé interés de los alumnos en las explicaciones, las actividades y los ejemplos de la clase en los diferentes momentos					
11. Utilizo alguna estrategia para incorporar al trabajo a los alumnos desmotivados					
12. Utilizo las ideas y propuestas de los alumnos que surgieron en la clase					
13. Uso ejemplos personales o habla sobre experiencias externas a la clase					
14. Planteo cuestiones ó estimula los estudiantes a hablar					
15. Proporciono retroalimentación sobre el trabajo individual, a través de comentarios o discusiones orales					
16. Critico o hago observaciones al trabajo de los estudiantes, a sus acciones o comentarios					
17. Uso variedad de expresiones y tonos al hablar a la clase					
18. Respeto las ideas de los alumnos cuando no opinan igual que él.					
19. empleo los recursos didácticos de manera eficiente					
20. Utilizo material didáctico innovador y adecuado a los contenidos					
21. Los recursos didácticos empleados fueron adecuados al nivel cognitivo de los estudiantes					
22. El recurso didáctico empleado favoreció el aprendizaje significativo					
23. Realice una evaluación diagnóstica que le llevará a realizar las adecuaciones necesarias a su planeación					
24. Realice actividades enfocadas a la retroalimentación					
25. Los mecanismos de evaluación fueron coherentes con los contenidos temáticos y las habilidades cognitivas del estudiante					

## CAPÍTULO IV

### Interpretación de resultados y comentarios

Se presentan resultados y comentarios que provienen de la experiencia de aplicar el modelo *teórico-hipotético* denominado *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* y el correspondiente *Modelo Operativo de Diseño Didáctico, MODD*, en relación con el problema planteado en esta tesis para el diseño didáctico de la Unidad IV: “Electromagnetismo”. También se comentan los resultados de la evaluación que en su momento se denominó *Evaluación estratégica*; la cual constituye, junto con la *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell*, el aporte didáctico principal del presente trabajo. Sobre esta base se presentan las limitaciones y las perspectivas de desarrollo futuro, así como un comentario general.

**1. Las respuestas a las preguntas planteadas en el problema.** Las preguntas fueron: ¿cómo diseñar una secuencia didáctica en la que se tomen en cuenta los elementos y componentes básicos de la enseñanza y que promueva el desarrollo cognitivo de los estudiantes?, ¿cómo este diseño ha de contribuir a fortalecer el carácter propedéutico del curso de Física IV, Unidad IV y a la formación integral del alumno? Se comenta, en forma global, lo siguiente:

- Los *componentes y las cinco fases* del *MODD* conllevan al profesor a manejar una determinada concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje, así como sus diversos aspectos, tal como se hace evidente en el capítulo II y III. Además, lo conducen a poder traducir esta concepción en acciones concretas en el salón de clase, ya que en el proceso de diseño se definieron, por ejemplo, niveles de aprendizaje, características del curso (unidad), estrategias cognitivas, el manejo de los diversos contenidos, el uso de taxonomías, la planificación de la evaluación (de materiales didácticos, al profesor por parte de los alumnos, autoevaluación, de estrategias cognitivas), entre otros aspectos que conllevan a que en el desarrollo efectuado para la Síntesis de Maxwell no sólo se maneje la metodología de trabajo propia de la Física, sino que se incorporan diversos elementos didácticos necesarios para su mejor enseñanza.

- En cuanto a la pregunta relacionada con fortalecer el carácter propedéutico, se puede decir que se insistió, no obstante la complejidad matemática y conceptual del tema, en una presentación que incluyera un cierto nivel de análisis cualitativo y cuantitativo apropiado al bachillerato. Es decir, se evitó una exposición basada sólo en experimentos demostrativos cuya explicación fuera meramente descriptiva, como sucede básicamente en los cursos tradicionales en la preparatoria, y que no conducen a una mayor comprensión y dominio sobre los conceptos del electromagnetismo. Cabe aclarar que estaba fuera del propósito de este trabajo un seguimiento posterior sobre los resultados de la propuesta con base en los exámenes de ingreso y de diagnóstico de las facultades.

La formación integral del alumno se atendió mediante la inclusión de los tres tipos de contenido: el declarativo, el procedimental y el actitudinal, así como la metacognición, para promover el *autoaprendizaje* o el *aprender a aprender*, con base en una articulación conceptual estructurada mediante el uso de diversas estrategias cognitivas y las actividades de aprendizaje requeridas por los temas.

**2. La aplicación del Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo.** Se considera lo siguiente:

Aquellas estrategias que se utilizaron para generar un buen ambiente de trabajo en el aula dieron resultado, como se puede observar, por ejemplo, con el instrumento de evaluación denominado “Evaluación al profesor por parte del alumno” // Del 1º al 17 de Marzo de 2005 // Nociones Preliminares sobre 23 alumnos en la pregunta VII, (ver Anexo I).

Trabajar con el modelo denominado Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), concebido como una actividad de aprendizaje que implica la implementación de otras estrategias adicionales, fue bien valorada por los alumnos como se desprende del instrumento denominado “Evaluación de la estrategia didáctica” // Grupo 651/ Fecha: 21 de Abril de 2005; y del instrumento “Evaluación de material didáctico (Ley de Faraday)” // Grupo 651/ Fecha: 21 de Abril de 2005; ver Anexo I. Es decir, resolver el problema de cómo organizar la información para el

aprendizaje por parte del grupo, es un buen punto de partida que le permite al alumno empezar a entender la complejidad y la naturaleza del tema.

- La realización de mapas conceptuales fue aceptada por el alumno y permitió clarificar la relación entre conceptos. Se puede decir que las gráficas de recuperación permitieron concentrar una gran cantidad de información relacionada entre sí para uso y comprensión del alumno. Los esquemas de conceptos ayudaron a visualizar un panorama general. La combinación de experimentos demostrativos, actividades de aprendizaje y resolución de problemas constituyeron el pilar para la enseñanza del electromagnetismo.

- El *Modelo de Diseño Didáctico con Enfoque Cognitivo* dio la oportunidad de fortalecer el propósito de desarrollo cognitivo y afectivo del alumno establecido en el *Plan de Estudios-1996* de la ENP. Como este plan señala que se deben evitar secuencias jerarquizadas de contenidos para referirse a los grandes procesos y funciones en torno a los cuales se articula epistemológicamente el conocimiento conceptual para que el alumno vaya construyendo un aprendizaje coherente y significativo, se concilió este enfoque no descuidando el carácter epistemológico de la disciplina en las actividades de aprendizaje que se proponen en la secuencia didáctica, ya que el modelo con enfoque cognitivo da prioridad al desarrollo jerárquico de conceptos para el uso de estrategias cognitivas en esos contenidos.

**3. La aplicación del *Modelo Operativo de Diseño Didáctico MODD*.** Se consideran los siguientes aspectos:

- Por su aspecto teórico, el *MODD* permite al profesor involucrarse en la interpretación y la comprensión del “Plan y programas de estudio” de la ENP a partir de sus fundamentos y directrices curriculares con el propósito de hacerlas realidad en el aula. Coadyuva para que estas directrices no queden en letra muerta o se utilicen sólo de manera formal.

- Como modelo operativo para el diseño didáctico de un curso (o una unidad) el producto resultante de la aplicación del *MODD* constituye un marco de referencia

que deja claro al profesor qué, cómo y para qué abordar determinado tema. Lo lleva a trazar *su propia estrategia* de enseñanza dentro de un amplio intervalo de posibilidades y concretarla en un *Plan de Enseñanza* que le ayude a implementar el diseño didáctico clase tras clase. El modelo permite al profesor un mayor dominio de su materia y considerar, por ejemplo, los cambios operados en la disciplina, su desarrollo epistemológico, la investigación de su dimensión cultural y tecnológica, así como las implicaciones éticas, de valores y de actitudes; todo ello para ser promovido en el salón de clase en el momento requerido.

- Por su carácter *técnico*, el *MODD* resulta ser un instrumento de *desarrollo tecnológico* que cubre necesidades de modo sistemático y disciplinado. Donde el diseño didáctico implica, por parte del profesor, la capacidad de elaborar y desarrollar el *Plan de Enseñanza* apropiado para cada situación concreta donde se combina el arte, la técnica y la capacidad para dar respuestas a las situaciones y hacer ajustes oportunos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Con base en la experiencia obtenida, a diferencia de lo que algunas propuestas sostienen, el proceso de enseñanza-aprendizaje *mediado* por el *diseño didáctico* sí puede ser mejorado de manera significativa cuando se utiliza apropiadamente.

Por otra parte, la aplicación del *MODD* no condujo a una tecnologización de la enseñanza que impidiera la creatividad del profesor al momento de implementar el diseño en el aula. En términos prácticos, la realidad en el salón de clase fue tan diversa que el diseño sirvió para tratar de anticipar los posibles eventos en la clase y para orientar la acción requerida con la intención de alcanzar el logro de los objetivos. Lo cual requirió, precisamente, de la creatividad por parte del profesor, quien auxiliado por aquellos aspectos generales claros y definidos que el diseño didáctico proporciona en la realización de las *cinco tareas y fases del MODD*, está en mejores condiciones para responder a esa demanda de creatividad ante los alumnos. Recordemos que el planteamiento de este modelo parte del reconocimiento de la realidad en la que pretende operar, de que el diseño didáctico no es 100% lineal y de que tiene un perfil de *tentativo*. La experiencia

adquirida apunta en la dirección de que el proceso de enseñanza-aprendizaje no puede ser sometido *a priori* a tecnologización alguna que sea exitosa.

En lo general, estos comentarios se pueden sustentar con base en los resultados obtenidos en la Práctica Docente II y registrados en los instrumentos de evaluación denominados: “Evaluación de los alumnos al profesor y evaluación al profesor por parte del alumno” (ver Anexo I). Por ejemplo, los alumnos apreciaron del profesor que: “estableció objetivos claros”, “organizó adecuadamente los contenidos temáticos expuestos en clase”, “se expresó claramente”, “estableció criterios y sistema de evaluación” o bien, “promovió la reflexión sobre los temas vistos”, “que el ambiente de trabajo en clase propicia el aprendizaje”, “que las indicaciones de las actividades y las instrucciones fueron claras”, etc. Aspectos que implican una mejoría casi automática para el profesor como resultado del diseño didáctico del tema o unidad con el *MODD* y de la elaboración del *Plan de Enseñanza* referido anteriormente.

- Por su carácter flexible, el *MODD* pudo ser *adoptado* y *adaptado* a las necesidades concretas en la ENP, por ejemplo:

a) El modelo fue adoptado porque propone utilizar las estrategias cognitivas como *medios de enseñanza* para la adquisición de conocimiento y, a la vez, propone que los contenidos de la enseñanza incluyan todos los aprendizajes (valores, actitudes y habilidades de pensamiento); mientras que en el currículo de la ENP, se afirma: “...los contenidos se constituyen no en el fin único del aprendizaje sino en medios para desarrollar habilidades y competencias que doten al alumno con herramientas que promuevan el autoaprendizaje<sup>1</sup>”. Como esas herramientas provienen, precisamente, del desarrollo cognitivo del alumno, el considerar las estrategias cognitivas como medios de enseñanza es una condición necesaria para que finalmente los contenidos cumplan la función de “medios de la enseñanza”.

---

<sup>1</sup> UNAM. *Plan de Estudios-1996*. p. 17.

b) El modelo se adaptó en cuanto a su propuesta para evaluar el contenido actitudinal ya que, sin dejar de promover el desarrollo de actitudes en el alumno y, en correspondencia con el *Plan de Estudios-1996* de la ENP, la evaluación de actitudes no se consideró en este trabajo.

c) En correspondencia con el currículo de la ENP, el modelo también se adaptó para *no* considerar una *evaluación continua* al estudiante ya que teóricamente no es deseable ni operativamente se tiene tiempo para ello.

Un balance general en cuanto al *Modelo de Diseño didáctico con Enfoque Cognitivo* y el correspondiente *MODD* es que su uso ofrece *un marco conceptual integrado* que coadyuva para hacer realidad los lineamientos curriculares del *Plan de Estudios-1996* de la ENP y permite considerar en el diseño didáctico los diversos componentes del proceso enseñanza-aprendizaje.

**4. La Evaluación Estratégica.** Los resultados que aquí se comentan se basan en la interpretación de la información obtenida de los *Instrumentos de Evaluación* y de las actividades realizadas durante la Práctica Docente II para el *grupo específico* que se atendió. Los detalles de las observaciones, resultados y conclusiones se presentan en el Anexo I.

*Evaluación Diagnóstica.* El análisis de las respuestas de los alumnos a las preguntas del instrumento para la evaluación diagnóstica permitió afirmar, para ese grupo, que existía un mayor *desconocimiento de conceptos* sobre el electromagnetismo que *concepciones alternativas equivocadas* en los alumnos. Lo que conllevó a efectuar el diseño didáctico de acuerdo con esta información, sin perder de vista que, por ejemplo, el concepto de “corriente eléctrica” y de un “imán” resultaron ser *concepciones alternativas equivocadas* en la mayoría de los alumnos.

Conforme a la propuesta de evaluación, se trabajó durante el desarrollo de la secuencia didáctica para la superación de las “lagunas” o de la “concepciones

alternativas equivocadas". Se les indicó de manera frecuente a los alumnos que conforme al desarrollo de los temas deberían corregir sus respuestas.

Tal como se programó, primero se consideraron las correcciones por escrito "como trabajo" en el que los alumnos tenían que suplir sus "lagunas" o corregir las "concepciones alternativas equivocadas" según fuera el caso. Cabe señalar que en general las correcciones fueron buenas, pero se presentaron casos en que se hicieron correcciones que resultaron incorrectas. Con base en las correcciones como trabajo del alumno, es decir considerándolas ya como *Objeto de Examen Oral*, se procedió a realizar el examen oral programado con fines de calificación numérica. En cuanto a valorar el grado de mejoría sobre las "concepciones alternativas equivocadas" o la superación de las "lagunas", mediante el examen oral para que el estudiante se diera cuenta de su "antes" y su "después" se tiene lo siguiente:

- a) La mayoría de los alumnos dieron el "salto" para llenar sus lagunas o para corregir, en su caso, alguna concepción equivocada. Sobre todo en cuanto al concepto de corriente eléctrica.
- b) Los alumnos, en general, mostraron consistencia en la diferencia entre lo escrito en la evaluación diagnóstica y lo nuevo, corregido en su Hoja/ Formato; así como en lo que podían expresar oralmente.
- c) Hubo alumnos que bajo la presión de tener que recordar o explicar algo frente al profesor, regresaban a la concepción original, casi de manera textual aunque estuviera equivocada.
- d) Hubo quienes se aferraban a un solo concepto para explicar muchos otros. Defendían su idea durante el examen oral aunque la hubieran cambiado en sus correcciones.
- e) Hubo un alumno que, ante la presión, sentía que era mejor que lo reprobara.
- f) La *mayoría* de los alumnos no pudieron expresar una concepción adecuada sobre ¿qué es un imán? que no fuera una explicación con base en las ideas de la cultura diaria.

g) Durante el examen oral los alumnos hicieron algunos comentarios sobre lo que aprendieron y podían reconocer como su “antes” y su “después”.

El examen oral fue laborioso dado que se tenía la plena intención de que el alumno, en este proceso, tuviera una oportunidad para aprender, a la vez que pudiera darse cuenta de lo que aprendió. En esta dinámica, el examen sirvió para implementar diversos modos de afrontar las concepciones equivocadas de los alumnos que aún persistían. También salieron a relucir algunas otras concepciones alternativas equivocadas que no se habían manifestado en la Evaluación Diagnóstica ni durante las sesiones de clase o los exámenes escritos.

Con base en la experiencia anterior, se puede comentar que la transformación de la Evaluación Diagnóstica a instrumento de Evaluación Sumativa, después de haberse desarrollado el tema y de haber trabajado los alumnos explícitamente en ello, dio buenos resultados como se desprende del inciso a), citado líneas arriba, así como de las calificaciones obtenidas por los alumnos (ver Anexo I). Sin embargo, se puede inferir, para este grupo, que una concepción alternativa equivocada no sólo estructura y organiza la nueva información de manera deficiente, sino que persiste en forma explícita o anónima y hasta puede ser defendida por el estudiante, tal como sucedió en los casos mencionados c) y d).

Así, se puede comentar que el aprendizaje por cambio conceptual requiere de un esfuerzo deliberado no sólo por parte del profesor durante la enseñanza sino, principalmente, por parte del alumno. Es un proceso que requiere un seguimiento más eficaz y, como se observa en el instrumento denominado “Evaluación de los alumnos al profesor” (ver Anexo I) referente al inciso 11 también hizo falta reforzar la información oportuna sobre el avance académico de los alumnos; sobre todo con aquellos que tienen una tendencia a “perderse”.

El punto f) enumerado anteriormente muestra que la Evaluación Formativa no fue correctamente implementada. No obstante que los alumnos experimentaron con imanes en las actividades demostrativas de laboratorio y que, incluso, una de esas actividades consistió en explicar qué es un imán. Lo que demuestra que si se

quiere un aprendizaje por cambio conceptual es necesario incrementar la actividad en la Evaluación Formativa, con pleno conocimiento de causa por parte del profesor, con el fin de reconocer y remover las raíces en las que se sustentan las concepciones alternativas equivocadas; ya que el experimentar puede no ser suficiente para algunos alumnos; y para otros, aun explicar qué es un imán no los conduce al cambio de concepción. Lo anterior se afirma incluso cuando el alumno indica en el inciso 14 del instrumento de "Evaluación de los alumnos al profesor" que los experimentos y las actividades planteadas por el profesor le permitieron comprender mejor el tema. Se puede entender que en lo general así fue, pero sin duda, este resultado no incluye el hecho de comprender un imán.

Sobre el punto g) que se refiere a los comentarios de los alumnos sobre lo que aprendieron y si podían reconocer su "antes" y su "después", aquellos alumnos que no pudieron superar su conocimiento por lo menos entendieron y aceptaron su déficit, como se desprende del inciso 20 del instrumento mencionado, en donde el alumno manifiesta que su calificación refleja el aprendizaje alcanzado durante el tema. En esta situación, al final del proceso, sólo queda al profesor instrumentar alguna orientación al alumno para que atienda su déficit en el aprendizaje. Cabe señalar que el resultado numérico obtenido por el alumno fue producto de diversas actividades como se puede observar en la planificación del reporte efectuado sobre la implementación del sistema de evaluación y del inciso 18 (ver Anexo I).

Lo anterior permite comentar que los tres tipos de evaluación, cada una en su función, *concatenadas entre sí* e implementadas *escrupulosamente* pueden contribuir al logro de los aprendizajes deseados en la gran mayoría de los estudiantes. Además, si este esfuerzo se complementa con los resultados de otras evaluaciones que permitan valorar la eficiencia del diseño didáctico aplicado y el desempeño del profesor en el aula, se estará coadyuvando a que el profesor no sea el factor que obstaculice el aprendizaje. Estas evaluaciones pueden ser, por ejemplo, evaluación al profesor por parte de los estudiantes, la autoevaluación del profesor como una actividad reflexiva constante sobre su hacer y la evaluación de

estrategias y del material didáctico (que en nuestro caso fueron favorables, ver Anexo I).

Obsérvese que durante los temas se hizo una evaluación intermedia denominada “Evaluación al profesor por parte del alumno” del 1º al 17 de Marzo de 2005; lo cual permitió detectar oportunamente las deficiencias que se señalan en la parte inferior del instrumento y saber en lo que se estaba bien (Anexo I). Es decir, el profesor puede ayudar a que el aprendizaje del alumno mejore cuando, de su parte, hay una mejoría constante. Esta evaluación intermedia, por ejemplo, durante el desarrollo de una unidad sirve al profesor para monitorear oportunamente su actividad sin necesidad de esperarse al final, cuando sus errores se han consumado.

Por otra parte, es absolutamente necesario integrar la evaluación al proceso de enseñanza-aprendizaje y que el profesor analice las concepciones alternativas equivocadas de los alumnos y las comprenda desde el punto de vista del *déficit cognitivo* que representan, y no sólo desde el punto de vista del déficit correspondiente a determinado contenido conceptual de la Física. Lo cual permitiría implementar un diseño didáctico y todas las actividades pertinentes que brinden al estudiante una mayor posibilidad de lograr el salto conceptual. Actividades que impliquen para el alumno, por ejemplo, la reconceptualización y recontextualización de hechos, actividades y de conceptos o bien, que le permitan llenar lagunas para que éste pueda estructurar ideas inconexas o enriquecerlas. En este proceso el alumno deberá indudablemente poner su esfuerzo y dedicación.

Como se insiste en concatenar los tres tipos de evaluación y fortalecer de manera importante la práctica de la Evaluación Formativa conjuntamente con la evaluación al profesor, las estrategias cognitivas y el material didáctico e insiste en la producción de aprendizajes por parte del alumno más que en la elaboración de productos de aprendizaje, como propone el *Plan de Estudios-1996* de la ENP; la propuesta de evaluación de este trabajo de tesis la enriquece.

**5. Limitaciones del trabajo de Tesis.** Las expresamos en los siguientes aspectos:

1) *Limitaciones de carácter general.* Cabe mencionar que en este proyecto sólo se utilizó un determinado modelo: el *MODD*, y los resultados que se presentan se refieren a un grupo limitado de alumnos. Aunque podríamos decir que esto no favorece a una valoración objetiva del proyecto, debemos mencionar que los resultados fueron obtenidos dentro del contexto de impartir clases y cubrir unos temas con apego al cumplimiento real del programa de estudios y al mismo tiempo experimentar formalmente sobre aspectos didácticos, lo cual no es fácil.

2) *Limitaciones en cuanto al proceso de evaluación empleado y el Modelo de diseño didáctico con enfoque cognitivo.* La evaluación formativa implementada en el presente trabajo fue deficiente no sólo en su aspecto operativo en el salón de clase, sino también en la manera de conceptualizarla.

Para subsanar esta deficiencia, en la materia de Didáctica de la Disciplina II (como parte de un trabajo final) se diseñó un modelo para trabajar en este aspecto bajo la premisa de que: “si una estrategia cognitiva genera habilidad de pensamiento y ésta ayuda a mejorar el aprendizaje, entonces hay que centrar el trabajo de la evaluación formativa en el indagar qué aspectos específicos de las estrategias cognitivas pueden y deben ser atendidos por el profesor con el alumno” (véase propuesta en el Anexo II).

Como el modelo cognitivo utilizado parte del supuesto de que “el aprendizaje de estrategias cognitivas mejora y estimula el aprendizaje de contenidos, y mediante el aprendizaje de contenidos el estudiante aprende a usar estrategias cognitivas y se motiva para continuar haciéndolo”; qué pasa si algunas estrategias cognitivas demandan del alumno una capacidad cognitiva que no posee. O peor aún, qué pasa si no existe la *motivación inicial intrínseca* necesaria para que el alumno decida usar y aprender estrategias cognitivas.

Desde nuestra perspectiva, la Evaluación Formativa planteada en el contexto arriba señalado permitiría acercarse a este problema y entender la posibilidad del aprendizaje por cambio conceptual. Por lo que este aspecto y los posibles resultados a los que conduciría el modelo propuesto quedan como tema abierto para explorarse formalmente en el aula.

*Limitaciones en cuanto a la enseñanza del electromagnetismo.* Nos referimos a los siguientes aspectos:

- La secuencia didáctica se diseñó con base en el tiempo asignado de 30 horas de clase y a la necesidad del profesor de *contar con* un material didáctico que le proporcione soporte para desarrollar el tema en su “próxima clase”. Por ello, el diseño didáctico correspondiente, donde se elaboraron las estrategias cognitivas y las actividades de aprendizaje indispensables para el desarrollo del tema, es un material que puede ser utilizado inmediatamente. Por esta razón, el material didáctico no incluye, por ejemplo: problemarios, guías de estudio, instructivos para prácticas de laboratorio, etc.

- Debido a que el trabajo está dirigido al profesor, no en todos los casos se implementó una presentación matemática simplificada de las ecuaciones, en especial para la ecuación de onda que incluye derivadas parciales. Por lo que todavía le queda al profesor la tarea de buscar formas sencillas de introducir en el aula este aspecto matemático al estudiante.

- La secuencia didáctica logra plantear desarrollos didácticos gráficos para los conceptos físicos que comúnmente *no* se encuentran en los libros para bachillerato (por ejemplo: el esquema “Dos universos”, la figura “Organización jerárquica de conceptos” para el inicio de la secuencia general y la que lleva por nombre: “Propagación de una onda electromagnética plana” de la secuencia para las ondas electromagnéticas, entre otras ) Sin embargo, como la mayoría de las figuras que se emplearon en este trabajo fueron elaboradas para ilustrar los conceptos en el nivel de licenciatura, algunos detalles gráficos no se ajustan completamente a la descripción que se requiere en el contexto de nuestra

exposición. Por lo que el profesor deberá tomar en cuenta esta situación al momento de considerarlas.

Es necesario entonces, para futuros diseños didácticos a nivel de bachillerato, contemplar una actividad expresa para resolver este importante aspecto de diseño gráfico como parte del diseño didáctico.

**6. Repercusiones y perspectivas de desarrollo futuro para el ejercicio docente del trabajo de tesis.** Se presentan en dos vertientes:

*1. Sobre aspectos diversos:*

- Una de las perspectivas a largo plazo en cuanto al modelo, es que éste ofrece posibilidades de desarrollo teórico para una mejor comprensión de la práctica y la teoría del *diseño didáctico* desde una perspectiva cognitiva y didáctica. El modelo puede ser objeto de diversos tipos de investigación que aporte conocimientos sobre su utilidad y validez. Lo que podría utilizarse para comparar resultados en diversas instituciones educativas, ya sea que apliquen otros modelos de diseño didáctico.

- A mediano plazo, en tanto que este trabajo se puede vincular con una actividad de investigación que empieza con una exploración en el aula, el profesor podrá comenzar a plantearse y explorar diversos problemas relacionados no sólo con el tema de la evaluación, sino con otros aspectos vinculados con el proceso de enseñanza-aprendizaje; por ejemplo, eficiencia de determinados materiales y recursos didácticos para el aprendizaje de algunos conceptos y su relación. Partiendo de los hechos y los resultados en sus propios cursos que le permitan plantear hipótesis sólidas para ser investigadas en espacios como los que genera la Maestría en Docencia para la Enseñanza Media Superior.

- En el mediano plazo, el uso y conocimiento del *MODD* ayudará a que el profesor se involucre en rediseñar, como se está promoviendo actualmente, el Plan de Estudios de la ENP con bases y conocimientos adecuados.

- En otro nivel, a mediano plazo, el conocimiento teórico y práctico del modelo, así como la recopilación y análisis de los resultados obtenidos de la práctica de los profesores pueden servir como fundamento para el diseño de cursos de *Formación de los Nuevos Profesores de Física* de la ENP.
- En un sentido didáctico, a corto plazo, se espera que el modelo coadyuve a elaborar otras secuencias didácticas con respecto a otras materias de Física enfocadas de tal manera que no sólo se atienda la metodología de esta ciencia como un conjunto de experimentos diseñados que contradigan o no las concepciones alternativas equivocadas de los alumnos, sino que se refuerce la enseñanza de los contenidos con otros aspectos didácticos para que se supere la aversión del estudiantado hacia la Física y la reprobación de la materia.
- A corto plazo, como actualmente la Escuela Nacional Preparatoria está promoviendo la realización por parte del profesor de lo que se denomina: “Plan de clase”, una de las repercusiones importantes de este trabajo de tesis es coadyuvar a la realización del *Plan de Enseñanza* con base en un marco conceptual y metodológico apropiado para el diseño didáctico e integrado con los propósitos y fines de la educación de la ENP.
- En la ENP hay una tendencia a implementar lo que se denomina “Exámenes Departamentales” los cuales fomentarán la “eficientitis”. Por lo que se espera que este trabajo advierta que un procedimiento de evaluación mal enfocado puede conllevar a la *regresión* sobre prácticas conductistas y a no lograr los propósitos educativos de la ENP. Aspectos perjudiciales para un sistema de enseñanza que, teóricamente, plantea en su plan de estudios alejarse del conductismo. De modo que el *MODD* con un sistema de evaluación integrado puede coadyuvar a mejorar el Perfil de Egreso del alumno y fortalecer el carácter propedéutico de la ENP a partir de un buen diseño didáctico integral, precisamente que considere los componentes del perfil del alumno deseado de manera didáctica en la que la evaluación realmente a toda la institución y no sólo sirva como medio de control del proceso educativo.

*II. En cuanto a la enseñanza del electromagnetismo.*

-Una de las repercusiones a corto plazo es que la aportación del *MODD* a la enseñanza de la Síntesis de Maxwell como eje central de los temas del electromagnetismo consistió en que la jerarquización de los conceptos permitió una presentación adecuada y fluida en el salón de clases. Presentación que no se limitó a realizar una serie de experimentos demostrativos y provocar tan sólo que el alumno se “admirara” con el fenómeno, sino que buscó además, de manera sistemática, la explicación y el entendimiento del fenómeno con base en una actividad cognitiva del alumno.

- A mediano plazo es posible diseñar todo un vasto conjunto de estrategias didácticas y cognitivas para aspectos más específicos. Diseñadas sin el compromiso de implementarlas en 30 horas de clase pero que estén a disposición del profesor para su uso en el momento requerido según las necesidades del alumno. Es posible extender el diseño didáctico de la Síntesis de Maxwell para incluir: apuntes para el alumno, problemarios, cuestionarios, guías, materiales didácticos, diseño gráfico de figuras, etc.

**7.- Comentario general.** Desde un punto de vista global, el proceso de enseñanza y de aprendizaje se puede entender conformado en tres fases, a saber: la entrada (*input*), el proceso de desarrollo (*práctica*) y la evaluación y retroalimentación de los resultados (*output*), que el modelo de diseño didáctico propuesto ha considerado en sus planteamientos.

Se puede decir que el modelo presentado permite una mejor comprensión del proceso relacionado con el *input* en la enseñanza del electromagnetismo dado que se consideró que la cognición (que incluye la percepción, la comprensión, el aprendizaje y el recuerdo) es un mecanismo holístico. Por esta razón en la elaboración de la *SEDITES-SM* se utilizó, para favorecer la percepción, el experimento demostrativo como punto de partida para el desarrollo de la ley de Faraday. En la ley de Gauss para el flujo eléctrico, para favorecer la comprensión, el procedimiento fue un proceso combinado en el que se planteó primero cierta

evidencia física que desembocó en una analogía y, posteriormente, se realizó una presentación matemática del concepto para finalmente presentar el hecho físico que sustenta. En el caso de la ley de Gauss para el flujo magnético, para favorecer el aprendizaje y el recuerdo, se consideró como una extensión de los conceptos del caso eléctrico. En los casos de la ley de Ampere-Maxwell y de las Ondas electromagnéticas, básicamente, se implementó una presentación que permitiera una “percepción conceptual” del contenido; se partió de la premisa de que el conocimiento es abstracto y la cognición es un proceso de abstracción que no necesariamente empieza con lo concreto. Una reflexión sobre esta concepción de la cognición y dada la diversidad de los modos en que se puede estructurar cada tema conllevó a establecer un diseño didáctico diferente para cada una de las secuencias.

Por otra parte, se puede decir que el modelo ayuda al mejoramiento del proceso de desarrollo o *práctica* al emplear estrategias cognitivas como parte de los contenidos y como medios de enseñanza, ya que esto permite alcanzar el conocimiento como *representación interna* que se construye y organiza en estructuras internas llamadas esquemas mentales y donde el aprendizaje se entiende como aquella actividad mental mediante la cual se alcanza la estructuración interna de conocimientos. Por ello, en este primer material, el diseño didáctico de la *SEDITES-SM* buscó centrar su planteamiento en el desarrollo de estrategias cognitivas reconocidas por los psicopedagogos cognitivos como eficientes para la enseñanza.

Ahora bien, el desarrollo del sistema de *Evaluación Estratégica* integrada al proceso de enseñanza- aprendizaje contribuye al mejoramiento del *output* de este proceso en cada una de sus modalidades ( evaluación diagnóstica, formativa y sumativa) ya que en la elaboración de la *SEDITES-SM* el trabajo de evaluación está concatenado. Además, porque la evaluación se comprometió con brindar al alumno una oportunidad de aprender y de superar las concepciones alternativas equivocadas iniciales; porque se implementaron diversos tipos de evaluación, que en lo general mejoraron el rendimiento del alumno; porque se implementó la

metacognición, que enfocada al proceso de evaluación, permitió al alumno, desde su condición de adolescente, ser capaz de reconocer su “antes” y su “después” con un sentido crítico en cuanto a su logro personal de aprendizaje como resultado del examen oral efectuado en su oportunidad. Así, de este modo se promueve el carácter retroalimentador (formativo) de la evaluación. También contribuye al mejoramiento del *output*, evaluar con respecto a lo que realmente se enseñó y, el dar oportunidad a los alumnos de establecer algunos criterios para ser evaluados.

Finalmente, en la medida que la enseñanza del *Electromagnetismo-Síntesis de Maxwell* adquiera un mayor desarrollo didáctico, comparable por ejemplo al que tiene la mecánica clásica, la enseñanza del electromagnetismo dejará de ser objeto de preocupación y de consideración para eliminarla de los programas de estudios de la ENP o del bachillerato. Es así que, desde el diseño didáctico, podemos reconocer el aporte innovador del presente trabajo de tesis para el electromagnetismo, lo cual permitirá llevar al aula este campo de conocimiento de manera adecuada. Así mismo, como los desarrollos didácticos con enfoque histórico y epistemológico anteceden a los diseños didácticos basados en un repertorio integrado de estrategias cognitivas, se puede afirmar que la *Secuencia Didáctica Teórico-Experimental para la Síntesis de Maxwell* constituye un diseño didáctico más innovador que aquellos.

## ANEXO I

### 1. Descripción de la población atendida:

Práctica Docente I.

La Escuela Nacional Preparatoria y el Colegio de Ciencias y Humanidades forman parte del sistema de bachillerato de la UNAM.

Los principios fundamentales del modelo del CCH son:

- Aprender a aprender.
- Aprender a ser y
- Aprender a hacer.

El proceso de enseñanza-aprendizaje se efectúa con un enfoque constructivista. Los grupos de Física se dividen en dos secciones, teniendo cada sección 25 alumnos a lo más.

Las asignaturas de Física I y Física II son obligatorias, de carácter formativo, se ubican en el área de Ciencias Experimentales y se imparten en el tercero y cuarto semestres.

Los estudiantes del grupo de tercer semestre, grupo 303 del turno matutino, con horario de 9 a 11:00 a.m., que fueron atendidos en la práctica docente I, en el CCH, fueron adolescentes entre 15 y 17 años, de clase media baja con posibilidades de estudiar sostenidos por sus familias.

Cabe mencionar que la mayoría de ellos tienden a elegir carreras de ciencias sociales y humanidades.

Práctica Docente II y III.

La Escuela Nacional Preparatoria forma parte del sistema de bachillerato de la UNAM.

Los principios fundamentales del modelo de la ENP son:

- +Formación Integral
- +Autoaprendizaje

El proceso de enseñanza-aprendizaje se efectúa con un enfoque constructivista desde la perspectiva de un modelo cognitivo socio-afectivo.

Los datos de la asignatura son: Física IV, Área I (Físico-matemáticas y de las Ingenierías) de 6º Año. El curso es de carácter propedéutico.

Según el Plan de Estudios, de la ENP, al alumno de 6º año se le considera más maduro cognitivamente en relación con el alumno de 4º o 5º años. Los alumnos pertenecen a una clase social con los recursos suficientes para sostener unos estudios. Su edad oscila entre los 17-18 años. Y desde el punto de vista de la teoría de la adolescencia, se encuentran en la etapa final de ésta. Lo que significa una creciente presión para incorporarse a los estudios universitarios y a la sociedad de manera más formal. La población estudiantil del grupo 651 está formada principalmente por estudiantes que seguirán una carrera universitaria relacionada con la Ingeniería en sus diversas especialidades. Los menos ingresarán a estudiar Arquitectura o bien, a la Facultad de Ciencias en la carrera de Física.

## 2. Sistema de evaluación del aprendizaje.

Proyecto de Evaluación (del 1º de Marzo al 14 de Abril de 2005)  
 Práctica Docente II // Dra. Pilar Segarra Alberu  
 ENP, Plantel, 5 “José Vasconcelos”  
 Programa de Estudios de la Asignatura de Física IV, Área I (Sexto año)  
 Unidad IV: “Electromagnetismo”

**INTRODUCCIÓN.** El presente Proyecto de Evaluación a efectuarse en la Práctica Docente II es un medio para buscar la forma de integrar los diferentes aspectos de la evaluación al proceso de aprendizaje-enseñanza y de superar la mera realización de exámenes para calificar. Lo anterior para explorar una propuesta de evaluación, tanto del alumno como del profesor. Este trabajo se inscribe dentro del marco de la *elaboración y puesta en práctica* en el aula de la propuesta didáctica denominada *Secuencia Didáctica Teórico Experimental para la Síntesis de Maxwell* referente al contenido 4.6 “Síntesis de Maxwell” de la Unidad IV: “Electromagnetismo” del Programa de Estudios de Física IV-Área I de la ENP.

En este trabajo se implementa la idea de *Evaluación Estratégica*, mediante la cual se evaluará a los alumnos sobre aquellos aspectos claves del proceso aprendizaje-enseñanza de la unidad. Se utiliza la Evaluación Diagnóstica, la Formativa y la Sumativa para contenido Declarativo; se lleva a cabo una evaluación sobre el contenido Procedimental en relación con la ley de Faraday y se evalúan tanto la Estrategia Didáctica como el Material Didáctico correspondientes a esta ley. El proyecto se estructura de la siguiente manera:

### A.- El Criterio General de Evaluación:

- 1.- La evaluación es un proceso integrado a la enseñanza-aprendizaje en el que el alumno aprende a evaluarse y se da cuenta de lo que aprendió.
- 2.- La evaluación numérica mide la producción de conocimientos por parte del alumno
- 3.- Los criterios de evaluación se comentan y discuten con los alumnos.

**B. - Evaluación Diagnóstica.** En esta evaluación confluyen diversos aspectos:

<b>Consideraciones para la evaluación diagnóstica:</b>
Se elabora un cuestionario de Diagnóstico sobre “Nociones Preliminares”
La evaluación diagnóstica se hace bajo una hipótesis inicial, a saber: que el posible resultado del cuestionario reflejará más “lagunas” que concepciones alternativas de los alumnos que fueran difíciles de manejar
Se recaba información sobre: conocimientos básicos ya adquiridos (la mayoría de las preguntas). Experiencias personales en relación con la tecnología y la cultura (pregunta IX). Razonamientos y expresiones espontáneas sobre algún tema (pregunta VII). Experiencias personales de Aula y/o de la vida cotidiana (pregunta X). Representación mental de algún fenómeno (pregunta II). Detectar, implícitamente, algunas pericias o destrezas en el conocimiento y manejo de algunos aparatos (pregunta X)

Se pretende indagar el estado de los prerrequisitos que necesita el estudiante para afrontar con éxito los contenidos de la unidad, y que se juzgan indispensables en el desarrollo de las ecuaciones de Maxwell mediante diez preguntas del cuestionario
---

La evaluación diagnóstica se diseña también para estimular los conocimientos previos necesarios sobre el tema
---

Se implementa una evaluación diagnóstica con la idea de trabajar de manera sistemática y persistente dichas ideas a lo largo del desarrollo de la unidad, con la finalidad de hacer una labor que propicie la transformación de las concepciones alternativas del estudiante
--

Impacto de la evaluación diagnóstica en la planificación y desarrollo de los temas:

<b>Modificación de la Práctica Docente (el cuestionario ya se aplicó el 1º de Marzo de 2005):</b>
---

Se replantea la sección de “Nociones Previas” prevista con respecto al posible resultado. En particular la ley de Ampere, que se consideraba trabajada en 4º año y conocida por los alumnos, se introduce para manejar el concepto de magnitud del campo magnético
--

Los temas afines a las Respuestas del cuestionario por parte de los alumnos se constituyen en el <i>aprendizaje mínimo esperado</i> al momento de llegar a una evaluación sumativa. Se está implementando un <i>proceso sistemático</i> en el que el alumno aprende a evaluar y se da cuenta de lo aprendido como una forma de <i>producción de conocimiento</i> . Para lo cual, durante las clases nos referimos a las concepciones y se da tiempo para señalar algunas de ellas y cómo corregirlas. Se indica al alumno que en la parte de atrás de la Hoja/ Formato debe anotar, clase tras clase, las nuevas concepciones con sus propias palabras, aquellas que se vayan superando conforme se desarrollan los temas.
--

La idea de trabajar sistemáticamente las concepciones alternativas de los alumnos permite considerarlas como *aprendizaje mínimo esperado* al momento de llegar a una evaluación sumativa (como un producto final derivado de la Evaluación Diagnóstica):

<b>En relación con la producción de conocimiento y el aprender a evaluarse y darse cuenta de lo que aprendió el alumno:</b>
---

Se indica a los alumnos que al finalizar la unidad cada uno deberá entregar su Hoja/Formato corregida para ser tomada en cuenta ( <u>únicamente la corrección</u> de las concepciones alternativas) como parte de la calificación sumativa. Esto le permitirá comparar al estudiante al término de la unidad su “antes” y su “después”. Para cerrar el proceso, se efectuará un <i>examen oral</i> con valor numérico para verificar el logro en la corrección de las ideas alternativas con aquello que el alumno puede expresar, ya sea porque lo entendió de las discusiones de clase o por que las investigó en los libros
--

**C. Evaluación Formativa.** Se lleva a cabo a través de la realización de resúmenes, esquemas de ideas y mapas conceptuales. Los cuales se consideran estrategias cognitivas que ayudan al aprendizaje del contenido pero que también

hay que *aprender a hacerlas*. La Evaluación Formativa está presente en todo el proceso, se lleva a cabo en cada sesión.

### Evaluación Formativa

Tema	Instrumento	Contenido	Fecha de la sesión
Carga eléctrica	Resumen de conceptos	Tipos de carga. Ley de atracción y repulsión entre cargas. La conservación y la cuantización de la carga eléctrica. Concepto de carga puntiforme	2/III/05
Ley de Coulomb	Esquema de conceptos	Interacción entre cargas eléctricas en reposo. Ley de Coulomb. Principio de superposición. Acción a distancia y campo de fuerzas	8/III/05
Campo eléctrico	Reporte sobre discusión de conceptos	Campo eléctrico para una carga puntual. Patrones de líneas de campo eléctrico. Configuración de líneas de campo eléctrico para un dipolo.	9/ III/ 05
Campo magnético	Resumen de conceptos	Magnetismo terrestre y el de un imán. Leyes de atracción y repulsión entre imanes. Líneas de campo magnético. Hallazgo de Oersted	15/III/05
Campo magnético	Mapa conceptual	Ley de Ampere. Magnitud, dirección y sentido del campo magnético que rodea a una corriente eléctrica en un conductor largo y recto	16/III/05
Ley de Gauss-Electricidad	Anotaciones sobre facilidad o dificultad en el aprendizaje	Propiedad matemática de "flujo" de un campo de velocidades. Concepto de flujo de agua. Analogía entre flujo de agua y "flujo" eléctrico. Definición de "flujo" eléctrico. "Flujo" eléctrico para superficies <i>no</i> cerradas y cerradas. Ley de Gauss-Electricidad	30/III/05
Ley de Gauss-Magnetismo	Resumen de conceptos	Campo magnético producido por un solenoide. Principio de superposición para el campo magnético y la idealización del modelo. Concepto de flujo magnético para una superficie <i>no</i> cerrada. Unidades Involucradas. Ley de Gauss-Magnetismo.	5/IV/05
Ley de Faraday	Anotaciones sobre la valoración del trabajo y organización en equipo	Organización y desarrollo de los elementos del aprendizaje a partir de un problema o experimento demostrativo con relación a la Ley de Faraday	6/IV/05
Ley de Faraday	Resumen de conceptos	Diversas formas en que se puede variar el flujo magnético. El flujo magnético en un solenoide o en una espira rectangular.	7/IV/05
Ley de Faraday	Anotaciones sobre experimento demostrativo	Aplicación de los conceptos desarrollados en relación con el experimento demostrativo	12/IV/05

Ley de Faraday	Mapa conceptual alumnos	Relación corriente eléctrica desde punto de vista microscópico / campo eléctrico. Ley de Faraday en términos del campo eléctrico inducido y el campo magnético variable en el tiempo	13/IV/05
Ley de Faraday	Mapa conceptual profesor.	Realización por parte del profesor del mapa conceptual sobre La Ley de Faraday y su comparación con el de los alumnos. Análisis del experimento demostrativo de principio de tema.	14/IV/05

**D- Evaluación Sumativa.** Tiene por *objeto* elaborar los instrumentos de evaluación y obtener la información que posibilite una medida de los conocimientos obtenidos por los alumnos en el proceso de aprendizaje-enseñanza. Esta evaluación se hace con el fin de tomar decisiones sobre la calificación y acreditación del alumno de la Unidad IV “Electromagnetismo”. Se relaciona con la evaluación del logro de aprendizajes prescritos por el programa, los objetivos de la unidad y de los temas específicos. La evaluación sumativa se lleva a cabo en dos fases: Primera, “Nociones Preliminares” y Segunda, “Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo y Ley de Faraday”

**Rubros que constituyen la Evaluación Sumativa:**

Rubro 1:	Entrega Hoja/Formato correspondiente a <i>correcciones</i> de las concepciones alternativas detectadas al principio de la unidad
Rubro 2:	Examen oral personalizado sobre las correcciones efectuadas a las concepciones alternativas
Rubro 3:	Examen escrito al finalizar el tema de “Nociones preliminares”
Rubro 4:	Explicación escrita sobre el fenómeno demostrativo de inducción electromagnética relativo a la Ley de Faraday
Rubro 5:	Construcción de un motor eléctrico casero
Rubro 6:	Examen escrito sobre Ley de Gauss-Electricidad y Ley de Gauss-Magnetismo
Rubro 7:	Tarea N° 1: “Nociones previas” y Tarea N° 2: “Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo y Ley de Faraday”

**Porcentajes (determinados por los alumnos y por el profesor) para la Evaluación Sumativa (anexo 1) :**

Actividad	Porcentaje del total	Rubro	Subdivisión
Tareas N° 1 y N° 2	20%	7	Dos tareas 10% cada una
Trabajo	30%	1	Un trabajo, 30%
Reportes prácticas laboratorio	30 %	4 y 5	Dos reportes, 15% cada uno
Exámenes	20%	2, 3 y 6	Tres exámenes, 6.7% cada uno

## DESCRIPCIÓN Y CALENDARIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUMATIVA

### Rubro 1: Trabajo, “Entrega de la Hoja/Formato, *correcciones concepciones alternativas detectadas al principio de la unidad*”

Objetivo de aprendizaje	El alumno se dará cuenta de su propio aprendizaje a la vez que se evalúa (Aprender a aprender)
Instrumento de evaluación	Hoja/Formato en la que se corrigieron las concepciones alternativas a lo largo de las sesiones
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Redacción y escritura, orden, limpieza, claridad y puntualidad en la entrega
Tipo de contenido a evaluar	Procedimental: (Trabajo sistemático)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Dedicación y esmero para llevar a cabo la corrección escrita de las concepciones alternativas
Fecha de Evaluación	20 de Abril de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Al proceso global del desarrollo de la unidad

### Rubro 2: “Examen *oral* sobre las correcciones efectuadas a las concepciones alternativas”

Objetivo de aprendizaje.	El alumno logrará como aprendizaje mínimo el contenido referente a las concepciones alternativas
Instrumento de evaluación	Interrogatorio sobre corrección de las respuestas en la Hoja/Formato
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Grado de superación de las concepciones alternativas
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo:(conceptos principios)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Transformación de las concepciones previas acordes con las concepciones científicas
<i>Fecha de Evaluación</i>	20 de Abril de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Proceso global de temas de la unidad

### Rubro 3 : Examen escrito sobre “Nociones Preliminares”

Objetivo de aprendizaje	El alumno comprenderá los conceptos de carga eléctrica, Ley de Coulomb, y los conceptos de campos eléctrico y magnético
Instrumento de evaluación	Cuestionario y problemas
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Comprensión, análisis y resolución de problemas
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo: (hechos, conceptos y principios)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Aplicación y recuerdo de las nociones de carga eléctrica, Ley de Coulomb, de campo eléctrico y magnético
Fecha de Evaluación	29 de Marzo de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Primera Fase: “Nociones Preliminares” ( del 1 al 17 de Marzo de 2005)

**Rubro 4: Reporte Práctica de laboratorio:  
“Experimento demostrativo relativo a la Ley de Faraday”**

Objetivo de aprendizaje	El alumno comprenderá la Ley de Faraday y explicará un fenómeno de inducción electromagnética
Instrumento de evaluación	Reporte de laboratorio
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Explicación concisa, coherente y clara del experimento demostrativo
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo:(Hechos, conceptos, principios)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Explicación científica del experimento demostrativo sobre la Ley de Faraday
Fecha de Evaluación	21 de Abril de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Prácticas de laboratorio sobre la Ley de Faraday (Sesiones del 6, 7,12 y 13 de Abril)

**Rubro 5: Reportes Práctica de laboratorio:  
“Construcción de un motor eléctrico casero”**

Objetivo de aprendizaje	El alumno desarrollará actividades teórico-experimentales que muestren su comprensión de los conceptos electromagnéticos
Instrumento de evaluación	Motor casero
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Funcionamiento del generador, diseño e ingenio para armarlo y explicarlo
Tipo de contenido a evaluar	Procedimental: (Aplicación, reconocimiento)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Habilidades, destrezas, secuencia de pasos, situaciones de aplicación, restricciones, condiciones, procedimientos operacionales
Fecha de Evaluación	21 de Abril de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Prácticas de laboratorio sobre la Ley de Faraday (Sesiones del 6, 7,12 y 13 de Abril)

**Rubro 6: Examen escrito sobre  
“Ley de Gauss-Electricidad y Ley de Gauss-Magnetismo”**

Objetivo de aprendizaje	El alumno comprenderá los conceptos de flujo eléctrico y magnético así como la Ley de Gauss-Electricidad y Ley de Gauss-Magnetismo
Instrumento de evaluación	Cuestionario y problemas
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Comprensión, análisis y resolución de problemas
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo: ( hechos, conceptos y principios)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Aplicación y recuerdo de los conceptos de flujo eléctrico, magnético y de la Ley de Gauss-electricidad y la Ley de Gauss-Magnetismo
Fecha de Evaluación	19 de Abril de 2005
Parte del proceso al que se refiere	Segunda Fase: “Ecuaciones de Maxwell” ( del 29 de Marzo al 14 de Abril)

**Rubro 7: Tareas “Nociones previas” y “Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo y Ley de Faraday ”**

Objetivo de aprendizaje	Habilidad para resolver problemas (A) y problemas (B)
Instrumento de evaluación	Cuestionario con problemas (A) y (B)
VARIABLES a evaluar o taxonomía	Planteamiento, procedimiento y resultado (A) y (B)
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo: (Hechos conceptos, principios) (A) y (B)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Resolución de problemas: Reconocimiento y aplicación (A) y (B)
Fecha de Evaluación	29 de Marzo de 2005 (A) / 19 de Abril de 2005 (B)
Parte del proceso al que se refiere	“Nociones Preliminares” (A) Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo y Ley de Faraday (B)

**E. Evaluación al Profesor por parte de los Estudiantes.** Aunque la evaluación al profesor por parte de los alumnos puede ser cuestionada, finalmente son ellos por quienes trabajamos y de quienes esperamos que aprendan. De modo que se efectuó un cuestionario para ser evaluado a la mitad del tiempo de la Práctica Docente II con la finalidad de saber si los aspectos más elementales estaban siendo ejecutados y, de lo contrario, poder corregir. Es información que finalmente se puede cruzar con la autoevaluación y con la evaluación “oficial”

**F.- Autoevaluación.** La autoevaluación de la Práctica Docente se llevará a cabo observando la propia práctica en el aula, utilizando las grabaciones correspondientes a dos temas (cuatro horas de grabación), a saber: La Ley de Gauss-Electricidad del día *Miércoles 30 Marzo 2005* y la sesión referente a la Ley de Faraday del día *Miércoles 6 Abril 2005*. Se observará la conducta manifiesta en el aula, cuando se interactúa con los alumnos. Es decir, será una evaluación de la práctica docente en la enseñanza interactiva.

**G.- Evaluación de una Estrategia Didáctica.** En el presente trabajo se presenta la forma y el instrumento de evaluación *sólo* para la Estrategia Didáctica utilizada en la enseñanza-aprendizaje referente a la Ley de Faraday

**H.- Evaluación de Material Didáctico.** El material Didáctico que se evalúa en este trabajo es el que se relaciona con la Ley de Faraday. La evaluación se enfoca sobre consideraciones psicológicas y didácticas para motivar y promover el aprendizaje del alumno así como para dar contexto y soporte al proceso aprendizaje-enseñanza.

Nota: Los diversos instrumentos que se mencionan para las actividades mencionadas fueron omitidos por razones de espacio.

## REPORTE SOBRE LA EVALUACIÓN DURANTE LA PRÁCTICA DOCENTE II

### I. Evaluación Diagnóstica.

A.- De la aplicación del cuestionario de Diagnóstico (proceso, observaciones y resultados):

A.1.- Se aplicó el cuestionario diseñado para tal efecto al principio de la Unidad, el 1º de Marzo de 2005. La información obtenida es:

**Tabla N° 1: Clasificación de respuestas consideradas como contenido declarativo**

Indicador	Alumnos que contestaron <i>bien</i>	Alumnos que contestaron <i>mal</i>	No contestó / no sabe
I. La carga eléctrica es un concepto que se relaciona con la rama de la física llamada:	15	4	2
II. ¿Cómo se imagina un cuerpo electrizado?	1	18	2
III. ¿Cuáles son los modos de electrificar un cuerpo?	11	8	2
IV. ¿Qué dice la Ley de Coulomb?	0	4	17
V. ¿Qué origina un campo eléctrico?	2	16	3
VI. ¿Qué entiende Usted por corriente eléctrica?	8	12	1
VII. Escriba lo más importante que sepa Usted sobre magnetismo	5	14	2
VIII. Comente sobre la ley que funciona un motor eléctrico	1	5	15
IX. ¿Qué son las ondas electromagnéticas y qué tienen que ver con la Televisión, la Radio y el horno de microondas?	1	12	8
X. Marque con una cruz los aparatos que ha visto funcionar.	Alumnos que han visto funcionar el aparato	Alumnos que <i>no</i> han visto funcionar al aparato	
Un circuito eléctrico	16	5	
Una pila eléctrica	15	6	
Un amperímetro	10	11	
Un imán	21	cero	
Un condensador	5	16	
Una bobina	12	9	
Un generador de ondas electromagnéticas	5	16	
Un solenoide	4	17	

**Resultados:** Como se puede observar de la Tabla N° 1, las respuestas mejor contestadas se refieren a “modos de electrificar un cuerpo” y “qué es una corriente eléctrica”. El caso más crítico fue en cuanto a la Ley de Coulomb con cero respuestas.

El resultado anterior y las respuestas concretas a los cuestionamientos de la Evaluación Diagnóstica permitieron estructurar los Planes de Clase con base en la estrategia de *desconocimiento de conceptos* más que de concepciones erróneas en los alumnos. Se pudo hacer la siguiente clasificación de las respuestas para determinar el carácter de las mismas:

**Tabla N° 2. Clasificación tipo de respuesta para ver si es concepción errónea o no**

Tipo de conocimiento empleado en la respuesta por parte del alumno	Carácter de la respuesta
Conceptos de la física	Traslado incorrecto de conocimientos de unos temas a otros. Ideas incompletas sobre el tema que se cuestionaba y revueltas con conceptos de otros temas. Inferencias o deducciones estructuradas bajo la situación del momento. Generalizaciones incorrectas de conceptos
Usando argumentos provenientes de la cultura y la tecnología	Expresando ideas de la vida cotidiana con base en observaciones o usos pero con poca idea científica
Conceptos provenientes de otras áreas de conocimiento	Ideas de la química relacionadas con temas de física

*Observación:* De acuerdo a la clasificación anterior, las concepciones que más se pueden tipificar como concepciones erróneas son las que tienen el carácter de: "Ideas de la vida cotidiana con base en observaciones o usos". Se referían principalmente al concepto de corriente eléctrica como "energía que se consume". Más adelante veremos que hubo una concepción errónea con base en la idea y uso de la computadora pero ésta se detectó hasta que se hizo el examen oral.

A.2.- Tal como se planificó, durante las sesiones subsecuentes se hicieron indicaciones invitando a los alumnos para que no perdieran de vista corregir sus "concepciones previas" en la medida que el desarrollo de los temas lo permitiera.

*Resultados:* Una *valoración cualitativa* me permite afirmar que un 70% de los alumnos no realizó este trabajo en forma sistemática como se pretendió a pesar de las indicaciones efectuadas.

*Observación:* Faltó, de mi parte, diseñar un instrumento de control específico para esta actividad, que se implementara paralelamente a las sesiones de la práctica docente.

A.3.- Correcciones escritas consideradas como *Trabajo* para la calificación sumativa.

Al final de la unidad, tal como se programó, se consideraron las correcciones por escrito sobre las lagunas o concepciones erróneas, en su caso, efectuadas por los alumnos en la parte posterior de la Hoja/Formato.

*Resultados:* Todos los alumnos realizaron correcciones escritas en buena media y abarcando la mayoría de los temas; excepto lo correspondiente a “los aparatos que el alumno había visto funcionar”.

*Observación:* De la lectura de las correcciones se desprende que la mayoría de éstas se llevaron a cabo con base en las explicaciones de las clases y algunas fueron investigadas en algún libro.

A.3.a.- Como Trabajo para la calificación sumativa, las correcciones en la Hoja/Formato, tal como se programó, tuvieron un valor del 30% (puntos) de la calificación final. También fue la manera en que el alumno pudo observar su “antes” y su “después”. Se respetó el criterio establecido, a saber:

Objetivo de aprendizaje	El alumno se dará cuenta de su propio aprendizaje a la vez que se evalúa (Aprender a aprender)
Variables a evaluar o taxonomía	Redacción y escritura, limpieza, claridad y, puntualidad en la entrega
Tipo de contenido a evaluar	Procedimental: (Trabajo sistemático)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Dedicación y esmero para llevar a cabo la corrección escrita de las concepciones alternativas
Parte del proceso al que se refiere	Al proceso global del desarrollo de la unidad

Con los porcentajes siguientes: Redacción y escritura 10%, Limpieza 5%, Claridad 5%. Puntualidad en la entrega 10%, para el total del 30% especificado para el rubro 1.

*Resultados:*

**Tabla N° 3. Porcentaje de alumnos que cumplieron con los criterios a evaluar**

Redacción y escritura de las ideas corregidas	Limpieza del trabajo	Claridad de redacción de los conceptos	Puntualidad en la entrega de las correcciones
99%	50%	60%	100%

*Observación:* La calidad de las correcciones en general fue buena, pero se presentaron casos en que se hicieron correcciones incorrectas pero ya en otro plano conceptual.

A.4.- Correcciones escritas como base para el Examen oral para la calificación sumativa. El examen oral programado se hizo el día indicado, se respetó el criterio establecido en cuanto al objetivo, las variables a evaluar y la producción de conocimiento y aprendizaje esperado pero se cambió su valor porcentual como se indica en la Tabla de Concentrado de Calificaciones.

Objetivo de aprendizaje	El alumno logrará como aprendizaje mínimo el contenido referente a las concepciones alternativas.
VARIABLES A EVALUAR O TAXONOMÍA	Grado de superación de las concepciones alternativas
Tipo de contenido a evaluar	Declarativo: (conceptos, principios)
Producción de conocimiento y aprendizaje esperado	Transformación de las concepciones previas acordes con las concepciones científicas.
Parte del proceso al que se refiere	Proceso global de temas de la unidad.

A.5.- En virtud del tiempo disponible, el Examen oral consistió sólo en tres tipos de preguntas básicas sobre las correcciones escritas:

a) Sobre algo que *no* contestaron el día de la aplicación de la Evaluación Diagnóstica y que al final de la unidad lo tenían contestado en la parte posterior de la Hoja/Formato.

*Resultado:* Todos los alumnos llenaron los huecos que tuvieron el día de la Evaluación Diagnóstica, notándose un mayor manejo de información.

*Observación:* A aquellos alumnos que pudieron expresar el contenido requerido, se les señaló el cómo habían progresado al poder expresar, primero, en forma escrita el nuevo conocimiento y, posteriormente, expresarlo en sus propias palabras.

b) Sobre algo que el alumno contestó en la Evaluación Diagnóstica en forma equivocada y al final de la unidad lo presentaba corregido en la parte posterior de la Hoja/Formato.

*Resultado:* Este fue el caso más frecuente. En realidad fueron dos o tres casos de alumnos que me dejaron la impresión de que se pasaron las respuestas o las hicieron a la ligera sin realmente comprender todavía. El resultado numérico de este examen está concentrado en la tabla general de evaluación sumativa.

*Observaciones:* En lo general, los alumnos pudieron sostener lo escrito como corrección, también su argumentación se reforzaba con otros conceptos de la unidad.

c) Sobre algo que habían expresado que *sí* conocían o que *no* conocían sobre los imanes, fuentes de voltaje, solenoides, bobinas, etc. y que, en general, al final de la unidad no expresaron comentario alguno por escrito en la Hoja/Formato.

*Resultado:* La pregunta más frecuente fue sobre ¿qué es un imán? La cual se les dificultó casi al 70% de los alumnos. Para los demás aparatos contestaron satisfactoriamente.

*Observaciones:* La pregunta sobre el imán fue todo un reto, porque se entendía que no bastaba con una respuesta con base en la experiencia cotidiana.

**B.- De las interpretaciones del proceso, observaciones y de los resultados:** El Examen de Diagnóstico se consideró como base, sin cambiar su esencia o propósito inicial, para generar la programación no sólo de las clases o de las estrategias didácticas pertinentes sino que se articuló con una forma de trabajo sistemático sobre sus resultados obtenidos y que pudiera derivarse una evaluación sumativa. Por otro lado, en correspondencia al criterio general establecido al principio de las sesiones de la unidad, el examen oral se desarrolló como una oportunidad para aprender y para darse cuenta de lo aprendido.

B.1.- En cuanto a determinar cualitativamente algún grado de mejoría relativa a las concepciones erróneas o a los conceptos no entendidos o mal aplicados, etc., y en cuanto a darse cuenta del “antes” y después”, así como el mínimo de aprendizaje determinado por el instrumento de Evaluación Diagnóstica, se tiene lo siguiente:

a) Hubo alumnos que bajo la presión de tener que recordar o explicar algo frente al profesor, regresaban a la idea original, casi de manera textual aunque estuviera equivocada, por ejemplo, el alumno que recurría al concepto de flujo de electrones tanto para la generación de un campo magnético como para la generación electrostática de un campo eléctrico.

b) Hubo un alumno que se aferraba a la idea de *energía* para explicar diversos conceptos. La defendía durante el examen oral aunque la hubiera cambiado en la Hoja/Formato. Su argumento fue que les gustaba esta palabra.

c) Hubo un alumno que sentía que era mejor que lo reprobara. Sintió mucha presión.

d) La mayoría de los alumnos dieron el “salto” para llenar sus lagunas o para mejorar su entendimiento y para corregir, en su caso, alguna concepción errónea. Sobre todo en cuanto al concepto de corriente eléctrica. Mostraron consistencia entre lo escrito y lo corregido en su Hoja/Formato y lo que podían expresar oralmente. Los alumnos, motivados por el profesor, hacían algún comentario sobre lo que entendieron, sobre el hecho de que no se iban tal como entraron (dentro del contexto de la Hoja/Formato de la Evaluación Diagnóstica).

e) Hubo quienes influenciados por los principios y la cultura de la computadora trasladaban esos conocimientos a los temas de electromagnetismo. En especial en el tema de las ondas electromagnéticas, por lo que, durante el examen oral, se hizo un esfuerzo para que el alumno reconceptualizara y recontextualizara el nuevo aprendizaje, no que lo desechara sino que acomodara cada concepto en su lugar.

B.2.- Otros aspectos de la interpretación de resultados:

El examen oral fue laborioso (dado que se tenía la plena intención de que el alumno presentara un conocimiento mínimo, un cambio o mejoría conceptual, que pudiera verbalizar sus pensamientos, que se diera cuenta de lo que aprendió y que fuera una oportunidad para aprender). Como ya se mencionó anteriormente, el examen oral sirvió para que salieran otras concepciones previas o conceptos erróneos que no se habían manifestado en la Evaluación Diagnóstica ni durante las sesiones de clase o los exámenes escritos.

El examen oral, resultó algo así como una *lucha de Judo*. En este tipo de lucha, el movimiento, la intención y la fuerza del oponente rara vez se contrarrestan mediante el choque directo, más bien se utiliza la fuerza del contrario y su ímpetu para llevar al oponente a la circunstancia deseada para el triunfo. Dentro de esta estrategia (adoptada en esos momentos) para la realización del examen oral, el resultado esperado era que perdiera la lucha la *idea errónea* o los conocimientos mal estructurados o incompletos, pero que *ganara el alumno* en su autoestima y aprendizaje.

B.3.- Modo de afrontar las concepciones erróneas, conocimientos incompletos, etc sobre la marcha en la realización del examen oral:

a) El alumno al que a todo le llamaba energía por que le gustaba mucho la palabra, se le explicó en pleno examen oral, lo siguiente: Según tú... un ojo de la cara es la energía con que vemos la energía, un brazo es la energía que cuelga de la energía del hombro y una pierna es la energía con que camina la energía de tu cuerpo, ¿Qué piensas de eso? .... después de algunos momentos reflexionó y convenimos que aunque genéricamente todo es materia y energía se deben distinguir formas y categorías distintas en que ésta se manifiesta y en la que no es necesario llamarle directamente energía para explicar los fenómenos.

b) Al alumno que veía la generación de un campo electrostático como producto de un flujo de electrones, se le hizo llegar a recordar que Oersted había descubierto el campo magnético debido a una corriente o flujo de electrones pero que el campo eléctrico se producía con tan sólo frotar una barra de ebonita. Situaciones que son muy diferentes. La respuesta del alumno fue de entendimiento.

c) Al alumno que quería que mejor lo reprobara, se le pidió que se relajara. Que ordenáramos juntos sus ideas y que recordara todo lo que pudiera. Al final, aunque siguió bloqueado, pudo dar pasos significativos que le alcanzaron para aprobar el examen y se fue contento.

d) En el caso del alumno que entendía las ondas electromagnéticas con un matiz proveniente del modelo de una computadora se le explicó que, si bien la onda electromagnética era una información era mejor reconocerla como una señal que penetraba en las antenas y provocaba corrientes eléctricas que generaban los campos que a su vez se constituían en señales para la pantalla. Que era mejor reconocer una señal y el cómo se transformaba en otra señal que hablar de una información que se transformaba en otra información. El alumno, al parecer, mostró aceptación de los argumentos.

e) Para los casos en que se presentó nuevamente en el examen oral la concepción errónea sobre ¿Qué es la corriente eléctrica?, se recurrió nuevamente a lo que ya se había explicado durante una sesión de clase (jueves 3 de Marzo). Es decir, en los siguientes términos: Alumno: *“La corriente eléctrica es energía”*...Profesor: *“¿Qué es el agua?...una molécula de H<sub>2</sub>O... cuando esta molécula se mueve junto a muchísimas más, se forma un flujo de agua; el cual, puede mover, por ejemplo, una rueda dentada que, a su vez, puede hacer un trabajo (idea de energía asociada en este flujo). En el caso de la corriente eléctrica, el flujo es de electrones y también puede hacer un trabajo pero esta energía, asociada al flujo eléctrico, no es en sí misma la corriente eléctrica; así*

*como el flujo de agua no hace que pueda definirse al agua como energía, ya que el agua es una molécula de H<sub>2</sub>O". Se discutió el origen de la idea previa en relación a la costumbre del lenguaje en la CFE.*

**C.- De las conclusiones generales sobre “la interpretación del proceso, las observaciones y los resultados”:**

De las experiencias anteriores, concluyo que una concepción errónea o una incompleta o mal entendida, no sólo estructura u organiza, integra conocimiento bien o mal y persiste en forma explícita o anónima, sino que es defendida por diferentes motivos: porque me gusta la palabra o porque el alumno no tiene otra idea a la cual recurrir. A veces le es más fácil regresar a lo mismo que experimentar la sensación de no dominio de la nueva idea y de no saber hasta dónde es confiable dicha idea. Puede resultar más fácil quedarte como estás que dar el brinco o aventurarte o exponerte a que te hagan otra pregunta de la cual no sepas la consecuencia lógica.

El cambio conceptual requiere de un esfuerzo fundamentalmente personal, asistido principalmente por el profesor pero también por la comunidad de aprendizaje en la que puede convertirse el grupo de alumnos.

En cuanto al profesor, su trabajo debe alcanzar casi un nivel de sabiduría y de paciencia casi perfecta. El cambio conceptual es como un gran ideal que mantiene viva a la actividad de aprender y enseñar pero, debemos aceptar que en el camino hay otros resultados que también pueden ser valiosos sobre todo si se trabaja sin reservas ni medianías. Las ideas previas y las concepciones erróneas tienen sus profundas raíces en aspectos epistemológicos, psicológicos, axiológicos y en el poder o no poder.

Considero que la Evaluación Diagnóstica es muy importante. De ésta depende el indagar algunos aspectos sobre el estado de conocimientos en que el alumno se encuentra. Aproximarnos sobre qué es aquello que comprende de manera parcial o incompleta, desde dónde construye, a qué se aferra, qué le es difícil, etc. Si la evaluación diagnóstica se liga y se estructura con el diseño de Planes de Clase y con la Evaluación formativa así como con la Evaluación Sumativa puede ser de gran valor si se clasifican las ideas de los alumnos, se estudian y finalmente se estructuran alternativas didácticas, pláticas, trabajos, etc. que tiendan a motivar el cambio conceptual, la recontextualización y reconceptualización de conceptos a llenar lagunas, a enriquecer ideas inconclusas etc.

**D.- Evaluación Formativa.** Esta evaluación se hizo de diferentes maneras. A veces como se había marcado en el Plan de Clase y otras, al término de la clase con los alumnos que se quedan a comentar o preguntar algo. En otras ocasiones, al no ser desarrollada en clase, a manera de preámbulo en la clase posterior se monitoreó lo estipulado:

<b>Tema</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Contenido</b>	<b>Fecha de la sesión</b>
Carga eléctrica	Resumen de conceptos	Tipos de carga. Ley de atracción y repulsión entre cargas. La conservación y la cuantización de la carga eléctrica. Concepto de carga puntiforme	2/Marzo/05
Ley de Coulomb	Esquema de conceptos	Interacción entre cargas eléctricas en reposo. Ley de Coulomb. Principio de superposición. Acción a distancia y campo de fuerzas	8/Marzo/05
Campo eléctrico	Reporte sobre discusión de conceptos	Campo eléctrico para una carga puntual. Patrones de líneas de campo eléctrico. Configuración de líneas de campo eléctrico para un dipolo	9/ Marzo/ 05
Campo magnético	Resumen de conceptos	Magnetismo terrestre y el de un imán. Leyes de atracción y repulsión entre imanes. Líneas de campo magnético. Hallazgo de Oersted	15/Marzo/05
Campo magnético	Mapa conceptual	Ley de Ampere. Magnitud, dirección y sentido del campo magnético que rodea a una corriente eléctrica en un conductor largo y recto	16/Marzo/05
Ley de Gauss-Electricidad	Anotaciones (Sobre facilidad o dificultad en el aprendizaje)	Propiedad matemática de "flujo" de un campo de velocidades. Concepto de flujo de agua. Analogía entre flujo de agua y "flujo" eléctrico. Definición de "flujo" eléctrico. "Flujo" eléctrico para superficies <i>no</i> cerradas y cerradas. Ley de Gauss-Electricidad.	30/Marzo/05
Ley de Gauss-Magnetismo	Resumen de conceptos	Campo magnético producido por un solenoide. Principio de superposición para el campo magnético y la idealización del modelo. Concepto de flujo magnético para una superficie <i>no</i> cerrada. Unidades Involucradas. Ley de Gauss-Magnetismo.	5/Abril/05
Ley de Faraday	Anotaciones (Sobre la valoración del trabajo y organización en equipo)	Organización y desarrollo de los elementos del aprendizaje a partir de un problema o experimento demostrativo con relación a la Ley de Faraday	6/Abril/05
Ley de Faraday	Resumen de conceptos	Diversas formas en que se puede variar el flujo magnético. El flujo magnético en un solenoide o en una espira rectangular.	7/Abril/05
Ley de Faraday	Anotaciones (Sobre experimento demostrativo)	Aplicación de los conceptos desarrollados en relación con el experimento demostrativo	12/Abril/05

La evaluación formativa requiere de ser implementada escrupulosamente y de manera eficaz. Como una continuación de la evaluación diagnóstica y en su papel fundamental de logro de aprendizajes. Cuidando la adquisición de los conocimientos por cambio conceptual.

**E.- Evaluación sumativa.** Conforme al Proyecto de Evaluación sumativa, en la siguiente tabla se encuentran los porcentajes y actividades programadas para evaluar:

**Porcentajes para la Evaluación Sumativa**

Actividad	Porcentaje del total	Rubro	Subdivisión
Tareas N° 1 y N° 2	20%	7	Dos tareas 10% cada una
Trabajo	30%	1	Un trabajo, 30%
Reportes de prácticas de laboratorio	30 %	4 y 5	Dos reportes, 15% cada uno
Exámenes	20%	2, 3 y 6	Tres exámenes, 6.7% cada uno

De conformidad a la programación efectuada, la evaluación sumativa estaba conformada por seis Rubros. De los cuales no se llevó a cabo el Rubro Número 6 (Examen escrito sobre la Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo). De modo que esta evaluación quedó finalmente conformada de la siguiente manera:

**Tabla N° 4. Elementos de la Evaluación Sumativa**

Concepto	Actividad	Rubro
Tareas N°1 y N°2	“Nociones previas”. “Ley de Gauss-Electricidad, Ley de Gauss-Magnetismo y Ley de Faraday” .	7
Trabajo	Entrega Hoja/Formato correspondiente a <i>correcciones</i> de las concepciones alternativas.	1
Reporte laboratorio	Explicación escrita sobre el fenómeno demostrativo de inducción electromagnética: Ley de Faraday.	4
Reporte laboratorio	Construcción de un motor eléctrico casero.	5
Examen escrito	Al finalizar el tema de “Nociones preliminares”.	3
Examen oral	Sobre las <i>correcciones</i> efectuadas a las concepciones alternativas.	2

Los resultados de la evaluación se pueden observar en la siguiente tabla 5. En cada casillero, a la izquierda, se coloca el número en escala del uno al diez. Inmediatamente después se anota el valor de dicho número en puntos de acuerdo a los porcentajes que también aparecen en el recuadro.

Nota: Los nombres de los alumnos están abreviados por razones de identidad.

**CONCENTRADO CALIFICACIONES. Unidad IV: "Electromagnetismo"**  
**G. 651 / Periodo de la Práctica Docente II: Del Martes 2 Marzo al 14 de Abril de 2005**

Nombre del alumno	Tareas 20%		Trabajo 30%	Exámenes 20%		Reportes / Lab. 30 %		100%
	2 puntos		3 puntos	2 puntos		3 puntos		10 punt
	Tarea Nº 1 10%	Tarea Nº 2 10%	Entrega de Hoja/Format o 30%	Examen escrito 10%	Examen Oral 10%	Explicación escrita foquito 15%	Motor 15%	Calif. final Unidad IV
1. Villavicencio	10 / <b>1.0</b>	-----	8 / <b>2.4</b>	5 / <b>0.5</b>	10 / <b>1.0</b>	7 / <b>1.05</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>8</b>
2. Aguilar	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	7 / <b>2.1</b>	10 / <b>1.0</b>	7 / <b>0.7</b>	8 / <b>1.2</b>	--- / ---	<b>7</b>
3. Aguilar J.	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	10 / <b>3.0</b>	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>9</b>
4. Moreno	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>2.7</b>	6 / <b>0.6</b>	9 / <b>0.9</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>8.3</b>
5. Zúñiga	9 / <b>0.9</b>	-----	-----	5 / <b>0.5</b>	-----	8 / <b>1.2</b>	--- / ---	<b>2.6</b>
6. Pérez	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>1.0</b>	7 / <b>2.1</b>	6 / <b>0.6</b>	9 / <b>0.9</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>7.8</b>
7. Tenorio	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>2.7</b>	6.5 / <b>0.65</b>	10 / <b>1.0</b>	10 / <b>1.5</b>	5 / <b>0.7</b>	<b>8.5</b>
8. Echavarría	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	6 / <b>1.8</b>	6.5 / <b>0.65</b>	9 / <b>0.9</b>	9 / <b>1.35</b>	5 / <b>0.7</b>	<b>7.3</b>
9. González	8 / <b>0.9</b>	-----	6 / <b>1.8</b>	6 / <b>0.6</b>	7 / <b>0.7</b>	6 / <b>0.9</b>	5 / <b>0.7</b>	<b>5.4</b>
10. García	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>2.7</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>8.7</b>
11. Rosas	9 / <b>0.9</b>	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>3.0</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>9.0</b>
12. Toxqui	6 / <b>0.6</b>	7 / <b>0.7</b>	6 / <b>1.8</b>	7.5 / <b>0.75</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>7.0</b>
13. Ocampo	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>0.9</b>	8 / <b>2.4</b>	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>1.0</b>	10 / <b>1.5</b>	5 / <b>0.7</b>	<b>8.3</b>
14. González	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>0.8</b>	9 / <b>2.7</b>	8 / <b>0.8</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.0</b>
15. Reynoso	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>0.8</b>	8 / <b>2.4</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>0.8</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.0</b>
16. Galván	9 / <b>0.9</b>	-----	9 / <b>2.7</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>8.0</b>
17. Salgado	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>0.9</b>	9 / <b>2.7</b>	7 / <b>0.7</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.0</b>
18. Romero	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>3.0</b>	6.5 / <b>0.65</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.3</b>
19. Lira	10 / <b>1.0</b>	7 / <b>0.7</b>	8 / <b>2.4</b>	7 / <b>0.7</b>	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>1.35</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.0</b>
20. Carreón	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>0.8</b>	9 / <b>2.7</b>	7 / <b>0.7</b>	9 / <b>0.9</b>	8 / <b>1.2</b>	10 / <b>1.5</b>	<b>9.0</b>
21. Rosas	8 / <b>0.8</b>	7 / <b>0.7</b>	9 / <b>2.7</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>0.5</b>	<b>8.3</b>
22. Ramírez	-----	10 / <b>1.0</b>	9 / <b>2.7</b>	9 / <b>0.9</b>	10 / <b>1.0</b>	8 / <b>1.2</b>	7 / <b>1.0</b>	<b>7.8</b>
23. Vázquez	-----	-----	6 / <b>1.8</b>	6 / <b>0.6</b>	8 / <b>0.8</b>	6 / <b>1.8</b>	5 / <b>0.7</b>	<b>5.7</b>

**F.- Evaluación al Profesor por parte de los Estudiantes.** Se efectuó un cuestionario para ser evaluado a la mitad del tiempo de la Práctica Docente II con la finalidad de saber si los aspectos más elementales estaban siendo ejecutados y, de lo contrario, poder corregir. El resultado es:

**EVALUACIÓN AL PROFESOR POR PARTE DEL ALUMNO**  
**Del 1º al 17 de Marzo de 2005**  
**“Nociones Preliminares” sobre 23 alumnos**

	<b>Mucho</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Poco</b>	<b>Nada</b>
I. ¿Las explicaciones del profesor, ¿te facilitan entender los conceptos?	15	8	----	----
II. ¿El profesor trata de que reflexiones sobre los temas vistos?	13	10	----	----
III. Consideras que el profesor, ¿explica los temas con el detenimiento necesario para que tú aprendas?	18	5	----	----
IV. Las explicaciones del profesor, ¿te motivan a aprender?	11	12	----	----
V. La evidencia experimental para apoyar los conceptos y temas a aprender, ¿te han facilitado la comprensión?	10	12	1	----
VI. Las respuestas del profesor a las preguntas de los alumnos, ¿favorece el entendimiento del concepto o las ideas?	10	13	----	----
VII. ¿El ambiente de trabajo en clase es propicio para aprender?	14	8	1	----
VIII. La forma de dar clase del profesor, ¿te ayuda para aprender?	15	8	----	----
IX. Cuando el profesor indica hacer cierta actividad, ¿las instrucciones te han parecido claras?	9	14	----	----
X. ¿El examen te pareció adecuado a los temas expuestos en clase?	10	13	----	----
XI Como futuro ingeniero, ¿qué tan útiles crees que sean los conceptos básicos que te está enseñando el profesor?	18	4	1	----
Si quieres hacer alguna observación o sugerencia, anótala aquí ( <u>Extractos de la Redacción Original</u> ): 1) Hacer más ejercicios y explicar detalladamente cómo se realizan. (tres alumnos).2) Dar explicaciones más sencillas y hacer muchos ejemplo, así entiendo yo. 3) Que no vaya tan rápido, 4) Controlar un poco el desorden en clases. 5) No llamarnos NIÑOS. 6) Dicta muy rápido. 7) En el examen venía un tema creo que no se había visto.				

### EVALUACIÓN DE LOS ALUMNOS AL PROFESOR:

Este instrumento tiene como finalidad recabar tu opinión sobre el desempeño del profesor durante su práctica docente. Selecciona con veracidad para cada indicador, marcando con una X, el número que te parezca más adecuado. // Sobre 22 alumnos.

Escala:

1.- Completamente en desacuerdo // 2.- Parcialmente en desacuerdo // 3.- Indiferente //

4.- Parcialmente de acuerdo // 5.- Completamente de acuerdo

Porcentaje de asistencia del alumno \_\_\_\_\_%

INDICADOR	1	2	3	4	5
1. El profesor dio a conocer los objetivos o propósitos a lograr de los contenidos de las diferentes clase impartidas.	----	-----	-----	5	17
2. El profesor llegó puntualmente a la clase y utilizó efectivamente el tiempo destinado al desarrollo de los contenidos programados en esa clase.	-----	-----	1	7	14
3. El profesor expuso ejemplos claros de los temas que se vieron en clase.	-----	-----	1	8	13
4. El profesor ayudó al grupo a establecer conclusiones congruentes a los temas expuestos en la clase.	-----	-----	1	8	13
5. Consideras que el profesor organizó adecuadamente los contenidos temáticos expuestos en la clase.	----	-----	-----	8	14
6. En las actividades y discusiones el profesor facilitó y animó a la participación de todos.	-----	-----	1	11	10
7. El profesor utilizó tus respuestas para reforzar el trabajo de grupo.	---	-----	1	12	9
8. Las actitudes personales del profesor y sus explicaciones te ayudaron a mantenerte atento.	-----	-----	1	8	13
9. El profesor trató por igual a todos los alumnos sin descalificar a nadie.	----	-----	-----	3	19
10. Se expresa claramente en las explicaciones.	-----	-----	-----	11	11
11. Informa oportunamente el avance académico de los estudiantes.	-----	-----	2	10	10
12. Promueve la discusión razonada entre los miembros del grupo en búsqueda de acuerdo.	-----	-----	2	12	8
13. Hizo la aclaración de dudas de forma amable y cortés (preguntas-respuestas).	-----	-----	-----	6	16
14. Los experimentos / actividades planteadas por el profesor te permitieron comprender mejor el tema.	-----	1	-----	10	11
15. Se cuidó el buen uso de los materiales y equipo.	-----	-----	-----	2	20
16. Estableció criterios de evaluación y calificación desde el inicio del tema o unidad.	-----	-----	1	6	15
17. Realizó una evaluación diagnóstica ( examen de conocimientos previos o ideas previas al tema) al principio del tema o unidad.	-----	-----	-----	4	18

18. Utilizó diferentes instrumentos de evaluación (apuntes, tareas, exámenes, reporte de actividades de laboratorio, presentación de trabajos, trabajo en equipo, etc.) para valorar tu avance.	-----	-----	-----	3	19
19.El profesor se mostró abierto para considerar tus inconformidades y cuestionamientos sobre tu calificación.	-----	-----	-----	4	18
20. Consideras que tu calificación refleja tus aprendizajes sobre el tema o unidad.	-----	-----	-----	6	16

**G.- Autoevaluación.** La autoevaluación de la Práctica Docente se llevó a cabo observando la práctica en el aula, utilizando las grabaciones correspondientes a dos temas (cuatro horas de grabación), a saber: Noción de “Carga eléctrica” (que se cambió por: La Ley de Gauss-Electricidad que originalmente estaba programada) y la sesión referente a la Ley de Faraday del día *Miércoles 6 Abril 2005*. El resultado consta de un cuestionario de 13 páginas.

**H.- Evaluación de una Estrategia Didáctica.** De conformidad a lo programado, en el presente trabajo se presenta la forma y el instrumento de evaluación *sólo* para una de las estrategias didácticas utilizadas en la enseñanza-aprendizaje referente a la Ley de Faraday.

#### EVALUACIÓN DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA

Grupo 651/ Fecha: 21 de Abril de 2005

1 (Totalmente en desacuerdo) // 2 (En desacuerdo) // 3 (Indiferente) // 4 (De acuerdo).  
5 (Totalmente de acuerdo)

Cuestionario para el alumno. Resultados / 21 Alumnos

Indicador	1	2	3	4	5
1.- El procedimiento de establecer en el pizarrón: <i>pistas, preguntas, hipótesis</i> , etc para el experimento en el que el foquito verde fijo a una bobina prende ¿te ayudó a empezar a comprender el tema?	-----	----	----	10	11
2.- Después, en el salón, se llevó a cabo una investigación en textos y artículos que hablaban sobre la Ley de Faraday ¿te ayudaron a seguir con el entendimiento de los problemas planteados?	-----	-----	4	11	6
3.- Las clases que siguieron después de la investigación; ¿te ayudaron a mejorar la comprensión del tema?	-----	-----	-----	12	8
4. ¿Este procedimiento te hizo sentir que aprendiste por ti mismo?	-----	-----	-----	12	9
5. La explicación por escrito que hiciste, mejoró el entendimiento del fenómeno de encendido del foquito verde.	-----	-----	1	11	9

La parte importante de evaluar una estrategia es que de ella el profesor está adquiriendo información útil sobre todo del proceso de aprendizaje y enseñanza de determinado tema. Esta estrategia se basó en la metodología del ABP, pero no se aplicó completamente porque, si bien en la ENP se habla del aprendizaje autónomo del estudiante; es el que menos se aplica. Las clases son

excesivamente conducidas por el profesor. De modo que la metodología se aplicó como un paso inicial del objetivo de aprendizaje autónomo, que poco a poco se puede llegar a este. Pero no en una primera vez y sin haber un antecedente y menos cuando el grupo para la Práctica docente no es tuyo.

**I. Evaluación de Material Didáctico.** El material Didáctico que se evaluó en este trabajo es el que se relaciona con la Ley de Faraday. La evaluación se enfoca sobre consideraciones psicológicas y didácticas para motivar y promover el aprendizaje del alumno, así como para dar contexto y soporte al proceso aprendizaje-enseñanza.

#### EVALUACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO (Ley de Faraday)

Grupo 651/ Fecha: 21 de Abril de 2005

Escala: 1 (Totalmente en desacuerdo)// 2 (En desacuerdo)// 3 (Indiferente)// 4 (De acuerdo)// 5 (Totalmente de acuerdo) //Resultados / 20 alumnos

Indicador	1	2	3	4	5
1.- ¿El encendido del foquito en el experimento demostrativo provocó tu interés por el estudio de la Ley de Faraday ?	---	----	1	9	10
2.- ¿El experimento te ayudó a concentrar tu atención en las explicaciones sobre esta ley.	---	---	1	11	8
3.- ¿A partir de ese hecho experimental fue más fácil mantener la atención en las explicaciones.	---	-----	----	13	7
4.- ¿Podías relacionar las explicaciones teóricas con el experimento demostrativo?	---	-----	1	6	13
5.- ¿El experimento del foquito fue el adecuado para ilustrar la Ley de Faraday?	---	----	----	7	13
6.- ¿El experimento dio significado a lo que el profesor explicaba?	---	-----	----	7	13
7.- ¿El experimento y el funcionamiento del motor eléctrico que observaste te ayudaron a comprender la gran aplicación de la Ley de Faraday?	---	-----	2	4	14

**J. Validación lógica y revisión del diseño didáctico.** En esta tarea, en la etapa de diseño, confluyen todos los elementos considerados en los cuatro pasos anteriores, y una valoración en su etapa de puesta en práctica y al final de la misma de todos los resultados. Para ello, se han tomado en cuenta las tareas del MODD, de tal manera que: a) se han comparado y relacionado cada uno de los pasos entre sí para comprobar su correspondencia y continuidad lógica para verificar la consistencia interna del diseño. Dado su carácter tentativo, el diseño permite todas las modificaciones necesarias, no sólo durante el proceso de elaboración sino también durante su aplicación práctica. De esta manera las mejoras que resultan provienen de una reflexión antes, durante y posteriormente de la puesta en práctica, esta última parte, fortalecida por la evaluación de los alumnos al profesor, la autoevaluación, evaluación de materiales didácticos y de estrategias cognitivas como se hizo anteriormente.

**ANEXO 2****PLAN DE ENSEÑANZA :**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA ENSEÑANZA MEDIA SUPERIOR (MADEMS)

**PRÁCTICA DOCENTE I**

Asignatura: FÍSICA I. ( 40 Hrs)

Unidad 2: Fenómenos Mecánicos

Tema a desarrollar: Tercera Ley de Newton

Alumno/Profesor: Heriberto Marín Arellano

UNIDAD 2,FENÓMENOS MECÁNICOS:

2.1 Primera Ley de Newton, 2.2 Segunda Ley de Newton, 2.3 Tercera Ley de Newton.  
 2.4 Gravitación Universal y Síntesis newtoniana. 2.5 Energía mecánica y trabajo.

PROPÓSITOS:

Esta unidad hace énfasis en la importancia de las interacciones mecánicas como una forma de acercarse a la interpretación del mundo que nos rodea. Se consideran dos ejes: la síntesis newtoniana y el concepto de energía como elementos integradores de la física y de otras ramas de la ciencia. Se pretende que el alumno vea en las leyes de Newton y de la Gravitación Universal una síntesis de la mecánica que explica el movimiento de los cuerpos.

En el desarrollo de esta Unidad se destaque que la mecánica se sustenta en principios fundamentales, productos de la observación y la experimentación, así como su importancia en el desarrollo tecnológico y su impacto en la sociedad.

Los ejercicios que se presenten, harán énfasis en el carácter físico de los fenómenos en situaciones reales. Se sugiere dirigir el desarrollo de proyectos de esta Unidad a aspectos de aplicación tecnológica, con el apoyo y guía constante del profesor.

TEMA A DESARROLLAR:

2.3 Tercera Ley de Newton

TIEMPO PARCIAL:

5 horas

AL TÉRMINO DEL TEMA, EL ALUMNO:

Reconocerá la importancia de las interacciones en el estudio del movimiento.

SUPERVISOR : LEÓN DÍAZ CHANONA

Clase: Martes 12 de Octubre de 2004. 9 A 11 Hrs. Contenidos	Estrategias de enseñanza / aprendizaje	Recursos	Evaluación
<p><b>APERTURA:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Identificará la necesidad de introducir una tercera ley que describa el comportamiento de ciertos sistemas.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Reconocerá situaciones físicas de laboratorio en donde se presenten interacciones entre cuerpos. ^ Identificará fuerzas de acción y reacción entre dos objetos que interactúan.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Aceptará que fue necesario la introducción de una tercera ley.</p> <p><b>DESARROLLO:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Reconocerá algunas de las diversas ideas contenidas en la Tercera Ley de Newton.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Representará gráficamente las fuerzas de acción y reacción, resaltando que son fuerzas que actúan sobre cuerpos diferentes, en pares y que actúan sobre la misma línea de acción.  ^ Comprobará la tercera Ley de Newton en lo referente a que las fuerzas son iguales y opuestas mediante una actividad experimental.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Aceptará que, cuando dos cuerpos interactúan, se ejercen entre sí fuerzas de la misma magnitud pero en sentido contrario y que la fuerza de uno es sobre el otro cuerpo. ^ Valorará el trabajo en equipo.</p> <p><b>CIERRE:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Reconocerá todas las ideas relevantes contenidas en la tercera Ley de Newton que se desprenden de las observaciones, las actividades demostrativas y del experimento realizadas en las secciones de apertura y del desarrollo de la clase.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Establecerá el enunciado de la tercera Ley de Newton con base al conocimiento adquirido en la apertura y en el desarrollo y hacer un mapa conceptual de resultados. ^ Observará el movimiento de un cohete.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Reconocerá el valor de la observación y experimentación para adquirir conocimiento. ^ Tendrá una actitud colaborativa y de respeto al trabajo de los demás.</p>	<p>^ Situación generadora: Considerar, el recule al disparar un arma, el querer alcanzar la orilla saliendo de un bote en un río, el empuje de dos personas sobre una pista de hielo. ¿Qué ley describe esas situaciones?</p> <p>^ Experimentará el efecto de comprimir un resorte con la mano. ^ Reconocerá las fuerzas sobre un bloque en una mesa como de acción y reacción. ^ Discusión en grupos sobre las razones que justifican la introducción de la Tercera Ley de Newton.</p> <p>^ Redacción de la Tercera ley de Newton con base a las ideas previas e intuitivas generadas en el proceso de apertura. ^ Dibujará las fuerzas de acción y reacción para un libro sobre una mesa, para un resorte empujado por la mano, la mano sosteniendo una pesa. ¿Qué pasaría si las fuerzas de acción y reacción no fueran en la misma dirección? ^ Un bote de plástico con agua, dos dinamómetros y una pesa para comprobar la tercera Ley de Newton. Tomar datos de los pesos del bote con agua y de la pesa, por separado. Después sumergir la pesa en el agua y tomar los pesos otra vez. Discutir las observaciones.</p> <p>^ Tratar de poner un ejemplo en donde haya acción pero no reacción. Otro ejemplo en donde la acción sea mayor que la reacción. ^ Escribir algo que haya aprendido de algún compañero durante la experiencia y algo que sienta que aportó.</p> <p>^ Agrupamiento de las notas de trabajo y de los datos de laboratorio. ^ Recuento personal de los resultados obtenidos.</p> <p>^ Discutir la construcción de un mapa conceptual y hacerlo por equipos sobre las características de la tercera Ley de Newton. ^ Profesor y grupo efectúan una explicación del movimiento del cohete. ^ Valorará el papel que tuvo la Tercera ley de Newton en la conquista del espacio exterior. ^ Reconocerá sus notas de trabajo como las anotaciones que un científico hace en el proceso de observar, experimentar, analizar y obtener una ley.</p>	<p>^ Gis y pizarrón</p> <p>^ Bloques, resortes</p> <p>^ Gis , pizarrón</p> <p>^ Bote de plástico, dinamómetros, pesas agua.</p> <p>^ Gis, pizarrón, acetatos. Cohete de agua construido por los alumnos</p>	<p>^ Diagnóstica</p> <p>^ Participación en las actividades de equipo ^ Reporte de actividades experimentales ^ Revisión de ejemplos.</p> <p>^ Notas de trabajo ^ Revisión de mapa conceptual ^ Redacción final de la tercera ley, diagramas que la ilustran y la expresión matemática.</p>

Clase: jueves 14 de Octubre de 2004. 9 A 11 Hrs. Salón 13 Contenidos	Estrategias de enseñanza / aprendizaje	Recursos	Evaluación
<p><b>APERTURA:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Identificará el lenguaje y conceptos relacionados que se usan para abordar la idea de ímpetu así como las condiciones necesarias para la conservación del ímpetu.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Reconocerá en la interacción por choque el intercambio de ímpetu.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Valorará que las experiencias en clase le permiten explorar nuevos conocimientos</p> <p><b>DESARROLLO:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Clasificará los tipos de choques. ^ Relacionará las ideas de la apertura sobre la ley de la conservación del ímpetu con los tipos de choques mecánicos.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Comprobará experimentalmente la ley de la conservación del ímpetu.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Reconocerá la importancia de ajustar las condiciones a situaciones ideales como manera de trabajar en la física para obtener leyes fundamentales. ^ Tendrá una actitud positiva en las discusiones y toma de acuerdo en grupo.</p> <p><b>CIERRE:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Utilizará el modelo matemático de la conservación del ímpetu en la resolución de problemas.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Reconocerá que en la interacción por choque hay fuerzas de acción y reacción. ^ Valorará que las actividades en clase le permiten adquirir nuevos conocimientos .</p>	<p>^ Discutirá la presencia de interacciones-choque en la vida diaria. ^ Lluvia de ideas sobre el concepto de ímpetu y principio de conservación del ímpetu.</p> <p>^ Observará situaciones en donde se produzcan interacciones por contacto-choque mediante el sistema de péndulos colgantes y choque de canicas.</p> <p>^ Discutirá la similitud y diferencia entre los choques de la vida diaria y los observados en el sistema de péndulos.</p> <p>^ Chocará una canica contra un bloque de plastilina y contra otra canica. ^ Discusión, por equipos y en grupo, para formalizar observaciones sobre los choques.</p> <p>^ Choque de dos carritos sobre el riel de aire para comprobar la ley de conservación del ímpetu determinando numéricamente que el ímpetu antes del choque es igual al ímpetu después del choque: <math>\Delta p_1 = -\Delta p_2</math></p> <p>^ Responderá la pregunta: ¿Qué es más común, encontrar situaciones donde el ímpetu no se conserva o que sí se conserva? ^ El profesor comentará que Einstein tuvo el dilema de desechar o no el concepto de ímpetu y su conservación pero prefirió mantenerlo.</p> <p>^ Resolución de problemas sencillos de conservación del ímpetu en una dimensión.</p> <p>^ Redactará cómo se piensa que en una interacción por choque aparecen las fuerzas de acción y de reacción. ^ Redactará lo que considera ha aprendido claramente y expresará por qué es importante.</p>	<p>^ Péndulos colgantes ^ Canicas</p> <p>^ Plastilina ^ Riel de aire, carritos</p> <p>^ Gis, pizarrón</p>	<p>^ Diagnóstica</p> <p>^ Trabajo de investigación</p> <p>^ Reporte de actividades experimentales.</p> <p>^ Participación</p> <p>^ Resolución de problemas</p> <p>^ Redacción en la notas de trabajo</p>

Clase: Martes 19 de Octubre de 2004. 9 A 11 Hrs. Salón 13 Contenidos	Estrategias de enseñanza / aprendizaje	Recursos	Evaluación
<p><b>APERTURA:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Identificará la conservación del ímpetu con la tercera Ley de Newton presentada en términos explícitos de fuerzas. ^ Identificará algunas diferencias entre la segunda y tercera ley de Newton.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Reconocerá la relación entre fuerza y el cambio de ímpetu. ^ Precisaré cualitativamente las diferencias entre la 2ª y 3ª leyes de Newton :</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Valorará el trabajo en equipo.</p> <p><b>DESARROLLO:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Reconocerá la importancia de distinguir la 2ª y 3ª leyes de Newton. en la resolución de problemas . ^ Reconocerá el modo de interpretar dichas leyes.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Construcción explícita de la tercera ley en términos de fuerzas a partir de la expresión de conservación del ímpetu.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Aceptará que los conceptos de causa/efecto son fundamentales para explicar los fenómenos físicos.</p> <p><b>CIERRE:</b> <b>Declarativo.</b> ^ Creará una visión integrada de los resultados de los dos enfoques.</p> <p><b>Procedimental.</b> ^ Reconocerá el modelo matemático de la tercera ley de Newton en los enfoques: fuerzas de acción y reacción y en su conservación del ímpetu.</p> <p><b>Actitudinal.</b> ^ Valorará la importancia de descubrir una ley o de comprender un fenómeno físico.</p>	<p>^ Pregunta generadora: ¿ Hay alguna relación entre conservación del ímpetu y la tercera Ley de Newton.? ¿ Cómo distinguir la segunda ley de la tercera ?</p> <p>^ Discusión para relacionar cambio del ímpetu y una fuerzas. <math>F = \frac{\Delta p_1}{\Delta t}</math></p> <p>^ ¿ A qué conclusión se llegaría si se confunden las dos leyes en el ejemplo de abrir una puerta? ^ Lluvia de ideas sobre los conceptos de causa/efecto.</p> <p>^ Recuento en equipo del significado de cada ley.</p> <p>^ Analizar un bloque que es jalado por una cuerda.</p> <p>^ Discusión en grupo para establecer qué es lo que se quiere decir cuando se afirma que: "la segunda Ley de Newton implica una relación de causa/efecto mientras que la tercera ley no". ^ El profesor inducirá la construcción de la expresión: <math display="block">\frac{\Delta p_1}{\Delta t} = - \frac{\Delta p_2}{\Delta t}</math></p> <p>^ Tratar de dar un ejemplo de un fenómeno donde exista una causa pero no un efecto viceversa.</p> <p>^ Discusión del grupo que tienda a concentrar las ideas sobre la tercera ley de Newton en sus dos enfoques.</p> <p>^ El profesor construirá un mapa conceptual que induzca a la representación completa de los conceptos importante con la participación de los alumnos y ayudará a entender que <math display="block">\frac{\Delta p_1}{\Delta t} = - \frac{\Delta p_2}{\Delta t}</math> son equivalentes <math>F_1 = -F_2</math>.</p> <p>^ Cuando a Galileo lo acusaban de muerte por decir que la tierra se mueve y querían que se retractara de lo dicho, contestó: "Y sin embargo se mueve". En tu opinión ¿ Que valores manifestó Galileo a la humanidad entera con esa actitud?</p>	<p>^ Gis, pizarrón ^ Cuerda, bloque, participación de alumnos para extraer los conceptos de la experiencia directa.</p> <p>^ Canicas, gis, pizarrón</p> <p>^ Gis, pizarrón</p>	<p>^ Diagnóstica ^ Participación</p> <p>^ Participación ^ Trabajo en equipo ^ Aportaciones</p> <p>^ Aportaciones</p> <p>^ Capacidad de síntesis</p> <p>^ Expresión oral y comentarios.</p>

**Plan de Enseñanza:  
Práctica Docente II**

Ley de Faraday: **Grupo 651 / B27 ( 1 hora) / Fecha: Martes 12 Abril 05 / Hora: 20:20 a 21:10 / Supervisor: Carlos Hernández A. Alberto / MADE MS: Prof. Heriberto Marín Arellano. Tipo de evaluación para la clase: Formativa.**

Contenido	Actividades aprendizaje	Recursos
<p>APERTURA</p> <p>Declarativo</p> <p>1. Reconocer el concepto de fuerza electromotriz (<i>fem</i>)</p> <p>Procedimental</p> <p>2. Reconocer la relación entre <i>fem</i>, resistencia y corriente eléctrica</p> <p>Actitudinal</p> <p>3. Valorar la generación de una corriente eléctrica</p> <p>DESARROLLO</p> <p>Declarativo</p> <p>4. Identificar que en la Ley de Faraday existe una corriente eléctrica sin haber pilas o baterías</p> <p>Procedimental</p> <p>5. Establecer la ley de Faraday</p> <p>Actitudinal</p> <p>6. Valorar lo que significa el signo menos en Ley de Faraday</p> <p>CIERRE</p> <p>Declarativo</p> <p>7. Establecer el enunciado de la Ley de Lenz</p> <p>Procedimental</p> <p>8. Reconocer la ley de Lenz en diversas situaciones</p> <p>Actitudinal</p> <p>9. Valorar el significado de la Ley de Lenz y de Faraday en el experimento demostrativo que se analiza</p>	<p>1. Discutir que una manera de generar una <i>fem</i> es por medio de una reacción química, como en una batería, en las cuales la energía interna liberada en la reacción se transfiere a los electrones. Que una fuente de <i>fem</i> hace trabajo sobre los portadores de carga para forzarlos a que vayan al punto de mayor potencial y conservar una diferencia de potencial</p> <p>2. Aplicar el teorema de la trayectoria o segunda ley Kirchhoff a un circuito simple para obtener la relación <i>fem</i>, resistencia y corriente</p> <p>3. Darse cuenta de que la corriente se mantiene en un circuito cerrado por que se provee energía al circuito, ya que los electrones la transfieren a la red de manera irreversible: disipándose. Hacer anotaciones</p> <p>4. Darse cuenta de que en una <i>fem</i> inducida no hay reacciones químicas que sean utilizadas para hacer trabajo sobre los portadores de carga y establecer la corriente eléctrica</p> <p>5. Indicar la ley de Faraday en términos de la variación temporal del flujo magnético, y el número <i>N</i> de vueltas en la bobina y la <i>fem</i> inducida</p> <p>6. Discutir que el signo menos se refiere a la Ley de Lenz expresada de manera independiente</p> <p>7. Enunciar que la polaridad de la <i>fem</i> inducida es tal que ésta tiende a producir una corriente inducida que crea un flujo magnético que se opone al cambio en el flujo magnético a través del circuito</p> <p>8. Introducir un imán en una bobina y detectar la corriente inducida, inferir el signo de la <i>fem</i> inducida y el sentido de la corriente inducida. Hacer ejercicios para determinar la <i>fem</i> inducida y el sentido de la corriente inducida.</p> <p>9. Señalar cómo son los flujos al subir o bajar la bobina pequeña en el experimento demostrativo, cómo son las corrientes y las <i>fem</i>'s. Hacer anotaciones de la relación entre el fenómeno demostrativo y la ley de Faraday</p>	<p>1. Gis, pizarrón</p> <p>2. ”</p> <p>3. Cuaderno</p> <p>4. Gis, pizarrón</p> <p>5. ”</p> <p>6. ”</p> <p>7. Cuaderno</p> <p>8. Bobina, imán</p> <p>9. Cuaderno</p>

MADEMS: Prof. Heriberto Marín Arellano. Tipo de evaluación para la clase: Formativa.

**CAMBIO CONCEPTUAL EN RELACIÓN CON LA EVALUACIÓN FORMATIVA.**

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA ENSEÑANZA MEDIA SUPERIOR (MADEMS)//DIDÁCTICA DE LA DISCIPLINA

PROF. PILAR SEGARRA ALBERU // TRABAJO FINAL: "APRENDIZAJE POR CAMBIO CONCEPTUAL, UN RETO PARA EL PROFESOR Y LA DIDÁCTICA DE LA CIENCIA" // ALUMNO: HERIBERTO MARÍN ARELLANO // JUNIO 15 DE 2005

**Aprendizaje por cambio conceptual, un reto para el profesor y la didáctica de la ciencia:**

Presentación. En este trabajo se pondrá énfasis en la *enseñanza* y aprendizaje por cambio conceptual, adoptando y adaptando diversos elementos. Podemos partir del siguiente señalamiento:

" Usamos el término « enseñanza por cambio conceptual» para significar una enseñanza que explícitamente intenta ayudar a los estudiantes para que experimenten el aprendizaje de cambio conceptual. El uso nuestro de este término se refiere a una familia de modelos más que una manera particular de enseñanza porque hay diferentes formas de reunir estos lineamientos..."<sup>1</sup>

y siguiendo a Caries J. Furió Más:

"...hay un consenso generalizado entre los investigadores sobre la necesidad de abandonar los estudios descriptivos sobre preconcepciones para centrar los esfuerzos en el estudio de los procesos de cambio conceptual que suceden en el aprendizaje de las ciencias."<sup>2</sup>

Existe también, por otra parte, un gran consenso en que el cambio conceptual es difícil de lograr, al menos, en el contexto de lo que es *hoy por hoy* la educación en la escuela. Hay quienes argumentan que el cambio conceptual no es posible ni deseable y otros, hablan de su posibilidad. En mi opinión, después de este curso, *el cambio conceptual es "un ideal regulativo en la actividad de aprendizaje y de enseñanza."* Regula la actitud y actividad del profesor, que lo impulsa a perfeccionar su oficio y, a no a perderse en una salida fácil ante los tropiezos y, para el alumno es un reto, que se puede convertir en una realidad a base de trabajo, esfuerzo y dedicación. Interpretando las palabras de Furió: "*hay que abandonar los estudios descriptivos sobre preconcepciones*" se entiende que hay necesidad de ir más a fondo y, para ello, desde mi punto de vista, hay que trabajar más de cerca con los procesos mentales que definen a los procesos cognitivos. Es cierto, también, que la búsqueda sobre el cambio conceptual está siendo investigado desde otras perspectivas, que incluyen más aspectos epistemológicos que cognitivos pero, según Kenneth A. Strike y George J.

<sup>1</sup> Hewson W. Peter, Beeth E. Michael, Thorley Michael N. "Teaching for conceptual change". En *International Handbook 01 Science Education*. Kluwer Academic Publishers. London. 1998, p 200.

<sup>2</sup> Furió Más, Caries J. "Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias". En *Alambique*, No.7,p.16

Posner se tiene lo siguiente:

"...esta teoría es en gran medida una teoría epistemológica, no una teoría psicológica....Mientras las diferencias en aspiraciones y de aproximación permanecen y, mientras la psicología retiene una preocupación por la operación del "hardware cognitivo" que no es una parte de la filosofía, la epistemología y la filosofía cognitiva ahora parecen más complementarias que competitivas. " <sup>3</sup>

En este trabajo, se retoma la idea de que la epistemología y la filosofía cognitiva parecen más complementarias que competitivas para abordar el « aprendizaje por cambio conceptual ». Dado que en las diversas lecturas sobre "*concepciones alternativas*", "*ecología conceptual*", "*cambio conceptual*", "*metacognición*", "*resolución de problemas*" y "*evaluación del aprendizaje*" subyace la idea de *lo cognitivo*, es de esperarse que los profesores tengamos claro, aquellos procesos mentales que intervienen en el aprendizaje y, también, se considere de manera muy especial, aquel aprendizaje que *no* alcanza a expresarse como aprendizaje por cambio conceptual.

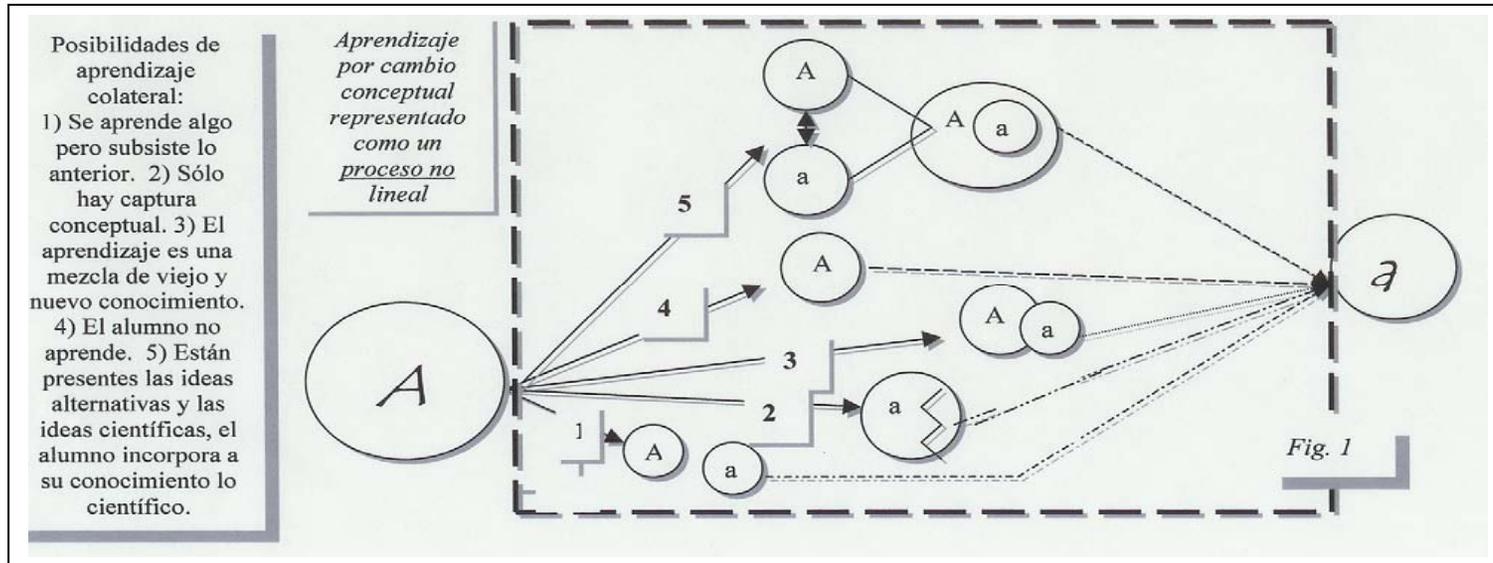
Por otra parte, de acuerdo al texto de Edith Litwin:

"...la evaluación... ,siempre estuvo relacionada...con la acreditación o la certificación, y rara vez con el proceso de toma de conciencia de los aprendizajes adquiridos o con las dificultades de la adquisición, de la comprensión o la transferencia de algunos temas o problemas" <sup>4</sup>

en esta apreciación de la autora, subyace la idea de *Evaluación Formativa*, la cual se caracteriza no sólo por afrontar las dificultades de aprendizaje de los alumnos sino también porque tiene el propósito de *incidir e introducir* (en dicho proceso), las correcciones que se requieren. Si dichas correcciones se hacen mediante actividades que impliquen un desafío para el estudiante y que lo comprometan cognitivamente de manera *intrínseca* entonces, también, se estará ayudando a los alumnos para la enseñanza por cambio conceptual sustentado, éste, en una buena evaluación formativa. Así, una vez detectados las concepciones alternativas de los estudiantes y de haber diseñado la actividad de acuerdo a la evaluación diagnóstica correspondiente; lo importante durante el proceso de aprendizaje, será monitorear *estratégicamente* el progreso de los estudiantes hacia el cambio conceptual. Finalmente, de acuerdo a lo anterior, el presente trabajo se caracteriza por una reflexión, que toma en cuenta las lecturas realizadas durante el curso, pero que tiene un eje principal, a saber, la mancuerna: *Cambio conceptual / Evaluación formativa* ya que la segunda actividad genera la posibilidad de tener éxito en la primera. El trabajo se enfoca al tema que se implementará en la Práctica Docente III y se desarrollará en la Tesis: ley de Ampere-Maxwell.

<sup>3</sup> A. Strike, Kenneth y Posner J. George. "A Revisionist Theory of Conceptual Change" in *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational and Practice*. P. 150,151.

<sup>4</sup> Litwin, Edith, "La evaluación: campo de controversias y paradojas o un nuevo lugar para la buena enseñanza" En *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*, Buenos Aires, Paidós, 2001, p.14



**Desarrollo.** Si el aprendizaje no es una acumulación de trozos de información sino algo activo, interactivo, un proceso conectivo que requiere de ligazón, reordenación y cambios de muchos otros tipos, entonces el aprendizaje por cambio conceptual lo debemos entender como un proceso donde se pueden presentar varias posibilidades (que se identifican como aprendizaje colateral) antes de que se adquiera un aprendizaje por cambio conceptual, ya que la adquisición de conocimiento *no es un proceso lineal*. En la Figura 1, se representa el aprendizaje por cambio conceptual como aquel que va del estado **A** al estado **a** ( estados fuera del recuadro) y al posible aprendizaje colateral, dentro del recuadro. Las letras **A**s o **a**'s (de diferente estilo tipográfico) indican que aunque están involucradas con un aprendizaje y una idea de cambio no representan precisamente al aprendizaje por cambio conceptual deseado aunque si relacionado con él. ¿Cómo manejar esta información? La respuesta la queremos encontrar, por principio de cuentas, en un buen diseño didáctico y en una evaluación formativa eficaz.

En la siguiente tabla se relaciona el contenido declarativo para ley de Ampere-Maxwell con la operación mental que presupone para el estudiante el efectuar la actividad de aprendizaje propuesta. Se especifican también, la estrategia cognitiva que se considera adecuada. El propósito es tener la forma de ubicar en dónde hay que *incidir* e *introducir* las correcciones que se requieran en el proceso de aprendizaje con un mayor conocimiento de causa.

**Tabla N° 1. Taxonomías cognitivas para el aprendizaje de la Ley de Ampere-Maxwell**

<b>Contenido declarativo</b> (El qué y acerca de qué):	<b>Operación mental</b> (que define al proceso cognitivo):	<b>Estrategia didáctica</b> (propicia aprendizaje):	<b>Actividad de Enseñanza/Aprendizaje</b> (Desarrollo del aprendizaje):	<b>Recurso específico:</b>
<p>1. Introducción al tema de capacitancia.</p> <p>2. Definir el concepto de capacitancia</p> <p>3. Reconocer el concepto de capacitancia en un condensador de placas paralelas</p> <p>4. Analizar un nuevo tipo de circuito: RC</p> <p>5. Describir el campo eléctrico variable en el condensador y el flujo eléctrico. Relacionarlo con la corriente de desplazamiento</p> <p>6. Definir las corrientes de conducción y de desplazamiento</p> <p>7. Reconocer</p>	<p>1. Incorporación de nueva información</p> <p>2. Relación y análisis</p> <p>3. Heurístico (conceptuar, transferir, generalizar, resolver)</p> <p>4. Heurístico</p> <p>5. Heurístico y algorítmico</p> <p>6. Pensamiento crítico</p> <p>7. Inductivo y deductivo, analógico</p>	<p>1. Activación de concepciones alternativas</p> <p>2. Procesamiento de la información</p> <p>3. Procesamiento de la información</p> <p>4. Comprensión de contenidos y procesos</p> <p>5. Comprensión de contenidos y procesos</p> <p>6. Procesamiento de la información</p> <p>7. Comprensión de contenidos y procesos</p>	<p>1. Lectura de un texto, elaborado por el profesor, que siga de puente entre la nueva y la vieja información</p> <p>2. Analizar <math>V \propto Q</math> para una esfera aislada. Definirla como la capacidad de un conductor para almacenar carga hasta la ruptura eléctrica.</p> <p>3. Calcular la capacitancia del condensador usando la ley de Gauss-Electricidad en función de parámetros geométricos y del campo eléctrico.</p> <p>4. Expresar la carga eléctrica en función del tiempo, <math>q(t)</math>, para un circuito RC. Describir el proceso de carga del condensador.</p> <p>5. Calcular <math>\frac{\Delta E}{\Delta t}</math>. Establecer la relación entre el campo eléctrico variable y el flujo eléctrico. Obtener la relación para la corriente de desplazamiento en términos del flujo.</p> <p>6. Reconocer la corriente de conducción como flujo de carga eléctrica y en la de desplazamiento no la hay. Establecer el principio de continuidad de corriente en el circuito RC. Que ambas tienen unidades de corriente eléctrica.</p> <p>7. Inferir que hay un campo magnético debido a cualquier tipo de corriente, ya sea de desplazamiento o de conducción. Incluir en la ley de Ampere este resultado.</p>	<p>1. Organizador previo (texto de carácter abstracto en prosa)</p> <p>2. Representar la relación A es la causa de B. Una analogía.</p> <p>3. Causa-efecto, semejanzas y diferencias, formas y funciones</p> <p>4. Relación causa-efecto al introducir el condensador. Relación entre variables.</p> <p>5. Desarrollo cualitativo mediante gráficos y algoritmos</p> <p>6. Analogía. Relación: A es equivalente a B.</p> <p>7. Mapa conceptual relación- causa efecto en los condensadores de carga variable. A está contenida en B.</p>

Ahora bien, ¿Cuales serían los escenarios posibles de los aprendizajes colaterales para la estrategia de aprendizaje sobre la ley de Ampere-Maxwell? ¿Qué hacer para que el alumno experimente el aprendizaje por cambio conceptual conforme esta planificación? Para las posibilidades 2, 3 Y 4 de la Fig. 1, los maestros casi siempre, en el mejor de los casos, hacemos "un repaso" o "volvemos a explicar algo del tema" o también, consideremos que superar esta situación es *problema del alumno*, es decir, abandonamos el compromiso de aprendizaje. Antes de llegar al "repaso", mediante la evaluación formativa el maestro tiene la oportunidad de mejorar su comprensión del problema de aprendizaje de determinado alumno, lo cual puede conducirlo a escoger otra estrategia cognitiva de enseñanza/aprendizaje y otros Recursos (proceso que le sirve también de autoevaluación).

Ya no se trataría de hacerlo en la forma común y corriente, es decir, el simple repetir el contenido o volver a efectuar los mismos algoritmos. Se trata de buscar el compromiso del estudiante y de escoger estrategias *Sui generis* (específicas para su problema de aprendizaje) con base en *problemas y actividades de laboratorio* adecuadas.

Al respecto, de conformidad a Ma. Jesús Caballer y Ana Oñorbe:

"Tradicionalmente los problemas y las actividades de laboratorio son tareas fundamentales en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias... A los objetivos anteriores se podrían añadir... La aplicación de conceptos y el desarrollo de procedimientos intelectuales de inferencia, generalización y abstracción. La preparación y justificación de investigaciones y emisión de hipótesis argumentadas. La reestructuración y acomodación de las redes de conceptos de cada persona, que permitan dar significado a lo que se aprende. El conocimiento de las ideas personales y los modelos de la ciencia"<sup>5</sup>

de aquí se pueden sacar algunas ideas para valorar y plantear actividades para el Cambio conceptual apoyándose en una Evaluación formativa, es decir, se quiere retomar las aportaciones de Oñorbe en este contexto de la mancuerna: *Cambio conceptual/ Evaluación formativa* para la ley de Ampere-Maxwell.

En el siguiente cuadro suponemos que *no* se ha presentado el aprendizaje requerido de los contenidos declarativos y que hay que efectuar concienzudamente una buena evaluación formativa:

---

<sup>5</sup> Caballer Jesús Ma, Ofiorbe Ana. "Resolución de problemas y actividades de laboratorio" En *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la Educación Secundaria*. ICE/ Horsori, Barcelona, p. 108.

**Tabla Nº 2. Cambio conceptual / Evaluación Formativa para el aprendizaje por Cambio conceptual (Ley de Ampere-Maxwell)**

Operación mental y proceso cognitivo no alcanzado	Recurso didáctico ineficiente	Valoración y alternativas para la superación y dificultad del alumno para el aprendizaje
<p>1. Incorporación de nueva información</p> <p>2. Relación y análisis</p> <p>3. Heurístico (conceptuar, transferir, generalizar, resolver)</p> <p>4. Heurístico</p> <p>5. Heurístico y algorítmico</p> <p>6. Pensamiento crítico</p> <p>7. Inductivo y deductivo, analógico</p>	<p>1. Organizador previo (texto de carácter abstracto en prosa)</p> <p>2. Representar la relación A es la causa de B. Una analogía.</p> <p>3. Causa-efecto, semejanzas y diferencias, formas y funciones</p> <p>4. Relación causa-efecto al introducir el condensador. Relación entre variables.</p> <p>5. Desarrollo cualitativo mediante gráficos y algoritmos</p> <p>6. Analogía. Relación: A es equivalente a B.</p> <p>7. Mapa conceptual de relación- causa efecto en los condensadores de carga variable.</p>	<p>1. Indagar la manera explícitas en que el alumno está incorporando la nueva información en relación a sus concepciones alternativas. Ubicar a que situación se refiere de conocimiento alternativo de la figura 1. Elaborar un problema o situación de laboratorio para favorecer la reestructuración y acomodación de las redes de conceptos que permitan dar significado a lo que se aprende.</p> <p>2. Explorar qué idea tiene el alumno de causalidad y qué partes de la analogía comprende y cómo las está colocando en su ecología conceptual.</p> <p>3. Elaborar un problema o situación de laboratorio para favorecer la aplicación de conceptos y el desarrollo de procedimientos intelectuales de inferencia, generalización y abstracción</p> <p>4. . Elaborar un problema o situación de laboratorio para favorecer la emisión de hipótesis argumentadas</p> <p>5. Elaborar una actividad o problema para el refuerzo y el recuerdo</p> <p>6. Monitoreo de logros por parte del alumno y revisar el estatus que éste le ha dado a todas las actividades: coherencia, lógica y algorítmica para comprender la analogía. Revisar a qué conocimientos colaterales se refiere de la figura 1 y diseñar las situaciones de laboratorio pertinentes así como resolución de problemas adecuados al diagnóstico de la evaluación formativa.</p> <p>7. Si el alumno no ha llegado hasta aquí, prácticamente hay que revisar todo muy minuciosamente para diseñar todas las actividades requeridas. Empezando por el mapa conceptual pedido y lo que éste implica.</p>

**Conclusiones:** El esfuerzo para una enseñanza por cambio conceptual es *titánico* (por ello sentí la necesidad de observar más detalladamente lo cognitivo, como se muestra en las dos tablas), dicha enseñanza debe estar bien estructurada con un proceso de Evaluación Formativa, y contar con la colaboración del alumno. Teniendo esta colaboración e interés, lo importante es que los profesores estemos *dispuestos y preparados para hacer bien dicho esfuerzo*.

El oficio y el arte del maestro es justamente elegir cuál estrategia, o problema, o actividad de laboratorio proponer al estudiante para el aprendizaje por cambio conceptual. La valoración y las alternativas para la superación de las dificultades de los alumnos para el

aprendizaje como las presentadas en la Tabla N° 2 ayuda mucho para que el profesor esté preparado para ubicar, reconocer y tener, *a priori*, algunas ideas que le sean útiles y le permitan saber qué hacer en un momento dado. A sí mismo, el tener conciencia sobre las posibilidades de aprendizaje colateral que se pueden presentar (figura 1) es un gran acierto logrado en el curso porque ayuda al profesor a detectar qué puede ser aquello que esté sucediendo con el aprendizaje del alumno y, de acuerdo a lo analizado, saber donde "apretar la tuerca"; teniendo en mente la mancuerna *Cambio conceptual / Evaluación formativa* acompañada de un proceso de metacognición correspondiente.

Finalmente, valorando los planteamientos de Juan Ignacio Pozo<sup>6</sup> en términos de lo anteriormente expuesto, podemos observar que éstos están relacionados con el problema de la enseñanza por cambio conceptual, de la siguiente manera:

A) Para la afirmación: "*La separación entre ideas de los alumnos y el conocimiento científico, o dejar las cosas como están*", la respuesta puede ser que eso conduce al aprendizaje colateral simbolizado por 1 y 4 respectivamente. B) Para la afirmación: "*Partir de las ideas de los alumnos para que abandonen a favor de las teorías científicas o cambiar un conocimiento por otro*". Esto queda representado por lo que simboliza la Fig. 1 pero entendido como: del estado A llegar linealmente al estado q. C) Para la afirmación: "*Diferenciar e integrar diversos sistemas de conocimiento, asumiendo que se corresponden con diversos niveles de análisis*" puede entenderse que hay correspondencia con la idea representada en la Fig. 1, si esto se entiende como un verdadero esfuerzo para el aprendizaje con base en la Evaluación formativa. Precisamente para que los alumnos puedan reconstruir a través de la reflexión y diferenciación conceptual con base en el uso de estrategias cognitivas, lo que conduce al aprendizaje por cambio conceptual.

El trabajo se ubicó, a mi manera de ver, en el centro del problema de enseñanza/aprendizaje y en una posible forma de afrontarlo. Además, se quiso manejar el aprendizaje por cambio conceptual en torno a la Evaluación formativa porque considero que dicha evaluación es necesario mejorarla en la Práctica Docente 111 para tener una experiencia completa de *integración* de los tres tipos de evaluación; ya que la Evaluación Formativa y la Sumativa así como la Autoevaluación fueron trabajadas satisfactoriamente.

### **Bibliografía complementaria:**

- 1) *Enseñar a aprender. Estrategias cognitivas*. Etty Hayde Estévez Nénniger. Paidós. 2004
- 2) *Pedagogía y currículo*. Margarita Pansza. México. Gernika. 1988.

---

<sup>6</sup> Pozo, Juan Ignacio. "Las ideas del alumnado sobre ciencia: de dónde vienen, a dónde van...y mientras tanto qué hacemos con ellas". pp. 25- 26.

## Bibliografía

- Alonso, Marcelo y Edward J. Finn. *Física, campos y ondas*. Volumen II, USA, Fondo Educativo Interamericano, 1970.
- Aguirre, B. A. *Psicología de la adolescencia*. Barcelona, Alfa, 1994.
- Álvarez, Luis. *Hermenéutica analógica, símbolo y acción humana*. México, Torres Asociado, 2000.
- Álvarez, Gayou Luis. *Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología*. México, Paidós, 2004.
- Arias Fernando y Ma. Teresa Pantoja. *Didáctica para la excelencia*. México, Ediciones Contables, Administrativas y Fiscales, 1998.
- Arons, Arnold B. *Evolución de los conceptos de la Física*. México, Trillas, 1970.
- Bernard, Juan Antonio. *Modelo cognitivo de evaluación educativa*. Madrid, Nancea, 2000.
- Beuchot, Mauricio. *Tratado de hermenéutica analógica*. México, Itaca, 2000.
- Carretero, M., J. Palacios y A. Marchesi (compiladores). *Psicología evolutiva. Adolescencia, Madurez y Senectud*. Volumen 3. Madrid, Alianza, 2000.
- Caballer, María y Ana Oñorbe. "Resolución de problemas y actividades de laboratorio" en: *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Luis del Carmen (coord.) Barcelona, ICE/ HORSORI. 1997.
- Celman, Susana, Alicia de Camilloni, Edith Litwin y Carmen Palou. *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*. Argentina, Paidós, 2001
- Colegio de Bachilleres. *Técnicas, instrumentos y reactivos para la evaluación del aprendizaje*. Documento interno. México, Colegio de Bachilleres, 1994.
- Coordinación de Humanidades. *La sociedad mexicana frente al tercer milenio*. México, UNAM, 2001.

Cromer, Alan. *Física para las Ciencias de la Vida*.  
España, Reverté, 2001.

Dijkstra, Sanne “Integration of Curriculum Design, Instructional Design, and Media Choice” in *Curriculum, Plans and Processes in Instruction Design: International Perspectives*.  
Germany, University of Freeburg. 2004

Duit, Reinders and Cristoph von Rhöneck.  
“Learning and Understanding Key Concepts of Electricity”  
*Key Concepts of Electricity*.  
USA International Commission on Physics Education. 2004.

Duschl, Richard and Richard Hamilton (editores). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*.  
USA, University of New York Press.

Edge, R.D. *Experimentos con hilos y cinta adhesiva*.  
USA. American Physical Society, 2002.

Eisner, Elliot. *Cognición y currículum. Una visión nueva*.  
Buenos Aires, Amorrortu, 1998.

Escuela Nacional Preparatoria. *Manual de Práctica de Física IV área Físico-Matemáticas y de las Ingenierías*.  
México, UNAM, 20002.

Escuela Nacional Preparatoria. *Plan de Estudios 1996. Preparatoria*.  
México, UNAM, 1997.

Escuela Nacional Preparatoria. *Programa de Estudios de Física IV, área I*.  
México, UNAM, 1996.

Estévez, Ety. *Enseñar a aprender. Estrategias cognitivas*.  
México, Paidós, 2004.

Feynmann/ Leighton/ Sands. *Física. Electromagnetismo y material*. Volumen II.  
USA, Fondo Educativo Interamericano, 1972.

Flores, Jorge. *La gran ilusión. 1. El monopolio magnético*.  
México, FCE, 2003.

Guevara, Gilberto. *Lecturas para maestros*.  
México, Cal y Arena, 2003.

Halliday, David y Robert Resnick. *Física*. Edición combinada partes I y II.  
México, Compañía Editorial Continental, 1975.

Halpern, Federico (editor) *Experimento con hilos y cinta adhesiva*.  
USA, American Physical Society, American Association of Physics Teachers,  
2002.

Hernández, Alicia y Manuel Niño (coord.) *La educación en la historia de México*.  
México, El Colegio de México, 2000.

Hernández, Gerardo. *Paradigmas en Psicología de la educación*.  
México, Paidós, 2004.

Hetch, Eugene y Alfred Zajac. *Óptica*  
USA, Fondo Educativo Interamericano, 1997.

Hewitt, Paul. *Física conceptual*.  
México, Trillas, 1999.

Hewson, Peter; Beeth M and Thorley R. *Teaching for conceptual Change” in  
International Handbook of Science Education*. Part One.  
London, Kluwer Academic Publishers, 1998.

Hierro, Graciela. *Naturaleza y fines de la Educación Superior*.  
Mexico, ANUIES, 1983.

Hobden, Paul. “The Role of Routine Problem Tasks in Science Teaching.” *in  
International Handbook of Science Education*. Part One.  
London, Kluwer Academic Publishers, 1998.

Klingler, Cynthia y Guadalupe Vadillo. *Psicología Cognitiva. Estrategias en la  
Práctica Docente*.  
México, McGraw-Hill, 2001.

Leithold, Louis. *El cálculo*.  
México, Oxford University Press, 2003.

Lipman, Matthew. *Natasha: aprender a pensar con Vigotsky*.  
España, Gedisa, 2004.

Litwinn, Edith, Susana Celman, Alicia de Camilloni y Carmen Palou.  
*La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*.  
Argentina, Paidós, 2001.

Monereo, Carle y Montserrat Castelló. *Las estrategias de aprendizaje. Cómo  
incorporarlas a la práctica educativa*.  
Barcelona, Edebé, 2000.

Montes de Zoraida y Laura Montes. *Mapas Mentales. Paso a Paso*.  
Colombia, AlfaOmega. 2002.

Nieto, Jesús. *La autoevaluación del profesor*.  
España, CISSPRAXIS SA., 2001.

Ontoria, Antonio y Ana Molina. *Los mapas conceptuales en el aula*.  
Argentina, Magisterio del Río de la Plata, 1996.

Ornelas, Carlos. *El sistema educativo mexicano. La transición de fin de siglo*.  
México, FCE, 1995.

Pansza, Margarita. *Pedagogía y currículo*.  
México, Gernika, 2003.

Perelman. Y. *Física recreativa*.  
México, Ediciones Quinto Sol, 2000.

Prélat, Carlos. *Epistemología de las Ciencias Físicas*.  
Argentina, Espasa Calpe, 1948.

Pierini, C. D (compilador). *La identidad en el adolescente*.  
Buenos Aires, Paidós, 1973.

Purcell, Edward M. *Electricidad y magnetismo. Volumen 2*  
España, Reverté, 1973.

Reitz, John y Federick Milford. *Fundamentos de la teoría electromagnética*.  
México, Editorial Hispanoamericana, 1972.

Román, M y Diez, E. *Paradigmas educativos y aprendizaje- enseñanza*.  
Madrid, Editorial EOS. 2004.

Rodríguez, Hugo. *Epistemología y calidad educativa*.  
México, Driada, 2004.

Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*.  
México, McGraw-Hill, 2001.

Scott. P.H; Asoko, R.H; Thorley, Richard. "Teaching for Conceptual Change: A review of Strategies" in *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceeding of an International Workshop*. R. Duit; F. Goldelberg; H. Niederer (Editors) USA. 1991.

Serway, Raymond y Robert J. Beichner. *Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo II*  
México, McGraw-Hill. 2002.

Spencer, Rosa. *Evaluación del material didáctico*.  
México, Hermes, 1983.

VanCleave, Janice. *Física para niños y jóvenes*. México, Limusa, 2003.

Wangsness, Roald. *Campos electromagnéticos*. México, Limusa, 2001.

#### Hemerografía

Acevedo, José. "El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias"  
España, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2004. Vol. 1, pp. 188-205.