

**Física**  
**Ciencias Naturales**

**Programa de Estudio**  
**Cuarto Año Medio**



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE EDUCACION

Física  
Programa de Estudio, Cuarto Año Medio, Formación General  
Educación Media, Unidad de Curriculum y Evaluación  
ISBN 956-7933-94-4  
Registro de Propiedad Intelectual N° 123.128  
Ministerio de Educación, República de Chile  
Alameda 1371, Santiago  
Noviembre de 2001

Santiago, noviembre de 2001.

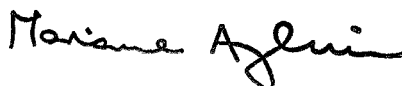
Estimados profesores y profesoras:

EL PRESENTE PROGRAMA DE ESTUDIO de Cuarto Año Medio de la Formación General ha sido elaborado por la Unidad de Currículum y Evaluación del Ministerio de Educación y aprobado por el Consejo Superior de Educación, para ser puesto en práctica, por los establecimientos que elijan aplicarlo, en el año escolar 2002.

En sus objetivos, contenidos y actividades busca responder a un doble propósito: articular a lo largo del año una experiencia de aprendizaje acorde con las definiciones del marco curricular de Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios de la Educación Media, definido en el Decreto N° 220, de mayo de 1998, y ofrecer la mejor herramienta de apoyo a la profesora o profesor que hará posible su puesta en práctica.

Los nuevos programas para Cuarto Año Medio de la Formación General plantean objetivos de aprendizaje de mayor nivel que los del pasado, porque la vida futura, tanto a nivel de las personas como del país, establece mayores requerimientos formativos. A la vez, ofrecen descripciones detalladas de los caminos pedagógicos para llegar a estas metas más altas. Así, al igual que en el caso de los programas del nivel precedente, los correspondientes al Cuarto Año Medio incluyen numerosas actividades y ejemplos de trabajo con alumnos y alumnas, consistentes en experiencias concretas, realizables e íntimamente ligadas al logro de los aprendizajes esperados. Su multiplicidad busca enriquecer y abrir posibilidades, no recargar ni rigidizar; en múltiples puntos requieren que la profesora o el profesor discierna y opte por lo que es más adecuado al contexto, momento y características de sus alumnos y alumnas.

Los nuevos programas son una invitación a los docentes de Cuarto Año Medio para ejecutar una nueva obra, que sin su concurso no es realizable. Estos programas demandan cambios importantes en las prácticas docentes. Ello constituye un desafío grande, de preparación y estudio, de fe en la vocación formadora, y de rigor en la gradual puesta en práctica de lo nuevo. Lo que importa en el momento inicial es la aceptación del desafío y la confianza en los resultados del trabajo hecho con cariño y profesionalismo.



MARIANA AYLWIN OYARZUN  
Ministra de Educación



Presentación	9
Objetivos Fundamentales	13
Objetivos Fundamentales Transversales y su presencia en el programa	14
Unidades, contenidos y distribución temporal	17
<b>Unidad 1: Electricidad y magnetismo</b>	<b>18</b>
1. Fuerzas entre cargas	21
a) Interacción entre cargas	21
b) Condensadores y sus aplicaciones	37
c) Movimiento de cargas en un campo eléctrico	41
d) Movimiento de cargas en un campo magnético	45
2. Circuitos de corriente alterna	53
a) Carga y descarga de un condensador	53
b) Inducción electromagnética	57
c) Circuitos LC	66
3. Ondas electromagnéticas	72
a) Características de las ondas electromagnéticas	72
b) Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas	80
<b>Unidad 2: El mundo atómico</b>	<b>90</b>
1. El átomo	93
a) Primeros modelos atómicos	93
b) El principio de incertidumbre	104
2. El núcleo atómico	109
a) Tamaño y constitución del núcleo	109
b) Radiactividad	114
c) La energía nuclear y sus usos	119
d) Las fuerzas operando en el núcleo atómico	123
e) Investigación bibliográfica	125

Anexo A: Glosario de fórmulas	127
Anexo B: Evaluación	129
Ejemplos de evaluación	134
Anexo C: Equipo de laboratorio	149
Anexo D: Unidades, símbolos, códigos de colores y constantes físicas	153
Anexo E: Bibliografía	155
Índice Alfabético	175
Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios	
Primer a Cuarto Año Medio	181

## Presentación

EL PROGRAMA DE FÍSICA de Enseñanza Media culmina en este volumen una secuencia de materias, organizada considerando los intereses espontáneos de los jóvenes según su edad y la complejidad relativa de los conceptos de la disciplina. Abarca aspectos más avanzados que los tratados en años anteriores, requiriendo mayor madurez y capacidad de abstracción. Sin embargo es parte integral de un ciclo unitario, cuyo estilo es la adquisición de conceptos y habilidades a través de la reflexión en torno a fenómenos cotidianos que provoquen al máximo el interés de los estudiantes.

Los temas son extraordinariamente atractivos: la electricidad y el magnetismo, y el mundo atómico. Los dos primeros se prestan para las más variadas experiencias vinculadas a la cotidianeidad que alumnos y alumnas podrán realizar, en tanto que el último tiene el atractivo de sus sorprendentes y provocativos conceptos, muchas veces distantes justamente de lo que dicta el mundo macroscópico que percibimos. Enseñarlo es un desafío mayor, pero puede convertirse también en la satisfacción más grande de todo el programa si se lo hace bien. La física en definitiva es una creación intelectual a partir de la experiencia, y es en temas como estos que la maravilla de sus logros se ve sublimada. Los estudiantes son capaces de reaccionar al desafío intelectual y de apreciar lo bello de las teorías que se refieren al mundo concreto. Este programa es una oportunidad para lograrlo.

Como en años anteriores, el programa propende a una enseñanza que no parta de definiciones abstractas sino de la observación de fenómenos accesibles a la experiencia de alumnos y alumnas. Pero los jóvenes han tenido ya algunos años de física y dominan una

mayor variedad de herramientas matemáticas. Aspirarán entonces a una presentación de mayor nivel, que incluya la elaboración formal de algunos conceptos, al estilo que lo hace la mayoría de los textos, especialmente en los temas de electricidad y magnetismo. Puesto que la física es en gran parte un edificio conceptual cuyo esqueleto son las matemáticas, una fiel imagen de la disciplina debe incluir en forma sustantiva dicha estructura, con toda la potencia de análisis cuantitativo y capacidad de predicción que encierra. Al término del curso se espera que alumnos y alumnas comprendan estas cualidades y sean capaces de razonar y obtener resultados útiles haciendo uso de ellas.

No es fácil enseñar la física del átomo. A la dificultad de encontrar demostraciones y experiencias que puedan realizarse sin equipamiento especial se suma el que los conceptos resultan extraños al sentido común. Esta última característica, sin embargo, puede tornarse en una ventaja si se la sabe aprovechar provocando en alumnas y alumnos su capacidad de asombro. La física del átomo ha sido materia de abundante reflexión filosófica en las últimas décadas, aspecto que también se puede explotar para enriquecer el contenido y estimular el intelecto de los jóvenes. Hoy esta disciplina se reencuentra con las preguntas más fundamentales que se ha hecho siempre el hombre, y entrega elementos de extraordinario valor a la reflexión acerca del conocimiento y la realidad.

Por último, el programa enfatiza el contexto histórico en que fueron elaborados los contenidos. Tanto el electromagnetismo como la física del átomo se han desarrollado en manos de numerosos hombres y mujeres de gran genio, talento y entrega, cuyas vidas siempre

algo enseñan y es ilustrativo conocer. Para alumnos y alumnas será una oportunidad de informarse acerca de estas personas y su entorno cultural, a través de variadas oportunidades de trabajo personal a lo largo del año.

Si el Programa de Física ha sido implementado con éxito, los jóvenes egresarán de Educación Media con los conocimientos básicos que contiene, y las habilidades que pretende desarrollar. Sin embargo, quizás el logro más importante será el haber alcanzado a lo largo de esos años de estudio un amor por la ciencia y la verdad, y una profunda admiración y respecto por la naturaleza de la cual todos formamos parte.

### Organización del programa

Este programa del subsector Física para la modalidad Humanístico-Científica consta de dos unidades, a:

- Unidad 1 Electricidad y magnetismo
- Unidad 2 El mundo atómico

El texto se organiza siguiendo los mismos criterios que los de 1°, 2° y 3° Medio. Cada unidad incluye los siguientes puntos:

- Listado de los contenidos mínimos obligatorios.
- Aprendizajes esperados.
- Indicaciones al docente.
- Detalles de contenidos.
- Actividades genéricas y ejemplos a elegir.
- Un anexo dedicado integralmente a la evaluación con ejemplos para cada una de las unidades.

### CONTENIDOS MÍNIMOS OBLIGATORIOS

Son los correspondientes al marco curricular de Tercer Año Medio (Decreto 220/98).

### APRENDIZAJES ESPERADOS

Constituyen un faro que orienta el quehacer pedagógico en la sala de clases. Son una síntesis global entre los objetivos fundamentales para el aprendizaje de Física en este curso y los contenidos mínimos obligatorios, en el sentido que verdaderamente reflejan los logros conductuales que por medio de ellos se pretende tengan lugar en los estudiantes.

### INDICACIONES AL DOCENTE

Son propuestas específicas considerando el tema de cada unidad, las condiciones para su aprendizaje y comentarios pedagógicos generales.

### DETALLE DE CONTENIDOS

Son especificaciones del alcance de los contenidos, y de ellos se deriva el nivel de logro esperado de los mismos.

### ACTIVIDADES GENÉRICAS Y EJEMPLOS A ELEGIR

Las actividades genéricas corresponden al tipo de actividad que se espera que el docente organice para facilitar el aprendizaje del contenido que se trate. Para cada una de ellas se dan ejemplos cuidadosamente seleccionados con el objeto que alumnas y alumnos logren los aprendizajes deseados. De estos ejemplos el profesor o la profesora tomará aquellos que mejor se acomoden, por una parte, al grupo de los estudiantes con que trabajará y, por otra, a los medios didácticos con que cuente, o a la metodología que crea oportuno emplear. En esta

selección se debe, sin embargo, tener siempre el cuidado de no dejar fuera aspectos relevantes de la actividad genérica. La lectura de los ejemplos propuestos orienta en relación al nivel y la profundidad que deben tener los aprendizajes esperados. Aquellos ejemplos que están precedidos por un punto verde (●), al igual que en los programas de 1°, 2° y 3° Medio, son más relevantes y se sugiere darles prioridad.

Es importante tener presente que los ejemplos propuestos no cubren equilibradamente las diversas materias propias del programa, ya que algunos conceptos se prestan mejor que otros para ser ilustrados mediante actividades cotidianas. Es tarea del profesor o profesora cuidar dicho equilibrio, procurando siempre dar más tiempo y énfasis a los conceptos centrados en cada tema. En este sentido, el presente escrito no debe confundirse con un texto de estudio.

Un aspecto fundamental del presente programa es que son los propios alumnos y alumnas los protagonistas principales de las actividades propuestas. Deben ser ellos quienes observen, formulen hipótesis, midan, descubran relaciones, infieran, concluyan, etc. El papel del docente es facilitar las condiciones para que esto ocurra, y dar las orientaciones necesarias para que el hacer de los estudiantes los conduzca finalmente a alcanzar los aprendizajes necesarios. También son de fundamental importancia las actividades demostrativas realizadas por el docente. El texto usa distintas formas verbales para distinguir ejemplos en que sean las alumnas y alumnos o el docente los actores principales. Así, la palabra “observan” sugiere que los estudiantes lo hacen, mientras “soplar” sugiere que lo haga el profesor o profesora, como una demostración práctica.

Si bien al final del texto se dan variados ejemplos destinados a ilustrar formas de evaluación, muchos de los ejemplos de actividades que se proporcionan también pueden ser adaptados para este fin.

El quehacer principal de alumnas y alumnos en el desarrollo del programa es la observación y la experimentación. La existencia de un laboratorio tradicional incompleto, o su no existencia, no justifica el que dichas actividades no se realicen. Por laboratorio no se entiende necesariamente una sala llena de aparatos e instrumentos sofisticados; debe ser, principalmente, la propia naturaleza y el mundo ordinario que rodea a los estudiantes. Para apreciar este aspecto véase el Anexo C, en que se muestran ejemplos de equipos útiles para desarrollar algunas áreas del presente programa y contruidos con materiales simples. Esto no significa que si el liceo dispone de buenos laboratorios bien equipados, no se los use; por el contrario, un buen uso de espacios y equipamiento puede tener un enorme impacto en el logro de los objetivos de este programa. Es necesario eso sí preparar bien los experimentos, pues si están mal diseñados pueden proponer más daño que beneficio.

En diversos ejemplos de actividades se sugieren e ilustran dispositivos que se pueden construir en el propio establecimiento, con los que es posible obtener resultados ampliamente probados. En la mayoría de los casos esta construcción requiere de materiales muy simples, de costos bajos, y demanda poco trabajo. Puede ser llevado a cabo por el docente o, incluso, por los propios estudiantes.

**INDICACIONES AL DOCENTE**

En todos los ejemplos se encontrarán indicaciones, sugerencias y notas diversas dirigidas al profesor o profesora para hacer más efectivo su uso.

**EJEMPLOS DE EVALUACIÓN DE LA UNIDAD**

Es conveniente que la evaluación de los aprendizajes planteados en este programa la realice el docente en forma permanente y sistemática, utilizando variadas estrategias y atendiendo a la diversidad de los jóvenes. Al final del texto, en el Anexo B, se dan sugerencias, ejemplos de preguntas y orientaciones que pueden resultar útiles para facilitar este proceso.

En los ejemplos de evaluación se señalan en cada caso los criterios a evaluar y los indicadores que conviene considerar.

**Organización del tiempo y orden en el tratamiento de las unidades**

En el cuadro sinóptico (página 17) se han señalado los rangos de tiempo sugeridos para que alumnos y alumnas alcancen los aprendizajes deseados.

Es fundamental que el docente encuentre el equilibrio entre abarcar la totalidad de los Contenidos Mínimos y el logro de los Objetivos Fundamentales que requiere el programa. Esto último exige el que existan instancias de reflexión y maduración de los conceptos, observación consciente, manipulación experimental, análisis de resultados por parte de los estudiantes, lo que a su vez significa dedicarle a ello un valioso tiempo de la clase.

En relación con el orden en que es conveniente tratar las unidades, se recomienda seguir la misma secuencia en que son presentadas aquí.

## Objetivos Fundamentales

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Aplicar en un nivel elemental las nociones físicas de campo eléctrico y campo magnético y sus relaciones para comprender la enorme variedad de fenómenos de la vida diaria que depende de ellos.
2. Utilizar la noción de átomo y su estructura para comprender los fenómenos subyacentes de lo que se observa en la vida diaria; apoyarse en estas relaciones para relacionarse con otros campos del conocimiento científico como la química y la biología.
3. Apremiar la complejidad y eficacia del conocimiento; reconocer sus aportes a la interpretación del mundo y al desarrollo de nuevas tecnologías. Reconocer el impacto que ha tenido, en sus aspectos positivos y negativos, sobre la forma de vida contemporánea.
4. Recoger, sistematizar y evaluar información científica de diversas fuentes y comunicar los resultados en forma oral y escrita.

## Objetivos Fundamentales Transversales y su presencia en el programa

LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES Transversales (OFT) definen finalidades generales de la educación referidas al desarrollo personal y la formación ética e intelectual de alumnos y alumnas. Su realización trasciende a un sector o subsector específico del currículum y tiene lugar en múltiples ámbitos o dimensiones de la experiencia educativa, que son responsabilidad del conjunto de la institución escolar, incluyendo, entre otros, el proyecto educativo y el tipo de disciplina que caracteriza a cada establecimiento, los estilos y tipos de prácticas docentes, las actividades ceremoniales y el ejemplo cotidiano de profesores y profesoras, administrativos y los propios estudiantes. Sin embargo, el ámbito privilegiado de realización de los OFT se encuentra en los contextos y actividades de aprendizaje que organiza cada sector y subsector, en función del logro de los aprendizajes esperados de cada una de sus unidades.

Desde la perspectiva señalada, cada sector o subsector de aprendizaje, en su propósito de contribuir a la formación para la vida, conjuga en un todo integrado e indisoluble el desarrollo intelectual con la formación ético-social de alumnos y alumnas. De esta forma se busca superar la separación que en ocasiones se establece entre la dimensión formativa y la instructiva. Los programas están contruidos sobre la base de contenidos programáticos significativos que tienen una carga formativa muy importante, ya que en el proceso de adquisición de estos conocimientos y habilidades los estudiantes establecen jerarquías valóricas, formulan juicios morales, asumen posturas éticas y desarrollan compromisos sociales.

Los Objetivos Fundamentales Transversa-

les definidos en el marco curricular nacional (Decreto N° 220) corresponden a una explicación ordenada de los propósitos formativos de la Educación Media en cuatro ámbitos: Crecimiento y Autoafirmación Personal, Desarrollo del Pensamiento, Formación ética, Persona y Entorno; su realización, como se dijo, es responsabilidad de la institución escolar y la experiencia de aprendizaje y de vida que ésta ofrece en su conjunto a alumnos y alumnas. Desde la perspectiva de cada sector y subsector, esto significa que no hay límites respecto a qué OFT trabajar en el contexto específico de cada disciplina; las posibilidades formativas de todo contenido conceptual o actividad deberían considerarse abiertas a cualquier aspecto o dimensión de los OFT. Junto a lo señalado, es necesario destacar que hay una relación de afinidad y consistencia en términos de objeto temático, preguntas o problemas, entre cada sector y subsector, por un lado, y determinados OFT, por otro. El presente programa de estudio ha sido definido incluyendo ('verticalizando'), los objetivos transversales más afines con su objeto, los que han sido incorporados tanto a sus objetivos y contenidos, como a sus metodologías, actividades y sugerencias de evaluación. De este modo, los conceptos (o conocimientos), habilidades y actitudes que este programa se propone trabajar integran explícitamente gran parte de los OFT definidos en el marco curricular de la Educación Media.

El programa de Física de Cuarto Año Medio refuerza algunos OFT que tuvieron presencia y oportunidad de desarrollo durante la enseñanza media y adicionan otros propios de las nuevas unidades.

- Los OFT relacionados con la *formación ética* hacen referencia al impacto que los desarrollos científicos y tecnológicos han tenido sobre la vida contemporánea y la cultura y sus efectos positivos y negativos sobre una serie de valores morales y sociales.
- Los OFT del ámbito *crecimiento y autoafirmación personal* referidos a la formación y desarrollo del interés y capacidad de conocer la realidad y utilizar el conocimiento y la información en la resolución de problemas de la vida cotidiana.
- Todos los OFT del ámbito *desarrollo del pensamiento*. En este marco, tienen especial énfasis las habilidades de investigación y el desarrollo de formas de observación, razonamiento y de proceder características del método científico, así como las de exposición y comunicación de resultados de actividades experimentales o de indagación. Se espera que en este nivel de enseñanza los estudiantes refuerzen habilidades para procesar datos y resolver problemas empleando el conocimiento matemático. Adicionalmente, en las múltiples actividades experimentales que el programa plantea, se destaca en especial la formación de hábitos de rigurosidad en el trabajo de observación y medición, y de flexibilidad y creatividad en la formulación de preguntas e hipótesis.
- El OFT del ámbito *persona y su entorno* referido a comprender cómo algunos aspectos de los contenidos de las unidades tienen expresión en fenómenos cotidianos, en aparatos tecnológicos y en el funcionamiento de sistemas orgánicos. Se recomienda al respecto un trabajo interdisciplinario que

involucre además de Física, a Química, Biología, Ciencias Sociales, Lenguaje y Comunicación, Arte, Inglés, Educación Física, Computación, etc.

Como corolario del trabajo científico se hace hincapié en el trabajo perseverante, el rigor y la sistematicidad y en el uso de la creatividad y el desarrollo del espíritu emprendedor. Junto a lo señalado, el programa, a través de las sugerencias al docente que explicita, invita a prácticas pedagógicas que refuerzan los valores y orientaciones éticas de los OFT, así como sus definiciones sobre habilidades intelectuales y comunicativas.

Además, el programa se hace cargo de los OFT de Informática incorporando en diversas actividades y tareas de búsqueda de información a través del empleo de software y la selección de redes de comunicación.



## Unidades, contenidos y distribución temporal

### Cuadro sinóptico

#### Unidades

**1**

Electricidad y magnetismo

**2**

El mundo atómico

#### Subunidades

	horas		horas
1. Fuerzas entre cargas	12 – 15	1. El átomo	12 - 15
2. Circuito de corriente alterna	15 – 20	2. El núcleo atómico	15 - 18
3. Ondas electromagnéticas	8 – 10		

#### Distribución Temporal

Tiempo total estimado: 62 – 78



## Unidad 1

# Electricidad y magnetismo

### Contenidos Mínimos

#### 1. Fuerzas entre cargas

- a. Cargas en reposo. Fuerza de Coulomb en distintas situaciones. Campo y potencial eléctrico. Aplicaciones a la electricidad atmosférica.
- b. Condensador de placas paralelas. Su capacidad en términos de la geometría y el dieléctrico.
- c. Cargas en movimiento. Cálculo y análisis gráfico de la trayectoria de una carga en un campo eléctrico constante y uniforme.
- d. Fuerza magnética sobre una carga en movimiento. Observación y análisis de la fuerza entre dos conductores rectilíneos que portan corriente. Descripción de la trayectoria de una carga en un campo magnético uniforme.

#### 2. Circuito de corriente alterna

- a. Carga y descarga de un condensador. Análisis gráfico de la dependencia temporal del voltaje entre las placas.
- b. Demostración experimental de la corriente inducida por el movimiento relativo entre una espira y un imán. Inducción electromagnética: leyes de Michael Faraday y Heinrich Lenz. Inductancia y su efecto cualitativo en un circuito de corriente variable en el tiempo.
- c. Circuito LC. Frecuencia propia asociada. Comparación con el movimiento armónico simple. Oscilaciones forzadas y resonancia. Efecto de una resistencia. Aplicaciones, como la sintonización de frecuencias.

#### 3. Ondas electromagnéticas

- a. Descripción cualitativa de la interrelación entre campos eléctricos y magnéticos que varían sinusoidalmente en el tiempo. Radiación de cargas aceleradas.1
- b. Trasmisión y recepción de ondas electromagnéticas. Descripción cualitativa del funcionamiento de antenas simples. Aplicaciones en telecomunicaciones; por ejemplo, radio, televisión, telefonía, etc.

### Aprendizajes esperados

Al completar la unidad, alumnos y alumnas serán capaces de:

- discriminar entre cuerpos cargados y neutros en base al tipo de interacción que se produce entre ellos y distinguir el rol diverso de electrones e iones ante el carácter eléctrico de los cuerpos;
- aplicar conceptos, relaciones y leyes para resolver problemas vinculados con la electricidad y el magnetismo;
- describir diferentes fenómenos eléctricos y relacionarlos con situaciones cotidianas y aplicaciones técnicas;
- reconocer las características de campos eléctricos y magnéticos, y sus interacciones con cargas;
- aplicar los principios del electromagnetismo para explicar el funcionamiento de diferentes aparatos de uso cotidiano;
- comunicar las ideas y principios físicos que explican fenómeno simples asociados a la naturaleza electromagnética de los cuerpos;
- utilizar diferentes medios de comunicación para recopilar información acerca de la electricidad y el magnetismo y su interacción con otros campos del conocimiento;
- explicar las diferencias entre corriente continua y alterna y describir las características de los circuitos RC y LC y sus aplicaciones;
- identificar los diferentes tipos de ondas electromagnéticas, sus características y la forma de emitirlas y captarlas;
- reconocer que la vibración de una carga eléctrica produce una onda electromagnética que se propaga en el espacio;
- describir los principales hitos del desarrollo histórico asociado a las ondas electromagnéticas, en particular en torno de las figuras de James Clerk Maxwell y Heinrich Hertz;
- comparar, en cuanto fenómeno ondulatorio, las ondas electromagnéticas con las ondas mecánicas, reconocer sus principales características (frecuencia, amplitud, velocidad, etc.) y reconocer en las ondas radiales, en la luz, en las microondas, en los rayos X, etc. ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias;
- describir el mecanismo de transmisión y de recepción de señales a través de ondas electromagnéticas, el rol de la antena y las diversas modalidades de comunicación por medio de ondas electromagnéticas: comunicaciones radiales en AM, FM, onda corta, etc. transmisión de televisión y telefonía celular.

### Recomendaciones al docente

Para desarrollar la unidad se sugiere lo siguiente:

- Al iniciar un nuevo tema o clase, presentar una actividad que realmente sea significativa para las alumnas y alumnos, como por ejemplo una demostración experimental o el llamar la atención sobre un fenómeno cotidiano que genere entusiasmo para lograr el aprendizaje correspondiente.
- El objetivo de la unidad apunta hacia el estudio de la electricidad y el magnetismo, pero desde el punto de vista de las interacciones entre cargas. Evitar caer en objetivos distintos a los propuestos para así poder completar lo exigido.
- En el curso de Física del Primero Año Medio hay una unidad que trata el tema de electricidad y magnetismo. Hacer referencia a esos contenidos. Puede ser útil iniciar la unidad con una breve prueba de diagnóstico. A partir de la información que se obtenga, revisar los conceptos o principios que los estudiantes necesiten para la comprensión de las materias del presente curso.
- Las unidades y simbología a utilizar son las correspondientes al Sistema Internacional de Unidades (ver Anexo D). Evitar el trabajo con unidades de otros sistemas.
- Tanto para tratar adecuadamente campos eléctricos como magnéticos, las magnitudes vectoriales tienen una gran importancia; sin embargo, si los estudiantes no tienen gran familiaridad con vectores se recomienda usar su representación geométrica solamente. El uso de funciones trigonométricas cuando interviene algún producto vectorial se puede evitar acudiendo a ejemplos simples, como el caso de vectores paralelos o perpendiculares entre sí.
- En este nivel las alumnas y los alumnos deben desarrollar su habilidad para procesar datos y resolver problemas con un mayor componente matemático. El uso de calculadoras permite preocuparse más por el proceso que por el cálculo.
- En internet existen innumerables sitios donde el profesor o profesora puede encontrar simulaciones sobre este tema (ver Anexo E). Incentivar el uso de este medio de información, pero si se da una dirección para que los estudiantes visiten es recomendable que el docente previamente la revise para asegurarse que su contenido sea el adecuado y esté de acuerdo con los aprendizajes esperados.
- Muchos de los ejemplos de actividades se prestan para evaluar el desempeño de los alumnos y alumnas, tanto en los trabajos experimentales como de recopilación y análisis de información.
- Es conveniente que el docente pruebe y prepare con la debida antelación los materiales para las demostraciones o experimentos sugeridos, evitando la improvisación.
- Esta es la única unidad del programa en que aún es posible que los estudiantes realicen experimentos verdaderos y no tengan que limitarse a trabajar con simples modelos y simulaciones de situaciones inaccesibles directamente. Esta oportunidad debe aprovecharse.
- Debe instarse permanentemente a alumnos y alumnas a no simplemente emplear medios de comunicación a través de ondas electromagnéticas (como la radio, la televisión, el teléfono celular), sino que a reflexionar sobre la forma en que dichas comunicaciones se llevan a cabo.
- Es conveniente desarrollar actividades destinadas a satisfacer las inquietudes y necesidades de todos nuestros estudiantes. El programa propone una variedad de actividades de diversos niveles de dificultad de implementación, teniendo presente la diversidad de tendencias y habilidades que ellos manifiesten.

# 1. Fuerzas entre cargas

## (a) Interacción entre cargas

### Detalle de contenidos

#### CARGAS ELÉCTRICAS

Electrización por frotamiento, contacto e inducción. Origen de la carga inducida. Unidad de carga eléctrica en el sistema internacional.

#### FUERZA ELÉCTRICA

La ley de Coulomb y su aplicación.

#### CAMPO ELÉCTRICO

Concepto de campo eléctrico y su carácter vectorial. Movimiento de cargas en un campo eléctrico.

#### POTENCIAL ELÉCTRICO

Diferencia de potencial entre dos puntos del espacio. El volt. Campo y potencial eléctrico entre placas paralelas cargadas. Líneas y superficies equipotenciales. Electricidad en la atmósfera.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad 1

**Experimentan con diversos objetos que se cargan eléctricamente de manera diferente, apuntando a diferenciar cargas de distinto signo. Reflexionan acerca de su origen, y la tendencia al equilibrio eléctrico, que produce movimiento de cargas en medios conductores.**

#### Ejemplo A

Experimentan frotando con sus dedos cintas de teflón de gásfiter que cuelgan dispuestas en forma paralela (figura 1.1 a). Observan y analizan el efecto resultante (figura 1.1 b). Frotan una peineta o regla de plástico en su pelo y la acercan a las tiras de teflón (figura 1.1 c). Discuten sobre el nuevo efecto observado.

Fig. 1.1



## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad, propuesta también en el programa de 1° Medio, puede servir para introducir y motivar el tema. Por lo económico y fácil de adquirir del material, se presta además para una participación individual de alumnas y alumnos.

Al frotar el teflón con los dedos secos, se electriza con carga de un signo. Si se frota una peineta con el pelo, el plástico se electriza con carga de diferente signo. En la primera situación es importante enfocarse el análisis hacia el efecto de separación que experimentan las cintas. Recordar que al frotar los cuerpos éstos en general pierden o ganan electrones (cargándose eléctricamente), los que se distribuyen sobre el material de modo que si las cintas se repelen, es porque adquieren carga de igual signo. Al acercar la peineta a la cinta, cinta y peineta se atraen ya que poseen cargas de diferente signo.

## Ejemplo B

- Dan ejemplos de situaciones cotidianas en las que se manifieste la electrización por frotamiento.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene analizar algunos de estos ejemplos para distinguir los cuerpos que se están frotando. Ejemplos que los estudiantes puedan haber experimentado son el caso de la tapa de una carpeta de plástico o mica con la hoja de papel, una prenda de vestir de seda o con alto contenido acrílico con otra prenda o con el cuerpo, las nubes con el aire, autos en movimiento con el aire, etc.

## Ejemplo C

- Discuten y argumentan a fin de explicar por qué se electrizan los cuerpos cuando se les frota.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Debe asegurarse que los estudiantes comprenden las características de las cargas eléctricas. En particular, la existencia de los dos tipos de cargas, que los cuerpos como varillas, cintas de teflón etc. pueden cargarse por exceso o déficit de electrones en la superficie, y que en el proceso de electrización el número de protones y de electrones no se altera, que sólo hay una separación de cargas y por lo tanto ésta se conserva. Además es conveniente reforzar la idea que el carácter eléctrico de un cuerpo se debe a la ganancia o pérdida de electrones.

## Ejemplo D

Dan ejemplos de cuerpos conductores y aisladores eléctricos cotidianos y señalan sus propiedades.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Aclarar que en el caso de los cuerpos conductores, los electrones de orbitales alejados del núcleo no permanecen unidos a sus respectivos átomos y pueden moverse con facilidad y que en el caso de los aislantes o dieléctricos ocurre lo contrario. Señalar que una explicación más refinada sólo se logra mediante una teoría cuántica de los electrones en un sólido (teoría de bandas).

En esta actividad es fundamental observar y analizar una tabla en que figuren las resistividades de materiales corrientes, haciendo ver que esta magnitud expresa cuantitativamente cuán conductores o aisladores son los materiales. También es oportuno referirse a ciertos mitos corrientes que llevan a las personas a creer, por ejemplo, que las gomas y plásticos son en sí malos conductores de la electricidad. Para convencerse de que en algunos casos estos materiales resultan excelentes conductores conviene examinar teclados de calculadoras, computadores, teléfonos, controles remotos, etc.

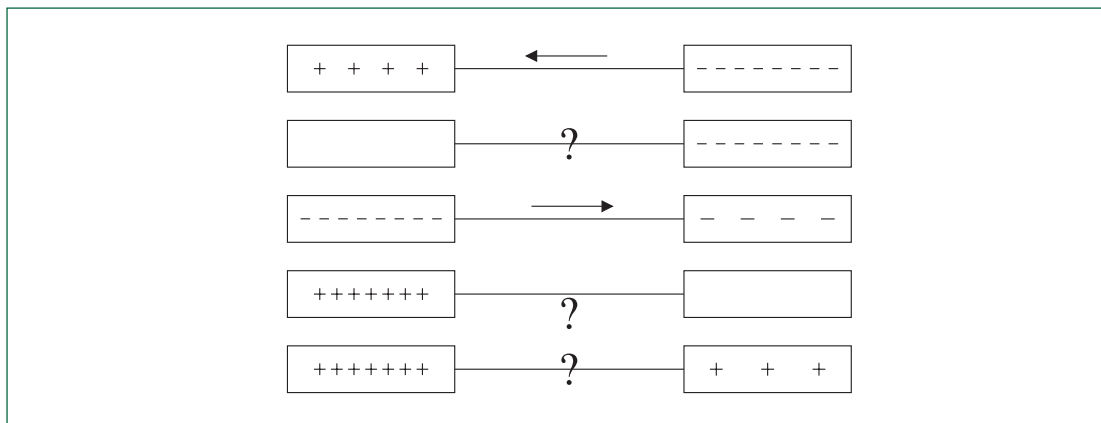
## Ejemplo E

- Señalan la dirección del flujo de electrones cuando dos cuerpos conductores se ponen en contacto y uno de ellos, a lo menos, está cargado.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Para realizar mejor esta actividad distribuir a alumnos y alumnas una página con propuestas como las contenidas en la figura 1.2. Es conveniente iniciar la actividad recordando que las cargas que se desplazan en los sólidos conductores de la electricidad son los electrones, y que todos los cuerpos tienden a un equilibrio eléctrico. En representaciones como la siguiente (figura 1.2), en que los cuerpos están unidos por un alambre conductor pueden ser útiles; los estudiantes deben señalar con una flecha la dirección del flujo de electrones.

Fig. 1.2



El principio orientador es que los electrones se mueven hacia donde hay déficit relativo de ellos. Seguramente surgirá la pregunta acerca de cómo es posible el movimiento de las cargas positivas en los últimos dos casos. Mencionar que la ausencia de un electrón puede interpretarse como un “hueco”, de carga efectiva positiva, que se mueve con otra masa que la del electrón, lenguaje usual en la teoría de materiales semiconductores. También se puede interpretar el flujo en términos de electrones que se mueven del lugar menos positivo, al más cargado positivamente. Aprovechar la oportunidad para destacar que por convención el sentido asignado a la corriente eléctrica es el del movimiento de cargas positivas, es decir, contrario al de los electrones.

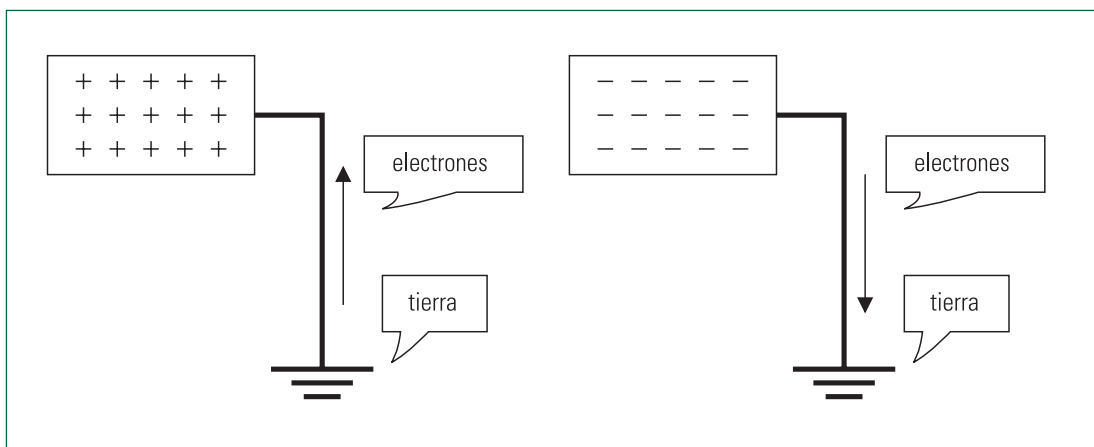
#### Ejemplo F

Analizan el proceso de descarga de un cuerpo que hace “tierra”.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

El tocar un electroscopio previamente electrizado permite visualizar el fenómeno. Para realizar el análisis conviene realizar un esquema que represente un metal cargado positiva o negativamente y conectado a tierra con un conductor. Figura 1.3

Fig. 1.3



Comentar que un cuerpo cargado expuesto al aire termina finalmente neutro después de cierto tiempo aunque no esté conectado a tierra. A pesar que el aire es aislante, la presencia de humedad lo hace levemente conductor de modo que el cuerpo se descargará a tierra a través del aire. Véanse las Indicaciones al docente del Ejemplo E de la siguiente actividad.

### Ejemplo G

Discuten acerca del origen de los rayos y truenos en las tormentas eléctricas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La discusión puede orientarse comparando la situación del rayo con el de las chispas que suelen observarse por electrización al sacarse cierto tipo de vestimentas, etc. Aprovechar la oportunidad para dar indicaciones de seguridad doméstica y personal frente a una tormenta eléctrica. Información acerca de este tema se encuentra en algunos textos, como el volumen II de las Lecciones de Física de Richard Feynman, capítulo 9. Relatar las experiencias de Benjamín Franklin relativas a las tormentas eléctricas, y su afán por demostrar su naturaleza similar a fenómenos observados en laboratorios de electricidad. Comentar la invención del pararrayos y la manera como funciona. La actividad se presta para que se construya un pararrayos para la escuela o donde pudiese ser de utilidad en caso de una tormenta eléctrica.

### Ejemplo H

Recopilan y analizan información acerca de otros métodos para electrizar cuerpos, tales como por inducción en un conductor, polarización en un aislante, por efecto fotoeléctrico, por efecto piezoeléctrico y efecto termoiónico. Se informan acerca de aplicaciones de la electrostática a situaciones prácticas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene por objeto ilustrar que la electrización cumple un rol importante en ciertos artefactos tecnológicos. El funcionamiento de encendedores piezoeléctricos de artefactos a gas, la celda fotoeléctrica, la pintura pulverizada, los precipitadores electrostáticos de las fotocopiadoras, la prevención de incendio en camiones petroleros o aviones que aterrizan son algunos ejemplos que pueden abordar los alumnos y alumnas.

## Actividad 2

**Analizan la ley de Coulomb y la aplican para determinar la fuerza de interacción entre diferentes configuraciones de cargas.**

## Ejemplo A

Discuten y analizan la validez de la siguiente afirmación: “al electrizarse dos cuerpos por frotamiento, uno de ellos típicamente gana millones de millones de electrones que el otro pierde”.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Hacer ver a los alumnos y alumnas que los electrones son partículas extremadamente pequeñas y que en la cabeza de un alfiler hay unos  $3 \times 10^{21}$  electrones. Luego de definir el coulomb comentar la relación  $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  electrones. Recalcar que cuando frotamos objetos como una peineta o una regla la carga acumulada es del orden de micro coulomb ( $1\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$ ). Señalar que esta unidad se denomina así en honor a Charles Agustín Coulomb (1736 – 1806), físico francés que inventó la “balanza electrostática” con la que pudo medir la fuerza entre cuerpos cargados con una gran precisión y establecer su ley.

## Ejemplo B

- Identifican el significado de cada magnitud que aparece en la ley de Coulomb y analizan las condiciones que se deben cumplir para que sea válida.

## INDICACIONES AL DOCENTE

La expresión que los estudiantes deben manejar es:  $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ , donde la constante  $k$  depende del medio y del sistema de unidades utilizado. En el Sistema Internacional adoptado en este programa  $k = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$  cuando el medio es el vacío. Aclarar que la fórmula supone que las cargas son puntuales, hipótesis válida en esferas conductoras y otros cuerpos con simetría esférica (que no cambian cuando rotan en torno a su centro). Como aproximación, también se puede usar cuando el tamaño de los objetos cargados es despreciable en relación a las distancias que los separan.

## Ejemplo C

- Resuelven algunos problemas cualitativos donde aplicando la ley de Coulomb.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene iniciar los ejercicios con ejemplos simples como los que siguen.

- Dos electrones se repelen con una fuerza eléctrica  $F$ . ¿Cuál será la nueva fuerza si la distancia entre ellos aumenta al doble?
- Dos cuerpos cargados eléctricamente interactúan con una fuerza  $F$  cuando se encuentran a una cierta distancia. ¿Cuál será la nueva fuerza si la distancia disminuye a la cuarta parte y el valor de cada carga aumenta al doble?

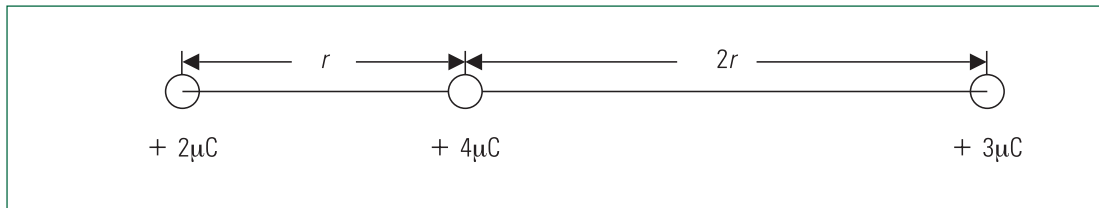
## Ejemplo D

- Aplican la ley de Coulomb para calcular fuerzas eléctricas en diferentes configuraciones de cargas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Resolver ejemplos como el siguiente. Tres cargas se encuentran en reposo dispuestas sobre una recta como muestra la figura 1.4. Determinar la fuerza neta que actúa sobre cada una de ellas. Discutir con alumnos y alumnas cómo se moverían si se las suelta. ¿Es posible que dos o tres cargas libres estén en reposo a alguna distancia finita?

Fig. 1.4



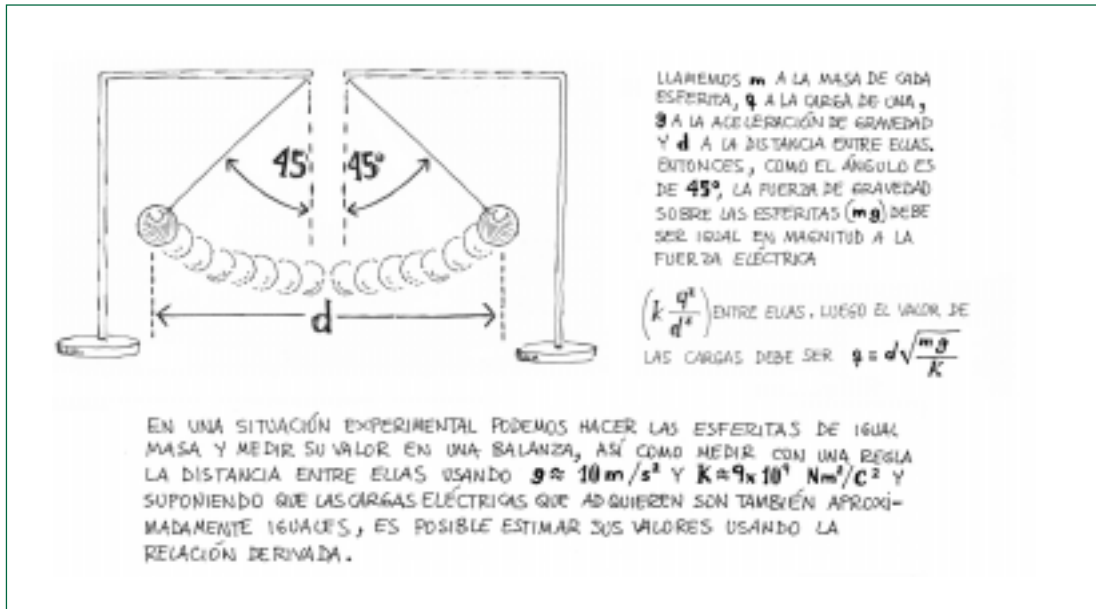
## Ejemplo E

Construyen péndulos eléctricos, electroscopios o generadores de Van de Graaff para analizar el comportamiento de cuerpos cargados. Debaten acerca de lo que observan cuando los hacen funcionar.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta puede ser una tarea interesante para los estudiantes. Pequeñas bolitas de plumavit colgadas de un hilo de seda permiten estudiar las interacciones entre los péndulos (figura 1.5). Se recomienda frotar un tubo de plasta o PVC con piel de conejo o sintética para cargar los péndulos. Investigar variantes, como cubrir una de las bolitas con papel de aluminio (como el de envolver chocolates). Un ejercicio interesante es calcular el valor de la carga en las bolitas (su producto, más bien) estudiando el equilibrio mecánico de los péndulos en interacción. Si se logra una desviación en  $45^\circ$  el uso de la geometría es más sencillo.

Fig. 1.5



Es posible construir un electroscopio casero utilizando un frasco de vidrio. Cerrar el frasco con una tapa de cartón u otro material aislante al cual se le ha hecho un orificio por el que pueda pasar un alambre. En el extremo superior del alambre colocar una bola formada con papel de aluminio y en el inferior, doblado en L, colocar una hoja de aluminio muy delgada, sacada de la envoltura de un papel de chocolate (éste es más delgado que el papel de aluminio para el uso en alimentos y se puede separar fácilmente del papel blanco introduciéndolo en agua tibia). Utilizar una tira de 6 cm de largo por 1 cm de ancho (figura 1.6 a). Con un poco más de trabajo pero con materiales igualmente simples y baratos, puede construirse un electroscopio como el que se ilustra en la figura 1.6 b.

Fig. 1.6



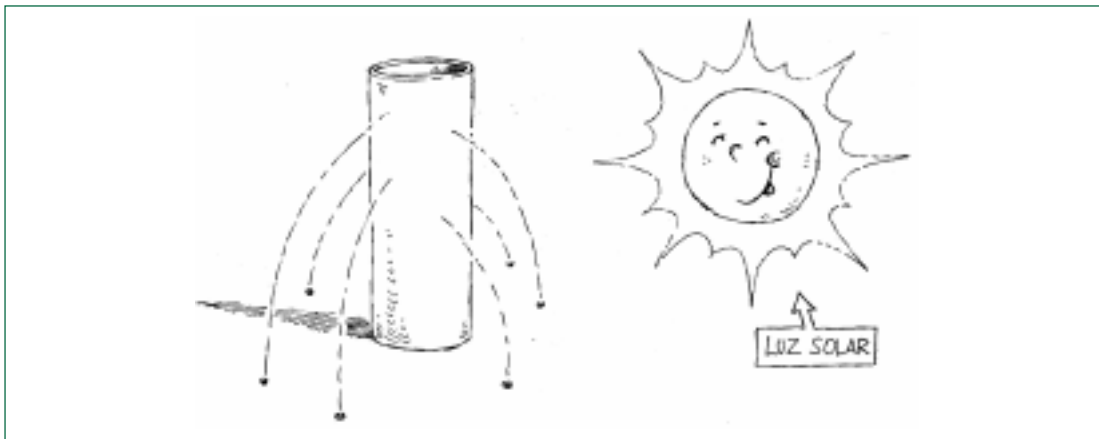
En el Anexo C se ilustra una manera de construir un generador de Van de Graaff bastante eficiente con el cual es posible realizar múltiples observaciones y atractivos experimentos que motivan fuertemente a alumnas y alumnos. Se recomienda instarlos a inventar y construir otros tipos de electroscopios y máquinas electrostáticas.

Es importante tener presente que todas estas experiencias se pueden realizar siempre que el ambiente esté seco y limpio. No es adecuado por ejemplo hacer la clase inmediatamente después que haya sido barrida con una escoba o se haya limpiado la tiza de la pizarra, etc. Si en el liceo hay mucho polvo en suspensión, cerrar varias horas antes la sala e ingresar a ella procurando que no se levante polvo.

La razón por la cual el polvo en suspensión en el aire entorpece las observaciones de los fenómenos electrostáticos debe ser explicada a los estudiantes. Una forma instructiva de hacerlo consiste en observar con cuidado lo que le ocurre a un tubo de PVC que ha sido frotado y aproximado a pequeñísimos fragmentos de tiza o polvo metálico. Estos son atraídos por el PVC y posteriormente salen disparados como pequeños proyectiles, llevándose la carga eléctrica adquirida al hacer contacto con el tubo. El fenómeno es más fácil de observar si se ilumina el tubo con luz solar o artificial direccionada hacia un lugar sombrío. Véase figura 1.7.

Puede ser oportuno dar a investigar la historia de la electricidad estática, por ejemplo, las máquinas inventadas por Otto von Guericke y los experimentos que hacía con ellas; los trabajos y descubrimientos atribuidos a Charles Coulomb y Nicolás Tesla, y los usos más recientes de máquinas electrostáticas para acelerar partículas cargadas, etc.

Fig. 1.7



## Actividad 3

**Describen y analizan las características del campo eléctrico para distinta disposición de la carga eléctrica, en términos de su magnitud y del potencial.**

## Ejemplo A

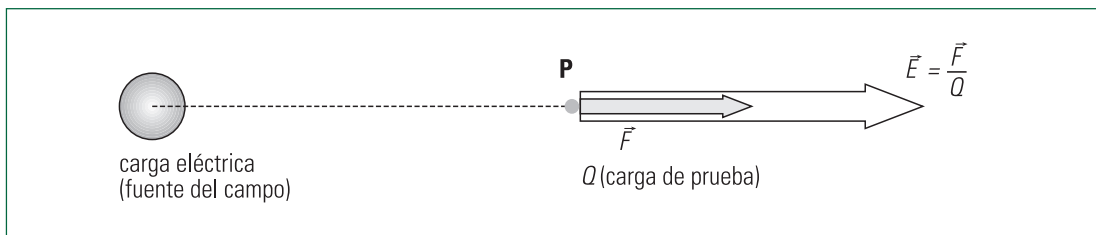
- Definir el campo eléctrico como un vector cuya magnitud se determina en función de la fuerza eléctrica y la carga de prueba sobre la que actúa. Analizan los factores de que depende el campo generado por una carga. Discuten sobre el rol que cumple la carga de prueba para detectar la presencia de un campo eléctrico.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Explicar que la dirección y sentido del campo eléctrico en un punto del espacio es el de la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga positiva colocada en él. Hacer notar que esta carga, llamada carga de prueba, debe ser lo suficientemente pequeña como para que no afecte la distribución de cargas en la fuente que origina el campo. Analizar la expresión para la magnitud del campo eléctrico  $\frac{F}{Q}$ , donde  $F$  es la fuerza sobre la carga de prueba  $Q$ .

Hacer ver que el campo eléctrico es una propiedad del espacio. Enfatizar que la existencia del campo eléctrico no depende de la presencia ni valor de la carga de prueba. Para ello se sugiere la siguiente idea aplicando la ley de Coulomb: Si en el punto P se coloca una carga  $Q = q$ , sobre ella aparece una cierta fuerza eléctrica  $F = f$  si existen en el vecindario otras cargas. Si en el punto P se coloca en vez una carga  $Q = 2q$ , sobre ella actúa ahora una fuerza  $F = 2f$ . Si se coloca una carga  $Q = nq$ , sobre ella actúa una fuerza  $F = nf$ . Esto implica que  $\frac{F}{Q} = \text{constante}$  para ese punto, si las cargas que generan el campo eléctrico no se mueven. Es útil para aclarar ideas analizar la expresión  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$  sobre la base de un esquema como el de la figura 1.8. Considerar  $Q > 0$ . ¿Cómo sería si  $Q < 0$ ?

Fig. 1.8



## Ejemplo B

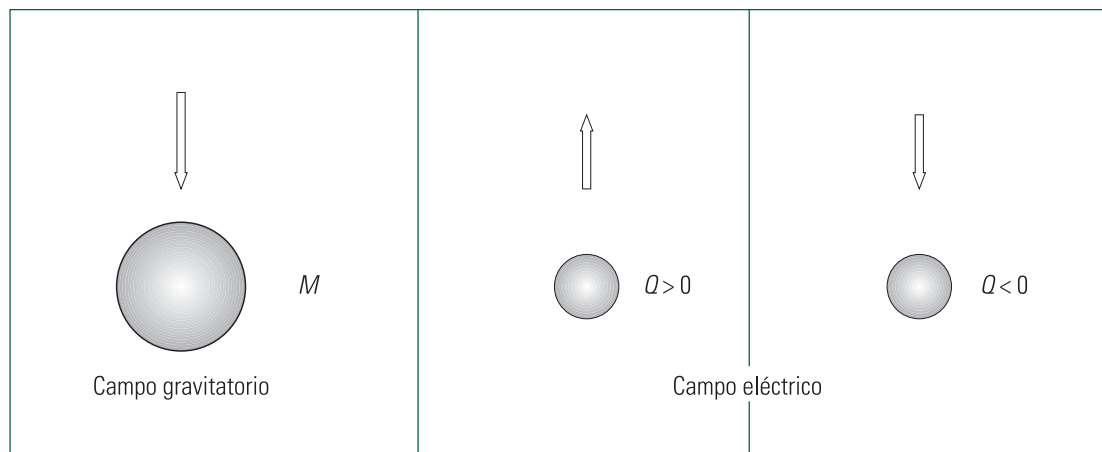
- Discuten el concepto de campo eléctrico. Identifican las similitudes y diferencias entre campos vectoriales gravitatorios y eléctricos.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Para que a los estudiantes les sea posible realizar esta actividad el profesor o profesora debe definir primero el concepto de campo gravitacional, proporcionando variados ejemplos que ilustren su presencia. Señalar, por ejemplo, que la aceleración de gravedad  $g$  corresponde a la magnitud del campo gravitatorio, cuyo valor en la superficie terrestre es  $9,8 \text{ m/s}^2$ . En este caso la masa del objeto experimentando la gravedad terrestre suple el rol que la carga de prueba tiene en la definición del campo eléctrico.

Enfatizar que, a diferencia de lo que ocurre entre las masas y la fuerza gravitacional que es siempre atractiva, la fuerza entre cargas eléctricas puede ser atractiva o repulsiva según el signo de las cargas. Destacar que el campo eléctrico apunta hacia la fuente que lo genera o en dirección contraria según sea su signo. Conviene aprovechar la memoria visual de los estudiantes utilizando un dibujo como el de la figura 1.9.

Fig. 1.9



## Ejemplo C

- Determinan el campo eléctrico que acompaña a una o más cargas puntuales.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Para que alumnos y alumnas se familiaricen con el concepto de campo eléctrico y la ley de Coulomb se necesita que resuelvan una variedad de problemas, en la clase y en la casa. Hacerlos deducir y utilizar la expresión  $E = k \frac{Q}{r^2}$  para calcular la magnitud del campo que genera la carga  $Q$  en un punto ubicado a una distancia  $r$ . Considerar la dirección y sentido de la fuerza. En el caso del campo generado por dos o más cargas, recalcar que los campos debidos a las cargas se suman vectorialmente para obtener el campo total.

## Ejemplo D

- Dibujan líneas de fuerza asociadas al campo eléctrico que generan una y dos cargas puntuales, teniendo presente su definición en términos del campo local. Discuten la forma que tienen estas líneas en el espacio que rodea a un par de placas paralelas cercanas una de otra, cargadas con igual carga pero de diferente signo.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Explicar que cuando las líneas de fuerza son rectas, representan la trayectoria que seguiría una carga de prueba libre que parte del reposo. Desafiar a grupos de alumnas y alumnos a dibujar las líneas en casos variados, como por ejemplo una carga puntual, dos cargas de signo contrario, las generadas por dos placas paralelas cargadas, etc. Aunque los dibujos se hagan en un plano, señalar que se trata de situaciones tridimensionales. Es el momento de relacionar la densidad de estas líneas con la del campo y demostrar gráficamente que el vector  $E$  siempre es tangente a dichas líneas. Comentar el caso de una carga negativa que gira circularmente en torno a otra carga positiva. ¿Por qué su trayectoria no sigue las líneas de fuerza? (Es perpendicular a ellas).

## Ejemplo E

- Analizan la definición de diferencia de potencial eléctrico y comparan este concepto con el de campo eléctrico.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Introducir la “diferencia de potencial” entre dos puntos del espacio en términos del trabajo ( $T$ ) por unidad de carga realizado por un agente externo sobre una carga de prueba que se traslada entre dichos puntos sin que cambie la energía cinética. Operacionalmente se representa como  $\Delta V = \frac{T}{Q}$  siendo su unidad el volt. Para contextualizar con lo cotidiano, es el momento de asociar esta magnitud con los voltajes de la red domiciliaria y de pilas o baterías. Conviene mostrar que la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico generado por una carga puntual no depende de la trayectoria seguida por la carga de prueba entre esos dos puntos ni del valor de esta carga. Si bien la demostración general no se puede llevar a cabo con las herramientas de que se dispone a este nivel, esta importante propiedad del potencial eléctrico se puede hacer ver analizando un caso sencillo, como el de un campo eléctrico uniforme. Destacar que hay superficies equipotenciales que en este caso son planas, en tanto que para una carga puntual son esferas concéntricas con la carga. Instar a las alumnas y alumnos a descubrir y analizar las semejanzas y diferencias entre los conceptos de campo eléctrico y potencial eléctrico. Recalcar que el campo eléctrico es una magnitud vectorial y el potencial eléctrico, escalar, que las superficies equipotenciales son en todo punto perpendiculares a las líneas de campo eléctrico, que al igual que el campo eléctrico, el potencial es una propiedad del espacio. Hacer sin embargo hincapié en el hecho de que a pesar que el campo eléctrico tiene sentido en sí mismo gracias a la fuerza que produce, en el caso del potencial sólo tiene sentido la diferencia de potencial entre dos puntos, en términos de un trabajo físico realizado en transportar una carga entre ambos puntos.

## Ejemplo F

Discuten y aplican la expresión para el potencial eléctrico debido a una carga puntual.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Presentar la expresión  $V = k \frac{Q}{r}$  donde  $V$  es el potencial eléctrico en un punto del espacio,  $Q$  la carga generadora de campo eléctrico,  $r$  la distancia del punto a la carga y  $k$  la constante de la ley de Coulomb. Discutir el modo en que se relacionan estas magnitudes, destacando que  $V$  es inversamente proporcional a  $r$  y no al cuadrado de  $r$ . Promover una discusión dirigida, haciendo algunas preguntas como: ¿cuál será el potencial en un punto situado a una distancia infinita de la carga?; si la carga que genera el campo es positiva, ¿qué ocurre con el valor del potencial en un punto a medida que se aleja de la carga?; si la carga que genera al campo es negativa, el potencial ¿es mayor en el infinito o en las cercanías de la carga?; si se coloca una carga positiva en el interior de un campo, se mueve ¿a favor o en contra de las líneas de fuerza?, ¿en el sentido que crece o decrece el potencial eléctrico?

## Ejemplo G

- Aplican los conceptos de carga, campo y potencial para explicar los fenómenos atmosféricos eléctricos.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es un tema adecuado para que los alumnos y alumnas realicen una recopilación y análisis de información utilizando textos en biblioteca e internet. Aspectos como el rayo y el funcionamiento de un pararrayo, por qué se cargan las nubes, etc. son algunos de los temas que se pueden abordar. Véase Ejemplo G de la Actividad 1.

#### Actividad 4

**Construyen y usan sistemas que generen una diferencia de potencial eléctrico y utilizan un voltímetro para determinar experimentalmente algunas de sus características.**

##### Ejemplo A

- Miden la diferencia de potencial que genera una fruta ácida utilizándola como pila voltaica. Discuten y explican por qué esta batería casera y económica no es adecuada como fuente de energía para hacer funcionar una radio a pilas.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

Un limón se presta para realizar esta experiencia. Un alambre de cobre y un “clip” para papel desdoblado (o preferentemente un alambre de zinc) clavados en él sirven como electrodos (Figura 1.10). Con ayuda de un voltímetro medir la diferencia de potencial de esta rústica pila, que típicamente alcanza valores del orden de 0,5 volts. Se puede desafiar a los estudiantes a que encuentren la mejor manera de conectar varios limones para lograr la mayor diferencia de potencial posible y averiguar cuál es el valor máximo que se puede obtener. A través de la discusión es muy importante que se den cuenta que no sólo se necesita una diferencia de potencial para hacer funcionar un aparato eléctrico, sino que además es necesario que el número de cargas disponibles por unidad de tiempo (intensidad de corriente) sea el adecuado. El voltaje se puede también sentir si el extremo libre de los alambres clavados en el limón tocan simultáneamente la lengua.

Dar a investigar qué ocurre con el voltaje entre los electrodos al introducirlos en otras frutas, papas, etc, y comparar estos casos con la diferencia de potencial que se observa entre una lámina de cobre y una de zinc que aprisionan un algodón empapado en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), dispositivo que sí puede prender ampolletas de linterna y diodos LED (abreviación del inglés que significa Diodo Emisor de Luz). Ver figura 1.11. Es importante precaver a los alumnos y alumnas acerca de los peligros de manipular el ácido sulfúrico, indicándoles que eviten el contacto con la piel y que, de ocurrir por accidente, no se pasen las manos por los ojos ni por la ropa y se las laven con abundante agua.

Puede ser provechoso coordinar con el profesor o profesora de Química la explicación acerca del origen del potencial eléctrico que se genera en estos casos, y del efecto que causa el ácido sulfúrico sobre la piel.

A fin de introducir el contexto histórico, se recomienda asignar a grupos de estudiantes trabajos que los induzca a recopilar información y hacer exposiciones orales o paneles informativos sobre Alejandro Volta (1745 - 1827) y su pila, los principios físico-químicos que explican el funcionamiento de las pilas secas (convencionales y alcalinas), las baterías de los automóviles, etc.

Fig. 1.10

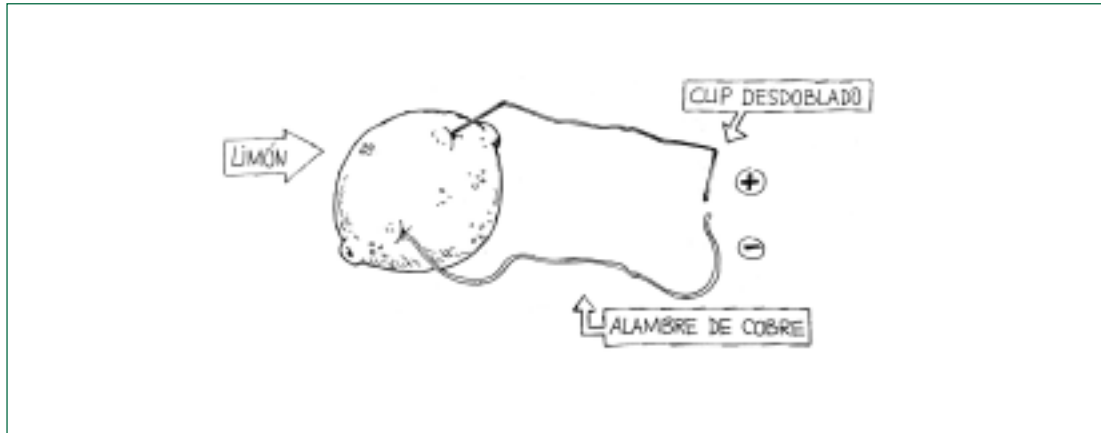
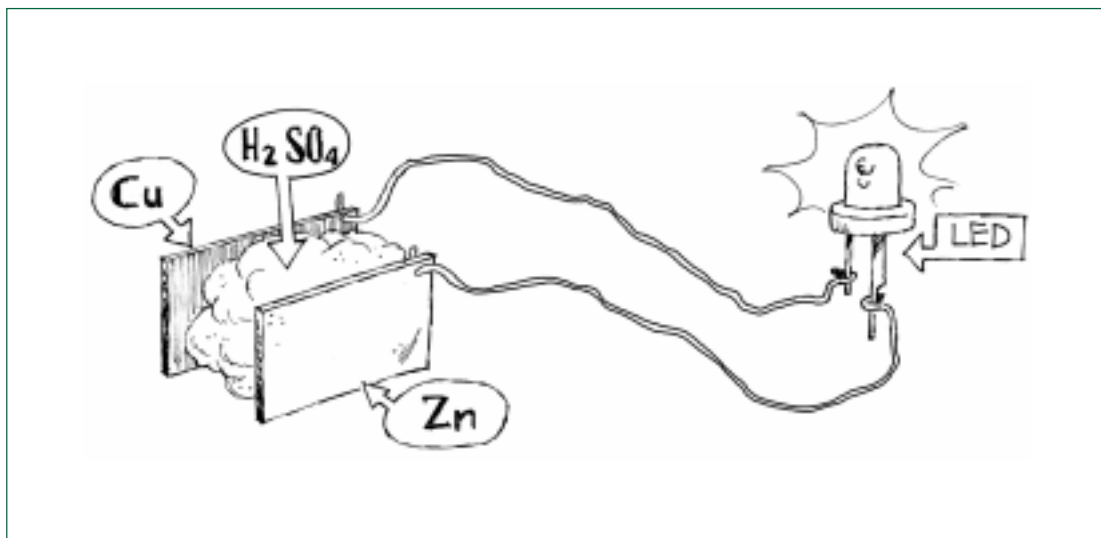


Fig. 1.11



## Ejemplo B

Determinan experimentalmente superficies equipotenciales y el campo eléctrico entre placas paralelas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

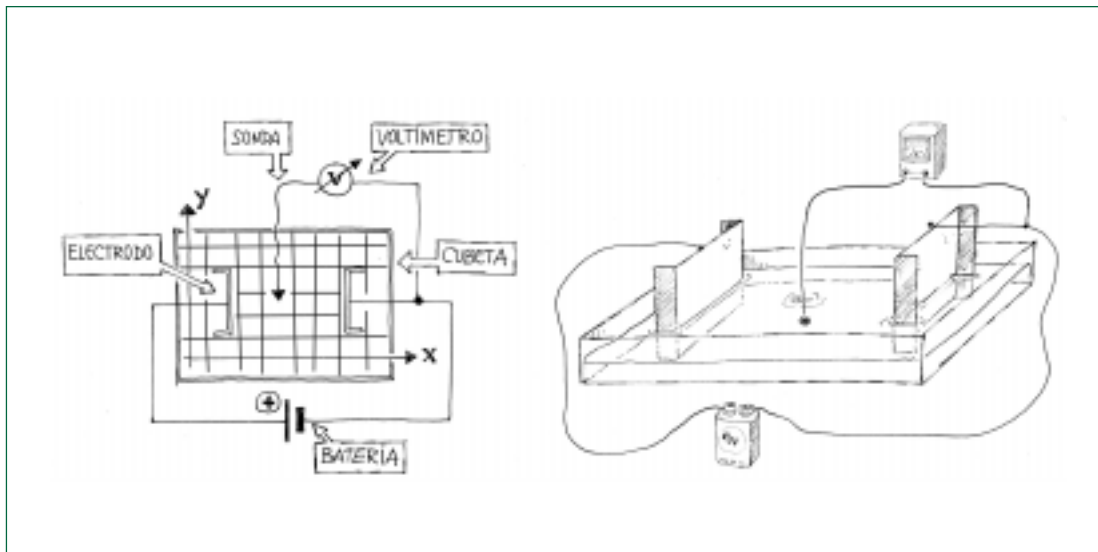
Esta experiencia se puede realizar utilizando una cubeta de fondo plano, de vidrio o plástico aislante, con un centímetro de agua. Se requiere además dos láminas de cobre dobladas en U, dispuestas a unos diez centímetros de distancia una de otra, conectadas a una batería seca de 9 volt (figura 1.12). Un voltímetro permitirá explorar el campo eléctrico entre las placas midiendo la diferencia de potencial con respecto a un electrodo. Conviene agregar algo de sal para lograr una mayor conductividad. Aprovechar de comentar que

la sal disuelta provee iones cargados eléctricamente, que son las partículas portadoras de carga en el sistema. Desafiar a los alumnos y alumnas a mover la punta de prueba del voltímetro por líneas equipotenciales. Si la cubeta tiene el fondo transparente, ubicar las coordenadas de los puntos  $(x,y)$  donde se mide. El registro de esta información les permitiría analizar la situación con posterioridad. Establecidas en forma aproximada varias curvas equipotenciales, concluir la forma de la superficie que las contiene recordando que la dirección del campo eléctrico es perpendicular a ella. Repetir y analizar la situación con una distancia entre las placas menor. Es el momento de mostrar en forma teórica que, en el caso de este campo aproximadamente homogéneo,  $V = E x$ , donde  $V$  es el potencial eléctrico en un punto respecto de una placa considerada como de potencial cero,  $x$  la distancia desde dicho punto a la referida placa y  $E$  la magnitud del campo eléctrico en el espacio entre las placas. Para hacer la demostración recurrir a la definición de potencial eléctrico en términos de trabajo.

Este ejemplo es importante porque pavimenta el camino para el tema siguiente: condensadores y sus aplicaciones.

Desafiar a los estudiantes a investigar la configuración del campo eléctrico al cambiar la forma de los electrodos; por ejemplo, dos electrodos puntuales, dos cilíndricos (uno dentro del otro), etc.

Fig. 1.12



---

## (b) Condensadores y sus aplicaciones

### Detalle de contenidos

#### CONDENSADOR DE PLACAS PARALELAS

Descripción de un condensador. La capacidad de un condensador y los factores de que depende. La unidad farad. Energía en un condensador. Aplicaciones.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

---

Describen un condensador de placas paralelas y explican los métodos que permiten variar su capacidad. Analizan su funcionamiento y calculan la energía acumulada en situaciones de interés cotidiano.

#### Ejemplo A

- Identifican las propiedades geométricas y la respuesta ante una diferencia de potencial externo en un condensador de placas paralelas y explican los métodos que permiten variar su capacidad.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se pueden obtener condensadores desarmando un televisor o una radio vieja y también en los partidores de los tubos fluorescentes. Además de condensadores cilíndricos se puede encontrar en las radios el condensador variable (armaduras móviles que se entre cruzan al girar en torno a un eje) utilizado como sintonizador. En el caso de no contar físicamente con los condensadores, utilizar fotos o dibujos que les permita identificar las componentes de estos aparatos. Lo que importa es que alumnos y alumnas sepan que el capacitor está formado por dos conductores no conectados entre sí, separados por el aire circundante o un material aislante. Ello resulta evidente si se desarma y examina un condensador electrolítico.

#### Ejemplo B

Cargar un condensador electrolítico de unos 2200  $\mu\text{F}$  (para 20 volts) por medio de una batería de automóvil u otra fuente de poder de corriente continua (unos 12 volts) y descargarlo a través de un conductor metálico haciendo un puente entre sus contactos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Un capacitor como el aquí descrito se encuentra en el comercio electrónico. La experiencia implica algunos riesgos, razón por la cual debe realizarla el profesor o profesora, como una actividad

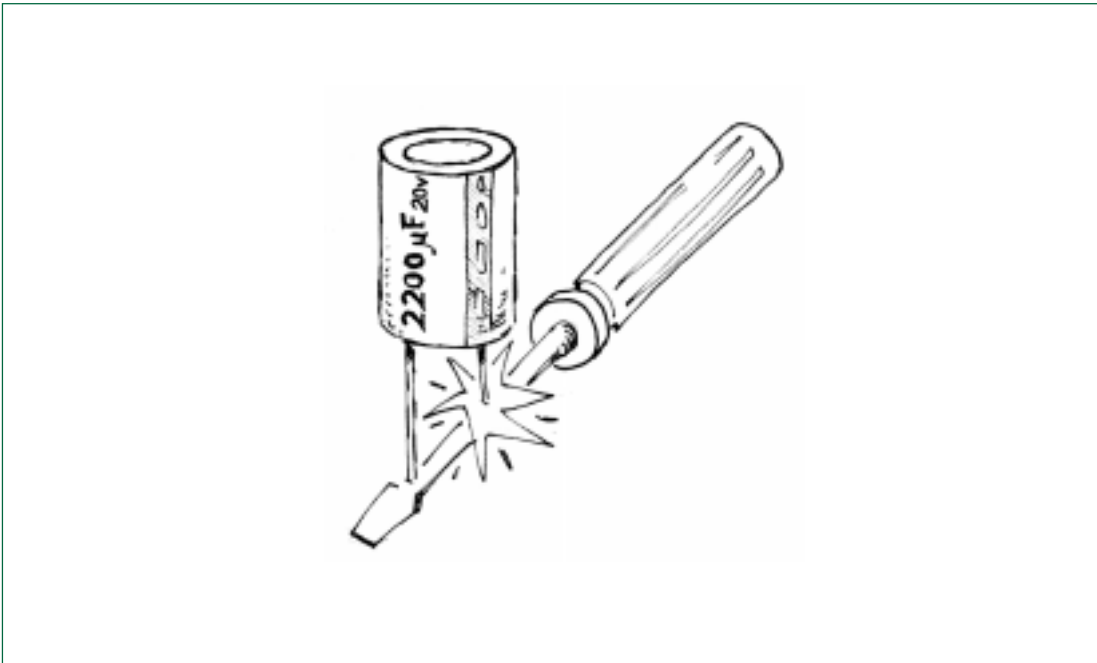
demostrativa. El principal cuidado que hay que tener es el respetar la polaridad del capacitor y la batería (positivo con positivo y negativo con negativo). Normalmente el terminal negativo, que es más corto, viene claramente señalado como se indica en la figura 1.13. La conexión invertida de la polaridad hace que el capacitor se caliente y reviente como un petardo pudiendo afectar manos y ojos. Lo mismo ocurre si se sobrepasa el voltaje para el cual fueron diseñados.

La descarga en un metal (por ejemplo un destornillador) produce una espectacular chispa que sorprenderá a los estudiantes, a la vez que ilustrará de un modo claro y directo el hecho que estos dispositivos almacenan energía. Es interesante también mostrar la huella dejada por el chispazo en el metal.

Este es un momento adecuado para abordar el tema de la seguridad en el trabajo de laboratorio y los riesgos a que está expuesto quien trabaja sin saber bien lo que hace. Quien entiende, toma las precauciones necesarias; quien no entiende termina sufriendo las consecuencias. Mencionar el caso de Benjamín Franklin, inventor del pararrayos, quien por tener el concepto adecuado de carga eléctrica no fue afectado en sus peligrosos experimentos con volantines. Mencionar también que en los grandes aceleradores de partículas los investigadores trabajan en la cercanía de enormes y peligrosas fuentes de poder y, a pesar de ello, las precauciones que adoptan hacen que los accidentes sean muy escasos.

Una aplicación interesante que puede mencionarse de este tipo de condensador es la siguiente. Algunos televisores y videograbadoras tienen la capacidad para ser programados, por ejemplo, con la fecha, la hora, los canales a sintonizar, etc. Cuando se “corta la luz” o se desenchufan, algunos conservan esta programación varios minutos o incluso horas, mientras que otros la pierden al instante. Los primeros poseen un condensador que, al igual que una pila eléctrica, alimenta los circuitos necesarios durante el período en que la red no los abastece de energía eléctrica.

Fig. 1.13



## Ejemplo C

- Analizan lo que ocurre en un condensador de placas paralelas al ser conectado a los polos de una batería, y calculan el campo eléctrico que se genera entre las placas. Establecer que la relación entre la carga  $Q$  adquirida y la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre las placas es una constante característica del aparato que recibe el nombre de capacidad  $C$  del condensador.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Mostrar la conveniencia de definir la capacidad de un condensador como  $C = \frac{Q}{\Delta V}$ . Destacar que la carga  $Q$  referida es la que posee una de las armaduras del condensador, mientras la otra tiene carga  $-Q$  ya que su carga total es nula, y que la capacidad  $C$  no depende de la carga ni del voltaje entre sus placas. Introducir el farad como unidad de capacidad del condensador. Hacer ver que difícilmente se podría tener un condensador de un farad, el cual al recibir una carga de 1 coulomb adquiriera una diferencia de potencial de 1 volt, y que normalmente se utilizan condensadores con capacidades mucho menores, típicamente del orden del microfarad ( $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ ).

## Ejemplo D

Discuten y dan argumentos para explicar la razón del por qué la capacidad de un condensador de placas paralelas depende del área de sus armaduras y de la distancia entre ellas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Señalar que la capacidad de un capacitor depende del área  $A$  enfrentadas entre las placas, de la distancia  $d$  entre ellas y del medio en que se encuentran según la relación  $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$ , donde  $\epsilon_0$  es una constante denominada “permisividad” cuyo valor en el vacío es  $8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$ .

La derivación de esta relación constituye un ejercicio útil, pero requiere el uso del campo eléctrico producido por una placa, el que se puede entregar como dato. Indicar que  $\epsilon_0$  se relaciona con la constante  $k$  de la ley de Coulomb según  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$ .

## Ejemplo E

Identifican dieléctricos e indican algunos de los fines que cumplen en un condensador.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Mostrar que si las placas conductoras de un condensador se ponen en contacto pierden la carga, por lo que si están muy cerca es necesario colocar entre ellas un aislante. Indicar que una manera de hacer un condensador de área muy grande pero que ocupa muy poco espacio es haciendo un sándwich con dos papeles de aluminio separados y aislados eléctricamente por un papel encerado, y luego enrollándolo como un cigarrillo. Destacar que el aislante que llena el espacio entre las placas del condensador incrementa su capacidad para almacenar energía  $\epsilon$  veces, siendo  $\epsilon$  la constante

dieléctrica del material. Si  $C_0$  es la capacidad de un condensador cuando el espacio entre las placas está vacío, con un dieléctrico entre ellas la capacidad será  $C = \epsilon C_0$ . Analizar el valor de la constante  $\epsilon$  para algunos materiales. Si el tiempo lo permite, será valioso hablar de la estructura interna de estos materiales, y cómo se polarizan por efecto del campo eléctrico que produce la carga en el condensador.

Material	Constante dieléctrica $\epsilon$
vacío	1,00000
Aire (seco)	1,00059
agua	80
papel	3,7
teflón	2,1
porcelana	5,5
vidrio (pyrex)	5,6
vidrio (ventana)	7,6

Ejemplo F

- Calcular la energía almacenada por un condensador utilizando la expresión  $U = \frac{1}{2} CV^2$

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La derivación de la expresión para la energía en un condensador requiere del uso de matemáticas normalmente no disponibles a este nivel. Al presentar la fórmula hacerla, al menos, plausible. Mostrar que sus unidades son de energía y que sus factores son físicamente razonables. Destacar que la energía se puede considerar almacenada en el espacio entre las placas del condensador, en el campo eléctrico que hay allí. Es importante señalar que en numerosos contextos conocer la energía almacenada en un condensador puede ser útil. Ejemplos son el sistema de encendido de los automóviles, las descargas en la atmósfera, etc. Esta actividad es importante pues introduce la noción de energía almacenada en un campo en el vacío, a la vez que ilustra un método de interés tecnológico para almacenar energía.

Si se realizó el Ejemplo B puede ser instructivo calcular la energía almacenada en el condensador en dicho caso.

## (c) Movimiento de cargas en un campo eléctrico

### Detalle de contenidos

#### CARGA LIBRE EN UN CAMPO ELÉCTRICO

Trayectoria de una carga libre en un campo eléctrico homogéneo. Sentido del movimiento de las cargas según el potencial eléctrico.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

Describen el movimiento de cargas dejadas libremente, o lanzadas perpendicularmente a las líneas de fuerzas de un campo uniforme, en términos de su trayectoria y energía.

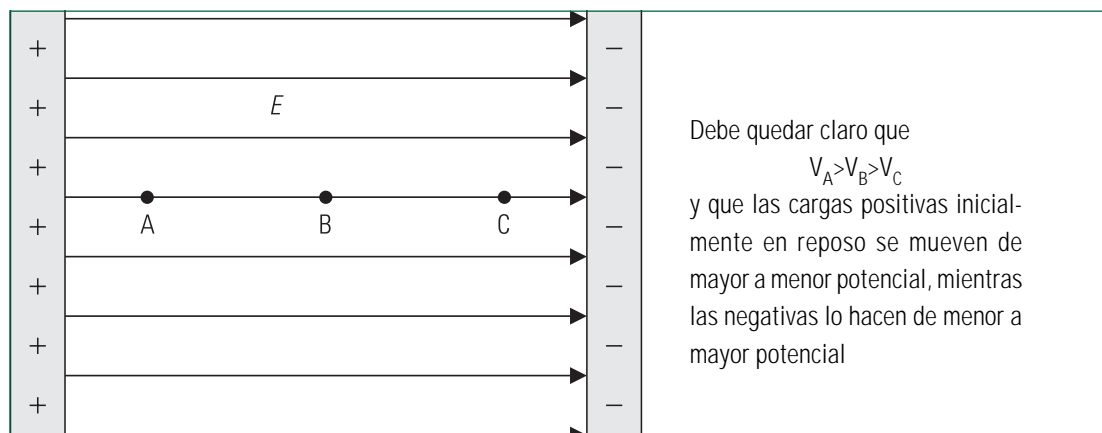
#### Ejemplo A

- Analizan el cambio de potencial eléctrico a lo largo de una línea de fuerza en el interior de un condensador de placas paralelas y determinan la dirección del movimiento de cargas libres de distintos signos en términos del aumento o disminución del potencial eléctrico.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene representar el campo uniforme por líneas de fuerza paralelas (figura. 1.14) sobre una de las cuales se marcan tres puntos A, B y C, promoviendo luego una discusión con el fin de determinar en cuál de estos puntos es mayor el potencial eléctrico.

Fig.1.14



### Ejemplo B

Analizan el movimiento de una carga libre en el campo homogéneo, concluyendo que es uniformemente acelerado. Identifican al electrón volt (eV) como una unidad adecuada para medir la energía de movimiento que adquieren electrones u otras partículas cargadas al desplazarse en un campo eléctrico.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Conducir el razonamiento de los estudiantes a fin de que verifiquen que la fuerza que ejerce el campo homogéneo sobre una carga de prueba es independiente de la posición. Recordarles que al ser la fuerza constante, la aceleración también lo será, de modo que el movimiento que adquiera una carga libre debe ser uniformemente acelerado. Es el momento de relacionar la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo y la energía cinética que adquiere una carga libre inicialmente en reposo al desplazarse entre dichos puntos. La igualdad  $qV = \frac{1}{2}mv^2$  que manifiesta la conservación de la energía permite determinar la velocidad que alcanzará la partícula al atravesar la diferencia de potencial  $V$ . Comparar la situación con el movimiento cercano a la Tierra en el campo gravitatorio. Aprovechar la oportunidad para definir la unidad de energía electrón volt (eV) y su equivalencia con el joule. Esta unidad se usa habitualmente en física atómica y nuclear, y en aplicaciones como la radioterapia en medicina. Al mencionar aplicaciones, siempre ejemplificar con casos que puedan decir algo a los estudiantes en el sentido de serles relevante en su cotidianidad.

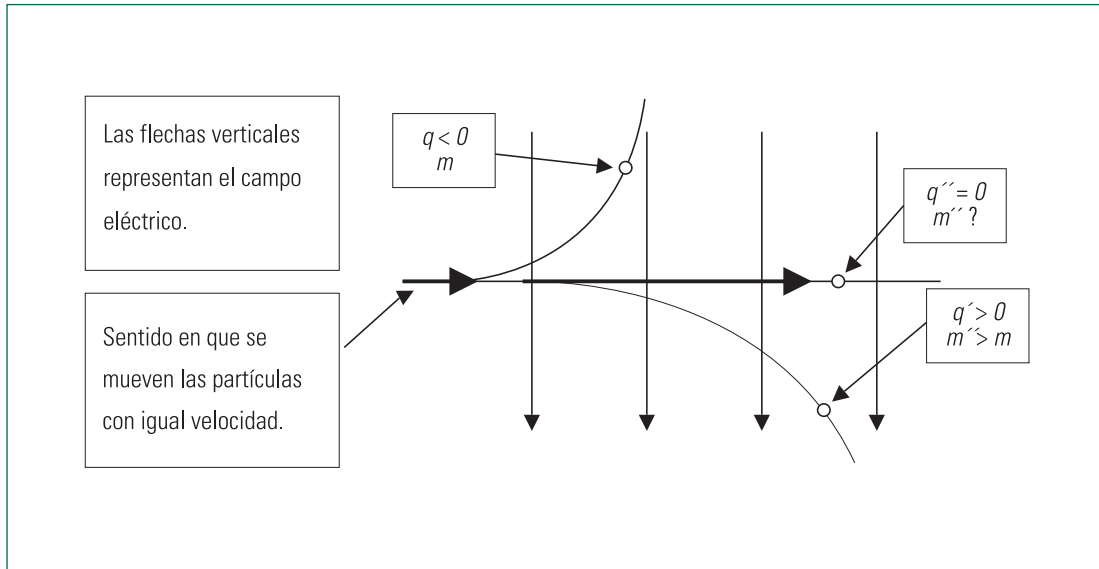
### Ejemplo C

- Después de un análisis de la trayectoria que siguen diferentes partículas lanzadas perpendicularmente a un campo eléctrico uniforme, identifican sus características en cuanto a su velocidad inicial, su carga y su masa.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Presentar un dibujo (figura 1.15) que muestre trayectorias de diferentes partículas. A partir de las desviaciones parabólicas que experimentan es posible que los alumnos y alumnas identifiquen el signo de carga que las componen y, además, las clasifiquen según sus masas.

Fig. 1.15



Conducir a los estudiantes a concluir que las partículas que se desplazan curvándose en el sentido de las líneas de fuerza son positivas, las que no se desvían representan partículas neutras, etc. Igualmente, conducirles a que asocien el grado de curvatura de la trayectoria con la magnitud de la masa. Mencionar que en los monitores de televisión o computación los electrones que llegan a distintos puntos de la pantalla han iniciado su carrera de igual forma, siendo luego desviados por el campo eléctrico oscilante entre dos placas paralelas, como en este ejemplo. Hacer que alumnos y alumnas grafiquen la trayectoria de estos electrones para diversos valores del campo entre las placas.

Destacar también que este procedimiento es adecuado para identificar la carga eléctrica y masa de muestras radiactivas, radiación cósmica, etc.

#### Ejemplo D

- Resuelven una variedad de problemas relativos al movimiento de partículas cargadas en un campo eléctrico uniforme.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Cuidar que los problemas elegidos sean de interés de los alumnos y alumnas, refiriéndose a situaciones relevantes para ellos. Evitar los problemas puramente formales, de sólo aplicación mecánica de fórmulas.

## Ejemplo E

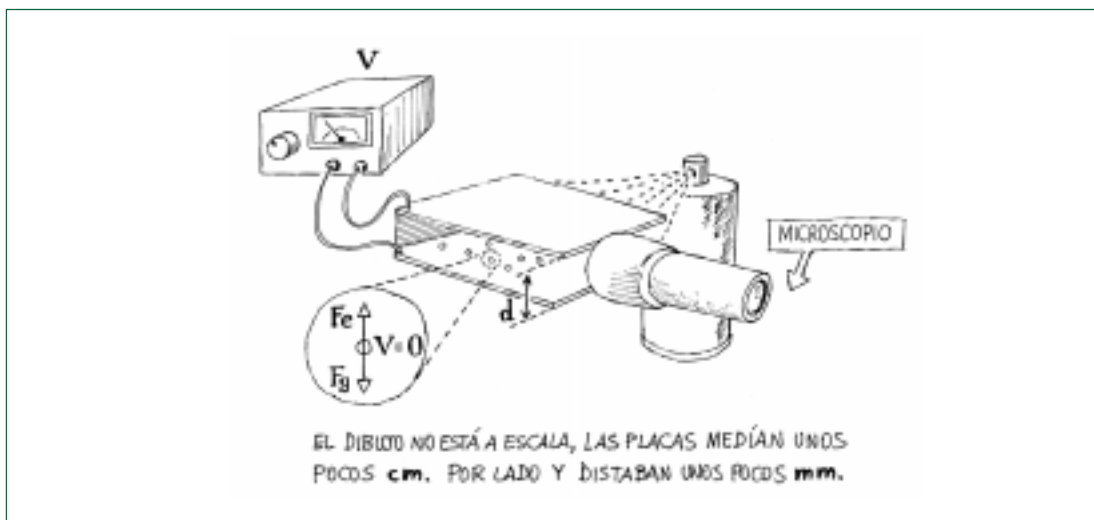
Analizan el experimento de Millikan para determinar la carga elemental del electrón.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Este ejemplo ilustra no sólo el movimiento de cargas sino también el ingenio que ha permitido el desarrollo de la física a través de los tiempos. Es una buena oportunidad para que alumnos y alumnas recopilen información con relación al físico norteamericano Robert Millikan (1868-1963), su célebre experimento de la gotita de aceite y los conceptos y principios físicos involucrados en su trabajo. De éstos, no deben dejar de mencionarse, con un esquema como el de la figura 1.16 al frente, los siguientes:

- 1) gotitas de aceite al ser expulsadas por un spray resultarán tener masa prácticamente idénticas ( $m$ ) y se electrizan (por roce) adquiriendo cargas de valor  $q$ . Quedan sometidas a la gravedad con un peso  $F_g = mg$  que las hará descender en el aire con velocidad constante debido a la viscosidad;
- 2) si lo anterior ocurre en un campo eléctrico uniforme (de magnitud  $E$ ), como el formado entre dos placas horizontales, paralelas y separadas por una distancia  $d$ , entonces, cuando entre ellas exista una diferencia de potencial  $V = Ed$ , la fuerza eléctrica sobre las cargas de las gotitas de aceite será  $F_e = \frac{Vq}{d}$ ;
- 3) se verá a través de un microscopio que algunas gotas quedan en reposo si el peso y la fuerza eléctrica se equilibran. Las restantes ascenderán o descenderán. Sobre las primeras se cumplirá que  $mg = \frac{Vq}{d}$ , entonces se ve que, si se conoce la masa de la gotitas de aceite, medición que Millikan realizó con gran exactitud, el experimento permite medir su carga eléctrica:  $q = \frac{mgd}{V}$ ;
- 4) variando el voltaje  $V$  es posible lograr el equilibrio para diferentes gotas, con diferente carga. Millikan y su equipo realizaron muchas veces estas mediciones y registraron los muchos valores de carga. El posterior análisis de ellos hacía ver que todos los valores obtenidos eran múltiplos de un valor específico y que no existían valores por debajo de  $1,6 \times 10^{-19}$  C. Se había medido la carga del electrón.

Fig. 1.16



---

## (d) Movimiento de cargas en un campo magnético

### Detalle de contenidos

#### CORRIENTE ELÉCTRICA Y SU EFECTO MAGNÉTICO

Intensidad de corriente y su unidad. El experimento de Oersted. Campo magnético generado por una carga en movimiento.

#### CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO MAGNÉTICO

Vector inducción magnética, su módulo, dirección y sentido. Fuerza magnética sobre una carga en movimiento en un campo magnético uniforme.

#### FUERZAS MAGNÉTICAS SOBRE UN CONDUCTOR.

Cálculo de la fuerza magnética sobre un conductor. Aplicaciones tales como el galvanómetro, el motor de corriente continua, el ciclotrón. Fuerza entre conductores que portan corriente.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

---

Detectan, analizan y describen los campos magnéticos generados por corrientes eléctricas, y el efecto de estos campos sobre el movimiento de partículas cargadas.

#### Ejemplo A

- Examinan la definición de la intensidad de corriente eléctrica  $i = \frac{Q}{t}$ , y la utilizan en algunos ejemplos numéricos sencillos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es costumbre asociar la corriente eléctrica a un flujo de electrones en un alambre conductor. Ampliar esta visión a electrones en un gas (tubo de rayos catódicos o de TV), o iones en un líquido. En cálculos utilizar la unidad ampere.

#### Ejemplo B

- Observan la desviación de una aguja magnética puesta en las cercanías de un conductor con corriente continua y dan argumentos para explicarla, vinculándola a la presencia de un campo magnético que se suma al terrestre.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Con una batería seca de nueve volt se puede hacer un circuito por el cual pase la suficiente corriente para que una brújula cambie de dirección. Para obtener el efecto adecuado es recomendable disponer al conductor en paralelo con la aguja magnética de la brújula y en ese momento hacer la conexión a la batería. Destacar que este fenómeno fue descubierto por Hans Christian Oersted (1777-1851) y que por ello este efecto de la corriente lleva su nombre. Importa destacar que el efecto descrito es prueba de la existencia de un campo magnético generado por la corriente eléctrica.

## Ejemplo C

- Discuten acerca del rol de los diversos factores que intervienen en la fuerza de Lorentz  $F = qv_{\perp}B$ , donde  $v_{\perp}$  es la componente perpendicular al campo magnético, de la velocidad de la partícula de carga  $q$ .

## INDICACIONES AL DOCENTE

A pesar de que el campo magnético fue introducido en Primer Año Medio, es conveniente presentarlo nuevamente, con sus unidades, a partir de la fuerza que experimenta una carga eléctrica que se mueve en su presencia. Destacar la necesidad de que la partícula se mueva para que experimente la fuerza, y el hecho especial de que la dirección de la fuerza es perpendicular a la velocidad. Comparar con la fuerza de Coulomb.

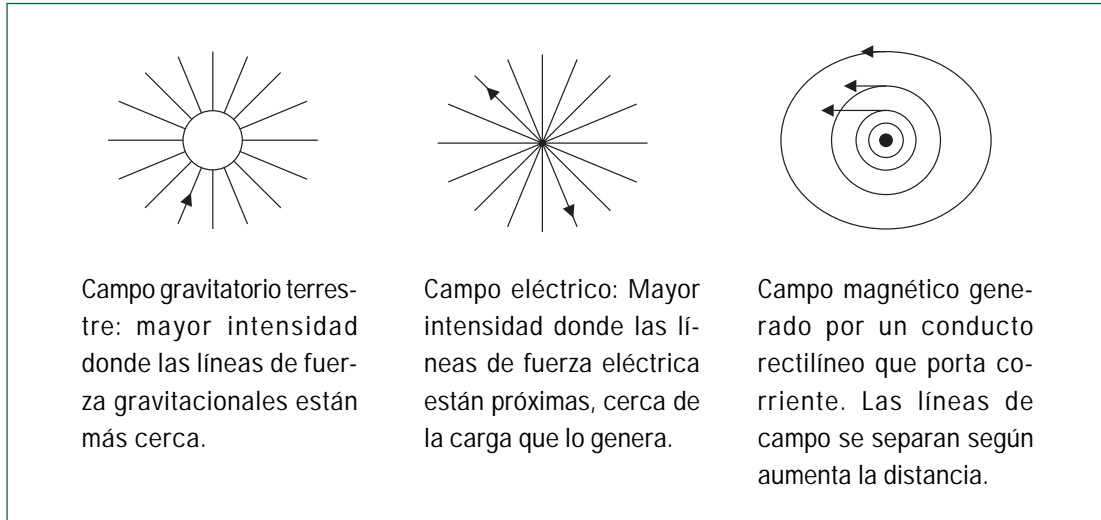
## Ejemplo D

Trazan el diagrama de campo magnético debido a conductores rectos que portan corriente eléctrica, y describen cualitativamente la variación del campo con la distancia al conductor.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Las líneas de fuerzas magnéticas dibujadas a mano alzada pueden ser adecuadas para visualizar el campo. El sentido del campo se puede determinar utilizando la regla de la mano derecha. Recordando a las alumnas y alumnos que una mayor proximidad (densidad) entre las líneas de fuerza en un campo gravitatorio o eléctrico indican mayor magnitud del campo, hacer ver que las circunferencias que muestran las líneas de inducción magnéticas estén más próximas cerca del conductor que lejos de él (figura 1.17). Enfatizar que se trata sólo de una manera pictórica de representar una magnitud física. Esta actividad se presta para introducir el concepto del campo magnético como un vector, y su relación con las líneas de campo.

Fig. 1.17



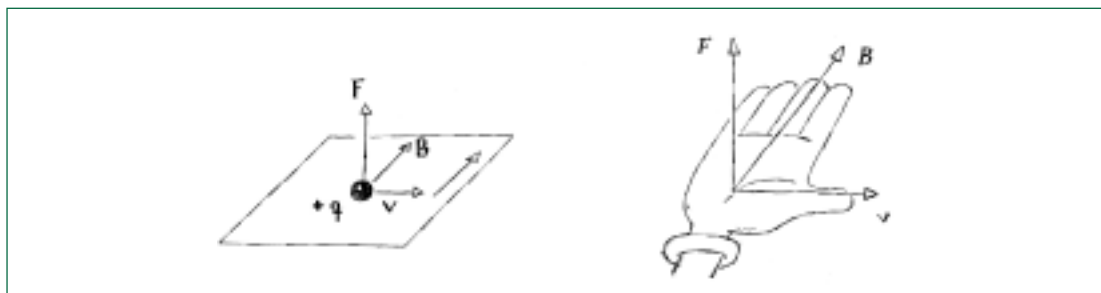
Ejemplo E

- Determinan el valor, dirección y sentido de la fuerza magnética sobre una carga que se mueve en un campo magnético.

INDICACIONES AL DOCENTE

Restringir el cálculo para situaciones en las que la velocidad de la carga y el campo magnético son perpendiculares (figura 1.18) ya que en tal caso, en la expresión  $F = qvB \sin \alpha$ , el  $\sin \alpha$  es igual a 1. La dirección y sentido de la fuerza se pueden determinar por la regla de la palma de la mano derecha.

Fig. 1.18



Ejemplo F

Utilizando una brújula determinan la dirección y sentido del campo magnético en diferentes lugares cercanos a un imán.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Si se usa un imán sobre un papel, ubicando la brújula en diferentes posiciones en la cercanía se pueden estudiar y dibujar los vectores que describen el campo. Notar que éstos tienen la misma dirección que toma la aguja magnética y, su sentido es el que indica su norte. Puede visualizarse el campo magnético usando las clásicas limaduras de hierro (el toner usado de fotocopiadoras e impresoras láser resulta ideal). También sobre un proyector de transparencias la observación puede extenderse a toda la clase, teniendo cuidado de que las limaduras de hierro no penetren en el proyector. De no contar con los elementos indicados se puede realizar la actividad, por ejemplo, con un diagrama que muestre un imán largo y sus líneas de campo. En tal caso los estudiantes pueden dibujar los vectores en la dirección tangente a dichas líneas y su sentido, indicando el norte del imán. Si se dispone de un proyector de transparencias la experiencia la puede hacer el docente a toda la clase. Notar que una brújula es fácil de fabricar frotando una aguja magnetizada por contacto con un imán que atraviesa un pequeño corcho.

## Ejemplo G

- Analizan el movimiento circular de cargas eléctricas en un campo magnético uniforme.

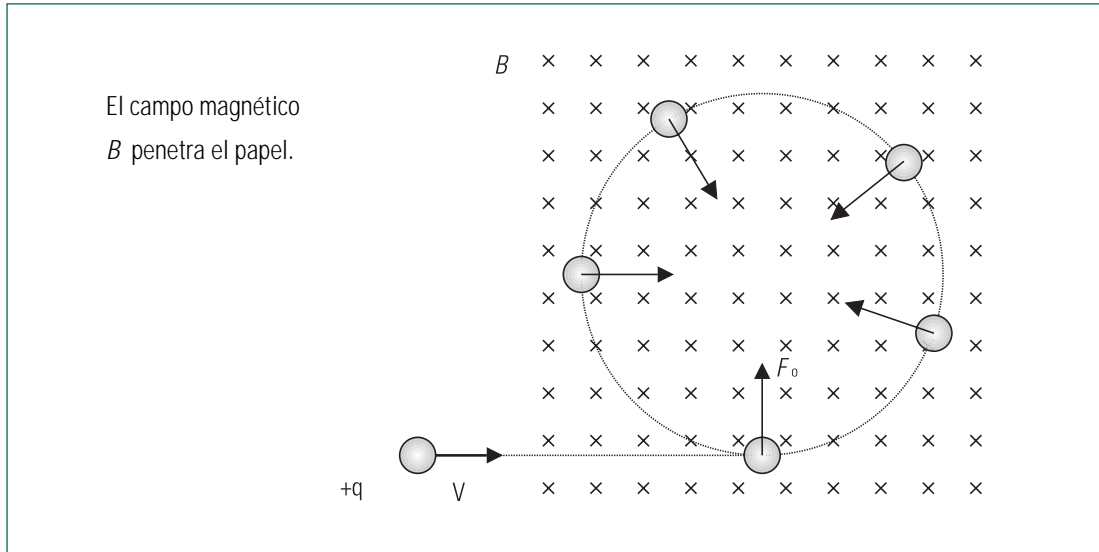
## INDICACIONES AL DOCENTE

Es conveniente iniciar la actividad mostrando las deflexiones que experimenta el haz de electrones al acercarse un imán a un monitor de televisión, osciloscopio, etc. El tema frecuentemente se trabaja con vectores perpendiculares al plano del dibujo, por lo que es conveniente indicar a los alumnos y alumnas que, por convención, la simbología utilizada para representar vectores entrantes a un plano es  $\otimes$ , y salientes a un plano,  $\odot$ . Suponer que una partícula cargada (electrón) ingresa al campo uniforme con su velocidad perpendicular al campo (contenida en la hoja de papel si el campo se supone perpendicular a éste, como en la figura 1.19). Indicar la inusual propiedad de que la fuerza es siempre perpendicular a la trayectoria, por lo que en forma natural el movimiento es circular. Calcular los parámetros del movimiento: radio del círculo y velocidad angular. Destacar y discutir el hecho de que esta fuerza no hace trabajo sobre la partícula y no modifica su energía cinética.

Notar que a partir de  $F = m \frac{v^2}{r}$  y  $F = q v B$ , se puede encontrar una expresión para el cociente  $\frac{q}{m}$ . Esta propiedad es aprovechada en el espectrógrafo de masa que se usa en el análisis químico de sustancias.

Este es el momento adecuado para describir o dar a investigar betatrones y otros tipos de aceleradores de partículas. Muchos libros cuentan con buenas ilustraciones que permiten el análisis de sus funcionamientos, también hay buenas animaciones en enciclopedias en CD-rom y gran cantidad de información en internet.

Fig. 1.19



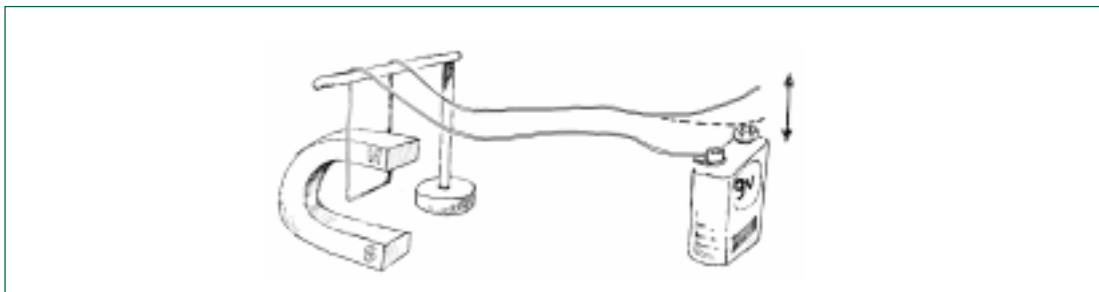
## Ejemplo H

- Observan la fuerza magnética sobre un conductor que porta corriente eléctrica y que se encuentra perpendicular a un campo magnético homogéneo. Analizan y resuelven problemas que involucren su determinación.

## INDICACIONES AL DOCENTE

La experiencia se puede mostrar utilizando un cable delgado de bobina por el cual pasa una corriente suficientemente intensa como, por ejemplo, la que produce una batería seca de 9 volt. Al acercar un imán de herradura el conductor se desvía. También, al conectar y desconectar la corriente como se ilustra en la figura 1.20, el conductor empieza a oscilar. Es conveniente promover una discusión que permita, por ejemplo, determinar el sentido del campo magnético o de la corriente utilizando la regla de la palma de la mano derecha. Se recomienda, a partir de la fuerza de Lorentz, deducir la expresión  $F = i l B \sin \alpha$  que permite determinar el valor de la fuerza magnética sobre el conductor. Si el uso de funciones trigonométricas ensombrece la exposición, se puede suponer  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  ( $\sin \alpha = 1$ ).

Fig. 1.20



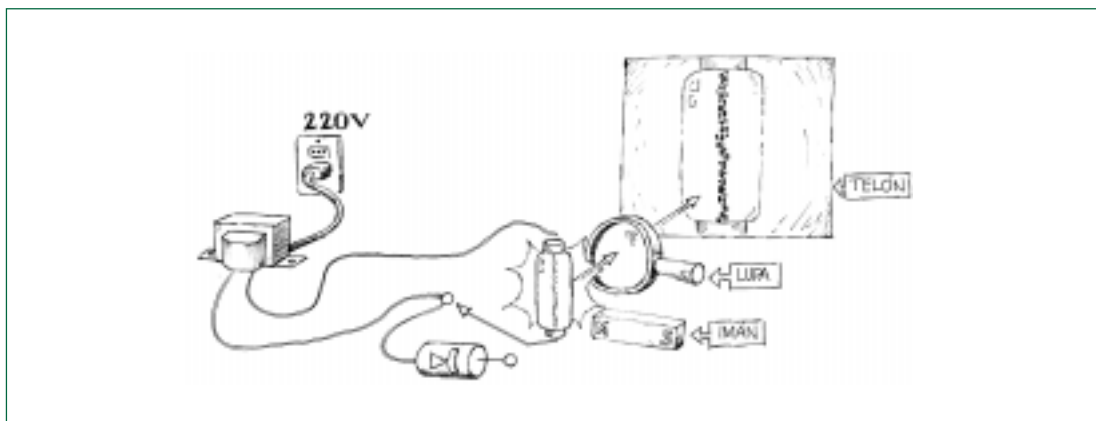
## Ejemplo I

- Observan la fuerza sobre un conductor que porta corriente eléctrica (continua y alterna) y que se encuentra en un campo magnético.

## INDICACIONES AL DOCENTE

La figura 1.21 ilustra una manera de realizar esta experiencia en forma demostrativa. Se requiere una ampollita pequeña en que el filamento esté cerca del vidrio. Son apropiadas las de refrigerador (para 220 volts) o, mejor aún, las tipo fusible que usan vehículos motorizados (para 12 volts) debido a que tienen un filamento lineal. Estas últimas se pueden hacer funcionar con un transformador para timbre (220 V  $\rightarrow$  10 V, 5 watts). Si con una lupa proyectamos el filamento de la ampollita en un telón situado a dos o tres metros de distancia, todos los estudiantes podrán apreciar las vibraciones del filamento cuando se le acerca un imán. Si en el circuito se intercala un diodo rectificador, se podrá apreciar la distinta desviación que experimenta el filamento al aproximar uno u otro polo del imán.

Fig. 1.21



## Ejemplo J

Observan y explican el funcionamiento de un motor de corriente continua y de un galvanómetro.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Preferentemente mostrar un motor eléctrico funcionando y otro desarmado para analizar sus partes. Desafiar a los estudiantes a identificar las partes del motor y explicar los principios físicos involucrados en el sistema. De no contar con los motores, es conveniente acompañar dibujos que lo muestren y que permitan realizar la actividad anterior. Mostrar mediante esquemas que el galvanómetro funciona sobre la base del mismo principio. Incentivar a las alumnas y alumnos a construir motores eléctricos de corriente continua que permitan realizar trabajo, utilizándolos por ejemplo como ventilador, grúa, etc.

En enciclopedias en CD-rom hay muy buenas animaciones que ilustran el funcionamiento de motores. Resulta ilustrativo desafiar a los estudiantes a confeccionar un motor o galvanómetro que

funcione, y esté constituido solamente por un imán, plumavit o corcho (para servir de base), un par de metros de alambre barnizado (para la bobina) y unos cuantos alfileres y clips.

Puede ser el momento adecuado para hacerles reflexionar acerca de las ventajas del motor eléctrico sobre los de combustión interna en el transporte terrestre, haciendo notar que constituyen una posible solución al problema de contaminación del aire en las grandes ciudades.

#### Ejemplo K

- Trazan diagramas del campo magnético en la inmediación de dos corrientes paralelas y analizan las fuerzas que se producen entre los conductores que las portan.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Mostrar experimentalmente la atracción o repulsión de cables portadores de corrientes. Dos cables flexibles gruesos (pero livianos) y una batería de automóvil es todo lo que se requiere para realizar esta actividad (figura 1.22) en forma demostrativa a toda la clase. Conviene mostrar gráficamente la interacción dibujando los cables que conducen la corriente entrante o saliente al plano (por ejemplo, figura 1.23) con los respectivos campos y sus interacciones magnéticas. Analizar cuidadosamente los casos de atracción y repulsión según el sentido de las corrientes. Por la forma que tiene la fuerza magnética es fácil confundirse cuando se quiere predecir si los alambres se juntarán o separarán para determinada dirección de flujo relativo de las corrientes. Es ilustrativo, sin embargo, discutirlo y desafiar a los estudiantes a hacer la predicción. Es un típico ejemplo en que la clase estará dividida si todos opinan.

Fig.1.22

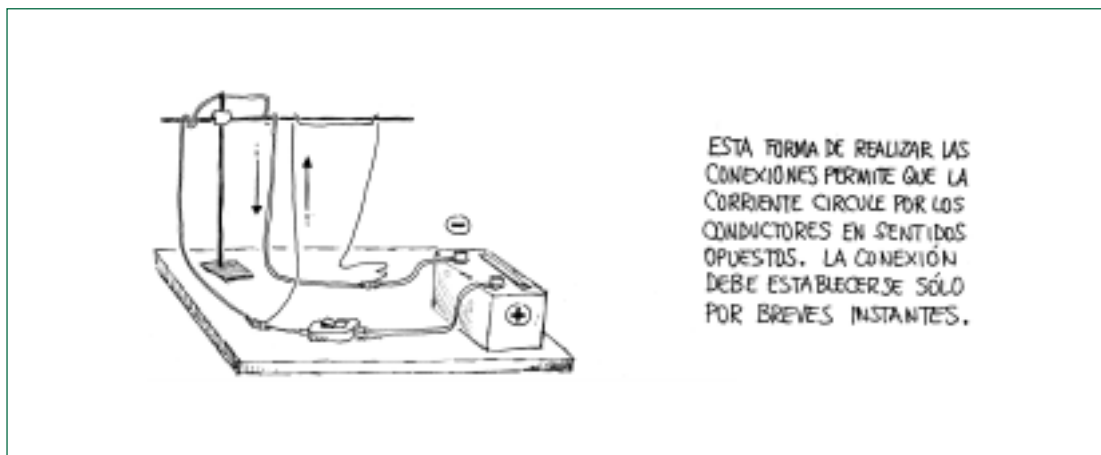
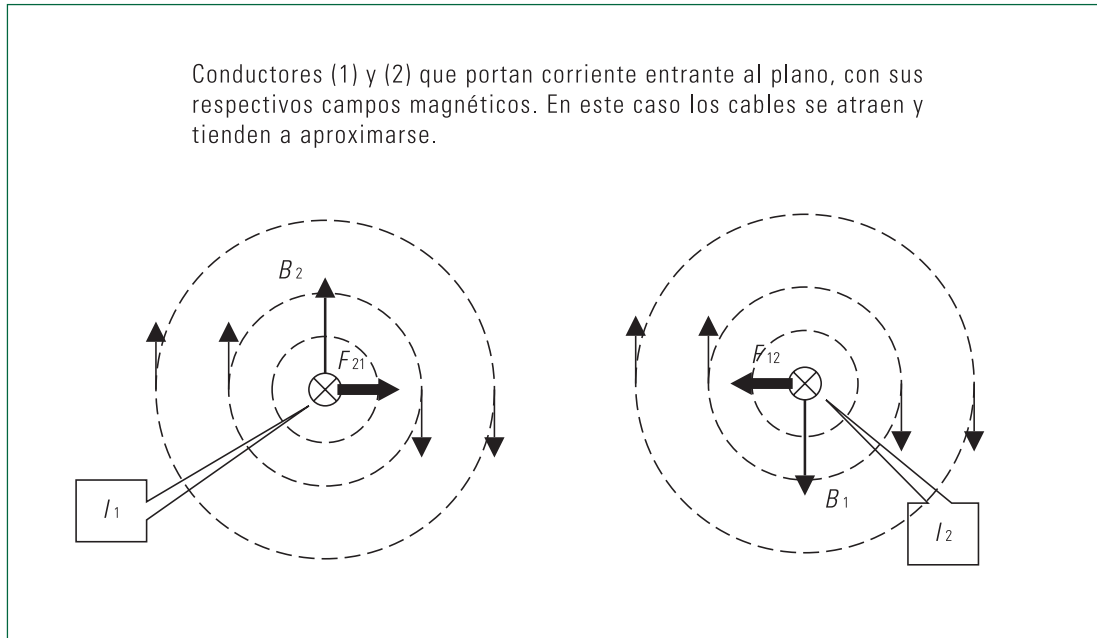


Fig. 1.23



## Ejemplo L

Resuelven problemas de tipo conceptual, relacionados con campos magnéticos y cargas en movimiento o en reposo, aplicando principios inherentes a las interacciones electromagnéticas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene desarrollar esta actividad en clase como un taller de trabajo grupal, o a través de guías con preguntas y problemas de tarea. Ejemplos como los siguientes pueden ser adecuados.

- Dos conductores paralelos portan corriente continua y se repelen con cierta fuerza. ¿Qué se puede afirmar del sentido de la corriente en dichos conductores? ¿De qué factores depende la magnitud de la fuerza que se produce entre ellos? Justifique su respuesta.
- Analizar el porqué no se observan atracciones o repulsiones entre los conductores prácticamente paralelos que conducen la corriente eléctrica a lo largo de los postes de alumbrado público. ¿No se producen en lo absoluto? o ¿son muy pequeñas para que las podamos apreciar? Justifique su respuesta.
- Estudiar el movimiento de una partícula cargada sobre un plano, en presencia de un campo magnético perpendicular al plano y un campo eléctrico contenido en el plano. Demostrar que existe una velocidad para la cual la fuerza neta que actúa sobre la carga en movimiento es nula (experimento de Hall, usado en laboratorios para distinguir el signo de la carga de los portadores de corriente).

## 2. Circuitos de corriente alterna

### (a) Carga y descarga de un condensador

#### Detalle de contenidos

##### CIRCUITO SIMPLE DE CORRIENTE CONTINUA

Circuito de corriente constante en el tiempo (corriente estacionaria). Comportamiento de una resistencia y de un condensador en tales circuitos.

##### PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE UN CONDENSADOR

Comportamiento temporal de la corriente al cerrar o abrir un circuito RC. Fenómenos transientes.

#### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

##### Actividad

Determinan experimentalmente la curva de carga o descarga de un condensador a través de una resistencia y verifican que el tiempo característico que tarda el proceso depende del producto entre el valor de la resistencia y la capacidad del condensador (RC).

##### Ejemplo A

Construyen un circuito simple formado por una fuente de corriente continua (pila o batería), resistencia, interruptor y los cables para unirlos, y analizan la función que cumple cada uno de esos componentes.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

El propósito de esta actividad es repasar materia de Primer Año Medio ya que es posible que los alumnos o alumnas no lo recuerden. En tal caso, explicar la función de cada uno de los componentes señalados, enfatizando que es la resistencia la que limita el paso de la corriente eléctrica. Mencionar que los cables tienen resistencia, así como la fuente de poder. Recordar que al conectar estos elementos en serie el voltaje es directamente proporcional a la intensidad de corriente y que la constante de proporcionalidad es la resistencia expresada en ohm. Hacer notar que en este circuito de corriente continua la intensidad permanece constante.

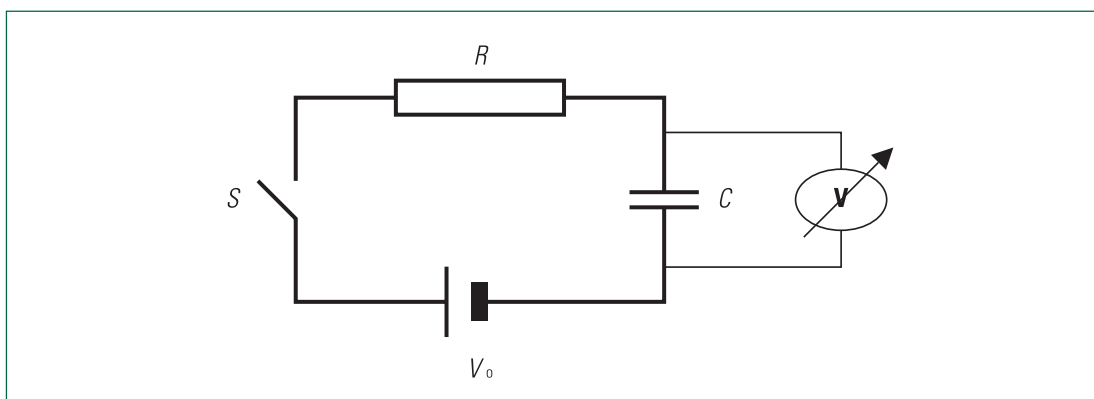
## Ejemplo B

Observan y analizan las características de la corriente en un circuito RC conectado a una fuente de corriente continua.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es conveniente mostrar este circuito que, con frecuencia, se encuentra en los aparatos eléctricos (figura 1.24). Al cerrar el interruptor  $S$ , se puede observar que el voltímetro marca un aumento rápido del voltaje del condensador, pero esa rapidez decrece con el tiempo. Interesa que a los estudiantes les quede claro que el movimiento de las cargas que salen (por un polo) de la batería o entran a ella (por el otro polo) tienen como efecto neto el que las placas del condensador adquieren carga de signos opuestos. Recordar que la carga máxima que puede aceptar el capacitor depende de su capacidad y del voltaje de la fuente ( $V_0$ ), según la relación  $Q = C V_0$

Fig. 1.24



## Ejemplo C

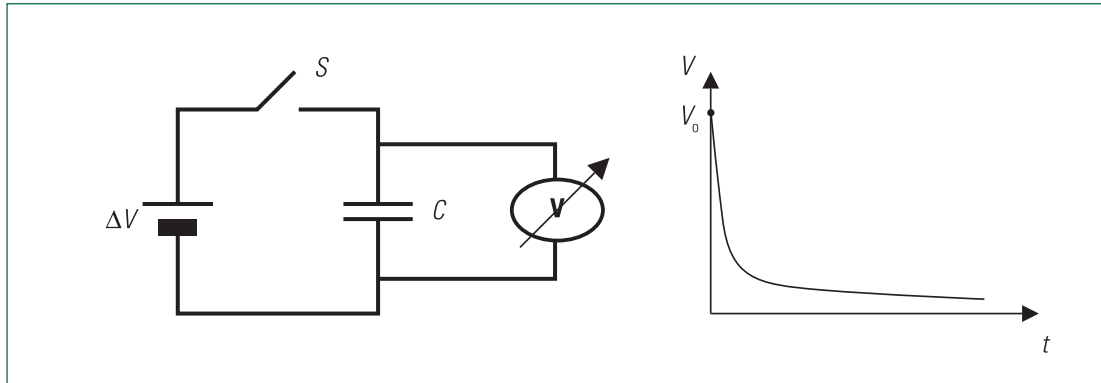
- Realizan un experimento para investigar el proceso de descarga o carga de un condensador y presentan un informe escrito de su trabajo.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Un circuito adecuado debe tener una resistencia muy grande para que el proceso de descarga o carga sea lo suficientemente lento, de modo de permitir mediciones en forma sencilla. Un condensador de unos 100 a 200 microfaradios y una resistencia de unos 50.000 a 100.000 ohm son adecuadas.

Una forma práctica de implementar el experimento es usando la resistencia interna del voltímetro (figura 1.25) En este caso, una vez cerrado el circuito el condensador se carga casi instantáneamente pues las resistencias que limitan la corriente son muy pequeñas (sólo la de los cables e interna de la fuente). Para descargarlo a través del resistor del voltímetro basta con abrir el circuito con el interruptor  $S$ . Incentivar a los estudiantes a organizarse para lograr hacer un trabajo eficiente y sincronizado. La gráfica  $V(t)$  de la descarga puede ser identificada como una curva exponencial.

Fig. 1.25



Utilizar los datos obtenidos por los grupos de trabajo para mostrar que el producto  $RC$  equivale al tiempo transcurrido hasta que las placas del condensador lleguen a un voltaje aproximadamente igual al 37% del inicial. Orientar a alumnos y alumnas a comprobar que el producto  $RC$ , llamado constante de tiempo del circuito, tiene dimensiones de tiempo (segundo). La manera más práctica de obtener esta constante es usando un papel semilog para graficar los datos, y luego obtener la pendiente de la curva  $\log V$  como función del tiempo.

Si es oportuno, presentar la ecuación  $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$  que da cuenta de la descarga del condensador. El circuito de la actividad anterior (B) permite realizar el experimento de carga del condensador. Si no es posible que los estudiantes hagan esta experiencia, se recomienda que la realice el docente en forma demostrativa.

#### Ejemplo D

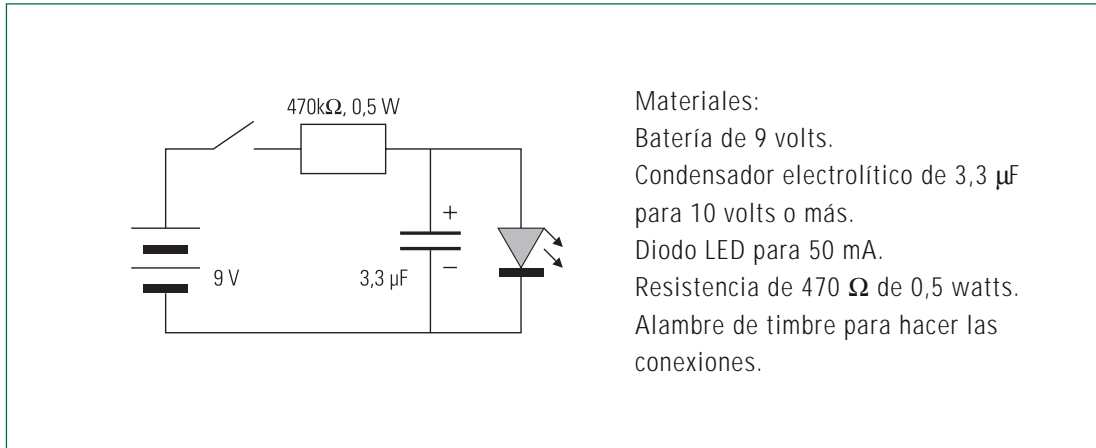
Construyen y analizan el funcionamiento del circuito ilustrado en la figura 1.26.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Este circuito, simple de armar y de bajo costo, muestra cualitativamente el proceso de carga de un condensador a través de una resistencia. El montaje es para que los estudiantes observen y luego analicen el retardo que experimenta el encendido del LED desde que se conecta el circuito, comparando lo que ocurre cuando el condensador está en el circuito y cuando no lo está. Notar que al cerrar el interruptor aumenta el voltaje y la luminosidad del LED se incrementa. Recordar que inicialmente no hay diferencia de potencial entre los contactos del LED, y que ésta se genera a partir del momento en que se cierra el interruptor en un tiempo del orden del producto  $RC = 1,55$  s.

Analizar con alumnos y alumnas las similitudes y diferencias entre cargar un condensador y llenar un recipiente con agua usando una manguera. La tubería podría considerarse análoga a la resistencia. Cuanto más grande es su diámetro más baja es la resistencia al flujo de agua y más rápidamente se llena el recipiente. Similarmente, cuanto más pequeña es la resistencia más rápidamente se carga el condensador. Una diferencia importante es que el recipiente se llena a una tasa (velocidad) continua, mientras la cantidad de carga que entra al condensador disminuye con el tiempo.

Fig. 1.26



Materiales:  
Batería de 9 volts.  
Condensador electrolítico de  $3,3 \mu F$   
para 10 volts o más.  
Diodo LED para 50 mA.  
Resistencia de  $470 \Omega$  de 0,5 watts.  
Alambre de timbre para hacer las  
conexiones.

#### Ejemplo E

Dibujan gráficos de secuencia carga y descarga de un circuito RC e investigan algunas de sus aplicaciones.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La carga o descarga de un circuito RC puede utilizarse para producir pulsos de corriente o voltajes con una frecuencia regular. Una de las aplicaciones interesantes de estudiar es el circuito RC acoplado a un tubo de neón. El mismo principio se puede encontrar en los marcapasos cardíacos etc.

## (b) Inducción electromagnética

### Detalle de contenidos

#### FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA

Métodos para generar fuerza electromotriz inducida. Concepto y cálculo del flujo magnético. Leyes de Faraday y Lenz. Aplicaciones: el transformador y el generador de corriente alterna.

#### INDUCTANCIA

Descripción cualitativa y cuantitativa de la inductancia en una bobina.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

**Analizan diferentes formas de producir fuerza electromotriz inducida, aplican la ley de Faraday para calcularla y la ley Lenz para determinar el sentido de la corriente que se produce.**

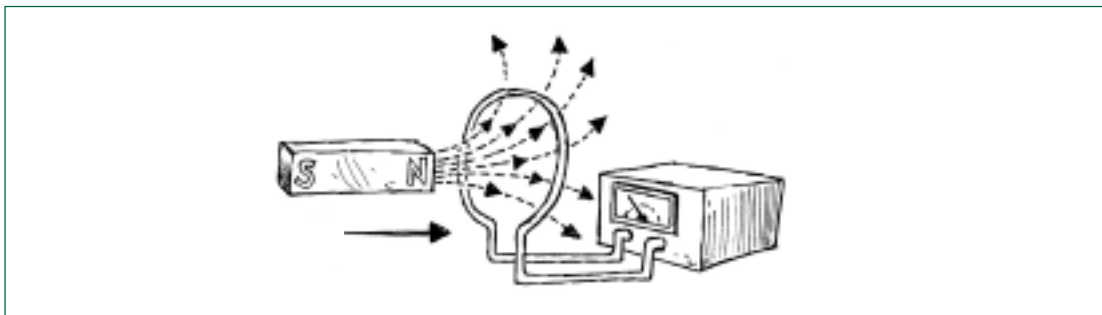
#### Ejemplo A

- Discuten y dan argumentos para explicar los efectos que se observan en un galvanómetro conectado a una espira, al acercar y alejar de esta última un imán. Figura 1.27.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Iniciar este tema con una demostración experimental como la que se sugiere en la figura 1.27. Además de una espira utilizar una bobina, la cual se puede construir enrollando alambre para embobinado en un cilindro de PVC o cartón (ver Anexo C). De no contar con galvanómetro de cero central, utilizar un tester analógico en la escala más pequeña de intensidad de corriente o voltaje (en este caso sólo se podrá observar la deflexión de la aguja en un solo sentido).

Fig. 1.27



Dirigir la discusión de modo que las alumnas y alumnos entiendan que es el movimiento relativo del imán respecto a la bobina lo que origina la corriente inducida. La actividad puede servir para motivar e introducir el concepto de flujo magnético y su variación en el tiempo. Aclarar que las pilas, baterías, dinamos, etc. se denominan fuentes de fuerza electromotriz (fem) y son capaces de realizar trabajo sobre las cargas eléctricas que pasan a través de ellos. Señalar que el valor de la fuerza electromotriz corresponde al trabajo realizado por unidad de carga ( $\varepsilon = \frac{W}{q}$ ) y su unidad es el volt, de modo que no es una fuerza en el sentido ordinario, como podría hacer pensar su nombre.

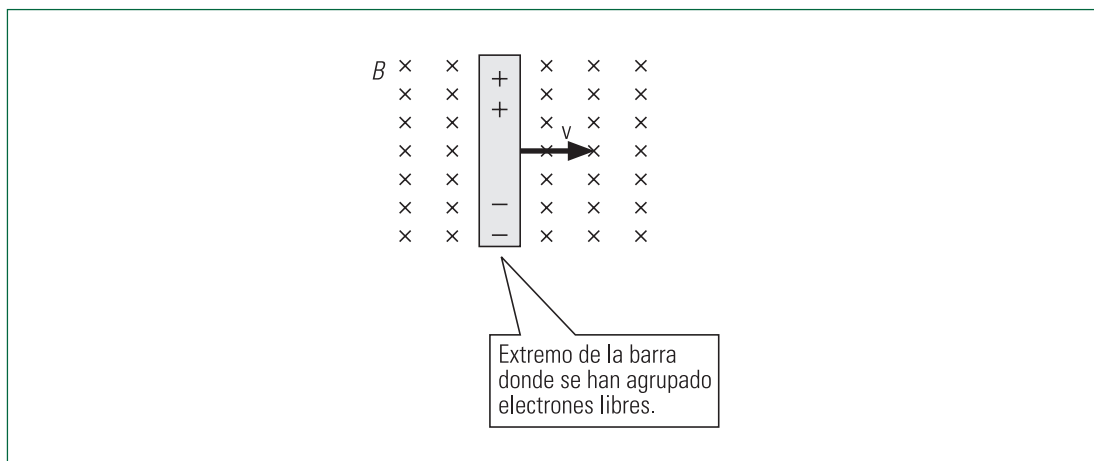
#### Ejemplo B

Describen e intentan explicar la separación que experimentan las cargas en una barra conductora que se mueve dentro de un campo magnético, y analizan las consecuencias.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se recomienda presentar la situación con ayuda de un dibujo (figura 1.28). El rectángulo representa una barra metálica que se mueve perpendicularmente a un campo magnético entrante. Aplicando la regla de la palma de la mano derecha, los estudiantes pueden determinar la dirección de la fuerza magnética que actúa sobre los electrones libres del metal. Deben demostrar que en la parte inferior de la barra se agrupan carga negativas y, por lo tanto en la superior existirá un exceso de carga positiva. Destacar que la separación de las cargas que se produce mientras la barra se mueve, crea una diferencia de potencial entre sus extremos convirtiéndola en una especie de pila eléctrica.

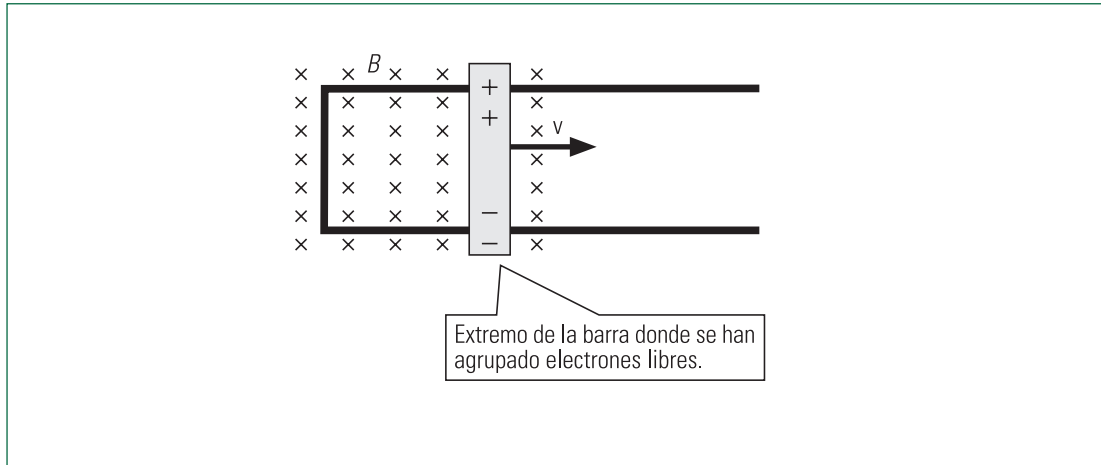
Fig. 1.28



Generar una discusión para analizar lo que ocurre si:

- la barra ahora se mueve hacia la izquierda;
- la barra oscila moviéndose sucesivamente hacia la derecha y la izquierda;
- la barra se mueve deslizando sobre un cable conductor como lo indica la figura 1.29. En este caso, referirse al cambio de flujo magnético a través de la superficie que encierra el circuito rectangular del cable en U, y la barra que se desliza.

Fig. 1.29



## Ejemplo C

- Analizan los factores de que depende el flujo magnético que atraviesa una espira y determinan su valor en situaciones diversas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

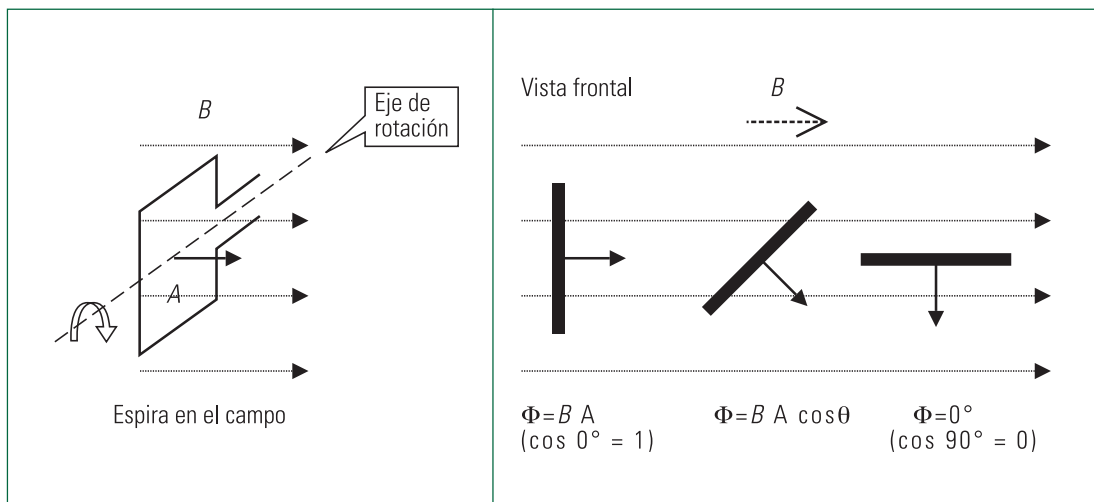
El concepto se puede introducir haciendo la analogía con la cantidad de luz que incide sobre una hoja de papel que se encuentra cerca de una ampollita. Se puede mostrar a los alumnos y alumnas que la cantidad de luz que puede atravesar por él depende de:

- La distancia a que se encuentre el papel de la ampollita (la intensidad de luz es mayor cuando se está más cerca de la fuente luminosa, o sea hay mayor densidad de fotones incidentes).
- El área del papel. Si se dobla por la mitad, el flujo luminoso disminuye a la mitad.
- El ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de los rayos luminosos.

En el caso de una espira rectangular de área  $A$  que se halle dentro de un campo magnético ( $B$ ) utilizar para el flujo ( $\Phi$ ) la expresión  $\Phi = BA \cos \theta$  y la unidad weber, establecida en honor al físico alemán Wilhelm Weber (1804-1891).

También se puede hacer una analogía con la cantidad de lluvia que intercepta un paraguas plano en orientaciones diversas. Para referirse al flujo magnético puede utilizarse una espira como la de la figura 1.30.

Fig. 1.30



## Ejemplo D

- Relacionan la fuerza electromotriz generada en una bobina con la rapidez de la variación del flujo magnético a través de ella y aplican la ley de Faraday para calcularla.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Utilizando el montaje del Ejemplo A se puede mostrar que el galvanómetro marca un mayor valor cuando la velocidad relativa entre el imán y a la bobina se incrementa. Lo mismo ocurre si el número de espiras de la bobina aumenta o si se introduce en su interior una barra de hierro. Señalar que después de innumerables experimentos, Faraday llegó a la conclusión que la fuerza electromotriz e inducida en los extremos de la bobina es directamente proporcional al número de espiras  $N$  y a la rapidez de cambio del flujo, lo que se puede expresar matemáticamente como:  $\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ .

Explicar que el signo menos indica convencionalmente la polaridad de la fuerza electromotriz inducida.

## Ejemplo E

- Aplican la ley de Lenz para determinar el sentido de la corriente inducida y la polaridad de la fuerza electromotriz inducida.

## INDICACIONES AL DOCENTE

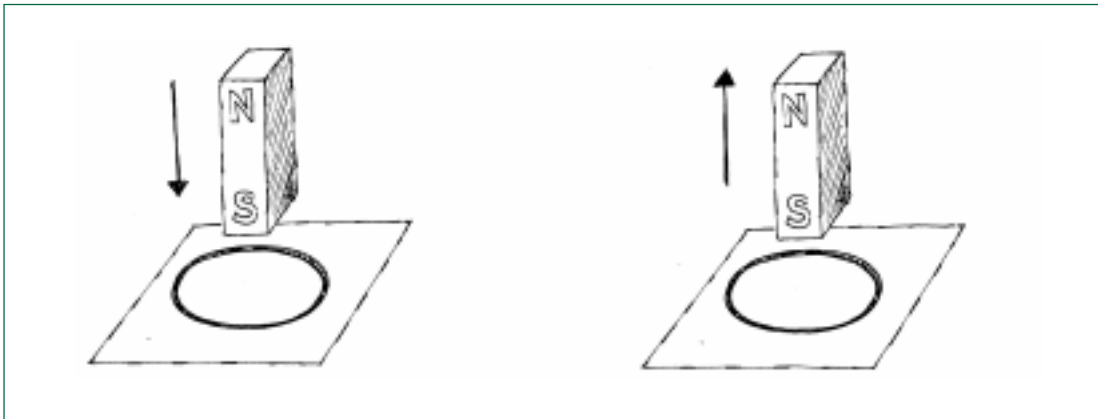
Debido quizás a su carácter sólo cualitativo, esta ley genera una gran confusión. Recomendamos ser cuidadoso en su formulación y discutir el enunciado por partes para hacer un análisis de su significado. Un enunciado posible es: “La fem inducida produce una corriente cuyo sentido es tal que el campo magnético que genera se opone a la variación del flujo magnético que atraviesa al circuito”. Es muy importante que alumnas y alumnos se den cuenta que en este enunciado se mencionan dos campos magnéticos:

- el “externo”, que varía en el tiempo y produce una fem y una corriente inducida en el circuito, y
- el “interno” que produce la corriente inducida en el conductor (efecto Oersted).

Por otro lado, la oposición a la variación del flujo magnético se refiere a que el campo producido por la corriente inducida, que puede determinarse por la regla de la mano derecha, tiende a impedir que el flujo a través del circuito aumente o disminuya, según el caso.

Pedir a los estudiantes que determinen el sentido (horario o antihorario) de la corriente inducida en la espira circular de la figura 1.31 al desplazar el imán, permite evaluar la efectividad del aprendizaje.

Fig. 1.31



#### Ejemplo F

- Comparan cómo cae un imán dentro de un tubo de PVC y dentro de un tubo metálico del mismo diámetro y longitud. Explican la diferencia que se observa en la caída del imán por ambos tubos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia se hace con un pequeño imán, preferentemente de forma cilíndrica y que entre holgadamente en un tubo de PVC u otro plástico, y uno metálico de aluminio o cobre. Al dejarlos caer por su interior, se observa que en el tubo de metal el movimiento es notoriamente más lento. La explicación es simple: al descender el imán por un tubo conductor, genera una corriente eléctrica en éste (tal como si fuera una bobina), la que a su vez produce un campo magnético opuesto al movimiento del imán, frenándolo. Cada joven debe realizar personalmente la experiencia. Si se posee un solo imán, habrá que hacerlo circular junto a los dos tubos por todo el curso.

#### Ejemplo G

Describen los componentes de un generador de corriente alterna, explican su funcionamiento y las características de la diferencia de potencial que genera en función del tiempo.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Este tema se presta para un trabajo bibliográfico. Basta que los estudiantes traten el generador simple de corriente alterna como la rotación de una espira en un campo magnético. Es importante que se den cuenta de la inversión de la polaridad del voltaje y la corriente cada medio ciclo y que puedan ilustrar esos cambios mediante gráficos  $V(t)$ . Si se supone al generador integrado en un circuito con una resistencia  $R$  se puede también graficar y analizar la corriente  $i(t) = \frac{V(t)}{R}$ . Si se dispone de una reproducción de los gráficos  $V(t)$  ó  $i(t)$ , de su análisis mostrar que la corriente alterna es oscilante y que su frecuencia  $f$  está determinada por el giro de la espira. Indicar y explicar la expresión de la fem instantánea:  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_o \text{sen}(2\pi f t)$ . Instar a las alumnas y los alumnos a construir un generador utilizando como base un motor eléctrico (juguetes de pila). Hacer notar que si se hace “funcionar al revés”, en el sentido que su eje se hace girar con la mano, se produce una fem en el enchufe.

## Ejemplo H

- Utilizan y describen el funcionamiento de un detector de fase.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es posible que los alumnos y alumnas por su cuenta se vean tentados a realizar experimentos en que esté involucrada la red eléctrica domiciliaria. Junto con explicarles los peligros que ello implica, es recomendable darles a conocer las herramientas de seguridad que existen al respecto. El detector de fase, por lo general con aspecto de destornillador de bolsillo (figura 1.32), es un buen ejemplo. La descripción del probador es simple. Conviene que los alumnos y las alumnas lo desarmen y así aprecien que se trata de una pequeña luz de neón y una gran resistencia de carbón conectadas en serie. La función de esta resistencia es limitar el paso de la corriente para que cuando circule por nuestro cuerpo no nos dañe, ni siquiera la sintamos.

Hacer que los estudiantes detecten con el probador en un enchufe de red el contacto, que es peligroso. Luego de introducir cuidadosamente el probador en uno de los agujeros del enchufe, tocar y soltar el del extremo del mango del probador, verificando que la neón se prende y apaga respectivamente. Instarlos a formular hipótesis para explicar este hecho y a verificarlas. Al alumnado esto no le resulta fácil debido a que no ve dónde se cierra el circuito y no siente que pase corriente por él. No se siente parte de un circuito. Como se ilustra en la figura 1.32, si se conecta un cable aislado de un par de metros a la fase y al detector, y el docente salta con él en la mano, los alumnos y alumnas apreciarán que mientras el profesor vuela la neón permanece apagada y se enciende cuando el circuito se cierra a través de la persona, zapatos, etc, y el suelo. Esto les hace realmente comprender por qué los pájaros no se electrocutan al posarse en los cables de los postes de alumbrado público. Recalcar el peligro de realizar estas demostraciones en la red de 220 V.

Fig. 1.32

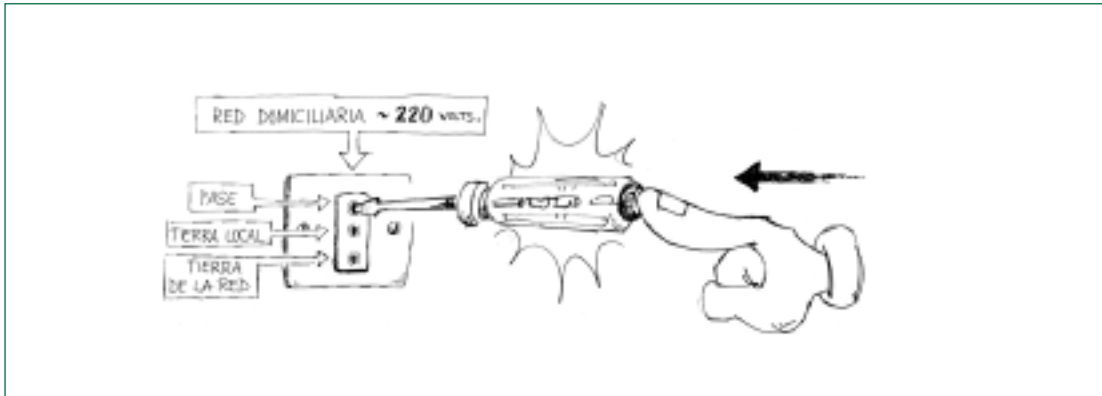
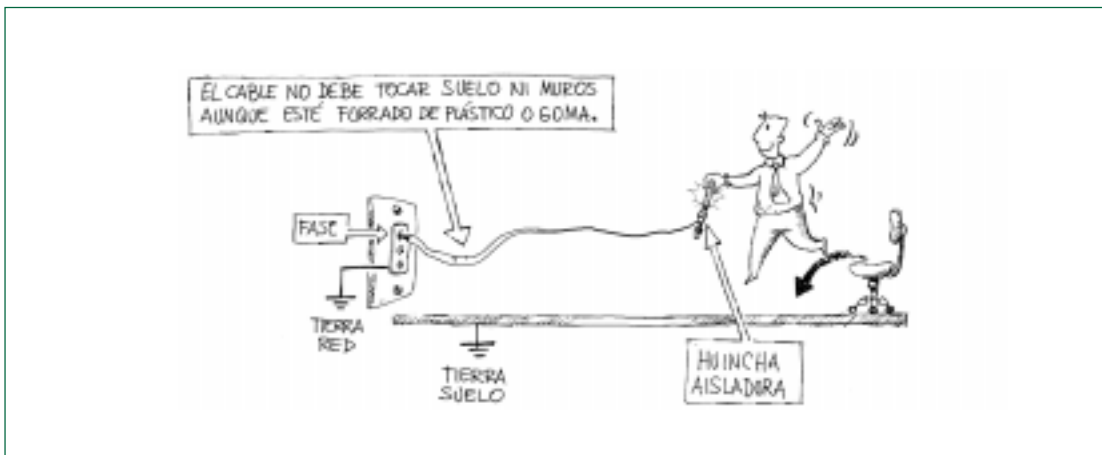


Fig. 1.33



## Ejemplo I

Señalan aparatos eléctricos domiciliarios que poseen transformadores reductores y elevadores de voltaje, describen su funcionamiento y explican la transmisión de potencia de la red de corriente alterna al aparato.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad permitirá relacionar lo aprendido con la experiencia cotidiana. Hacer notar que no todos los aparatos domésticos pueden funcionar con el voltaje de la red domiciliaria (220 V) por lo que se debe utilizar transformadores elevadores (como en el caso de los tubos de las pantallas de televisores) o reductores (como en el caso de teléfonos inalámbricos). Desarmar y estudiar los componentes de un transformador en desuso puede ser motivador para los alumnos y alumnas. Aplicar la relación entre los voltajes y corrientes del primario y secundario para cálculos.

Comentar la utilidad de los transformadores en diversos aparatos y en la transmisión de energía eléctrica por distancias grandes (líneas de alta tensión).

### Ejemplo J

Arman un transformador de experimentación con un par bobinas y un núcleo laminado. Aplican una corriente alterna al primario y verifican el voltaje de salida por medio de un multitester.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

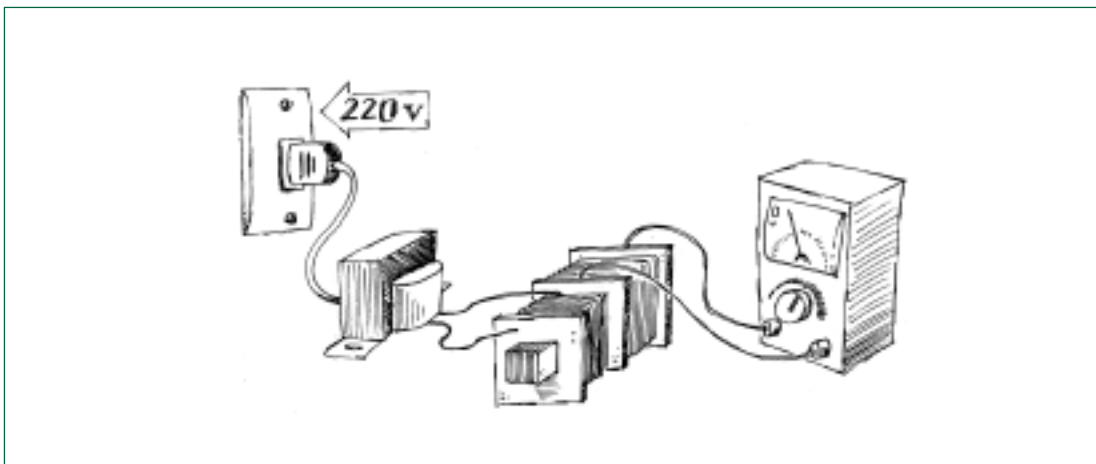
En el anexo el Anexo C, se muestra una manera de construir bobinas y transformadores artesanales. Como fuente de corriente alterna se puede emplear un transformador para timbre (220 volts a 10 volts, 5 watts) bien aislado en el primario. Midiendo los voltajes de entrada y salida, los estudiantes podrán comprobar:

- la efectividad del núcleo de hierro laminado, abierto y cerrado;
- la proporcionalidad entre los voltajes y el número de vueltas de las bobinas;
- el incremento y la reducción del voltaje según si el secundario posee más o menos vueltas que el primario.

La figura 1.34 ilustra uno de los montajes posibles para esta actividad. Se recomienda que alumnos y alumnas trabajen en grupos mixtos, que tomen las medidas de seguridad pertinentes aislando adecuadamente las zonas de peligro, y cuidando que todos tengan un rol protagónico en el desarrollo de la experiencia.

El profesor o profesora deberá explicar cómo se usa el multitester: La posición de la llave seleccionadora de instrumentos y rangos de escala, la lectura que indica el instrumento, etc.

Fig. 1.34



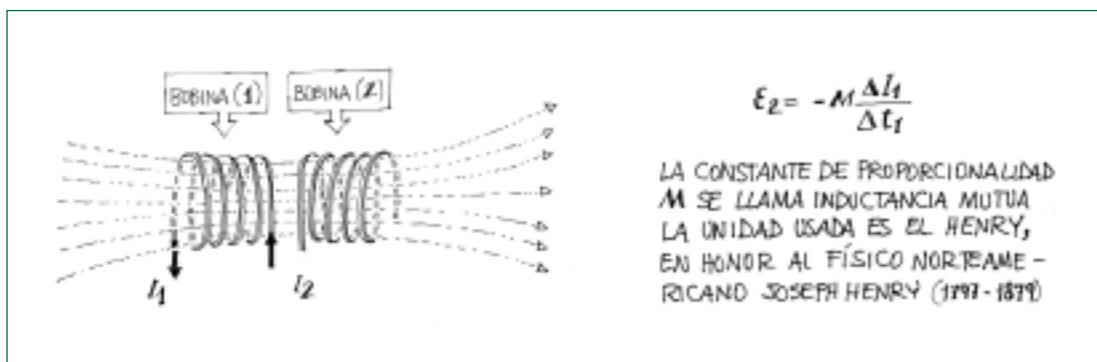
### Ejemplo K

- Analizan el fenómeno de inducción mutua entre dos bobinas, la inductancia en una sola bobina, y sus consecuencias.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Un dibujo como el de la figura 1.35, en que se enfrentan dos bobinas, puede ser útil para explicar la inductancia mutua. Si en la primera de ellas hay un cambio en la corriente, la variación consecuente del campo magnético que genera produce una fuerza electromotriz en la segunda, proporcional a la tasa de cambio de flujo magnético que la atraviesa. Como el campo magnético generado por la primera bobina es proporcional a la corriente que circula por ella, entonces la fuerza electromotriz en la segunda bobina también será proporcional a la tasa de cambio de esta corriente  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ .

Fig. 1.35



Explicar que el concepto de inductancia también se aplica a una bobina aislada (figura 1.36). Si por ella pasa una corriente variable en el tiempo, se produce un flujo magnético variable en su interior lo que induce a la vez una fuerza electromotriz que se opone al cambio de flujo. Lo anterior significa que si la corriente que pasa por una bobina aumenta, el flujo magnético crece, de modo que se genera una fuerza electromotriz que se opone a la corriente y retarda su aumento. Desafiar a los estudiantes a explicar qué ocurrirá si la corriente de la bobina disminuye.

Fig. 1.36



### Ejemplo L

- Calculan la energía almacenada en una bobina usando la expresión  $U = \frac{1}{2}LI^2$ .

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Así como para la energía almacenada en un condensador, es conveniente discutir la plausibilidad de esta expresión a través de sus unidades y los factores que intervienen. Destacar que es el campo magnético en el espacio interior (núcleo) de la bobina el que contiene mayoritariamente la energía (el campo magnético fuera del núcleo es normalmente pequeño).

---

## (c) Circuitos LC

### Detalle de contenidos

#### DIFERENCIAS ENTRE UN CIRCUITO DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA

El efecto de resistencias, condensadores y bobinas en circuitos alimentados con corriente alterna. Gráficos y expresiones para el voltaje y la intensidad de corriente. Reactancia capacitiva e inductiva.

#### CIRCUITOS RESONANTES

Oscilaciones en un circuito LC. Frecuencia natural y resonancia mecánica. Frecuencia de resonancia en un circuito de corriente alterna y su relación con la intensidad de corriente.

#### APLICACIONES

Ejemplos tales como los filtros de frecuencias bajas y agudas en los equipos de audio y sintonizadores.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

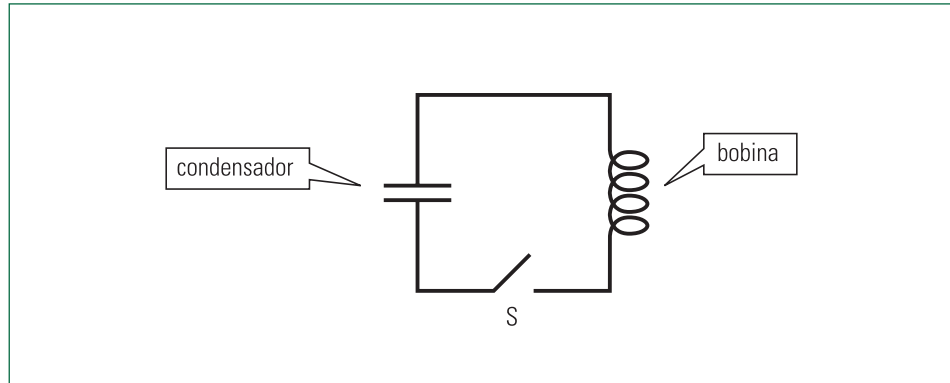
---

**Describen las oscilaciones de corriente en un circuito LC y las comparan con la oscilación de un sistema mecánico.**

#### Ejemplo A

- Describen y explican el fenómeno de oscilación LC, desde el punto de vista de la carga y de la energía.

Fig. 1.37



## INDICACIONES AL DOCENTE

Si este análisis no se puede hacer apoyado por una demostración con un circuito y un osciloscopio, o algún video u otro recurso, habrá que describir lo que ocurre, motivando una demostración en base a los conceptos que los alumnos y alumnas ya han adquirido.

Un circuito como el de la figura 1.37 permite analizar la oscilación de la carga y de la energía suponiendo la resistencia del circuito despreciable (es inevitable cierta resistencia en los conductores). En este caso señalar que la energía y la corriente oscilan entre el inductor y el capacitor con una frecuencia propia  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  de cada circuito. Suponer que inicialmente el condensador está totalmente cargado y su energía acumulada es la máxima mientras la intensidad de corriente es cero. Describir el proceso de descarga del condensador a través del inductor, aumentando la corriente y la energía que se va acumulando en el campo magnético del inductor hasta llegar a su valor máximo en el momento en que está totalmente descargado el condensador. En ese instante la corriente también es máxima. Indicar que el proceso se repite después en dirección inversa, de modo que continúa la oscilación de energía y corriente indefinidamente (en realidad la resistencia no estrictamente nula hace perder energía por lo que se produce una oscilación amortiguada). Es un buen momento para que los estudiantes dibujen, a partir de la información dada, la energía del condensador y la bobina a medida que transcurre el tiempo. Si es posible, apoyar la explicación utilizando la conservación de la energía y las expresiones para la energía en el capacitor  $U_C = \frac{q^2}{2C}$  y en la inductancia  $U_L = \frac{Li^2}{2}$  en cada instante. Mostrar que las expresiones  $q = CV_0 \cos(2\pi ft)$  y  $i = 2\pi f CV_0 \sin(2\pi ft)$  mantienen la energía total  $E = U_C + U_L$  constante y son solución del problema.

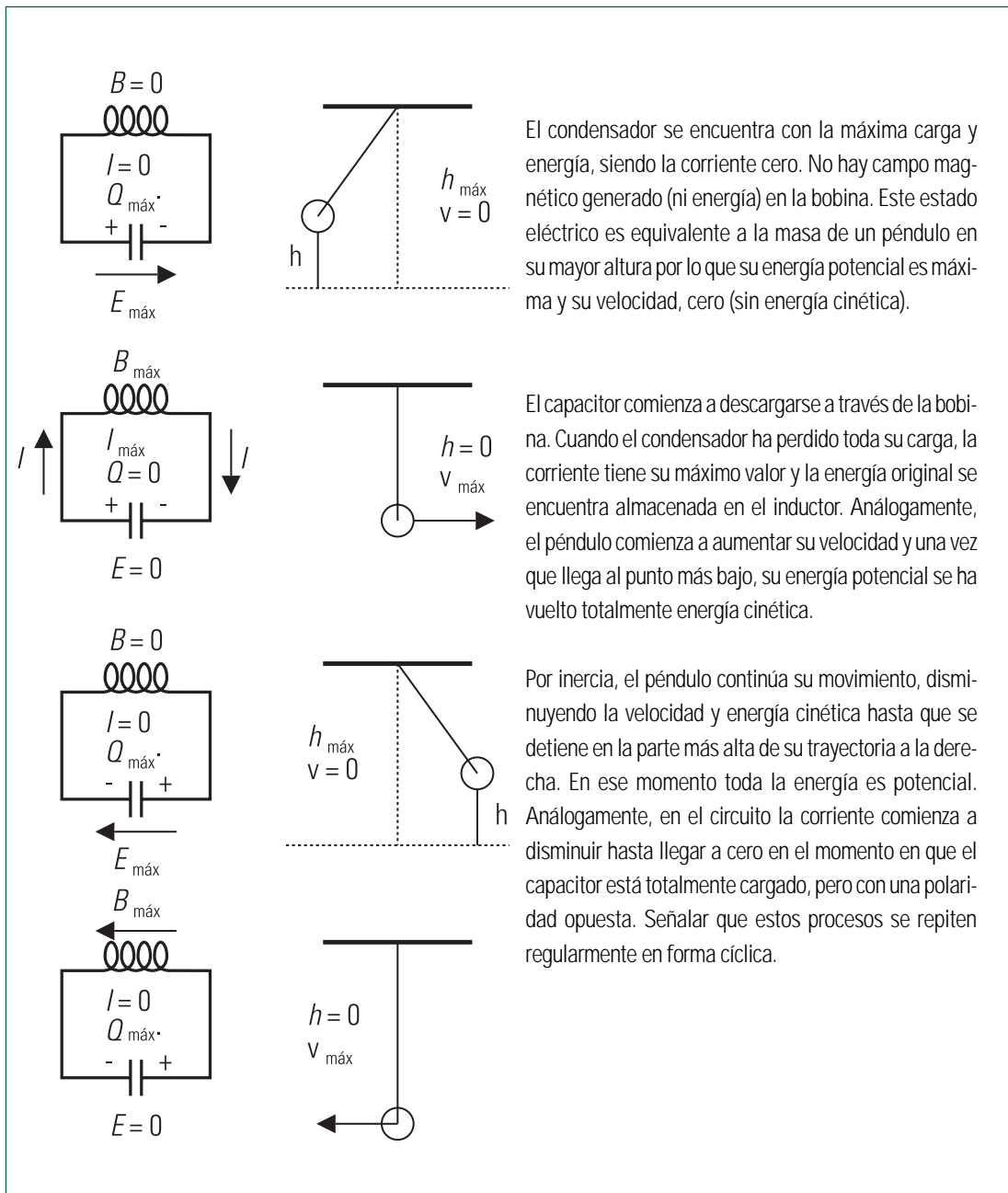
## Ejemplo B

- Analizan y discuten la analogía entre la oscilación de un circuito LC y la de un sistema mecánico.

## INDICACIONES AL DOCENTE

El movimiento oscilatorio de un péndulo (columpio, sólo desplazamientos pequeños) o de una masa al extremo de un resorte pueden ser buenas analogías. Si bien es siempre conveniente ver al objeto oscilar en la práctica, es recomendable dibujar en paralelo las etapas de oscilación para lograr una mayor visualización y comprensión de la analogía, como lo desarrollan algunos textos. Véase la figura 1.38.

Fig. 1.38



## Ejemplo C

Usando una analogía con un sistema mecánico, representan en un gráfico la energía mecánica almacenada en un circuito LC y la comparan con el gráfico correspondiente a un circuito RLC.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad se presta para realizar una nueva analogía con la mecánica de las oscilaciones. Para ello conviene hacer una demostración en clase utilizando dos sistemas “masa resorte” iguales que puedan oscilar libremente, uno de ellos con la masa sumergida en agua (figura 1.39). Después de observar las oscilaciones de ambos sistemas, promover una discusión entre los estudiantes sobre los cambios de energía que experimentan ambos sistemas. El resultado de la discusión debería permitir el dibujo de los gráficos energía en función del tiempo en ambos casos (ver figura 1.40).

Hacer notar que los cambios de energía mecánica en función del tiempo en el sistema masa resorte que oscila libremente son análogos a los que ocurren en un circuito LC. Asimismo, el sistema que se mueve en el medio viscoso es análogo al circuito RLC. Guiar a los estudiantes para que deduzcan que la resistencia disipa la energía eléctrica en forma de calor al igual que el líquido en el caso mecánico, y que en los gráficos correspondientes se deberá observar un amortiguamiento.

Fig.1.39

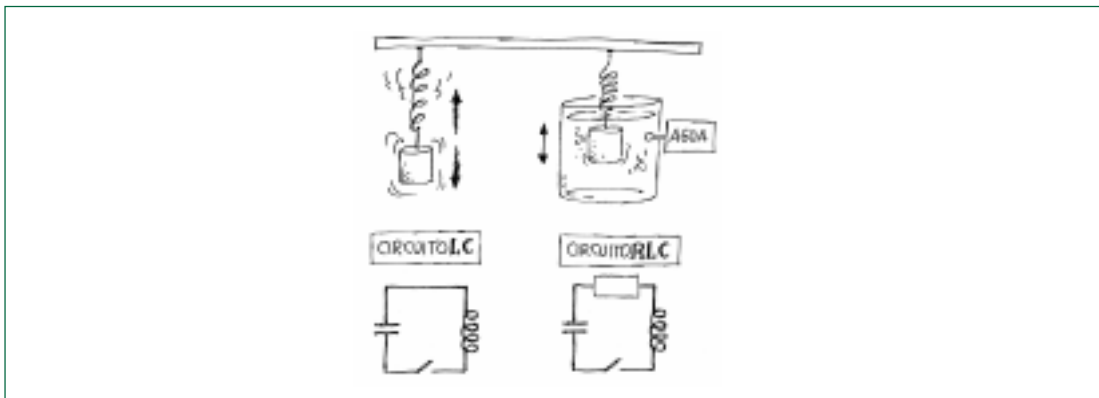
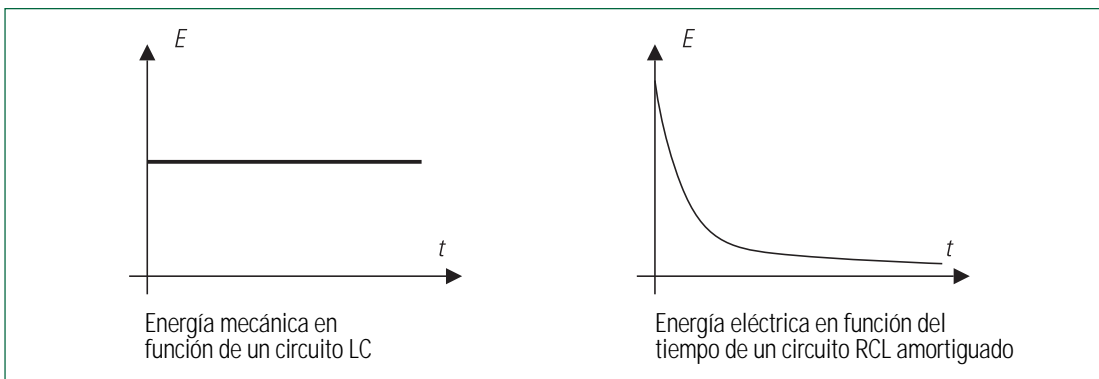


Fig.1.40



## Ejemplo D

- Observan y analizan vibraciones mecánicas amortiguadas (lo usual) y, por analogía, interpretan gráficos que muestran la intensidad de la corriente alterna en un circuito RLC en función de la frecuencia.

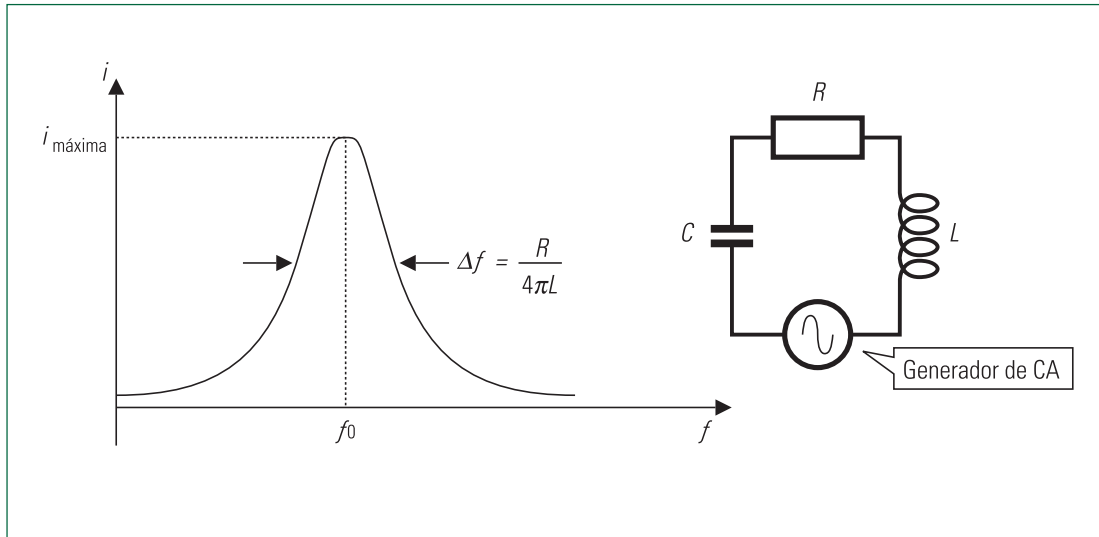
## INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene iniciar la presentación pidiéndoles a los alumnos y alumnas que hagan vibrar una regla o varilla de 30 cm o más de largo tomándola de un extremo con la mano y dejando libre el otro. Primero, mover la mano que sostiene la regla con una frecuencia pequeña y, poco a poco, ir aumentándola hasta llegar a la frecuencia natural de la regla para, después, seguir aumentando la frecuencia. Los estudiantes se darán cuenta que si bien es difícil hacerla vibrar, en el momento en que la amplitud de oscilación del extremo libre es el máximo se hace muy sencilla la tarea. Una alternativa es tomar un resorte largo (o elástico) y blando del cual cuelga una tuerca u otro objeto que estire al resorte la mitad de su largo. El extremo superior se sostiene con la mano y se hace oscilar con una amplitud de unos 2 cm, comprobando que la respuesta del resorte depende de la frecuencia de oscilación, y no tanto de su amplitud (salvo para frecuencias muy bajas). La frecuencia natural se puede encontrar dejando oscilar libremente al sistema, sin mover la mano. Recordar que en resonancia los sistemas mecánicos pueden absorber (o emitir) mayor cantidad de energía, de tal modo que es posible que la regla se quiebre o el resorte se rompa de continuar haciéndolos vibrar con esa frecuencia. Hacer referencia a la forma que emplea un niño en un columpio para lograr una oscilación de gran amplitud, el caso del puente Tacoma, etc.

Si se dispone de un osciloscopio y un generador de frecuencia variable, realizar una demostración de la resonancia en un circuito RLC. Aunque esto no sea posible, hacer ver que en un circuito de corriente alterna se puede variar la frecuencia de la alternancia y mostrar o señalar que existen generadores de audiofrecuencia variable que cumplen ese objetivo. Mostrar el esquema de un circuito RLC en serie alimentado con un generador de corriente alterna y un gráfico que muestre los cambios de la intensidad máxima de corriente al variar la frecuencia que entrega la fuente (figura 1.41).

Mencionar que el ancho de la resonancia es aproximadamente  $\Delta f = \frac{R}{4\pi L}$ , haciéndose más aguda a medida que la resistencia se hace más pequeña. Discutir la importancia que esto tiene en un sintonizador de radio, televisión o telefonía ¿Qué ocurre en el límite  $R = 0$ ?

Fig. 1.41



## Ejemplo E

Recopilan y analizan información acerca de las aplicaciones de los circuitos resonantes.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Motivar a los estudiantes para investigar bibliográficamente acerca de aplicaciones de la resonancia en circuitos eléctricos. Por ejemplo, los circuitos resonantes del sistema de sintonizador de las radios, la frecuencia asignada a cada radioemisora, filtros de frecuencia para los controles de bajo y agudo de los equipos de amplificación, etc.

Puede ser interesante una visita a una radioemisora que emita en AM o FM.

## 3. Ondas electromagnéticas

### (a) Características de las ondas electromagnéticas

#### Detalle de contenidos

##### ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Su generación y propagación. La forma sinusoidal, amplitud, frecuencia y velocidad. Su visualización y comparación con las ondas mecánicas periódicas en cuerdas, superficie del agua u ondas de sonido. El espectro electromagnético. Radiación producida por cargas aceleradas.

#### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

##### Actividad

**Analizan y comprueban modelos relativos a la generación y propagación de las ondas electromagnéticas.**

##### Ejemplo A

Experimentan con emisores y receptores de ondas electromagnéticas.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

Se puede usar una pareja de teléfonos celulares, una linterna, un horno de microondas, etc. La actividad procura que alumnos y alumnas adviertan que en su entorno hay numerosísimas fuentes de radiación electromagnética de las más diversas especies, y del uso de antenas lineales o en forma de disco, etc. Buscar que sean los alumnos y alumnas los principales actores del uso y análisis de estos objetos durante la actividad.

##### Ejemplo B

- Discuten acerca de la generación y propagación de las ondas electromagnéticas que se originan cuando una carga eléctrica oscila regularmente.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

Después de dar a los estudiantes la posibilidad de opinar acerca de en qué consisten las ondas electromagnéticas, aclarar las ideas que puedan estar confusas. Para ello conviene ayudarse de algunos esquemas. Primero, uno como el que ilustra la figura 1.42 donde se muestra una carga positiva que oscila verticalmente.

Hacer ver que las variaciones de las líneas de fuerza del campo eléctrico generadas por esta carga afectan a otras cargas que puedan encontrarse en las inmediaciones y que, como su movimiento vertical corresponde

a una corriente alterna que genera un campo magnético variable, afectará también los imanes que se encuentren a su alrededor. Enfatizar que ambos efectos: el eléctrico y el magnético, son inseparables.

En segundo lugar, examinar un esquema como el de la figura 1.43, donde se ilustra un montaje experimental. Se espera que los estudiantes reconozcan los elementos que lo constituyen y, basándose en sus conocimientos, pongan a prueba la hipótesis de que algo con propiedades eléctricas y magnéticas viaja desde el extremo izquierdo al extremo derecho de la mesa. Se puede preguntar, por ejemplo, si realmente ese “algo” viaja con velocidad finita, o ocurre en todo el espacio instantáneamente, asunto que el experimento no podrá aclarar, aunque quizás se puede investigar poniendo pantallas metálicas en el espacio entre el alambre y la brújula. Según entendemos hoy, por el conductor de la izquierda circulan cargas que oscilan verticalmente, originando un campo electromagnético que hará vibrar a la brújula y al cuerpo electrizado. Realizar directamente el experimento propuesto puede ser difícil, pero si se poseen los elementos adecuados conviene realizarlo. Para esto se requiere de una corriente alterna de muy baja frecuencia y gran intensidad, lo cual se puede lograr fácilmente conectando y desconectando una batería de 12 volts para automóvil. La brújula debe ser pequeña y el cuerpo electrizado poseer una carga considerable, producida por ejemplo por un generador de Van de Graaff. Para obtener un buen resultado, el ambiente en que se realice la experiencia debe estar seco y muy limpio, y la distancia entre el conductor que genera la onda y los detectores debe ser pequeña.

Fig. 1.42

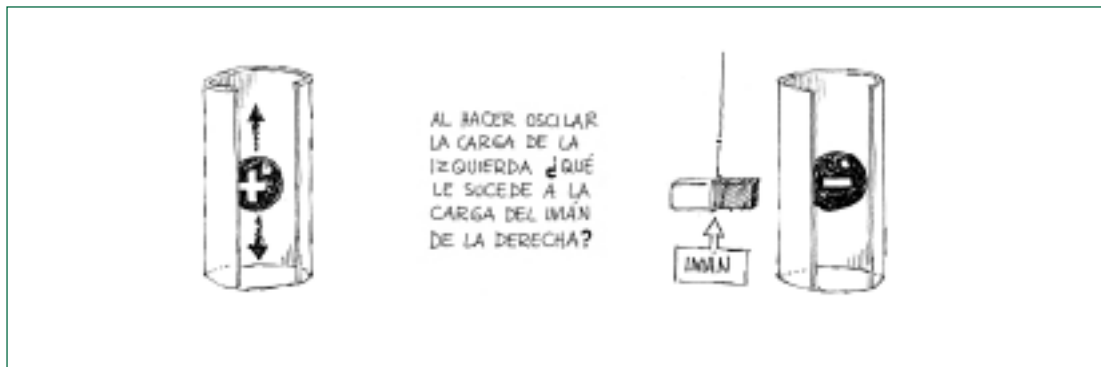
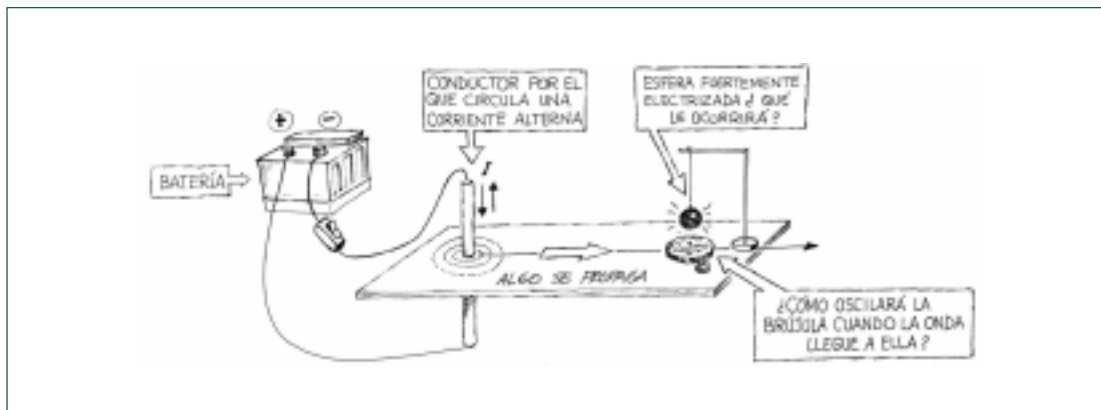


Fig. 1.43



## Ejemplo C

- Identifican, enumeran y analizan las principales características de las ondas electromagnéticas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

En la síntesis de esta actividad debe quedar claro que la onda electromagnética:

## a) Transporta energía.

Como se advierte en la figura 1.43, parte de la energía del conductor con corriente alterna viaja hasta el lado derecho de la mesa, lo que se pone de manifiesto como energía cinética en el vibrar de la aguja de la brújula y el péndulo eléctrico. La transmisión de energía es similar a la que ocurre entre un cuerpo que flota sobre el agua y de otro que vibra sobre ella generando ondas superficiales o, como entre nuestro tímpano y la vibración del cono de un parlante.

Como en toda onda, la energía de las ondas electromagnéticas está relacionada con la amplitud de la vibración, en este caso, los campos eléctrico y magnético.

b) Independientemente de su frecuencia se propaga en el vacío con la misma velocidad, la de la luz. Recordar que hasta inicios del siglo XX los físicos creían en la existencia de un sutil medio, el éter cósmico, que, al igual que los medios materiales, como el agua y el aire (para el caso de las ondas en agua y sonido respectivamente), era lo que vibraba. Hoy sabemos que estas ondas se propagan en el vacío y lo hacen con una velocidad única  $c = 3.00 \times 10^8$  m/s, la velocidad de la luz, máxima en el Universo. Mencionar que en otros medios la velocidad con que se propaga la energía electromagnética es inferior y mencionar también que un mismo medio, por ejemplo la madera, puede resultar opaco para la luz visible y transparente para las ondas radiales. Puede ser interesante comparar un espejo de telescopio con uno de radiotelescopio.c) Posee una longitud de onda ( $\lambda$ ) y una frecuencia ( $f$ ).

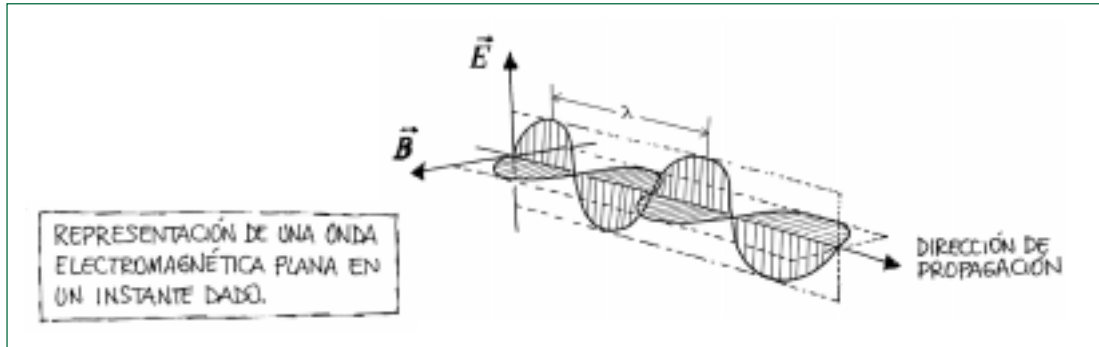
Recordar que entre estas magnitudes se cumple la relación  $c = \lambda f$ , en que  $c$  es la velocidad de la luz.

## d) Según su frecuencia, las detectamos de distinta manera.

En efecto, las ondas electromagnéticas se manifiestan en nuestras vidas a veces como ondas de radio, a veces como luz, rayos X, rayos ultravioleta, etc. La luz que nos llega del Sol, de planetas o de lejanas estrellas y galaxias, a través del vacío del espacio, nos ha permitido conocer algunos aspectos del Universo. También de esos astros nos llegan ondas de radio, lo que ha permitido que se desarrolle la radioastronomía, la astronomía de rayos X, de microondas, etc. permitiendo así el desarrollo de otras técnicas de observación astronómica que en las últimas décadas ha incrementado significativamente el conocimiento que poseemos del cosmos.

## e) En ellas, mientras el campo eléctrico vibra en una dirección, el magnético la hace en la dirección perpendicular. La figura 1.44 ilustra las curvas sinusoidales, semejantes a ondas en una cuerda, que caracterizan los vectores campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética que se propaga por el espacio.

Fig. 1.44



Si bien se trata de una mera enumeración, estas afirmaciones deben quedar respaldadas por argumentos de plausibilidad dadas por el docente.

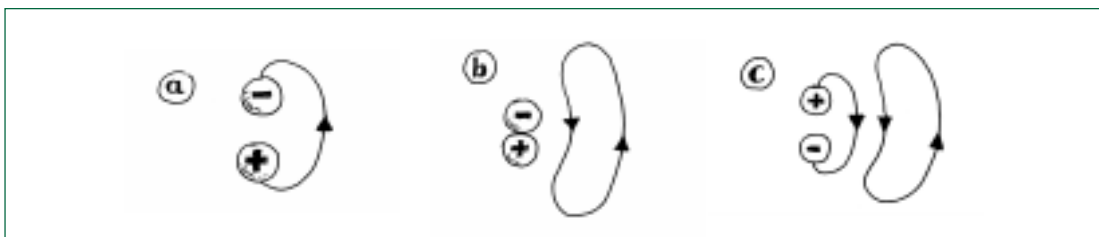
## Ejemplo D

- Analizan las ondas electromagnéticas generadas por una carga eléctrica que oscila respecto de otra con signo opuesto.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Sobre la base de una secuencia de figuras como la 1.45 a, b y c explicar lo que ocurre con las líneas de campo eléctrico cuando una carga oscila con relación a la otra. En (a) vemos una línea de campo eléctrico y en (b), la línea cerrada sobre sí misma, alejándose de las cargas. En (c) se ilustra una línea de fuerza similar a la que se muestra en (a) pero con sentido opuesto. Nótese la semejanza de este proceso de generación de líneas de fuerza cerradas que se desprenden de su fuente, con el hacer burbujas con agua jabonosa. Destacar que la línea de campo eléctrico sólo indica la dirección en que actúa la fuerza eléctrica y no la amplitud de la onda; es decir, a pesar que a medida que se aleja la línea cerrada va creciendo en longitud, la intensidad del campo no aumenta. Recordar que ésta tiene relación con la densidad de líneas de campo. Con la componente magnética de la onda ocurre otro tanto, pero las líneas forman curvas cerradas perpendiculares a las de campo eléctrico, normales al plano de estos dibujos. Destacar que el campo eléctrico variable produce al campo magnético, y vice-versa. Hay animaciones computarizadas en internet que ilustran este proceso en tres dimensiones. Véase Anexo E.

Fig. 1.45



Una generalización resulta fundamental en esta actividad. Cuando una carga eléctrica acelera, necesariamente irradia ondas electromagnéticas. Analizar el caso emblemático de un electrón que orbita en torno de una carga positiva, de modo similar a como se hace con los planetas en torno al Sol usando la física de Newton. A la luz de lo que se ha tratado, se deduce que este electrón debe generar una onda electromagnética, pues su movimiento posee una aceleración centrípeta. Un observador distante “vería” formarse burbujas similares a las que ilustra la secuencia de la figura 1.43. Como se verá en la próxima unidad, esta radiación no permitiría la existencia de los átomos, lo que condujo a los físicos del siglo XX a entender el átomo y a los electrones de un modo diferente a través de los nuevos conceptos de la física cuántica.

#### Ejemplo E

- Confeccionan un listado en que establecen las semejanzas y diferencias entre las ondas mecánicas y las ondas electromagnéticas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede desarrollarse en la clase organizándola en varios grupos que posteriormente informen al curso de sus conclusiones. Si aspectos como los siguientes no surgen de los estudiantes, el docente debe destacarlo.

Entre las diferencias, enfatizar que:

- a) las ondas mecánicas (en cuerdas, en la superficie del agua o sonido en el aire) no pueden propagarse en el vacío como lo hacen las ondas electromagnéticas;
- b) en las ondas mecánicas hay partículas materiales (átomos y moléculas) que vibran en el medio por el que viajan. Lo que vibra en las ondas electromagnéticas son los campos eléctricos y magnéticos;
- c) las ondas electromagnéticas en el vacío son exclusivamente transversales. En las ondas mecánicas encontramos además ondas longitudinales (por ejemplo, el sonido en el aire) y ondas de torsión.

Entre las semejanzas destacar que:

- a) la descripción cuantitativa de las ondas electromagnéticas y las mecánicas es formalmente idéntica. Para ambas tienen sentido los conceptos de amplitud de onda, longitud de onda ( $\lambda$ ) y de frecuencia ( $f$ ), y en ambos casos la velocidad con que se propagan está dada por el producto  $\lambda f$ . Las ecuaciones que las describen son también semejantes.
- b) ambos tipos de ondas experimentan prácticamente los mismos fenómenos. Por ejemplo, se reflejan, se refractan, se dispersan y se difractan. Como el rango de longitudes de onda del espectro electromagnético es tan amplio, para poner en evidencia estos fenómenos fuera del rango visible se requiere de experimentos conceptualmente idénticos a los que conocemos de la óptica, pero con montajes tanto más diferentes mientras más nos alejamos de la zona visible del espectro.

Como se indicó en el Ejemplo B, respaldar estas afirmaciones con argumentos de plausibilidad.

## Ejemplo F

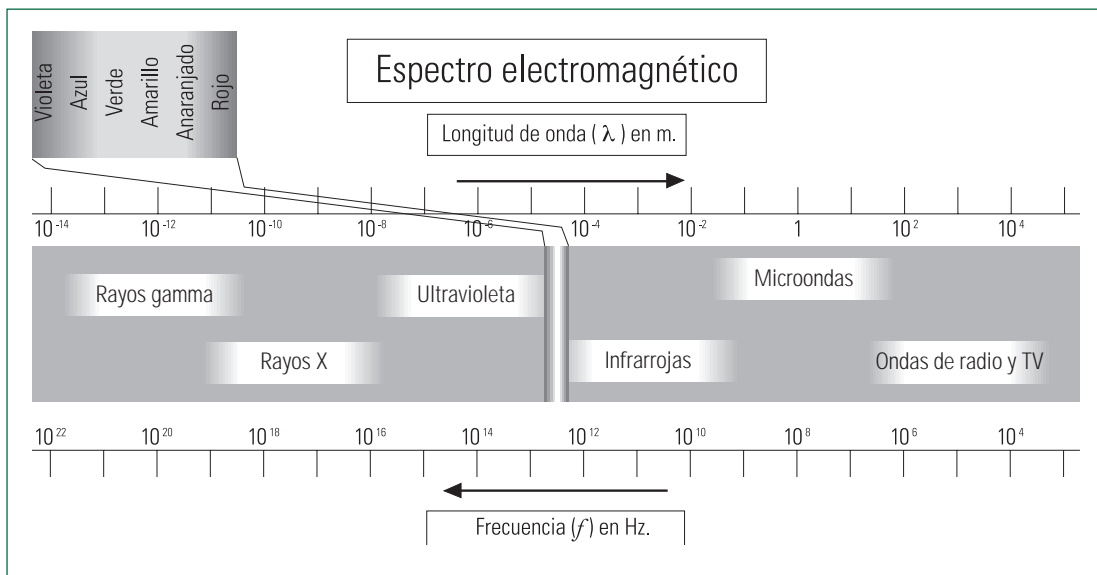
Confeccionan un diagrama que muestre en grandes dimensiones el espectro electromagnético y que, eventualmente, sirva para decorar la sala de clases o el laboratorio, y proporcionar información útil.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Iniciar la actividad con un trabajo de búsqueda de información. Se pueden sugerir para ello textos de física, enciclopedias, CD-roms, direcciones de internet, etc. La idea es que además de contener la típica información (ver figura 1.46), este afiche contenga las frecuencias de las radios y señales de TV con que ellos se informan y distraen, las frecuencias que usan los bomberos, los policías, etc. Puede ser oportuno explicar a los jóvenes que la banda radial se encuentra sometida a estrictas leyes nacionales y convenios internacionales. Este puede ser un interesante tema a investigar bibliográficamente para aquellos alumnos o alumnas que manifiestan interés por el derecho. Es conveniente darles a calcular las longitudes de onda que poseen ondas electromagnéticas de diferentes zonas del espectro a partir de las frecuencias correspondientes, con el objeto que aprecien la variedad de órdenes de magnitud que se obtienen.

La realización de este afiche puede dividirse en grupos: algunos estudiantes buscarán la información, otros diseñarán el modo de colocarla y otros lo manufacturarán.

Fig. 1.46



## Ejemplo G

- Especulan sobre la explicación de fenómenos cotidianos tales como la interferencia en las radios o parpadeos en la pantalla del televisor cuando se hacen funcionar dispositivos como jugueras, taladros, aspiradoras, etc.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los estudiantes propongan situaciones en que suelen observarse efectos como los señalados aquí. Discutir con ellos si el origen es una onda electromagnética u otro, como, por ejemplo, la reducción de voltaje en forma transiente cuando se conecta una carga importante. Comentar que al hacer funcionar artefactos como los motores, las corrientes eléctricas oscilantes generan campos magnéticos variables importantes, que podrán afectar sensiblemente cargas eléctricas en movimiento como las que viajan por el tubo de rayos catódicos de la pantalla de un televisor.

Si se dispone de una bobina de alta tensión, por ejemplo de una clásica bobina de Ruhmkorff, común en algunos viejos laboratorios de física, y de un chispero, su utilización puede producir espectaculares efectos en una radio o televisor a pilas que se encuentre en las proximidades. Notar que con una bobina de automóvil y una batería de 12 volts pueden obtenerse efectos similares. Por los peligros que implica su uso, el manejo de estas bobinas de inducción debe estar siempre en manos del profesor o profesora.

#### Ejemplo H

- Realizan una investigación bibliográfica acerca de James Clerk Maxwell (1831-1879) y Heinrich Hertz (1857-1894) y sus aportes al tema que nos ocupa. En particular, se informan acerca de la unificación de los campos eléctrico y magnético en una sola teoría y el reconocimiento de que la luz es una onda electromagnética (Maxwell), y la generación por primera vez de ondas electromagnéticas (1888) y el estudio de sus propiedades (Hertz).

#### INDICACIONES AL DOCENTE

A partir del estudio bibliográfico, se puede desafiar a los estudiantes que gusten de la experimentación a reproducir algunos de los experimentos de Hertz, y a los que les guste escribir se les puede desafiar a elaborar un cuento sobre las impresiones que tendrían Maxwell y Hertz si con una máquina del tiempo se los trajera a nuestra época, y conocieran así el gran impacto cultural que significaron sus investigaciones.

#### Ejemplo I

- Investigan sobre los usos prácticos de las ondas electromagnéticas pertenecientes a las diferentes zonas del espectro.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Onda electromagnética no es sinónimo de onda radial y el uso que hacemos de ellas no se limita a las comunicaciones. Desde luego está todo lo que ocurre en la región visible del espectro, pero además es de gran importancia el uso de los rayos X en medicina y en la industria. En el otro lado del espectro nos encontramos con las microondas que, además de agitar las moléculas de agua de nuestros alimentos en el cada vez más popular horno de microondas, se emplean en el tratamiento de la artrosis, osteoporosis, artritis mediante la aplicación simultánea de microondas terapéuticas. También son interesantes de dar a investigar los usos prácticos de las radiaciones infrarrojas y las ultravioletas. Otra área importante es la investigación acerca del cosmos a través de las ondas que nos llegan del espacio.

### Ejemplo J

Escriben un ensayo comentando lo estrecha que es la zona visible en el espectro electromagnético, a través de la cual nos formamos la imagen que poseemos del Universo a simple vista. Especulan acerca de las ventajas evolutivas que esta “elección” pudo tener, teniendo presente lo limitada que es la imagen que nos formamos del mundo que nos rodea por medio de nuestros sentidos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Este puede ser un interesante tema para que desarrollen los estudiantes con interés por la reflexión filosófica. Se los puede motivar planteándoles cómo verían las cosas ojos capaces de percibir la realidad de lo que nos rodea en otras zonas del espectro. En el momento de discutir los trabajos, hacerlos reflexionar acerca de la relación entre el espectro de emisión del Sol y la percepción de la luz a través de la vista.

### Ejemplo K

Preparan una visita a una radio emisora con el propósito de conocer cómo son sus instalaciones y cómo es el trabajo de las personas que allí laboran.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Para los estudiantes puede ser interesante una actividad de este tipo. Conocer los equipos transmisores, las salas de locución, a los propios locutores, etc. puede ser muy motivante. Sin embargo es necesario que ella sea preparada. Para ello, antes de la visita hacer una lista de preguntas que el alumno o alumna intentará contestar, como ¿De qué potencia es el equipo transmisor? ¿En qué frecuencia transmiten? ¿Hasta qué distancia llega la señal que se emite? ¿Dónde están situadas las antenas? ¿Cuántas personas trabajan en la emisora? ¿Ocupan cargos técnicos las mujeres?

---

## (b) Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas

### Detalle de contenidos

#### TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE RADIO

Partes de un transmisor de radio: el micrófono, el amplificador y la antena.

#### RECEPTOR DE RADIO

Partes de un receptor: la antena, el sintonizador, el amplificador. Aspectos relevantes de la historia de la radiodifusión.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

---

**Analizan los principios básicos de los sistemas de transmisión y recepción de señales electromagnéticas con fines de comunicación.**

#### Ejemplo A

- Especulan y formulan hipótesis destinadas a explicar cómo las emisoras de radio, televisión y telefonía transmiten sus señales de modo que resulten captables y comprensibles.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

En la figura 1.47 se ilustra un diagrama elemental de un transmisor de radio. Contiene un oscilador acoplado a una antena a través de un transformador. La corriente oscilante es modulada por acción, por ejemplo, de un micrófono, lo que permitirá emitir una señal que eventualmente se podrá decodificar por un receptor. Las figuras 1.48 a y b ilustran respectivamente la señal que habitualmente denominamos portadora (que corresponde a la frecuencia de transmisión de una emisora) y la misma señal pero modulada por la voz del locutor de la emisora.

Fig. 1.47

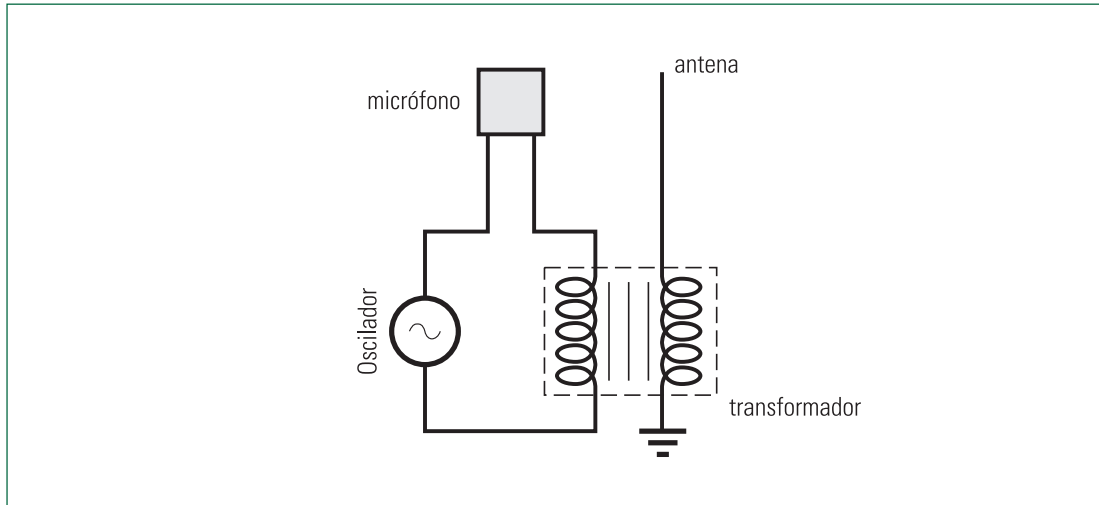
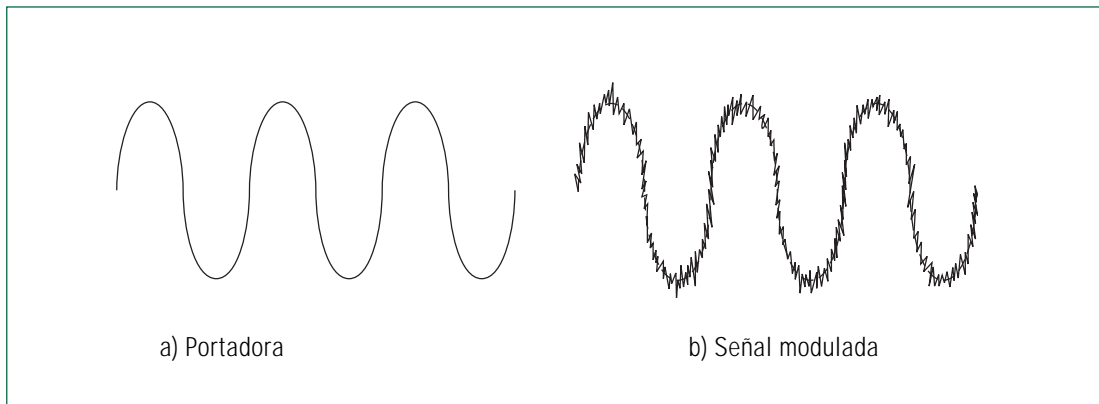


Fig. 1.48



Si es posible, construir un pequeño transmisor y detectar las ondas que emite. Es también instructivo visualizar el circuito de emisión de un teléfono inalámbrico, por ejemplo. Si se dispone de un transmisor potente (100 watts) se puede encender una ampolla de linterna captando la radiación en una antena parabólica primitiva, que concentre la radiación en dos alambres conectados a sus dos terminales de la ampolla (figura 1.49). Una variante es captar la radiación de la antena parabólica con otra antena a unos metros de distancia, la cual tiene la ampolla en su foco.

Incentivar a un grupo de estudiantes a que visite a un radioaficionado con el fin de conocer este hobby, y relatar luego al curso lo que han aprendido. Como en toda visita educativa, conviene que ella sea preparada con anticipación, por ejemplo preparando una lista de preguntas. Se le puede preguntar su "característica" como radioaficionado, cuál es su tarjeta; con qué personas y lugares del mundo se ha comunicado, qué labores sociales han realizado tradicionalmente los radioaficionados en Chile y el mundo, la participación de la mujer radioaficionada; cuáles son las características de su transmisor y receptor, de su antena, etc. El programa puede también incluir experiencias como la siguiente. Si el equipo es de gran

potencia (unos 500 watts o más), situar una ampolleta convencional de unos 25 watts con sus terminales unidos por una argolla metálica (como la de la figura 1.49) que además rodea al cable que va a la antena, y se podrá ver cómo pestañea al ritmo de la señal que es emitida.

Fig. 1.49



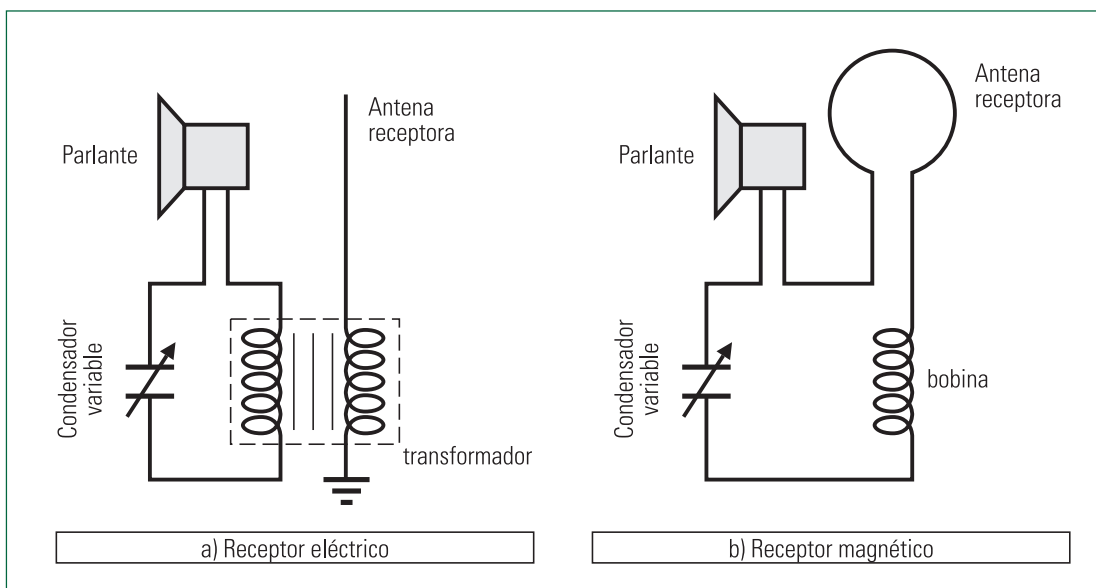
#### Ejemplo B

- Especulan y formulan hipótesis destinadas a explicar cómo los receptores de radio detectan la señal que se desea y cómo ella resulta decodificable.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

El receptor de ondas radiales puede diseñarse de modo que detecte la componente eléctrica o la magnética de una onda electromagnética. En la figura 1.50a se muestra un detector sensible al campo eléctrico oscilante y en b un detector sensible a las variaciones del campo magnético.

Fig. 1.50



Es importante destacar el rol del circuito oscilante, cuya frecuencia de resonancia, determinada por los valores de  $L$  y  $C$ , definen la frecuencia de la señal seleccionada. El condensador variable permite cambiar esta frecuencia.

#### Ejemplo C

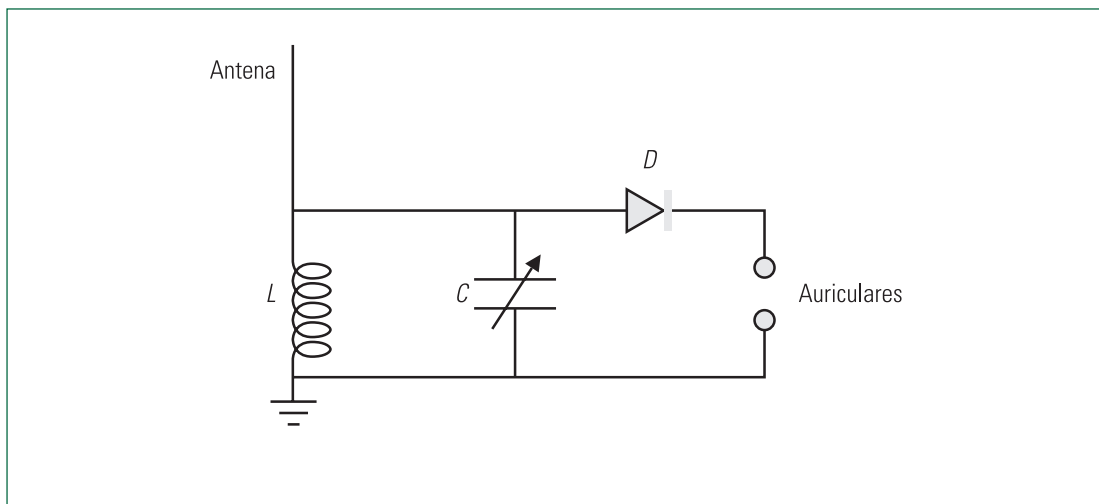
- Construyen una radio simple, sintonizan y escuchan una emisora.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

En la figura 1.51 se ilustra un circuito posible de una radio elemental (similar a la vieja radio a galena). Se requiere de un auricular como los que emplean los teléfonos (idealmente de unos  $2000 \Omega$  de impedancia), pues los que utilizan los radios personales no resultan apropiados. Otro elemento importante es el diodo de germanio ( $D$ ), el cual sustituye a la piedra galena. Los más adecuados pueden ser 1N42, 1N60 o el 1N4148. La bobina ( $L$ ) consiste en 150 vueltas de alambre esmaltado 0,20 enrollado sobre un tubo de plástico o cartón de 2,5 cm de diámetro, y el condensador variable ( $C$ ) se puede obtener de una vieja radio a pilas. La antena es un simple alambre tirado sobre el techo. Por último se requiere hacer una conexión a tierra. Puede servir el contacto central de un enchufe mural (tomando las debidas precauciones) o, más seguro, una cañería de agua potable de cobre o plomo, la cual debe limpiarse muy bien en la zona en que se realice el contacto. Se recomienda fijar los elementos a un trozo de madera u otro material aislante para que las conexiones no se muevan y accidentalmente se desconecten.

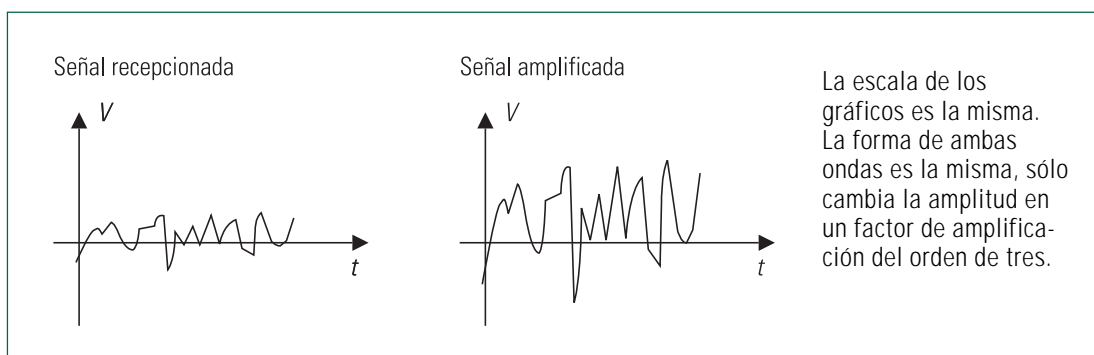
Es conveniente explicar a los estudiantes cómo funciona el diodo y cuál es su función en el circuito. Es fácil mostrar, con ayuda de un probador (o multitester) en la escala para medir resistencias eléctricas, que conduce la corriente eléctrica en un sentido y no en otro. La función de los restantes elementos puede ser explicada por los propios alumnos y alumnas sobre la base de lo aprendido anteriormente. Hacer énfasis en el circuito LC que contiene, configurando un oscilador de frecuencia variable.

Fig. 1.51



Es posible que los estudiantes se pregunten por qué esta radio se escucha con tan poco volumen. Hacer notar que no cuenta con una fuente de poder, no está conectada a pilas ni menos a la red domiciliaria. Explicar que para conseguir un mayor volumen de sonido se requiere de un amplificador de la señal que capta la antena. Este dispositivo amplifica la forma de la onda recepcionada, como se ilustra en la figura 1.52, para lo cual el sistema requiere de otros elementos tales como transistores, los cuales necesitan de una fuente de energía adicional para funcionar.

Fig. 1.52



## Ejemplo D

Realizan una investigación bibliográfica sobre la historia de la radio en el mundo y en Chile.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Hay por lo menos tres aspectos que no pueden estar fuera de una investigación de los cien años de radiodifusión en nuestro planeta: El primero es con relación a su inventor Guglielmo Marconi (1874-1937), y la primera experiencia radial el año 1897 en Inglaterra. El segundo tema dice relación con los aspectos técnicos: el desarrollo de la válvula de vacío, el advenimiento del transistor y finalmente del circuito integrado. Puede ser interesante instar a los estudiantes a conseguirse equipos en desuso, válvulas de vacío, transistores y circuitos integrados (chip). En la evolución de estos dispositivos cabe destacar la considerable reducción de tamaño, el incremento en la velocidad de respuesta, la reducción del consumo de energía eléctrica, el aumento considerable de la eficiencia y rendimiento, la reducción de los costos de producción. El tercer y último aspecto importante a considerar es el enorme impacto cultural originado en esta tecnología.

## Ejemplo E

Realizan una investigación bibliográfica sobre la radioastronomía, sus métodos, instrumentos y principales descubrimientos.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Puede ser instructivo el escuchar una radio de onda corta poniendo atención a los ruidos de fondo. El estudiante debe comprender que a excepción de algunas emisoras que transmiten en estas zonas del espectro radioeléctrico, el resto de los ruidos que se escuchan corresponden a fenómenos naturales, principalmente ocasionados por las tormentas eléctricas que tienen lugar en diversas partes del planeta. Otro porcentaje de este ruido proviene del Sol y, una cantidad mucho más pequeña, de astros exteriores al sistema solar.

Como las señales originadas, por ejemplo, en las enormes tormentas eléctricas que ocurren en la atmósfera de Júpiter son muy débiles, para detectarlas se requieren antenas altamente direccionales y sensibles, y amplificadores muy poderosos. Lo mismo ocurre con estrellas lejanas y cuasares. Puede ser interesante mostrar las antenas de algunos radioobservatorios y compararlos con el funcionamiento de un telescopio reflector, junto con el tipo de “imagen” que con ellos se obtiene. Esta información se encuentra fácilmente en internet. Explicar a los estudiantes que las imágenes que se exhiben como tomadas por radiotelescopios, particularmente sus coloridos, no guardan correspondencia con lo que ve el ojo. Se trata de distinciones basadas en colores ficticios para visualizar cambios de diversas magnitudes que el ojo no puede ver. Puede ser oportuno incluir información acerca del rol de algunas investigadoras en este campo.

## Ejemplo F

Realizan una investigación en internet acerca de los distintos esfuerzos de búsqueda de inteligencia extraterrestre.


## INDICACIONES AL DOCENTE

Entre las aplicaciones de las ondas electromagnéticas puede ser motivante para los estudiantes considerar que la posible detección de civilizaciones extraterrestres probablemente sería a través de ondas electromagnéticas. Comentar la ecuación de Frank Drake (1961, ver figura 1.53), la cual sugiere que es posible que existan otras civilizaciones en nuestra galaxia aparte de la nuestra. Si realmente las hubiera, tales civilizaciones deben haber descubierto las ondas electromagnéticas y con seguridad se valen de ellas para comunicarse: el equivalente a nuestra radio y televisión. Estas señales artificiales deben abandonar los planetas que habitan, al igual que ocurre en el nuestro. Las primeras transmisiones radiales que salieron de la Tierra están ahora apenas a unos 100 años luz de distancia de nosotros y probablemente aún no han sido “escuchadas” por nadie. Pero las señales emitidas por civilizaciones mucho más viejas y en otros lugares, pueden ya estar llegando. El problema es sintonizarlas. Se ha desarrollado software capaz de distinguir una señal natural de una artificial. Sin embargo, es tan grande la cantidad de señales radioeléctricas que nos llegan del espacio exterior que aun para las más poderosas computadoras analizarlas es todavía una tarea imposible. El proyecto SETI, que emplea entre otros el radiotelescopio más grande del mundo ubicado en Arecibo, Puerto Rico, trabaja desde hace algunos años en esta investigación y los particulares pueden contribuir a la búsqueda facilitando sus computadoras, las que se suman a muchas otras en el examen de las señales provenientes del espacio.


Puede ser interesante mencionar que también se han enviado desde la Tierra señales intentando decir algo así como “hola, aquí estamos”. Destacan el Proyecto OZMA (1960) y las placas y discos de audio y video, con sonidos, mensajes e imágenes de la Tierra que llevan consigo las sondas Pioneer 10 y 11 (lanzadas en 1972-1973) y las Voyager I y II (1977), que actualmente abandonan lentamente nuestro sistema solar. Estos temas pueden resultar fascinantes para algunos estudiantes, e internet es una de las fuentes de información más adecuadas.

Es importante distinguir los aspectos aquí mencionados de los populares pero infundados relatos o teorías sobre visitas de extraterrestres a nuestro planeta en distintos momentos de la historia, y menos aún de platillos voladores y hombrecillos verdes.

Fig. 1.53



Placa del Pioneer 10



Placa del Voyager 1

La ecuación de Frank Drake

$$N_{ET} = N_S \times f_p \times N_e \times f_i \times f_l \times f_e \times L$$

$N_{ET}$  = Número total de civilizaciones terrestres

$N_S$  = Número total de estrellas en nuestra galaxia

$f_p$  = Fracción de estrellas que tienen planetas

$N_e$  = Número de planetas “similares a la tierra” alrededor de cada estrella con condiciones aceptables para contener vida

$f_l$  = Fracción aceptable de planetas donde la vida se inició como la conocemos actualmente

$f_i$  = Fracción de planetas en donde especies inteligentes evolucionan

$f_e$  = Fracción de especies inteligentes con capacidad tecnológica y deseos de comunicarse con nosotros

$L$  = Promedio de vida de una civilización extraterrestre relativa a la edad de nuestra galaxia

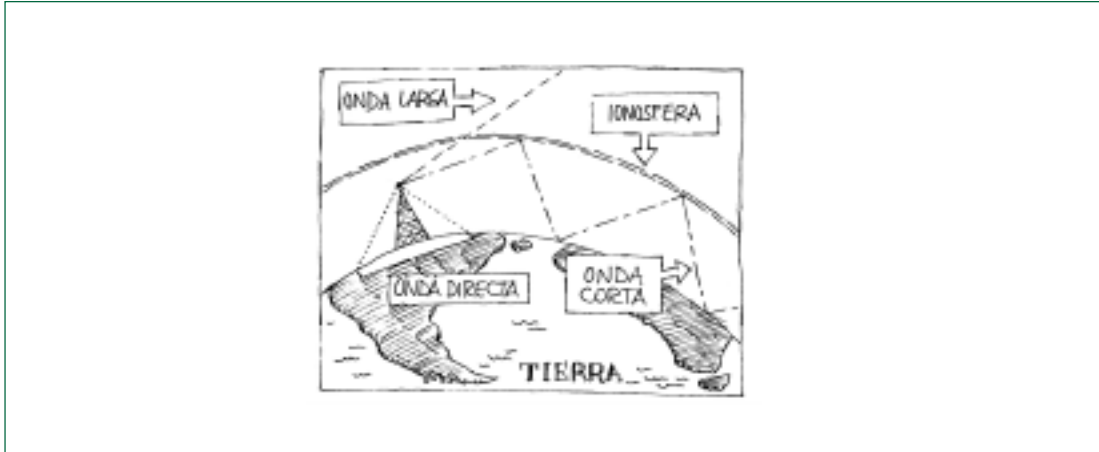
#### Ejemplo G

Realizan una investigación bibliográfica acerca del efecto de la ionosfera en las transmisiones radiales, distinguiendo distintos tipos de ondas radiales, como las ondas cortas y largas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se consideran como onda larga las que poseen frecuencias comprendidas entre los 450 y 400 kHz, y ondas cortas las que están comprendidas entre los 5 y 16 Mhz, banda usada principalmente en la radiodifusión internacional. La razón de que las segundas se empleen sólo para transmisiones a pequeñas distancias (unos pocos cientos de kilómetros), es que no se reflejan en la ionosfera, mientras que las primeras (ver figura 1.54), al reflejarse en ésta les es posible dar varias vueltas a la Tierra. Por esta razón, estaciones como la BBC de Londres puede emitir programas para que escuchemos en Chile y otros países del hemisferio sur.

Fig. 1.54



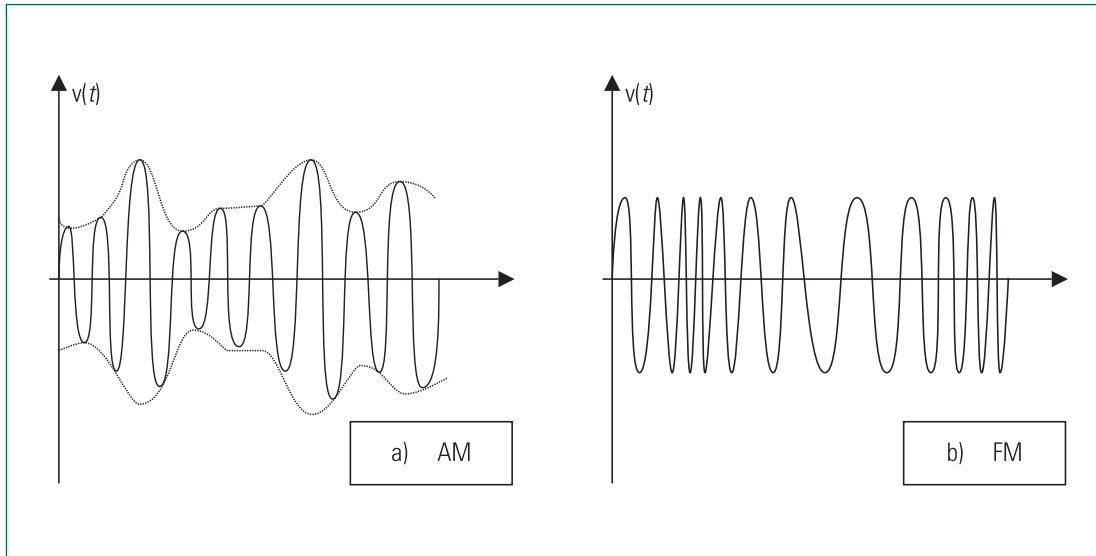
## Ejemplo H

Realizan una investigación destinada a explicar las diferencias entre distintas formas de transmisión y recepción, por ejemplo entre FM (frecuencia modulada) y AM (amplitud modulada).

## INDICACIONES AL DOCENTE

Información sobre este tema puede encontrarse en enciclopedias e internet. Lo importante es que la señal portadora se caracteriza por su amplitud, frecuencia y fase. Si medimos la diferencia de potencial entre los terminales del primario de la figura 1.48 del Ejemplo A, su forma se puede expresar como  $V(t) = V_0(t) \cos(2\pi f t + \alpha)$ , donde  $V_0$  es la amplitud,  $f$  la frecuencia y  $\alpha$  la fase. Si el micrófono, tocadiscos, etc. está apagado,  $V_0$ ,  $f$  y  $\alpha$  no varían, no hay señal y la emisión sólo involucra la onda portadora. Si alguna de estas magnitudes es variada en respuesta a otra señal, se dice que la onda está modulada. Entonces, si varía  $V_0$ , se habla de amplitud modulada (AM). La figura 1.55a representa este caso. Si cambia  $f$  se habla de frecuencia modulada (FM), ver figura 1.55b y, por último, si varía  $\alpha$ , se habla de modulación de fase.

Fig. 1.55



Como una variante, algunos alumnos y alumnas pueden realizar un trabajo acerca de internet, la forma en que se transmite la información allí, la transmisión de datos, etc. Es siempre conveniente que el docente procure contextualizar los trabajos a la realidad del grupo de estudiantes real con el cual trabaja.





## Unidad 2

# El mundo atómico

### Contenidos Mínimos

#### 1. El átomo

- a. Constituyentes del átomo: descripción cualitativa del experimento de Ernest Rutherford. Análisis mecánico del átomo de Niels Bohr para el átomo de hidrógeno.
- b. Formulación del principio de incertidumbre. Discusión, a través de ejemplos, de su ámbito de relevancia fenomenológica: el mundo atómico y el ámbito macroscópico. Abandono del concepto clásico de trayectoria y sus consecuencias en la descripción del movimiento.

#### 2. El núcleo atómico

- a. Dimensiones del núcleo en relación al átomo. Protones y neutrones. Su masa, carga eléctrica y espín. Isótopos.
- b. Descripción fenomenológica del decaimiento radiactivo. Vida media. Radiactividad natural. Ejemplos como las aplicaciones en medicina, la datación geológica y arqueológica, etc.
- c. El núcleo atómico como fuente de energía. Relación entre masa y energía. Aplicaciones en fenómenos como el decaimiento del neutrón, la fisión y la fusión nuclear.
- d. Fuerzas nucleares. Nociones elementales acerca de cómo se mantiene unido el núcleo. Comparación de la magnitud relativa de las fuerzas fundamentales de la naturaleza.
- e. Investigación bibliográfica y ensayo acerca de un tema de la física contemporánea que contemple la revisión de diversas fuentes, incluyendo recursos informáticos; presentación oral y escrita.

### Aprendizajes esperados

Al completar la unidad, alumnos y alumnas serán capaces de:

- describir los constituyentes del átomo y el contexto histórico de sus descubrimientos;
- aplicar el modelo atómico de Niels Bohr a la descripción del átomo de hidrógeno;
- enunciar, explicar e interpretar el principio de incertidumbre de Werner Heisenberg;
- analizar algunas consecuencias que el principio de incertidumbre implica en el ámbito microscópico.
- reconocer que en el ámbito atómico el comportamiento de los objetos es diferente al del ámbito cotidiano macroscópico, de modo que no es siempre sensato extrapolar lo que sabemos a ámbitos de ignorancia;
- reconocer la pequeñez de tamaño y la alta densidad de masa del núcleo atómico, así como las características principales de las partículas que lo componen: neutrones y protones;
- comprender y comunicar los conceptos de radiactividad y vida media de un núcleo atómico;
- identificar algunos isótopos de importancia en medicina y otros ámbitos de aplicación pacífica de la desintegración nuclear, como la datación de material arqueológico;
- apreciar la alta eficiencia de la conversión de masa en energía en las reacciones nucleares, en comparación con la conversión química o térmica;
- comprender que existen cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza, su ordenación de más débil a más fuerte así como el ámbito en que cada una opera;
- reconocer en la física una visión del mundo viva, que evoluciona constantemente a través de la investigación científica, llevándonos a una comprensión cada vez más acabada de la materia y el Universo.

### Recomendaciones al docente

Es conveniente tener presente las siguientes observaciones y sugerencias para el mejor desarrollo esta unidad.

- Como en esta área de la física el trabajo experimental directo en el liceo no resulta en general posible, es conveniente desarrollar los contenidos siguiendo su historia y abordando los aspectos experimentales a través de modelos. Hacer también máximo uso de material bibliográfico, audiovisual e internet.
- Si bien se ha sugerido permanentemente en los programas de Física desde 1° Medio hacer ver a los estudiantes que a toda medición hay asociada una incerteza, es posible que tal aspecto haya sido dejado de lado. Si así ha ocurrido será indispensable dedicarle cierto tiempo a esta problemática por medio de actividades como las que se sugieren al inicio del desarrollo de la sección (b).
- El abandono, en el ámbito de la física del átomo, de los conceptos de la física clásica como posición, trayectoria, velocidad, la continuidad de la energía, etc. resultan difíciles incluso para los iniciados en la física. Se debe poner especial cuidado en la presentación de estos conceptos a los estudiantes.
- Es conveniente abordar esta temática con abundancia de material de contenido histórico. Hay textos modernos de física general que abordan los temas aquí tratados, en los que se puede encontrar además del contenido conceptual, ejemplos valiosos para la clase y la evaluación posterior. La actividad más significativa para los estudiantes será sin duda el trabajo individual requerido en la sección (e). Es importante que éste se realice en buena forma, con suficiente tiempo para que alumnos y alumnas puedan reunir información de diversas fuentes, procesarla y finalmente expresarla en la presentación formal del trabajo.
- Sería conveniente asignar como tarea para la casa a los propios alumnos y alumnas la realización de aquellas experiencias que no se puedan completar en clase. Pueden distribuirse por grupos o individualmente según resulte más conveniente. Si bien en última instancia la evaluación es responsabilidad del docente algunas de estas actividades pueden ser evaluadas por los propios estudiantes.

# 1. El átomo

## (a) Primeros modelos atómicos

### Detalle de contenidos

#### CONSTITUYENTES DEL ÁTOMO

Antecedentes históricos. El experimento de Rutherford y sus consecuencias. Problemas del modelo atómico clásico: inestabilidad de las órbitas electrónicas.

#### MODELO ATÓMICO DE BOHR

Los postulados de Bohr. Órbitas posibles del electrón en torno del núcleo del átomo. Niveles de energía. Interpretación de las líneas espectrales del hidrógeno. Orbitales electrónicos.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

**Describen los primeros modelos atómicos. Los ubican en el tiempo, señalan a sus autores y argumentan sobre sus ventajas y desventajas.**

#### Ejemplo A

Diseñan y confeccionan un afiche que ilustre esquemáticamente las distintas concepciones que se ha tenido de la materia a lo largo de la historia, desde los griegos, hasta los modelos de J. J. Thomson y el de Rutherford.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los alumnos y las alumnas investiguen el tema en forma previa, diseñen y posteriormente confeccionen el afiche, que eventualmente puede adornar la sala o el laboratorio. Durante la investigación se recomienda consultar libros de física, de historia de la física, de filosofía y, por supuesto, la red internet. La actividad se presta para ser desarrollada por grupos de tres o cuatro jóvenes y, si fuera oportuno, en conjunto con los subsectores de Química y de Artes Visuales. La evaluación puede realizarse en conjunto entre las tres asignaturas: la correcta transmisión de los conceptos científicos involucrados será evaluada por las profesoras o profesores de ciencia, y la diagramación, colorido, etc., por el docente de arte.

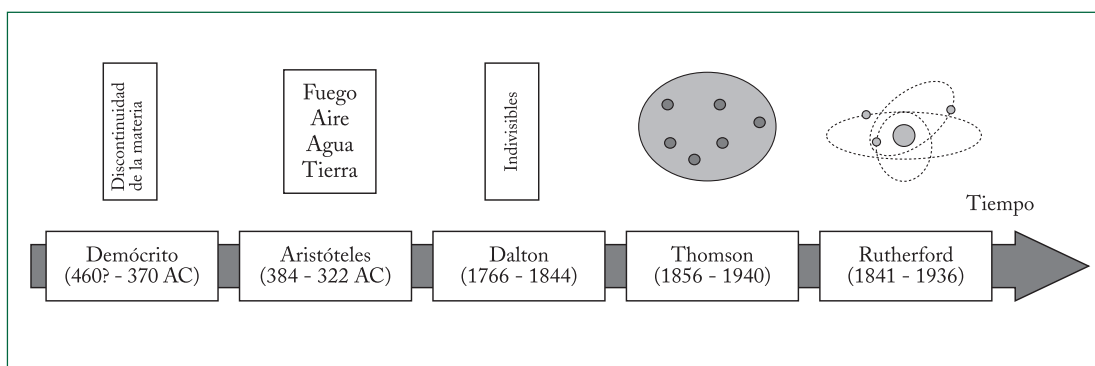
El profesor o la profesora de física debe apoyar muy de cerca este trabajo, especialmente en la etapa de su diseño. Conviene orientar a los estudiantes con el propósito de que el esquema incluya aspectos como los siguientes: las concepciones de la materia de Tales de Mileto (quien postulaba

que el agua era la sustancia básica del Universo); la de Empédocles (quien postula que las cosas están hechas de cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego); ideas que posteriormente son apoyadas por Aristóteles; las rivales concepciones que entienden la materia como continua y discontinua; la de Demócrito (para quien el mundo está hecho de infinitas partículas muy pequeñas que llamó “átomos” cuyas diversas formas y combinaciones dan lugar a la diversidad que observamos); la concepción atómica de Dalton, adecuada para dar cuenta del modelo cinético de la materia: la concepción eléctrica del átomo de Thomson y el átomo planetario de Rutherford. Se puede sugerir que la diagramación siga una línea de tiempo en forma similar a como se ilustra en la figura 2.1.

Debe cuidarse que en el afiche los textos sean breves pero exactos y significativos, que los datos e información sean rigurosos, que las imágenes hablen por sí mismas. De la red internet puede obtenerse con facilidad la mayoría de los perfiles de los personajes asociados a la evolución de las ideas que se requiere ilustrar.

Puede ser oportuno sugerir a los estudiantes que en la indagación bibliográfica busquen la presencia femenina en el tema. Destacar figuras como la de María Goepper-Mayer (USA, 1906-1972), Premio Nobel 1963, o Lise Meitner (Austria, 1898-1968), las que, entre otras, han contribuido a lo largo de la historia a la investigación del átomo.

Fig. 2.1



#### Ejemplo B

- Comentan los experimentos de Ernest Rutherford (1911) que llevaron al descubrimiento del núcleo atómico. Simulando la dispersión en la trayectoria de una partícula alfa según los modelos de Thomson y Rutherford para el átomo, discuten lo observado por este último en sus experimentos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad permite introducir nociones de la historia de la física del siglo XX, durante el cual se investigó la estructura íntima de la materia, primordialmente a través de experimentos de dispersión (scattering). La simulación se puede hacer con ayuda de una retroproyectora de transparencias, en cuyo centro se pone como obstáculo una bolita pequeña o un disco de madera o plástico de unos 10 cm de diámetro. Lanzando desde una esquina otra bolita igual a la primera se puede observar

cualitativamente la diferencia en las trayectorias según ambos modelos. Es importante discutir la pertinencia de la simulación, conduciendo a los alumnos y alumnas hacia una comprensión de las diferencias más notables con la situación atómica: la interacción es de contacto, en circunstancias que en los experimentos con partículas alfa es básicamente la de Coulomb (salvo cuando las partículas incidentes tienen gran energía, como el caso en que prima la interacción fuerte), la relación entre los radios de los objetos usados y los del átomo y núcleo son muy diferentes, el comportamiento de la bolita es newtoniano mientras el de la partícula alfa está en el ámbito cuántico, etc.

#### Ejemplo C

- Construyen un modelo como el descrito en la figura 2.2 destinado a simular el experimento de Rutherford.

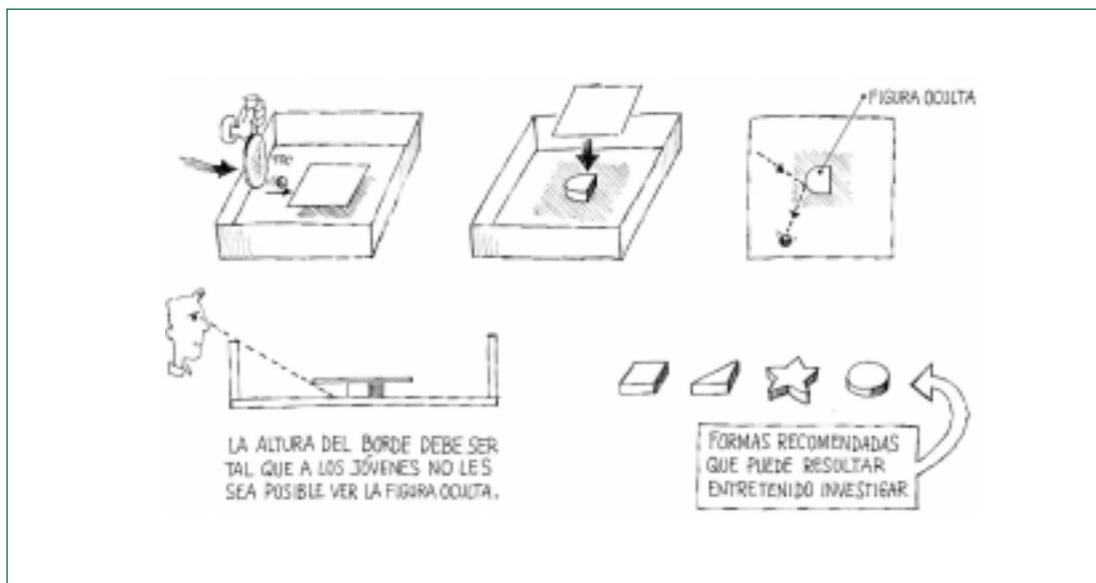
#### INDICACIONES AL DOCENTE

Además de constituir un entretenido juego para alumnas y alumnos, esta actividad es altamente instructiva en el sentido que muestra claramente un importante aspecto de la metodología científica: deducir lo inobservable a partir de lo visible.

Algunos maderos, cartones y bolitas de vidrio son los materiales necesarios. El juego consiste en deducir la forma de una pieza oculta bajo un cartón analizando las trayectorias seguidas por las bolitas que los estudiantes lanzan desde el borde.

Se puede dar a la figura oculta diferentes formas: cuadrada, triangular, estrella, etc. El deducir dichas formas durante el juego puede no ser una tarea fácil para los estudiantes, quienes necesitarán efectuar un número importante de disparos y estar muy atentos a observar lo que ocurre en cada uno de ellos. Si se utilizan bolitas del orden de 1 cm de diámetro conviene que el tamaño de la figura sea de unos 8 o 10 cm.

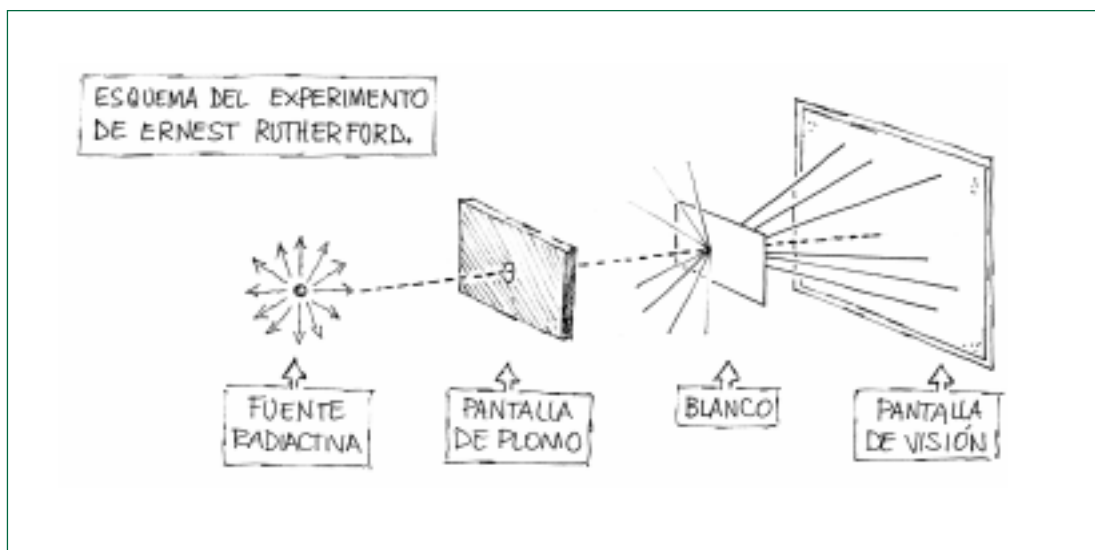
Fig. 2.2



Otra variante de esta simulación puede consistir en colocar en reposo una serie de bolitas (a unos 3 o 5 cm de distancia una de otra) en uno de los bordes internos de la caja e inclinarla después levemente y observar el efecto cuando las figuras ocultas son pequeñas circunferencias.

Empleando el mismo método de investigación, también puede resultar interesante deducir el diámetro de un objeto de forma circular. La comparación de este juego con el experimento realizado en 1911 por Ernest Rutherford y sus estudiantes permitirá comprender la necesidad de abandonar el modelo atómico de J. J. Thomson debido a que se hacía evidente que el átomo era prácticamente vacío. La parte dura de él, que se deducía de la reflexión de unas pocas partículas alfa en ángulos muy grandes, debía ser muy pequeña. Véase figura 2.3.

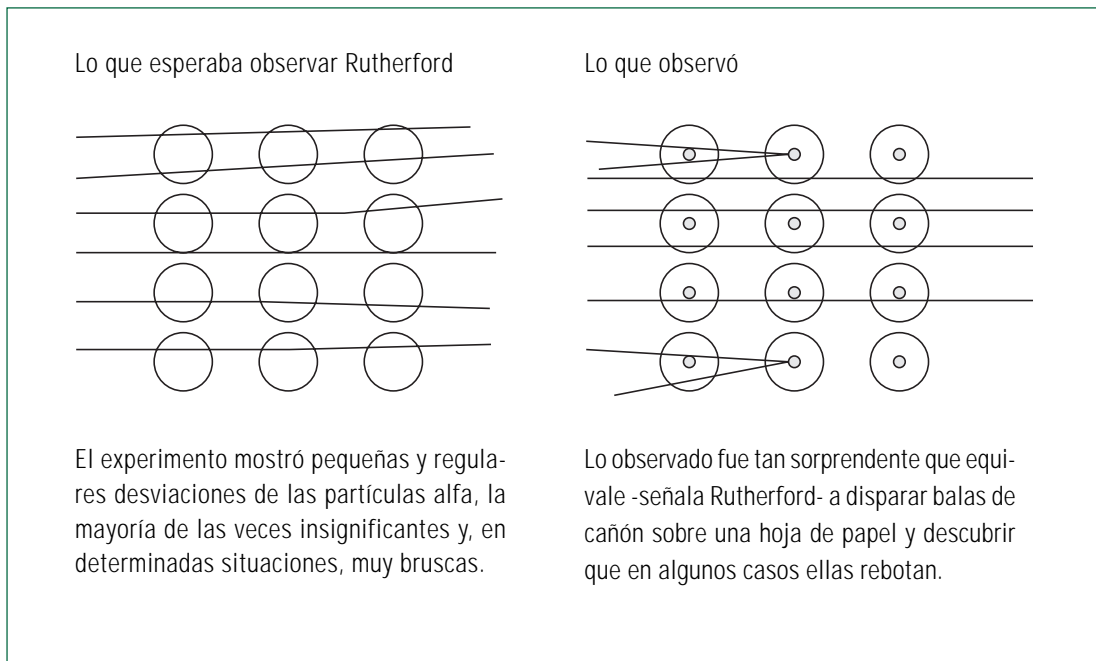
Fig. 2.3



En la descripción de este célebre experimento puede ser adecuado mencionar que: como fuente de partículas se empleó una muestra de radio radiactivo, es decir, se dispararon partículas alfa que hoy sabemos son núcleos de helio; el blanco fue una delgadísima lámina de oro, de sólo unos cientos de átomos de espesor. Explicar también que, en conformidad con la concepción de átomo que se poseía en ese momento (el de J. J. Thomson), sólo se esperaban leves desviaciones de las partículas alfa y ninguna desviación muy grande. Véase figura 2.4.

Esto deja abierto el camino para comprender cómo se descubrió y midió el tamaño del núcleo atómico, tema central de la segunda parte de esta unidad.

Fig. 2.4



## Ejemplo D

Construyen un modelo a escala del átomo planetario de Rutherford.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Para que los estudiantes realicen este modelo es necesario proporcionar algunos datos. Decir, por ejemplo, que del experimento de Rutherford se concluye que el núcleo atómico posee un radio de unos  $10^{-15}$  m y contiene cerca de 99,9 % de la masa del átomo; que el radio estimado para un átomo como el de hidrógeno es de  $0,53 \times 10^{-10}$  m (radio atómico de Bohr). El uso de analogías, como comparar al átomo con un estadio en el cual el núcleo atómico sería del tamaño de una pelota de fútbol, o la información de que se requiere de unos 50.000.000 de átomos puestos en línea, unos al lado de otros, para cubrir 1 cm, pueden ser de utilidad para que los estudiantes se formen una idea de las dimensiones de los átomos. Mencionar también que se usa como unidad para medir el tamaño de los átomos el ángstrom ( $\text{\AA}$ , definido como  $10^{-10}$  m) y que el diámetro de un átomo mide entre 1 y 2  $\text{\AA}$ .

Este modelo debe señalar también el hecho de que en el núcleo atómico se concentra la carga positiva del átomo mientras que la carga negativa orbita en forma similar a como lo hacen los planetas alrededor del Sol en medio de un vacío predominante. Mencionar que si cabe asociarle algún tamaño al electrón, éste podría ser a lo más del orden de  $10^{-16}$  m, aunque hoy se trata como si no tuviera diámetro y fuese “puntual”.

## Ejemplo E

Realizan una investigación bibliográfica acerca de la vida y obra de personajes que dejaron una huella a través de sus investigaciones en torno al mundo atómico, como J. Dalton, E. Rutherford, N. Bohr, W. Pauli, E. Fermi, P. Dirac, R. Feynman y otros.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Asignar el trabajo a pequeños grupos de estudiantes. La información puede encontrarse con facilidad en la red internet. Para asegurarse de que los alumnos y las alumnas no sólo transcriben información, será necesario exigirles una breve explicación de lo investigado al resto del curso. Explicar con claridad la característica que debe reunir el trabajo, los plazos, las condiciones de la exposición y el modo en que se evaluará y calificará.

Según el contexto puede ser buena idea exigir a los grupos que el documento escrito tenga un cierto formato en un procesador de texto, con el propósito de reunirlos posteriormente en un único texto que podría titularse, por ejemplo, “Tras la huella del átomo” para dejarlo en la biblioteca como un aporte del curso e, incluso, publicarlo en una página web de la escuela.

## Ejemplo F

- Predicen qué ha de ocurrir si un electrón (eléctricamente negativo) se aproxima a un núcleo (eléctricamente positivo).

## INDICACIONES AL DOCENTE

Sobre la base de los conocimientos adquiridos hasta ahora: el que el núcleo es más masivo que el electrón, que la fuerza entre núcleo y electrón es de atracción y la gran semejanza entre la ley de gravitación universal de Newton y la ley de Coulomb, los estudiantes realizarán seguramente predicciones que guardan gran semejanza con el movimiento de los astros en torno del Sol. En efecto, dependiendo de su rapidez y de la dirección en que se mueva con relación al núcleo, según la mecánica de Newton, el electrón seguirá trayectorias comparables a las de los planetas, cometas y asteroides en torno al Sol. Más aun, un electrón inicialmente en reposo experimentará una caída libre sobre el núcleo.

Puede ser oportuno hacer ver a los estudiantes que la fuerza gravitacional entre la masa del electrón y la del núcleo, si bien está presente, resulta del todo despreciable en comparación con la fuerza eléctrica. Bastará comparar la razón entre ambas. En efecto, en este caso se tiene que

$$\frac{\text{Fuerza eléctrica}}{\text{Fuerza gravitacional}} = \frac{ke^2}{Gm_em_p} \approx 2,3 \times 10^{39}$$

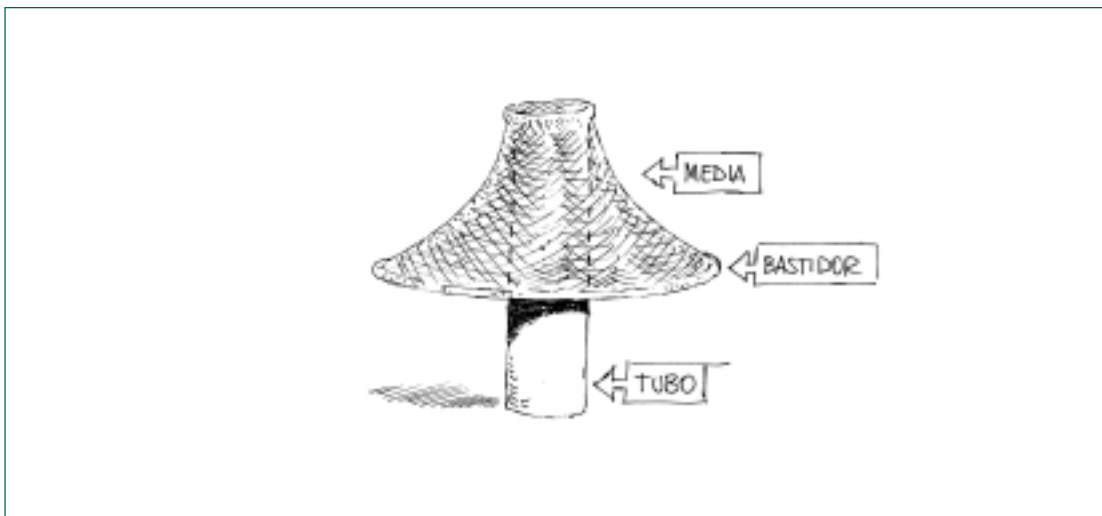
Puede ser instructivo que los jóvenes construyan superficies que simulen el efecto del potencial eléctrico de un núcleo sobre la trayectoria de un electrón o un positrón, utilizando una bolita que rueda sobre la superficie. El modelo puede construirse con plastilina, greda u otro material que sepan trabajar. El perfil debe seguir aproximadamente la forma de la curva de potencial  $\frac{1}{r}$ , donde  $r$  es la distancia al centro. Ésta se puede trazar y luego cortar en un cartón o lata, sirviendo de matriz para modelar simétricamente la pieza, como se ilustra en la figura 2.5. Hacer ver que el movimiento real es en un plano, por lo que la curva observada habría que proyectarla al plano horizontal.

Esta forma se obtiene también tensando por el centro una tela elástica con un tubo, como se ilustra en la figura 2.6. La tela debe estar fija a un bastidor circular, como por ejemplo los que se usan para bordar. Puede ser interesante realizar el análisis de la energía potencial eléctrica en el vecindario del núcleo positivo, tanto para un electrón como para un positrón (electrón positivo). Además de mostrar el modo de construir esta superficie, la figura 2.5 muestra cómo un positrón que se aproxima al núcleo atómico se desvía notoriamente de su trayectoria original. De haberse dirigido exactamente hacia el centro del núcleo se habría devuelto por el mismo camino.

Fig. 2.5



Fig. 2.6



## Ejemplo G

- Especulan sobre la calidad de un modelo planetario del átomo.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es claro que un átomo con las características de sistema planetario no funciona. Al orbitar como planetas, por ser cargas eléctricas los electrones acelerados debieran irradiar energía como una antena, con lo cual rápidamente terminarían por precipitarse al núcleo. En el caso de los astros esta pérdida de energía por radiación gravitacional es insignificante (aún no detectada experimentalmente debido justamente a su insignificancia). Siendo la radiación electromagnética mucho más importante, los átomos no debieran durar más de unos  $10^{-9}$  s, lo cual evidentemente no ocurre. La comprensión de este aspecto debe convencer a los alumnos y las alumnas de que el modelo elaborado es incorrecto, es decir, no da cuenta de lo que se observa.

Es conveniente relatar algunos antecedentes históricos acerca de cómo se fue modificando la física para poder explicar el comportamiento del átomo. Mencionar en primer lugar la propuesta de Planck en 1900, según la cual un objeto que vibra con frecuencia  $f$  no puede tener cualquier energía, sino sólo aquellas dadas por la ecuación  $E = nhf$ , donde  $n$  es un entero y  $h$  una constante, hoy llamada “constante de Planck”. Mencionar luego que Niels Bohr propuso que los electrones obedecen a una mecánica diferente de la de Newton, tan exitosa para describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol, destacando que en el año 1913 propuso que, de irradiar, la energía emitida no es continua sino “empaquetada” en cuantos de valores finitos, como los cuantos de Planck.

## Ejemplo H

- Resuelven y discuten el modelo atómico de Bohr.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es probable que el docente decida resolver este problema mecánico frente a los alumnos y alumnas sin que ellos participen directamente del trabajo. En tal caso cuidar de discutir con el curso las consecuencias del modelo. Iniciar la actividad enunciando el postulado principal del modelo: el electrón se mueve, sin irradiar, en una órbita circular cuyo momento angular obedece a la relación  $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ , donde  $r$  es el radio de la órbita,  $v$  la velocidad y  $h$  la constante de Planck. Resolver el problema mecánico utilizando los conocimientos del movimiento circular desarrollados en Tercer Año Medio. Obtener los radios y las energías permitidas para cada valor de  $n$ . Analizar en detalle estos resultados, dibujando órbitas, etc.

## Ejemplo I

Observan la estructura de algunos espectros ópticos y especulan sobre lo que ellos podrían significar en relación con la estructura atómica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Para desarrollar esta actividad será necesario recordar brevemente el fenómeno de la dispersión cromática descrita en Primer Año Medio, junto al descubrimiento de Joseph von Fraunhofer de las líneas espectrales. Describir un espectroscopio de prisma y el modo en que funciona, por ejemplo con un esquema como el de la figura 2.7. Si se posee un espectroscopio será oportuno observar a través de él espectros como los producidos por tubos fluorescentes, lámparas de yodo, etc. Mostrar esquemas de las líneas espectrales del hidrógeno, del helio y de algunos otros elementos simples. Hay páginas web de internet en que se muestran espectros como los que requiere esta actividad (véase el Anexo E) lo que puede resultar de gran valor más adelante para comprender los niveles de energía de los átomos. Para cerrar y complementar una actividad como esta puede ser interesante dar a graficar a estudiantes una de las series como las de Lyman, Balmer, Paschen, Brackett y Pfund. En el cuadro de la figura 2.8 se listan las expresiones matemáticas de estas series obtenidas empíricamente. En ellas  $R_H$  es la constante de Rydberg ( $1,0973732 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ) y  $\lambda$  la longitud de onda.

Fig. 2.7

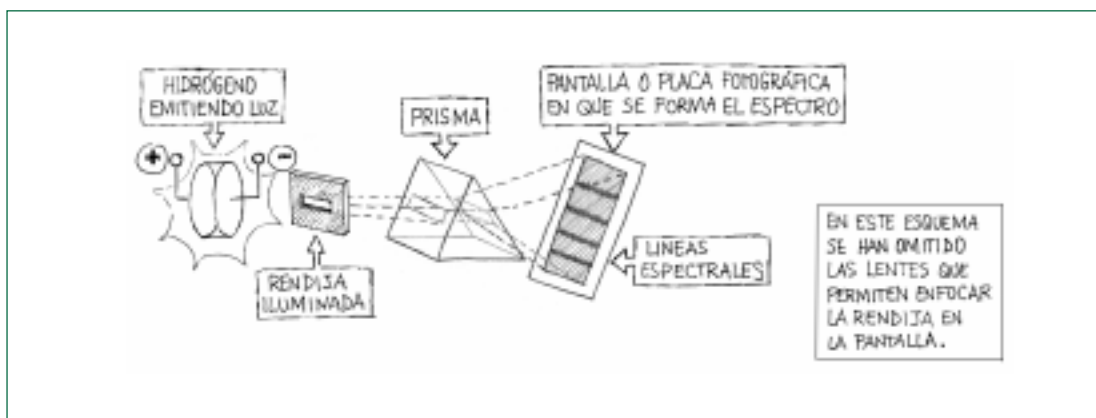


Fig. 2.8

Nombre	Zona del espectro	Expresión	
Lyman	Ultravioleta	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	con $n = 2, 3, 4, \dots$
Balmer	Ultravioleta y visible	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	con $n = 3, 4, 5, \dots$
Paschen	Infrarrojo	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	con $n = 4, 5, 6, \dots$
Brackett	Infrarrojo	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	con $n = 5, 6, 7, \dots$
Pfund	Infrarrojo	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	con $n = 6, 7, 8, \dots$

Por ejemplo, para la serie de Balmer se obtienen las longitudes de onda que señala la tabla y gráfico de la figura 2.9, que conviene comparar con el espectro visible del hidrógeno que se muestra en la figura 2.10.

Fig. 2.9

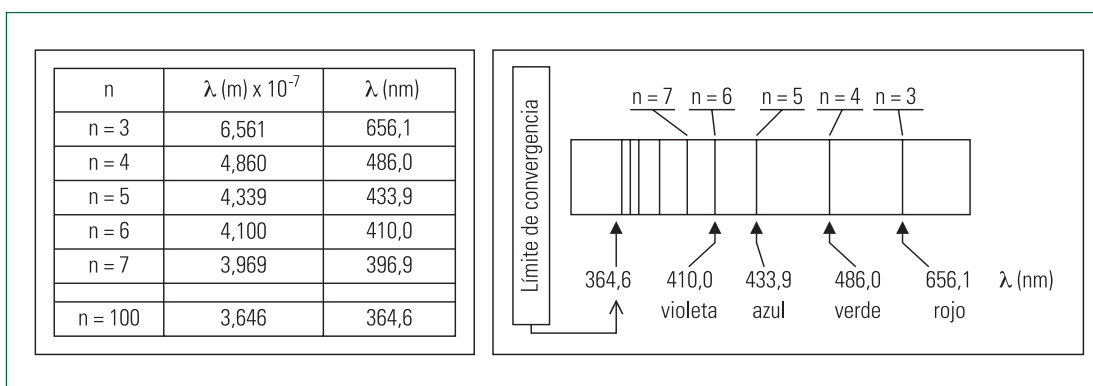
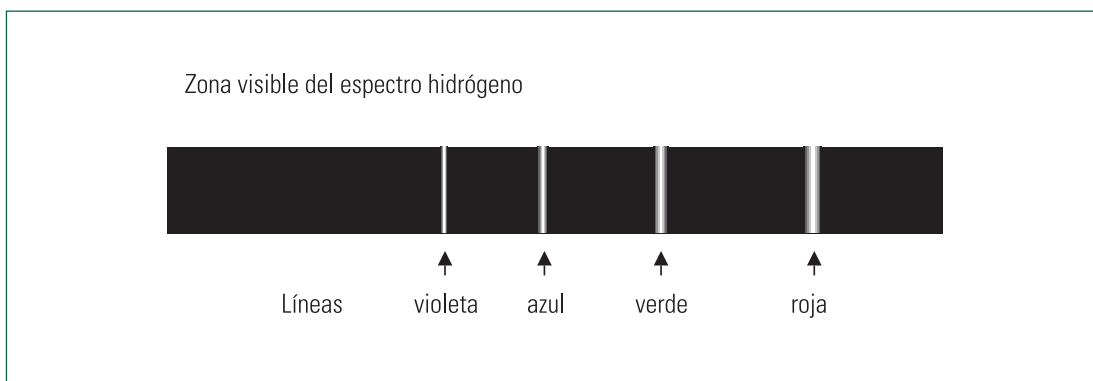


Fig. 2.10



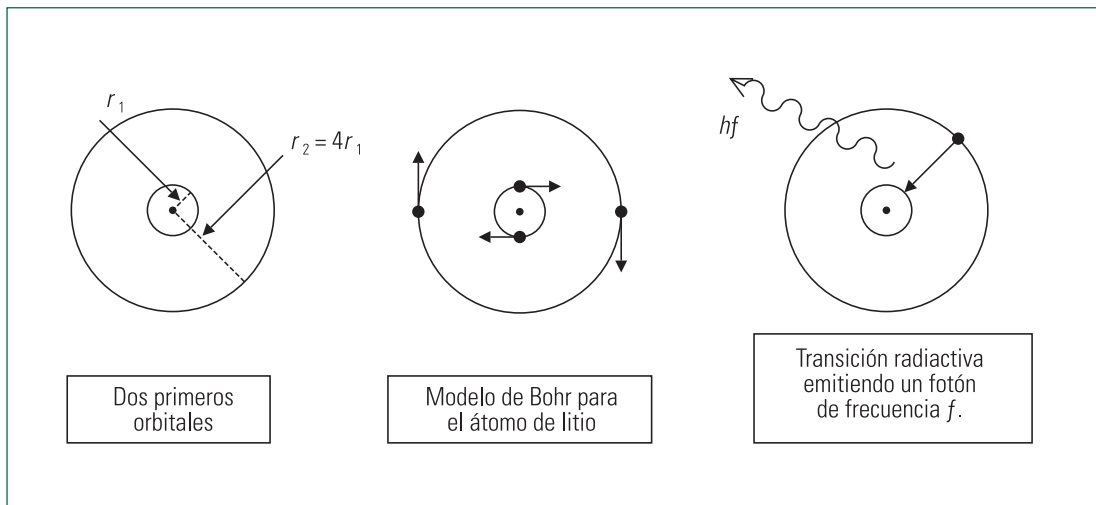
## Ejemplo J

- Sobre la base del modelo atómico de Bohr reconocen la existencia de líneas espectrales en la emisión y absorción atómica.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad debe apoyarse en un desarrollo previo de la teoría de Bohr para el átomo de hidrógeno (Ejemplo H). Buenas experiencias de esta teoría se encuentran en libros de física moderna y algunos de física general. La unidad completa se puede organizar en torno a la construcción, elaboración y crítica a este modelo. Analizar las transiciones cuánticas (de absorción y emisión) permitidas por el modelo y su relación con lo observado experimentalmente en las series de Balmer y Lyman, por ejemplo. Enunciar el principio de Pauli y, haciendo uso de este principio, explicar con algún ejemplo cómo se podría entender la tabla periódica y la diversidad de comportamiento radiactivo de diferentes especies de átomos.

Fig. 2.11



Uno de los aspectos más significativos que los estudiantes deben comprender es que Bohr, a partir del cálculo de la energía del átomo y en base a los nuevos postulados cuánticos, encontró teóricamente para las transiciones de los electrones en el átomo la expresión

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{ke^2}{2a_0hc} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

donde  $k$  es la constante de la ley de Coulomb,  $e$  la carga del electrón,  $a_0 = 0,529 \text{ \AA} = 0,529 \times 10^{-10} \text{ m}$ , el radio atómico de Bohr,  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  la constante de Planck y  $c$  la velocidad de la luz. Lo sorprendente es que esta fórmula es idéntica a las de las series de Balmer, Paschen, etc., obtenidas por análisis espectral; más aún, la constante es justamente la constante de Rydberg  $R_{\text{H}}$ , como los estudiantes pueden verificar. Esta expresión puede obtenerse directamente de los resultados del Ejemplo H y la relación entre frecuencia y longitud de onda,  $f\lambda = c$ , que obedece la radiación electromagnética. Hacerles ver que una teoría más moderna para los fenómenos cuánticos (la mecánica cuántica) modifica las ideas de Bohr al rechazar el concepto de trayectoria ilustrado en la figura 2.11, que es tratada en el plan diferenciado. En esta teoría la descripción se hace mediante la "función de onda", que entrega la probabilidad que el electrón se encuentre en determinada posición. Así, la mecánica cuántica calcula probabilidades, con lo cual las predicciones, que en física clásica son estrictamente deterministas (a tal causa, tal efecto unívoco), en el mundo atómico dan origen a posibilidades diversas. La discusión de este interesante tema, de alcances filosóficos, puede realizarse con la participación de un profesor o profesora de filosofía. Existe abundante bibliografía acerca del tema en tratados de física moderna, libros de divulgación, etc.

---

## (b) El principio de incertidumbre

### Detalle de contenidos

#### ORIGEN Y SIGNIFICADO DE LA INCERTEZA EN LAS MEDICIONES

Ejemplos de incerteza en diversas mediciones. La dificultad de realizar mediciones absolutamente precisas.

#### ENUNCIADO DEL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

Su formulación matemática y el significado físico de las magnitudes que involucra. Su descubridor: Werner Heisenberg.

#### CONSECUENCIAS DEL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

Importancia del principio en la descripción del movimiento de las partículas elementales y en la configuración del átomo. Imposibilidad de predecir con certeza el futuro en el ámbito cuántico. Compatibilidad con el comportamiento newtoniano del universo macroscópico.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad 1

---

**A través de ejercicios de medir cuestionan la posibilidad de conocer una magnitud sin error alguno y estiman el tamaño de la incerteza.**

#### Ejemplo A

- Por medio de una regla graduada en centímetros y milímetros miden con la mayor precisión posible la longitud de un lápiz, de un cuaderno o del pupitre. Describen el procedimiento de medición y el de lectura del instrumento. Discuten el modo de expresar objetivamente el resultado de dicha medición y su grado de precisión.

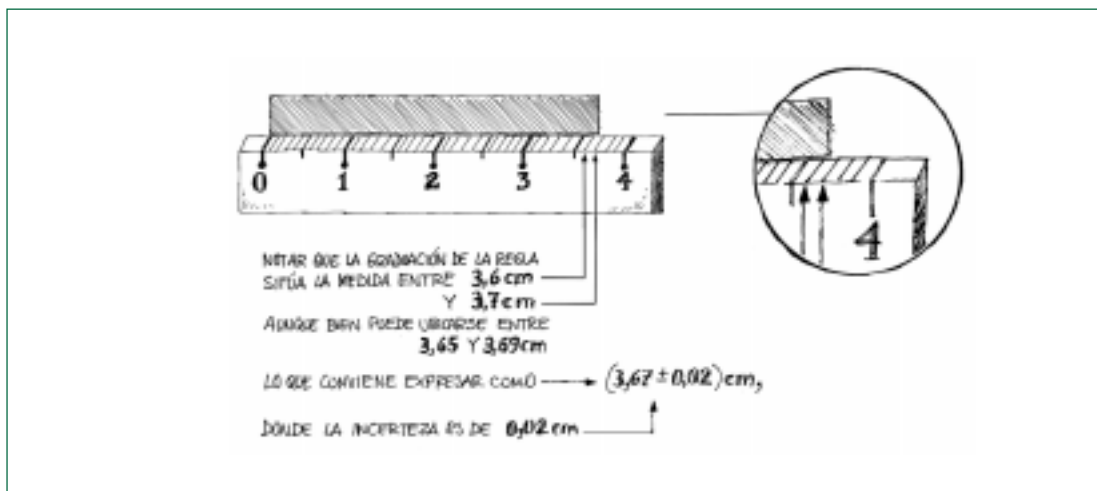
#### INDICACIONES AL DOCENTE

Al realizar esta actividad es conveniente hacer ver a alumnos y alumnas lo siguiente:

- 1) medir es distinto de calcular, operaciones a menudo confundidas por muchos estudiantes;
- 2) hay mediciones directas, como las que se realizan con reglas, en las cuales el instrumento se aplica directamente a lo que se quiere medir;
- 3) hay mediciones indirectas en que, sobre la base de un cierto número de mediciones directas y algunas consideraciones teóricas, se obtienen valores experimentales. Ejemplos son las distancias astronómicas, las temperaturas en el centro de las estrellas, el tamaño de los átomos, etc;
- 4) en las mediciones directas la lectura de una magnitud siempre está limitada por el tamaño de la escala en el instrumento, el ancho de la aguja si la hay, etc. como se ilustra en las figuras 2.12;

- 5) en las mediciones indirectas es necesario efectuar cálculos con magnitudes que poseen cierta incerteza, razón por la cual las incertezas se acumulan, arrastran y habitualmente se incrementan;
- 6) la forma de expresar los resultados de las mediciones es agregando a la cantidad medida la incerteza estimada, precedida del signo  $\pm$ . En relación con el ejemplo de la figura 2.12 la expresión largo =  $3,67 \pm 0,02$  cm significa que, conforme a la medición realizada, la longitud del objeto no es menor de 3,65 cm ni mayor de 3,69 cm. Notar que esto supone que el instrumento (la regla en este caso) está bien calibrado.

Fig. 2.12



Situaciones como la ilustrada en la figura se presentan con todos los instrumentos analógicos: relojes, voltímetros, termómetros, etc. Puede ser instructivo instar a los estudiantes a realizar la lectura de los instrumentos analógicos ayudándose de una lupa y discutir con ellos si se logra así mayor precisión. Indicar que también hay error cuando se leen instrumentos digitales, que entregan resultados ilusoriamente exactos. Hacer notar que sus fabricantes suelen indicar la incerteza con que tales instrumentos miden y que el último dígito de ellos, el cual a veces queda fluctuando, expresa de alguna manera la correspondiente incerteza.

Resulta interesante organizar la actividad de modo que grupos distintos de estudiantes midan la longitud de un mismo objeto con distintos instrumentos (reglas de plástico, madera, huinchas de costurero o carpintero, etc.) y distintos procedimientos (colocación del instrumento, ángulo de visión durante la lectura, etc.). Entonces se podrá demostrar que en la magnitud de la incerteza intervienen múltiples factores además de los antes señalados.

No conviene profundizar más de lo aquí señalado. No es indispensable, por ejemplo, hacer cálculos con magnitudes con incerteza ni menos adentrarse en su álgebra. Lo único que conviene enfatizar es el significado de la incerteza, su origen y su inevitabilidad.

#### Ejemplo B

- Argumentan sobre la posibilidad o imposibilidad de que a futuro, cuando la física y los instrumentos de medición que emplea evolucionen, llegue a ser posible eliminar completamente las incertezas de las mediciones.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Es posible que algunos alumnos o alumnas sostengan una posición y otros la otra. Si así ocurre convendrá organizar un debate de las ideas, no sólo velando por que los argumentos que se esgriman sean consistentes desde el punto de vista lógico sino que, además, por el respeto mutuo cuando se enfrentan ideas diferentes, permitiendo expresar libremente y en un ambiente de respeto las opiniones de todos los estudiantes. Esta actividad será ideal para introducir el principio de incertidumbre.

## Actividad 2

**Analizan el enunciado y significado físico del principio de incertidumbre, así como sus implicancias en la imagen que se posee del mundo atómico.**

## Ejemplo A

- Discuten acerca del significado físico del principio de incertidumbre.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Evidentemente corresponde al profesor o profesora enunciar este principio. Enunciado por primera vez en 1927 por Werner Heisenberg luego de los avances introducidos por Bohr y de Broglie en el estudio del átomo, establece que el producto de la incerteza en la medición de la velocidad de una partícula ( $\Delta v$ ) y la medición de su posición ( $\Delta x$ ) es siempre diferente (mayor) de cero. La expresión explícita es  $\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$ , donde  $\Delta p = m \Delta v$ ,  $h$  la constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J•s) y  $m$  la masa de la partícula. Es importante que se comprenda:

- 1) el significado físico de los distintos términos:  $\Delta v$ ,  $\Delta x$ ,  $h$  y  $m$ , particularmente que  $\Delta v$  y  $\Delta x$  son las incertezas asociadas a las mediciones simultáneas de la velocidad y la posición del objeto (en cada una de las componentes si el movimiento es tridimensional);
- 2) lo pequeña que resulta ser la cantidad  $\frac{h}{4\pi m}$  para los objetos corrientes que nos rodean. Conviene evaluar este término para, por ejemplo, un astro como la Tierra, un lápiz, un electrón y un protón, y compararlos. Destacar que el valor es tan pequeño para objetos macroscópicos que el principio de incertidumbre prácticamente carece de importancia en esos casos. Ilustrar el punto calculando la incerteza en la velocidad de una moneda cuya posición es conocida con una incerteza de un milímetro, y en la velocidad de un electrón atrapado en el interior de un átomo ( $\Delta x \sim 10^{-10}$  m);
- 3) que si en el mundo submicroscópico se midiera con total precisión la posición de una partícula ( $\Delta x = 0$ ) la imprecisión en la velocidad sería infinita. De igual manera, si se mide con mucha exactitud la velocidad de la partícula ( $\Delta v$  pequeño), la incerteza en la posición ( $\Delta x$ ) tendrá que superar un valor mínimo dado por la relación de incertidumbre. Si la incerteza en la medición de la velocidad de una partícula es muy pequeña no sabremos dónde se encuentra y, a la inversa, si la localizamos con mucha exactitud, no sabremos con qué velocidad se mueve;
- 4) que el principio de incertidumbre nos habla de una limitación al conocimiento impuesta al ser humano por la naturaleza y no por los instrumentos o métodos de medición que a futuro pudieran perfeccionarse.

Para comprobar la importancia del principio en el ámbito atómico, y su relativa irrelevancia en el comportamiento macroscópico, es conveniente resolver un ejemplo de cada ámbito en detalle. Por ejemplo, se puede calcular la incerteza en la velocidad de un electrón que se sabe está en el interior del átomo ( $\Delta x \sim 10^{-10}$  m) y luego calcular la incerteza para el caso de una moneda que se encuentra sobre la mesa ( $\Delta x$  se puede estimar en  $10^{-6}$  m, por ejemplo). Analizar la consecuencia sobre el efecto de trayectoria en el movimiento, el cual depende del conocimiento simultáneo de la posición y la velocidad.

#### Ejemplo B

- Analizan el modo de proceder para determinar simultáneamente la posición y la velocidad de un objeto ordinario, y lo comparan con el caso de que se trate de una partícula pequeña como un electrón.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La realización de tales mediciones en situaciones macroscópicas no son tan simples como parece en primera instancia. La dificultad se puede ilustrar analizando el caso de un alumno o alumna que camina en línea recta por la sala. Para determinar su velocidad y posición en cierto instante  $t$  es necesario registrar su posición en dos instantes lo más próximos posibles  $t_1$  y  $t_2$ . Si  $x_1$  y  $x_2$  son las posiciones del estudiante en los instantes  $t_1$  y  $t_2$ , entonces su posición en  $t$  será aproximadamente  $\frac{x_2 + x_1}{2}$  y su velocidad,  $v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ . Aquí suponemos que la tecnología de medición es tan avanzada que no nos preocupa la imprecisión de los instrumentos mismos o su lectura. Si bien los valores encontrados son aún aproximados, ellos pueden mejorarse aparentemente todo cuanto queramos. Lo importante en este ejemplo es que los estudiantes adviertan que al alumno o alumna hay que darle, como mínimo, un par de vistazos. Y que éstos no alteran su caminar.

Analizar en igual forma el caso del electrón, teniendo ahora presente que el “darle un vistazo” significa que debe interactuar con un fotón, afectando necesariamente su estado de movimiento.

#### Ejemplo C

Organizar una conversación entre los estudiantes destinada a que cada uno exponga la imagen que posee del electrón, tanto libre como formando parte de un átomo.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Algunas preguntas destinadas a estimular la imaginación de los estudiantes pueden ser: ¿será el electrón una esferita pequeña similar a una bolita de rodamiento?, ¿será una esferita blanda o dura?, ¿será una esfera hueca o maciza?, ¿de qué color será?, ¿tendrá sabor, olor...? Sus órbitas en torno al núcleo, ¿serán elípticas o circulares?, ¿podrá un electrón aproximarse todo cuanto se quiera al núcleo atómico?

Si bien por razones de tiempo y por la complejidad intrínseca del tema no será posible dar una idea completa de lo que es un electrón para la física actual, esta actividad permitirá corregir algunos errores comunes en la percepción de lo que es el electrón. Comentar, por ejemplo, que no tiene

sentido asociarle un color pues la frecuencia de la radiación que absorbe o cede un electrón depende del cambio de energía que experimente, la que, en el caso del electrón libre, puede variar en forma continua conforme a la relación  $E = hf$ . También es preciso recordar que no tiene sentido hablar de la trayectoria de un electrón.

#### Ejemplo D

Realizan un trabajo acerca de la naturaleza cuántica del mundo atómico.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Hay enorme cantidad de material fascinante en la literatura y en internet que alumnas y alumnos pueden consultar. Este trabajo puede servir para ampliar la cobertura de esta materia, a áreas tan importantes como el dualismo onda-corpúsculo, la interpretación probabilística de la física cuántica y sus consecuencias epistemológicas, etc. También puede ser motivante adentrarse en temas que sólo se entienden en base a la física del átomo, como el láser, los semiconductores, los superconductores, etc.

## 2. El núcleo atómico

### (a) Tamaño y constitución del núcleo

#### Detalle de contenidos

##### DIMENSIONES DEL NÚCLEO

Su tamaño en relación con el del átomo y los objetos macroscópicos cotidianos.

##### PROTONES Y NEUTRONES.

Su masa, carga eléctrica y espín. Su carácter de partícula compuesta y sus constituyentes, los quarks.

##### ISÓTOPOS

Definición. Algunos ejemplos, como el hidrógeno, el helio, el yodo, el uranio. Abundancia relativa en la naturaleza.

#### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

##### Actividad

**Mediante analogías a situaciones y objetos de la vida cotidiana, conocen y contextualizan las magnitudes y propiedades más importantes del núcleo atómico.**

##### Ejemplo A

- Toman una hoja de papel y la dividen en dos mitades. Una de las mitades la vuelven a partir por el medio, y así sucesivamente. ¿Cuántas divisiones pueden realizar utilizando sólo las manos? Calculan y comentan el número de divisiones que hubieran sido necesarias para tener finalmente un trozo del ancho de un átomo, o de un núcleo atómico.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene por objeto que los alumnos y alumnas se formen una idea geométrica de los tamaños a nivel atómico y nuclear. Para ello es conveniente primero entregar los números característicos (átomo =  $10^{-8}$  cm, núcleo =  $10^{-13}$  cm) y luego hacer el ejercicio con la hoja de papel. Luego de unas diez divisiones, el trozo resultante, de unos 0,5 cm de lado, ya no se puede dividir más sin ayuda de instrumentos especiales como tijeras, pinzas, microscopios, etc. Una simple estimación numérica permite establecer que se requerirían unas sesenta divisiones para obtener finalmente una tira de un diámetro atómico de lado y del ancho de la hoja de papel (alrededor de un millón de diámetros atómicos). Comentar luego que si fuese posible continuar el proceso dividiendo un átomo (no lo es, no sólo por el problema instrumental, sino porque el átomo no es uniforme como la

hoja de papel), se requerirían unas 25 divisiones adicionales para llegar a la dimensión del núcleo. La comparación de tamaños se puede dramatizar relacionándola con una comparación similar de objetos macroscópicos (un átomo es a una arveja como una naranja es a la Tierra misma, y un núcleo es a un átomo como una hormiga es a un estadio de fútbol, etc).

#### Ejemplo B

Simulando la dispersión que sufre la partícula alfa (núcleo de helio) por parte del núcleo en el interior de un átomo de oro, estiman la probabilidad de que una esfera tirada al azar choque frontalmente con otra similar ubicada en el centro de un disco cuyo diámetro es cien mil veces mayor.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad constituye un interesante e ilustrativo ejercicio de cálculo de probabilidad (fracción entre los casos favorables y los posibles) si el proyectil es lanzado al azar. Suponiendo ambas partículas de igual radio  $R$ , para que haya choque por contacto, el centro del proyectil debe pasar por un disco de radio  $2R$  en cuyo centro se encuentra el blanco, de modo que el resultado es  $\left(\frac{2}{10^5}\right)^2 = 0,00000004$  %, ¡sumamente pequeño y difícil de medir! Comentar que Rutherford usó láminas muy delgadas de oro, las que de modo aproximado se pueden modelar como unas 20.000 redes cuadradas planas de átomos que se tocan, superpuestas. Esta es una ocasión para hacer efectiva la interdisciplinariedad con el sector de Matemáticas, puesto que el tema de las probabilidades corresponde a la primera unidad de esta asignatura en el Programa de Formación General de Cuarto Año Medio.

#### Ejemplo C

- Proponen un par de objetos cotidianos cuyas masas tengan entre sí una relación similar a la que existe entre el electrón y el protón en el átomo de hidrógeno. Discuten las diversas propuestas que surgen.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es conveniente que cada estudiante piense un ejemplo y luego la clase elija el más afortunado. La relación es 1:1835, de modo que posibles parejas (aproximadas) son una sandía y una tina llena de agua, un grano de arroz y una cucharón medio lleno (¡relación exacta si tiene 1835 granos en su interior! ¿Cuántos caben en una olla común?), etc. La utilidad de este ejemplo está en que el uso de objetos cotidianos ayuda a grabar las ideas y proporciona un recurso mnemotécnico para recordarla. Comentar que la relación entre la masa de la Luna y la de la Tierra es veinte veces mayor de modo que suponer que en el átomo de hidrógeno el protón está quieto mientras el electrón se mueve es una aproximación aún mejor que suponerlo respecto de la Tierra en el sistema Tierra-Luna.

#### Ejemplo D

Comparan la densidad del protón con la del agua y estiman el diámetro que tendría la Tierra si tuviese la densidad del núcleo atómico.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Suele decirse que la materia que compone las cosas que nos rodean es principalmente vacío por la constitución del átomo, con un núcleo extraordinariamente pequeño en el centro, y los electrones puntuales girando alrededor. Aun cuando esta imagen no es rigurosamente correcta pues la nube electrónica en realidad ocupa todo el espacio disponible, este ejemplo ayuda a apreciar el pequeño volumen que ocupa la mayor parte de la masa atómica, contenida en el núcleo. Es además un buen ejercicio acerca de la estimación aproximada de órdenes de magnitud, muy útil en el proceso de modelación en física.

## Ejemplo E

Hacen girar una bolita, pelota u otro objeto, discutiendo el concepto de espín (rotación) para sistema macroscópico. Discuten acerca de la viabilidad del concepto para un objeto en el ámbito cuántico, teniendo presente que en este caso no se puede usar la noción de trayectoria.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Usar esta experiencia para introducir el espín cuántico y vincularlo al momento angular de giro como un vector. Recalcar que la idea misma de giro no es adecuada al núcleo, electrón o ningún otro objeto de esas dimensiones, y que se usa sólo como una metáfora. Destacar su carácter cuántico, en el sentido de tener valores fijos, múltiples de  $\frac{h}{4\pi}$ , donde  $h$  es la constante de Planck.

## Ejemplo F

- Los alumnos y alumnas se ponen de pie, simulando un conjunto de espines de núcleos de átomos de hierro alineados en el material imantado. Discuten lo que ocurre en el material si se eleva la temperatura.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Comentar que la acción de un imán en la cercanía de un trozo de hierro (una aguja, tijera, clavo, etc.) sobre sus átomos es similar a la del docente cuando les pide ponerse de pie: los alinea y ordena. El calor, en cambio, provoca movimiento y desorden, destruyendo la alineación. Mencionar que los estudiantes de pie simulan vectores, magnitudes matemáticas que representan al momento angular de espín. Ver figura 2.13. Puesto que cargas en movimiento producen un campo magnético, a este momento angular se asocia un momento magnético o pequeño imán. En el hierro todos los espines tienen el mismo valor, por lo que la analogía es imperfecta pues los alumnos y alumnas son de porte diferente. Mencionar finalmente que en los materiales antiferromagnéticos los espines (vectores) se van alternando: hacia arriba, hacia abajo, hacia arriba, etc. La analogía se cumpliría si un estudiante por medio se parara en la cabeza...

Fig. 2.13



## Ejemplo G

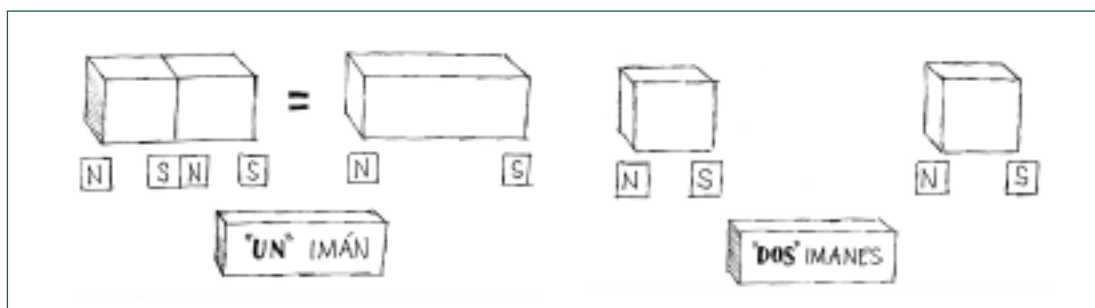
En base a la analogía con un imán, discuten acerca de la imposibilidad de aislar un quark.

¿Se puede aislar el polo norte de un imán?

## INDICACIONES AL DOCENTE

Protones y neutrones están hechos de quarks, partículas que no pueden liberarse, a diferencia del electrón, que puede separarse de un átomo originalmente neutro dejando atrás un ión. La fuerza entre dos quarks no decrece con la distancia como lo hacen la gravitacional y la de Coulomb, de modo que a medida que se separan se invierte cada vez más energía, hasta el punto que ésta se hace suficiente para formar otra pareja de quarks: al igual que se forman dos imanes con ambos polos cuando se parte un imán, se forman dos parejas de quarks cuando se separan dos quarks. Recalcar que esta es sólo una analogía pues los mecanismos de formación de las parejas son diferentes en ambos casos. La discusión se puede estimular partiendo en dos un material imantado (una aguja, por ejemplo, mostrando el afecto sobre un retroproyector de transparencias), o mostrando cómo dos imanes unidos por polos opuestos se comportan como un solo imán de dos polos. Ver figura 2.14 Esta actividad permite informar a alumnas y alumnos que neutrones, protones, piones y otras partículas que hace pocas décadas se consideraron elementales en realidad no lo son, estando formadas por quarks. Comentar que en los modelos atómicos primitivos (Demócrito) los átomos eran también elementales. ¿Será posible que en el futuro se descubra que el electrón, por ejemplo, es una partícula compuesta? Preguntas como esta pueden ser motivantes para alumnas y alumnos.

Fig. 2.14



### Ejemplo H

- Discuten acerca del rol que pueden jugar los neutrones en el núcleo.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Orientar la discusión hacia la necesidad de reducir (apantallar) la repulsión debida a la fuerza eléctrica entre los protones, actuando como separadores. Estimular a alumnos y alumnas a inventar analogías como la siguiente: si dos personas agresivas están muy contrariadas, para evitar que se golpeen conviene separarlas y rodearlas. Esta actividad se presta para introducir el concepto de isótopo. En base a ese rol apantallador de los neutrones, interpretar por qué el número de isótopos de un elemento, y de neutrones en el núcleo relativo al número de protones, tiende a aumentar a medida que se avanza en la tabla periódica.

### Ejemplo I

Hacen girar rápidamente un disco con tres sectores pintados en su superficie: uno rojo, uno azul y uno verde. En base a lo que observan, comentan la regla de combinación de quarks para formar partículas: el color resultante debe ser siempre blanco.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Aparte de lo que enseña acerca de los quarks, este ejemplo es ilustrativo pues muestra cómo el ojo es incapaz de resolver un cambio rápido de imagen y las superpone, visualizando la “suma”. Enfatizar que algunas denominaciones en física son analógicas: el color del quark no es realmente un color en el sentido óptico, sino una especie de carga eléctrica “de tres signos”. Para formar una partícula compuesta como el protón, existe una regla y es que debe ser “blanca” o “neutra” desde el punto de vista del color. Así, el protón contiene un quark rojo, uno azul y uno verde, que se atraen entre sí, configurando una partícula que no tiene color neto (o es “blanca”), así como el átomo de hidrógeno, formado por un protón y un electrón, no tiene carga eléctrica neta.

---

## (b) Radiactividad

### Detalle de contenidos

#### RADIOACTIVIDAD NATURAL

Vida media de un núcleo atómico. Distinción entre comportamiento estadístico e individual. Ejemplos como el carbono 14 y la datación arqueológica, el yodo 131 y sus aplicaciones médicas, el plutonio 239 y sus efectos contaminantes.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

---

**Analizan el decaimiento exponencial y lo asocian al decaimiento radiactivo de núcleos en situaciones de interés cotidiano, emitiendo radiaciones alfa, beta o gama, apelando a algunos ejemplos concretos. Discuten diversas situaciones en que el decaimiento radiactivo es relevante.**

#### Ejemplo A

Se informan acerca de aspectos históricos del descubrimiento de las diversas formas de radiactividad.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Existe abundante bibliografía acerca del descubrimiento de las radiaciones alfa, beta, gama y X entre fines del siglo XIX y comienzos del XX. Es interesante que la denominación alfabética que originalmente se dio a estas emisiones revela que se desconocía su naturaleza física, y que tomó mucho trabajo experimental y teórico llegar a comprenderla. También puede ser de interés para los estudiantes conocer la historia de la radiación N, que resultó ser un fiasco. Aprovechar la ocasión para hacer ver que la honradez intelectual es un ingrediente fundamental de la investigación científica. La actividad puede resaltar también la importante participación de una mujer en esos descubrimientos, la polaca Marja Sklodowska (María Curie), galardonada con dos premios Nobel: el de Física (1903) y el de Química (1911). También puede ser relevante una discusión acerca de las precauciones que son necesarias cuando se maneja un objeto de origen desconocido (puede ser un ser vivo, un meteorito que se ha visto caer, etc.). María Curie y otros investigadores enfermaron de cáncer por los efectos de la radiación que manipularon en el laboratorio sin saber sus consecuencias dañinas para la salud. Algo similar ocurrió con altas dosis de rayos X que se administraron en tratamientos médicos, que también dieron origen al desarrollo de tumores cancerígenos.

## Ejemplo B

- Construyen una tabla de valores con las propiedades principales de las radiaciones alfa, beta y gama: carga eléctrica, masa, identificación moderna.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene por objeto el que los alumnos y alumnas comparen y memoricen dichas propiedades. Destacar la diversidad del espectro electromagnético al cual la radiación gama pertenece, destacando que esta radiación tiene exactamente la misma naturaleza que la luz visible.

Radiación	Identificación	Composición	Carga eléctrica
alfa	núcleo de helio	2 protones y 2 neutrones	2e
beta	electrón	elemental	-e
gama	onda electromagnética	elemental	0

## Ejemplo C

- Dibujan a mano alzada una curva exponencial decreciente, sobre la base de una disminución a la mitad de la magnitud en el eje vertical por cada incremento unitario T en el eje horizontal. Luego rotulan los ejes "isótopos radiactivos restantes" (eje vertical) y "tiempo transcurrido" (eje horizontal), este último en unidades de "tiempo de vida T".

## INDICACIONES AL DOCENTE

La curva exponencial es importante para interpretar información gráfica habitual no sólo en las ciencias básicas, sino en una variedad de campos como la economía, la salud, etc. Un ejemplo de disminución exponencial es el decaimiento radiactivo, que se puede expresar como  $N(T) = N(0) = e^{-Kt}$  ( $N(t) = N(0) \exp(-Kt)$ ) con  $T = \ln \frac{2}{K}$ . La base de esta expresión derivada de los experimentos radica en que el número original de isótopos de una determinada especie,  $N(0)$ , se reduce a la mitad cada vez que transcurre un intervalo de tiempo T llamado tiempo de vida media. La ocasión puede aprovecharse para hacer reflexionar a los estudiantes acerca de la diferencia entre el comportamiento estadístico de una gran cantidad de individuos de una misma especie, y lo que ocurre con un individuo particular: mientras el conjunto sigue una ley regular (por ejemplo, el decaimiento exponencial), el individuo puede presentar cualquier comportamiento y sólo se puede asignar a éste una probabilidad (de hecho un determinado núcleo puede decaer en cualquier momento). Es la predictibilidad para el comportamiento de conjuntos grandes versus el de individuos. La distinción es importante, por ejemplo, en el lenguaje que los médicos usan con sus pacientes, el estudio de poblaciones, la macroeconomía, etc. La actividad puede comenzarse haciendo una tabla de valores que posea la propiedad definitoria del decaimiento exponencial descrita más arriba, como la siguiente.

Tiempo transcurrido (unidad: T)	Isótopos radiactivos restantes ( x 10 <sup>18</sup> )
0	8
1	4
2	2
3	1
4	0.5
5	0.25
6	0.125
7	0.0625
8	0.03125

Se supone aquí que el número  $e = 2,71828\dots$  y el logaritmo son conocidos por alumnos y alumnas.

#### Ejemplo D

- Con ayuda de un conjunto de dados realizan una experiencia que manifiesta el decaimiento exponencial de una muestra inicial de objetos. Después de cada tirada, retiran los dados que muestran un determinado número y anotan la cantidad de dados que quedan, configurando una tabla de valores. Grafican los resultados y los comparan con una curva exponencial. Comunican sus resultados a la clase en forma oral.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia ilustra muy bien el decaimiento exponencial y es fácil de hacer. El ideal es que cada grupo use unos cien dados iguales. Notar que es posible involucrar más a los estudiantes pidiéndoles que los traigan de la casa, o cortando en clase cubos de madera iguales de un listón, y marcando una de sus caras. Simular que cada dado es un núcleo atómico y que el tiempo transcurrido entre tirada y tirada es el mismo (digamos, un minuto, aunque basta con “simular” que ha transcurrido ese intervalo de tiempo). Decidir qué número se identificará como “núcleo que emitió en la tirada”, por ejemplo, el número seis. Repetir la operación retirando cada vez los dados “que emitieron” y anotando el resultado, configurando así una tabla de valores. En el eje horizontal del gráfico anotan, igualmente distanciados, el número de la tirada (reducido a minutos, si se desea), y en el eje vertical, el número de dados que quedan. Como la probabilidad que un dado “decaiga” (salga “seis”) es un sexto, después de cada tirada quedará en el juego la fracción  $5/6$  de los que había, y después de cuatro,  $(5/6)^4 = 0.482$  del número original. Así, cada cuatro tiradas quedará cerca de la mitad de los dados (si se parte con cien, irán quedando aproximadamente 83, 69, 58, **48**, 40, 33, 28, **23**, 19, 16, 13, **11**, 9 ...), de modo que el “tiempo de vida” será cuatro tiradas aproximadamente (cuatro minutos, si se asoció un minuto al intervalo de tiempo entre dos tiradas). Llamar la atención de que la vida media se puede leer con buena aproximación del mismo gráfico, y que hay un patrón repetitivo en la disminución de la muestra. Si los alumnos y alumnas conocen los logaritmos, se puede graficar en el eje vertical el logaritmo del número de dados que queda,

resultando el gráfico aproximadamente una línea recta. Trazando una recta por entre los datos graficados se podrá leer del gráfico con buena precisión el “tiempo de vida” de los datos marcados con seis. Notar que la experiencia resultará más precisa mientras mayor sea el número de datos empleados, comentando que en un trozo de yodo radiactivo puede haber hasta unos  $10^{24}$  (un millón de millones de millones de millones) núcleos en proceso de decaimiento. Para hacer la experiencia más variada se puede pedir que distintos grupos usen diferentes criterios de decaimiento (“marcar” diferentes datos, eliminar una pareja de números cada vez, ir cambiando al azar el número marcado, realizar la experiencia con monedas, etc.). Si se dispone de un proyector de transparencias la experiencia se puede realizar con dados o pequeños cubos de plástico o madera a los cuales se ha taladrado un agujero por el cual pase la luz. Conviene que los cubos sean pequeños de modo que se pueda hacer una primera lanzada con unos treinta a la vez, retirando siempre aquellos que caen con el agujero en dirección vertical. La experiencia también puede dar origen a una posterior evaluación, en la cual dada una tabla de valores que representa el decaimiento exponencial de una muestra, alumnos y alumnas identifican la vida media de los objetos que decaen (sean núcleos atómicos, la densidad del aire en función de la altura, la caída en el valor de una moneda en un proceso de recesión, etc.). Finalmente, recordar que aunque el uso de dados es inofensivo, no es prudente manejar con las manos un material radiactivo pues sus consecuencias pueden llegar a ser mortales. Por la importancia que tiene el poder comunicar las ideas una vez que se comprenden, y la utilidad que tiene este ejercicio para madurar esa misma comprensión, se recomienda que los resultados de esta experiencia sean comunicados a la clase por los propios alumnos y alumnas. Por razones de tiempo quizás sólo algunos lo puedan hacer, lo que no debe desincentivar este aspecto de la actividad.

#### Ejemplo E

Resuelven un problema de datación por decaimiento radiactivo.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Ejemplos como este, combinado con los dos anteriores, se prestan para una evaluación. Se pueden referir a datación arqueológica con carbono 14 de una momia, árbol o embarcación prehistórica, datación de rocas en otros planetas o asteroides por uranio 238, datación de aguas subterráneas contando el contenido de tritio, o de una botella de agua encontrada en un barco hundido a través de este mismo isótopo, etc. Lo primero puede ser más motivante en regiones en las cuales se encuentran restos arqueológicos. Es importante tratar el tema en su base científica, considerando las proporciones de carbono 12 y 14

$$\left( \frac{C_{14}}{C_{12}} = 1,3 \times 10^{-12} \right)$$

que los seres vivos incorporan a sus huesos a través del intercambio de  $\text{CO}_2$  con el medio ambiente. Así, cuando el organismo muere y deja de renovar su constitución de carbono, el C14 empieza a decaer mientras el C12 permanece inalterado, lo que hace que la proporción disminuya con el tiempo, delatando la edad del objetivo. En el caso del tritio (núcleo de hidrógeno con dos neutrones, cuya vida media es 12,3 años), la proporción de tritio en el agua de los mares es insignificante, y resulta mucho mayor en el agua de lluvia por efecto de los rayos cósmicos. Indicar que la clave para elegir el isótopo a usar es vincular su tiempo de vida media con la antigüedad aproximada de lo que se desea datar.

### Ejemplo F

Calculan la distancia recorrida por un muón creado en las capas altas de la atmósfera (por ejemplo, a 200 km de altura) si decae en un millonésimo de segundo, su tiempo de vida media. Teniendo presente que estos muones llegan abundantemente a la superficie terrestre, discuten las posibles razones del resultado del cálculo.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad requiere de algunas nociones de relatividad especial, materia propia de la Formación Diferenciada de 3° Medio, que no todos los estudiantes habrán cubierto. Si el docente estima que puede introducir estas nociones, entonces el ejemplo podrá llevarse a cabo y tendrá su mejor aprovechamiento. Para tratarlo, se puede suponer que el muón viaja, por ejemplo, a 99,99% de la velocidad de la luz (297.000 km/s) hacia la superficie. Aún así, el simple cálculo muestra que en  $10^{-6}$  s sólo alcanzará a recorrer unos 300 m antes de decaer en un electrón y dos neutrinos ( $\mu \rightarrow e + 2\nu$ ). El ejemplo es ilustrativo por su valor histórico, como la primera verificación de la predicción de Einstein que en el movimiento relativo las distancias se acortan (para el muón) y los tiempos se alargan (para el observador en la Tierra). Para la velocidad  $v = 0,9999c$  el tiempo se dilata en un factor 70,7, lo que es insuficiente. Para obtener el factor de 1000 necesario se requiere que los muones viajen a un 99,99995% de la velocidad de la luz ( $v = 0,9999995c$ ). Mencionar que el proceso lo inician los rayos cósmicos de alta energía, los que al interactuar con los núcleos atómicos de los gases en la atmósfera generan piones, los que a su vez decaen en unos  $10^{-8}$  s en los muones descritos ( $\pi \rightarrow \mu + \nu$ ). Insistir que todo lo que se dice respecto a distancias recorridas antes de decaer tiene carácter estadístico y es sólo un valor característico, que no se cumple igual para todos los muones: unos duran más sin decaer, otros menos. Mencionar que los primeros estudios de la radiación se hicieron mediante placas de fotografía que se elevaban mediante globos. Posteriormente fue de gran utilidad para medir este tipo de radiaciones un laboratorio instalado en las alturas de Bolivia.

### Ejemplo G

Realizan una investigación bibliográfica acerca del efecto de las distintas formas de radiación nuclear sobre el tejido biológico celular, y sobre las aplicaciones médicas de estas radiaciones.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad se puede hacer en coordinación con el profesor o profesora de Biología. Destacar la variedad de diagnósticos y tratamientos hechos posibles por las distintas formas de radiación: las alfa, beta y gama, los positrones, o por núcleos livianos como los protones, en diversos rangos de energía. Destacar también el daño que produce la radiación ultravioleta sobre la piel, y su vinculación con la capa de ozono que rodea al planeta. Aprovechar la discusión de los trabajos para introducir el rem como unidad de radiación, indicando que la dosis acumulada por año no debe superar 0.5 rem. Señalar que a esta dosis contribuyen la radiación existente en el medio ambiente (de la cual recibimos unos 0.13 rem/año), las radiografías, etc. Indicar que una acumulación de 500 rem resulta en un 50% de mortalidad. Por la importancia cotidiana que el tema tiene es conveniente que los trabajos sean expuestos y comentados en clase.

### Ejemplo H

Con la ayuda de textos y apuntes resuelven en grupos problemas relacionados con radiactividad, presentados en una guía de ejercicios.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Existe una gran variedad de problemas en textos que tratan el tema. Ejemplos como los siguientes permiten que alumnos y alumnas participen activamente:

- El uranio 238 es radiactivo y decae sucesivamente emitiendo las siguientes partículas antes de alcanzar su forma estable:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ . Con la ayuda de una tabla de isótopos determine el núcleo estable final, su carga eléctrica y el elemento a que corresponde, explicando su respuesta.
- El cobalto 60 se utiliza frecuentemente como fuente radiactiva en medicina. Su vida media es de 5,25 años. ¿Cuánto tiempo después de entregada la muestra habrá disminuido su actividad a una octava parte de su valor original?

---

## (c) La energía nuclear y sus usos

### Detalle de contenidos

#### DECAIMIENTO RADIOACTIVO DEL NÚCLEO

Decaimiento del neutrón: radiación beta. Leyes de conservación de la carga eléctrica y la energía. Radiación alfa y gama.

#### ENERGÍA EN EL NÚCLEO ATÓMICO

Relación entre masa y energía. El decaimiento del neutrón.

#### FISIÓN Y FUSIÓN NUCLEARES

Fisión, fusión y sus usos para obtener energía útil.

## Actividades genéricas y ejemplos a elegir

### Actividad

**Verifican conceptualmente leyes de conservación en las transformaciones nucleares y las discuten.**

#### Ejemplo A

- Comprueban numéricamente que si un neutrón se transforma en un protón, la energía de masa en reposo que se gana es suficiente (y sobra) para formar en el proceso un electrón, es decir,  $(m_n - m_p) c^2 > m_e c^2$ .

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es posible que los estudiantes no conozcan aún la relación entre masa y energía ( $mc^2 = E$ ), contenido explícito sólo en el programa de Formación Diferenciada de 3° Medio. Convendrá por lo tanto motivarla e introducirla al comienzo de la actividad.

Recordar a alumnos y alumnas que la masa es una forma de energía, de modo que, desde este punto de vista de la conservación de esta magnitud, un objeto masivo se puede transformar en otro siempre que el primero tenga mayor masa que el segundo. Ello ocurre continuamente en el ámbito nuclear. El neutrón es 0.14% más masivo que el protón, mientras la masa del electrón apenas alcanza al 0.05% de la de estas partículas. El ejercicio tiene interés porque introduce una de las formas más frecuentes de radiactividad: el decaimiento beta o emisión de un electrón por un núcleo. Se recomienda aprovechar la ocasión para relatar la historia del descubrimiento del neutrino, por ejemplo a partir de la pregunta, ¿qué ocurre con la energía que sobra luego de crear al electrón en este proceso? Destacar la importancia de que en estas transformaciones se conserve siempre el momentum lineal y angular, y la energía. Comentar que en procesos llamados “virtuales” que duran tiempos muy cortos, se violan estas leyes de conservación. Mencionar finalmente que se han descubierto numerosas partículas que son inestables, como el neutrón. Por ejemplo, la misteriosa partícula  $\pi^0$  (pión neutro), producida por la radiación cósmica en las altas capas de la atmósfera, decae en dos rayos gama en apenas una diez mil millonésima de millonésima de segundo.

#### Ejemplo B

- Verifican que en el decaimiento del neutrón se conserva la carga eléctrica y discuten el significado de que esta magnitud se conserve en todos los procesos conocidos de la naturaleza.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta discusión puede resultar fascinante si se la sabe guiar. Pueden servir las siguientes preguntas. ¿Cómo de algo eléctricamente neutro (el neutrón) pueden surgir cargas eléctricas? Aun si se tiene presente la carga de los quarks en el neutrón no es nada claro cómo se constituyen las cargas completas del protón y el electrón que resultan luego del decaimiento. Otra pregunta: ¿es neutra la Tierra?

(Si se excluye la atmósfera y capas superiores no lo es: su carga eléctrica cambia continuamente y da lugar a los rayos). ¿Es neutro el Universo? (Creemos que sí lo es). ¿Por qué decae el neutrón y no el átomo? (responsable del decaimiento del neutrón es la fuerza débil, la cual es de muy corto alcance y no es relevante a escala del átomo), etc.

#### Ejemplo C

Desde el punto de vista de la conservación de la carga y del número de nucleones (neutrones más protones) analizan ejemplos de decaimiento alfa, beta y gama.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Recalcar la importancia en física de las leyes de conservación, agregando que en las reacciones nucleares, además de la carga, se conserva el número de nucleones.

Ejemplos ilustrativos para analizar son: el decaimiento del plutonio 239 (decae en uranio 235 y helio 4, con una vida media de 24.100 años, por lo que este residuo de algunos reactores nucleares constituye una duradera y peligrosa fuente de contaminación); el yodo 131 (que decae en xenón emitiendo un electrón y un antineutrino con una vida media de 8,04 días, ampliamente usado en medicina); el carbono 12 excitado (que decae en carbono 12 en el estado fundamental y un rayo gama cuya energía equivale a unas ocho veces la masa del electrón). Otros ejemplos se pueden extraer de textos y tablas de propiedades nucleares. Es una oportunidad para dar a conocer algunos isótopos relevantes para la medicina o la agricultura, destacando siempre los usos benéficos de la energía nuclear y sus peligros por la contaminación de los isótopos de larga vida.

#### Ejemplo D

Disponen trampas para cazar ratones de modo de simular con ellas una reacción en cadena en un reactor nuclear. Luego de accionarlas discuten la analogía entre esta experiencia y la reacción en cadena. Analizan críticamente el concepto de simulación de un proceso físico.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Una manera de simular una reacción en cadena es disponiendo sobre una mesa o en el suelo unas cuarenta o más pequeñas trampas para cazar ratones, una al lado de la otra, y cargándolas con dos o más proyectiles, (piedras, lentejas o lo que resulte adecuado) de modo que al saltar, estos proyectiles caigan sobre las trampas vecinas haciéndolas saltar a su vez. El proceso se inicia dejando caer un proyectil sobre una de las trampas cerca del centro del conjunto. Notar que para que haya reacción en cadena es esencial que cada trampa lance dos o más proyectiles, como ocurre en el caso nuclear con los neutrones. La experiencia se puede repetir cargando las trampas con sólo un proyectil, haciendo notar la diferencia en el resultado. Puede convenir cubrir el conjunto de trampas con una caja de material transparente a fin de evitar que los proyectiles salten fuera del sector, en cuyo caso puede usarse pelotas de ping pong.

Para que una actividad como ésta rinda los frutos esperados es necesario que sea cabalmente discutida por los propios estudiantes, guiados por el docente. Introducir el concepto de simulación, muy usado por los investigadores para aprender acerca del comportamiento del Universo, del clima, del comportamiento de una estructura ante un terremoto, etc. Mencionar que las simulaciones más frecuentes se hacen en

computador, aunque a veces se utilizan modelos a escala, análogos a los que se quiere estudiar. Las trampas deben manejarse con cuidado para evitar accidentes. La Comisión Chilena de Energía Nuclear facilita a los establecimientos educacionales que lo deseen el video “Mi amigo el átomo” en que se muestra la simulación con las trampas de ratón. Aprovechar la ocasión para recordar los peligros de las radiaciones nucleares y la conveniencia de evitar todo contacto con ellas, salvo bajo condiciones estrictamente controladas como se acostumbra en medicina o en laboratorios sujetos a normas de seguridad.

#### Ejemplo E

Separando las trampas del ejemplo anterior y accionándolas, experimentan con el concepto de masa crítica. Diseñan algún agregado al sistema que simule las varillas de control de un reactor nuclear. Discuten el concepto y su importancia para evitar el estallido de un reactor.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Al separar las trampas la probabilidad de que un proyectil que cae haga saltar una trampa vecina disminuye, como ocurre cuando la densidad de material fisionable se hace más pequeña en una muestra de combustible nuclear. La actividad se presta para discutir el concepto de reacción nuclear controlada, fundamental para operar los reactores de potencia. Discutir la necesidad de mantener al reactor bien por debajo de la masa crítica a fin de no arriesgar que la reacción se descontrole. Las varillas de control se pueden simular con algún dispositivo que capture proyectiles antes que caigan sobre las trampas aún armadas. Aprovechar para advertir acerca del peligro de las fugas en reactores y la contaminación ambiental que puede provocar.

#### Ejemplo F

- Con ayuda de un juego de dominó simulan una reacción en cadena controlada.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Las piezas del dominó se ubican de modo que cada una bota a la siguiente. Si se dispone de suficientes piezas el juego se presta también para simular una reacción en cadena. En este caso disponer las piezas de modo que en cada etapa cada una bote dos, y así sucesivamente. Conviene entonces disponerlas en arcos de círculo.

#### Ejemplo G

- Discuten acerca del origen de la energía solar y la relacionan con el proceso de fusión nuclear.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La radiación solar es en último término el producto de la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio en su interior, proceso que transforma cada segundo unas 657 millones de toneladas de hidrógeno en 653 millones de toneladas de helio, liberando 4 millones de toneladas en otras formas de energía. La energía liberada proviene de una reducción ( $\Delta m$ ) de la masa en reposo ( $E = \Delta mc^2$ ) al fundirse protones con neutrones, etc. Esta actividad puede comenzar con preguntas como, ¿qué produce la luz de una ampollita?, ¿cómo se origina la luz del fuego? y, finalmente, ¿cómo se origina la luz del Sol? El debate en torno a estas preguntas motivará a los estudiantes para que el docente introduzca el ciclo de reacciones nucleares que ocurre en la transformación de hidrógeno en helio.

## (d) Las fuerzas operando en el núcleo atómico

### Detalle de contenidos

#### LAS FUERZAS EN EL NÚCLEO

Nociones elementales acerca de las fuerzas fuerte y débil en el núcleo. Ordenamiento de las cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza según su tamaño relativo.

### Actividades genéricas y ejemplos a elegir

#### Actividad

Comparan las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza y discuten el ámbito en que es más relevante su acción.

#### Ejemplo A

- Calculan y comparan la fuerza eléctrica y gravitacional entre electrón y protón en el átomo de hidrógeno. Discuten acerca de las implicancias de esta comparación.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Usando la misma distancia en las expresiones de Coulomb y de Newton la relación es el cociente  $\frac{ke^2}{Gm_p m_p} \sim 2,0 \times 10^{40}$ , un número enorme en favor de la interacción eléctrica. Ello explica que a nivel atómico la interacción gravitacional sea enteramente despreciable. Sólo a nivel planetario y cósmico, donde los grandes objetos son básicamente neutros, domina la gravitación. Procurar que estas observaciones surjan de los propios alumnos y alumnas, motivándolos a hacerse las preguntas relevantes. Por ejemplo, orientarlos a hacerse preguntas como por ejemplo si sería viable un Universo no neutro eléctricamente, en el cual no existieran los electrones para neutralizar a los protones. O si podría existir la materia como la conocemos a nuestro alrededor si no existiera la fuerza eléctrica, etc.

#### Ejemplo B

- Calculan la magnitud mínima que debe tener la fuerza fuerte para que a las distancias características nucleares sea capaz de superar la repulsión de dos protones en un núcleo de helio.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

No es fácil idear actividades para esta sección aunque ejemplos como este pueden servir para que alumnos y alumnas perciban la importancia de la fuerza nuclear. Aquí sólo interesa que obtengan el orden de magnitud, que en la realidad es unas diez veces mayor que la repulsión coulombiana a esas distancias (unos  $10^{-15}$  m, llamado también un fermi). Hacer ver que esta fuerza decae tan rápidamente que a una distancia de unos  $10^{-14}$  m ya es despreciable frente a la fuerza eléctrica. Aprovechar

de mencionar que la fuerza débil es responsable de la mayoría de los decaimientos nucleares (como el del neutrón) y que su valor es unos  $10^{12}$  veces más débil que la fuerza eléctrica. Para dramatizar la enormidad de estos números a veces conviene escribirlos íntegramente en la pizarra, o intentar decirlos con palabras.

#### Ejemplo C

Discuten si sería posible formar materia nuclear con sólo protones, así como existe la materia neutrónica como los pulsares o estrellas de neutrones que se observan en el espacio.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede motivar una discusión acerca de la estabilidad nuclear. Plantear preguntas como la siguiente: ¿cómo es posible que se vayan adicionando protones al núcleo a medida que se avanza en la tabla periódica, si existe la potente repulsión coulombiana entre cargas del mismo signo? ¿Por qué no existen núcleos estables más allá del bismuto (número atómico 83) en la tabla periódica?

#### Ejemplo D

- Con ayuda de dos objetos blandos (por ejemplo, cojines o almohadones) simulan el efecto de la partícula que media la repulsión entre dos electrones (el fotón), o la atracción entre dos quarks (el gluón).

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene involucrar a los estudiantes en esta demostración. Primero, dos jóvenes se ubican a unos dos metros uno de otro y se tiran los cojines con cierta fuerza para que sientan su impacto, aunque sin caer, simulando la repulsión mediada. Luego, ubicados uno al lado del otro, se pasan los cojines, sin tirarlos, entregándolos con cierta resistencia, para simular la atracción mediada por dichos objetos. La experiencia resulta mejor si los jóvenes usan patines que les permita deslizarse por efecto del lanzar y recibir los cojines (caso repulsivo).

#### Ejemplo E

- Confeccionan una tabla que contenga las cuatro fuerzas fundamentales, indicando en forma aproximada su magnitud relativa, un ejemplo de su importancia y la partícula que hace de mediadora.

## INDICACIONES AL DOCENTE

Cuanto detalle se pida en esta actividad dependerá de la dedicación con que se haya podido cubrir la materia pertinente. Es interesante que alumnos y alumnas conozcan las partículas mediadoras de las cuatro fuerzas (gravitón para la gravitacional, W y Z para la débil, fotón para la electromagnética y gluones para la fuerte) para que vayan comprendiendo la forma en que se relacionan y actúan las partículas elementales que constituyen la materia.

fuerza	partícula mediadora	magnitud relativa	alcance (ámbito de importancia)
gravitacional	gravitón	1	largo (cosmos)
débil	W y Z	$\sim 10^{28}$	corto (radiactividad nuclear)
electromagnética	fotón	$2 \times 10^{39}$	largo (átomo, materiales)
fuerte	gluones	$\sim 10^{41}$	corto (ligazón del núcleo atómico)

## (e) Investigación bibliográfica

### Detalle de contenidos

- PREPARACIÓN DE UN TRABAJO INDIVIDUAL Y SU PRESENTACIÓN FORMAL COMO UN ESCRITO CIENTÍFICO

## INDICACIONES AL DOCENTE

Los contenidos de esta sección pueden fácilmente vincularse con temas de investigación actual. Por ello, se presta para despertar en los alumnos y alumnas el interés por estos temas y entregarles un vocabulario elemental para su comprensión a un nivel muy básico. Un eficaz instrumento para lograr este objetivo es la preparación de un trabajo individual en base a la búsqueda de información de variadas fuentes como libros, bibliotecas virtuales, enciclopedias, biografías de científicos, etc. Será de gran valor el que este trabajo final del programa de formación general deje a alumnas y alumnos la sensación de un logro personal. Ello se puede conseguir usando estrategias como las siguientes: libre elección del tema al comienzo de la unidad, entrevista a investigadores en el materia que corresponda, presentación oral al curso del tema desarrollado, concurso con premio al mejor trabajo, publicación de los trabajos en algún medio de difusión interno, invitación de un investigador o investigadora en física para que hable sobre un tema relevante, etc. También es importante que el trabajo escrito sea preparado siguiendo el esquema habitual de un trabajo científico: título y nombre del autor, breve resumen, cuerpo del trabajo, conclusiones, agradecimientos y bibliografía. El cuerpo del trabajo puede subdividirse en secciones para informar al lector de los temas cubiertos. Procurar que este formato sea lo más natural posible, en el sentido de que refleje bien la información relevante y la organización interna de los contenidos.



## Anexo A: Glosario de fórmulas

Al final del curso se espera que alumnos y alumnas comprendan las expresiones que se listan a continuación, y las manejen con familiaridad. Se destacan con el símbolo • las más importantes. A la derecha de cada fórmula se da la página en que es considerada y se define el significado de las letras empleadas.

UNIDAD 1 Electricidad y magnetismo	Fórmula	Página
Ley de Coulomb	$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ •	26
Magnitud del campo eléctrico	$E = k \frac{Q}{r^2}$ •	30, 31
Corriente eléctrica	$i = \frac{Q}{t}$ •	45
Potencial eléctrico	$\Delta V = \frac{I}{Q}$ , $V = k \frac{Q}{r}$	32, 33
Capacidad	$C = \frac{Q}{V}$ , $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$ •, $C = e C_0$	39, 40
Energía almacenada en un condensador	$U = \frac{1}{2} CV^2$ •	40
Energía almacenada en una bobina	$U = \frac{1}{2} LI^2$	66
Fuerza sobre una carga en un campo magnético	$F = q v_{\perp} B$	48
Fuerza sobre un conductor en un campo magnético por donde circula una corriente eléctrica	$F = i l B \sin \alpha$ •	49
Descarga de un condensador	$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$	55
Fuerza electromotriz (fem)	$\epsilon = \frac{I}{q}$	58
Flujo magnético	$\Phi = B A \cos \theta$	59
Ley de Faraday	$\epsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	60
Inductancia mutua y autoinductancia	$\epsilon_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ , $\epsilon = -M \frac{\Delta I}{\Delta t}$	65

Frecuencia de resonancia de un circuito LC  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  67

Ancho de resonancia en circuitos RLC  $\Delta f = \frac{R}{4\pi L}$  70

UNIDAD 2 El mundo atómico	Fórmula	Página
Líneas espectrales	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$	101, 103
Principio de incertidumbre	$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$ , donde $\Delta p = m\Delta v$ •	106
Energía de un cuanto	$E = hf$ •	100, 108

## Anexo B: Evaluación

### Consideraciones generales sobre la evaluación

La evaluación constituye una parte sustantiva del proceso de enseñanza y aprendizaje. Por un lado, orienta a las y los estudiantes hacia los aspectos más importantes del programa, los énfasis que se desea establecer y, además, les da pistas de su desempeño, es decir lo que han logrado en el proceso de aprendizaje. Por otro, señala al docente la eficacia de su labor y los correctivos que es necesario poner en práctica.

El profesor o profesora será quien decida cuándo y cómo aplicar las evaluaciones: durante la clase, en tareas, pruebas, exámenes, interrogaciones orales, etc. En todo caso, se recomiendan como mínimo llevar a cabo dos evaluaciones para cada unidad las que no necesariamente pueden implicar la tradicional prueba.

La evaluación formativa, aquella que es parte integral de la experiencia del aprendizaje, entrega información inmediata de los progresos del alumnado y permite constatar la calidad del proceso y realizar las correcciones necesarias. Al final de cada etapa del programa, la evaluación acumulativa permite generar una opinión sobre el progreso de los y las alumnas basada en los aprendizajes esperados.

Si bien las evaluaciones suelen formularse en torno a los contenidos mínimos, no debe perderse de vista los objetivos fundamentales del subsector. La evaluación y la posterior calificación de las y los estudiantes deben reflejar aprendizajes significativos, es decir, medir la comprensión de los fenómenos observados, la capacidad de análisis basándose en lo aprendido, el desarrollo del pensamiento lógico y crítico y la capacidad de comunicar en forma adecua-

da. En ningún caso, cuantificar la capacidad de memorizar de los jóvenes, ni sus habilidades matemáticas que son materia de otro programa.

### Actividades de evaluación

El y la docente conoce y puede idear diferentes formas de evaluación tanto formativas como acumulativas. Este proceso debe basarse en una amplia variedad de actividades, ya que ningún trabajo por sí solo podrá abarcar todos los objetivos específicos de este curso de física y sus objetivos fundamentales transversales (OFT). Las evidencias para evaluar el aprendizaje se pueden obtener de diversas instancias, como las detalladas más abajo. Algunas de estas actividades se prestan para evaluar la actuación del alumno o la alumna dentro de un grupo de trabajo, otras para una evaluación individual. Es sin embargo el profesor o la profesora quien, según las características de su clase, determinará si la actividad puede ser realizada en forma cooperativa o personal, como tarea para la casa o trabajo en el colegio.

Entre los ejemplos de actividades de evaluación que se presentan se pueden nombrar:

- Las **exposiciones y proyectos**, recomendables para evaluar logros relativos al objetivo general involucrado, el método utilizado, fuentes de información, el procesamiento de datos, la presentación de la información, el uso del vocabulario científico y la interacción entre la ciencia y la sociedad. Además de su valor evaluativo, esta forma de actividad suele tener un fuerte impacto en la formación de actitudes positivas hacia la disciplina.
- Las **actividades experimentales**, que dan información acerca de la habilidad para diseñar procedimientos, del empleo del método cien-

tífico, de la precisión y las incertezas en las mediciones, el uso del vocabulario científico, las destrezas de manipulación, la observación, la integración al grupo y las normas de seguridad empleadas.

- Las **presentaciones orales**, que muestran evidencias acerca del dominio del lenguaje científico, de la comprensión de los conceptos utilizados, de la profundidad del conocimiento y la relación entre la física y el entorno social y ambiental.
- Las **pruebas de ensayo**, que evalúan la capacidad de seleccionar, presentar organizadamente y utilizar el lenguaje científico frente a preguntas que requieran respuestas desde el punto de vista cualitativo o cuantitativo.
- Las **pruebas objetivas**, las cuales miden el grado de comprensión y capacidad de aplicación de los conceptos más relevantes tanto a situaciones concretas cotidianas como las abstractas y, en menor medida, la capacidad de análisis y síntesis de esquemas conceptuales más complejos.

Cualquiera sea el instrumento utilizado para evaluar, la profesora o profesor se encontrará con tres ámbitos donde se concentran prácticamente todas las habilidades y destrezas que están conectadas tanto con los objetivos fundamentales del currículum de física, con los aprendizajes esperados, como con los objetivos transversales. Estos ámbitos pueden ser clasificados como:

- I. Desempeño en la resolución de problemas y preguntas**
- II. Desempeño en el trabajo experimental**
- III. Desempeño en la búsqueda de la información**

Para cada uno de estos ámbitos se indica a continuación qué es posible evaluar, los criterios que se pueden usar y los niveles de desempeño que se pueden esperar en términos de indicadores.

Es importante notar que el listado de criterios e indicadores que aquí se da no es exhaustivo pudiendo el docente estimar adecuado emplear otros criterios ponderando los niveles de logros según la realidad de las y los alumnos, y los medios de que disponga la escuela.

Con el objetivo que los alumnos aprecien la estrategia de aprendizaje adoptada, como un juego informado y limpio, es necesario que ellos conozcan también los criterios e indicadores que empleará el o la docente, de modo que puedan encarar adecuadamente los desafíos que implica su trabajo en la asignatura.

## Criterios e indicadores para la evaluación

### I. Evaluación de la capacidad de resolución de preguntas y problemas.

La habilidad para enfrentar y resolver problemas es una de las evidencias más utilizadas en la evaluación de la Física. Estos problemas pueden ser conceptuales, en los cuales se pide la explicación de una situación o fenómeno físico basada en la comprensión y aplicación de principios y leyes. Pueden ser también de contenido matemático, en que además de mostrar claridad conceptual, se espera que el estudiante realice procesos cuantitativos.

Ambito del trabajo	Criterios	Indicadores
<p><b>Qué permite evaluar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La capacidad para utilizar y aplicar los conceptos, principios y leyes físicas involucradas en el problema, en forma cualitativa. Ella se puede manifestar en: la recolección de información proporcionada en el problema, la comprensión de la situación y el reconocimiento de las magnitudes que se relacionan y del modo que lo hacen, la capacidad de explicar o dar respuesta razonablemente desde el punto de vista cualitativo.</li> <li>• En segundo lugar, con relación a lo cuantitativo, esta capacidad se pone de manifiesto en: el uso adecuado de simbología, unidades y sus transformaciones, la elección de una relación o ecuación adecuada y su posible combinación con otras.</li> <li>• La capacidad de analizar la respuesta en términos de orden de magnitud, concordancia de unidades y signos.</li> </ul> <p>El procedimiento seguido en la resolución de problemas: el uso gráficos, dibujos o diagramas permite detectar la secuencia del razonamiento y da pistas para evaluar la capacidad de comprensión del estudiante y en muchos casos identificar en qué paso se produce un error.</p>	<p><b>a) Conceptos científicos y manejo de contenidos</b></p> <p>El y la estudiante posee un buen manejo de los contenidos, vocabulario, conceptos y principios físicos y es capaz de aplicarlos a situaciones novedosas.</p> <p><b>b) Procesamiento de datos y manejo de lo cuantitativo.</b></p> <p>El o la estudiante selecciona información implícita y explícita a partir del enunciado del problema y procesa la información de modo de relacionarla con aspectos teóricos y aplicaciones matemáticas que conduzcan a la obtención de un resultado correcto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica las magnitudes involucradas en el problema</li> <li>• Enuncia el principio físico o relaciones que le permitirán enfrentar al problema.</li> <li>• Maneja con soltura el vocabulario científico, utiliza correctamente nomenclatura, convenciones y unidades</li> <li>• Desarrolla y da una explicación fundamentada utilizando argumentos que muestran un razonamiento coherente y los principios utilizados.</li> <li>• Presenta una lista con las magnitudes que directamente se entregan en el problema y es capaz de extraer y seleccionar datos que no están señalados explícitamente en el enunciado del problema.</li> <li>• Identifica la pregunta y/o las cantidades que se deben encontrar, selecciona y aplica relaciones para inferir resultados numéricos y dimensionales evaluando con espíritu crítico su significado.</li> <li>• Manipula, transforma o extrae conclusiones utilizando sus conocimientos sobre el tema y aplica procesos matemáticos adecuados para la resolución del problema.</li> <li>• Es capaz de evaluar el resultado en términos de orden de magnitud, y signo matemático y utiliza el Sistema Internacional de unidades, haciendo las transformaciones cuando es necesario.</li> </ul>

## II. Evaluación de la actuación en experimentos

Destreza del alumno y la alumna para utilizar el método científico al realizar un trabajo práctico o estudio de un fenómeno físico.

Ambito del trabajo	Criterios	Indicadores
<p><b>Qué permite evaluar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La actitud durante un trabajo experimental, a partir de la observación directa de su actuación individual o colectiva.</li> <li>• La capacidad de seguir las instrucciones, el orden en el trabajo, el reconocimiento del aporte de otros.</li> <li>• El tratamiento del proyecto de investigación con automotivación y perseverancia.</li> <li>• Las destrezas manuales manifiestas en el amplio rango de acciones que desarrolla la y el estudiante durante la actividad experimental. Por ejemplo las técnicas utilizadas para: evitar errores en las mediciones; manipular de los de aparatos e instrumentos con atención y cuidado; seguimiento de las normas de seguridad que evite accidentes al construir o armar los montajes.</li> <li>• El método utilizado en investigación, cuyas evidencias se encuentran observando directamente el trabajo del alumno o alumna revisando el informe del experimento.</li> <li>• Las habilidades para planificar y crear métodos novedosos para enfrentar y superar los problemas.</li> <li>• La calidad y precisión de las mediciones, el análisis de la información y las conclusiones.</li> </ul>	<p><b>a) Actitud en el trabajo experimental</b></p> <p>El estudiante muestra disposición al trabajo práctico, busca con interés caminos alternativos y aprecia el trabajo en equipo.</p> <p><b>b) Destrezas manuales</b></p> <p>La capacidad de llevar a la práctica de modelos y montajes previamente diseñados, manipular correctamente, con seguridad y responsabilidad materiales del ámbito experimental.</p> <p><b>c) Utilización del método científico</b></p> <p>El alumno o alumna estudia el fenómeno de manera organizada, con experimentos sistemáticos, mediciones cuidadosas y análisis de resultados que le permiten llegar a conclusiones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabaja activamente en grupo, aporta y reconoce la contribución de otros miembros de su grupo.</li> <li>• Realiza el trabajo experimental con automotivación, enfrenta con entereza los fracasos y persevera repitiendo la actividad haciendo los cambios necesarios para obtener mejores resultados.</li> <li>• Busca caminos alternativos aportando iniciativa y creatividad.</li> <li>• Utiliza los instrumentos de medición en forma apropiada y cuidando no cometer errores.</li> <li>• Utiliza equipos y aparatos teniendo presente las normas de seguridad</li> <li>• Construye aparatos, armar montajes previamente diseñados, los manipula ordenadamente junto con sus compañeros de grupo.</li> <li>• Muestra tener claridad del problema o fenómeno a investigar, fórmula hipótesis cuando es pertinente, selecciona las variables y diseña procedimientos incluyendo aparatos y materiales adecuados.</li> <li>• Observa el fenómeno con atención y registra sus características. Hace mediciones con precisión, y los presenta en forma organizada utilizando esquemas, tablas o gráficos.</li> <li>• Analiza la información y los datos obtenidos, transformándolos y presentándolos en forma adecuada. Los conecta además con otros conocimientos que le permiten llegar a conclusiones.</li> <li>• Evalúa el proceso experimental de modo de adecuar el procedimiento para obtener resultados más confiables</li> </ul>

### III. Evaluación en una actividad de tratamiento de información.

La capacidad de la alumna y alumno de utilizar diferentes medios para recolectar información, realizar un análisis crítico de ella y seleccionar aquella que sea pertinente.

Ambito del trabajo	Criterios	Indicadores
<p><b>Qué permite evaluar:</b></p> <p>La capacidad de recurrir a fuentes primarias y secundarias para obtener información, clasificarla y discriminarla según lo confiable que resulte ser. Esto se hace sobre la base de observación directa del trabajo del estudiante, su plan de trabajo y revisando informes, bibliografía y medios empleados.</p>	<p><b>a) Recolección de la información</b></p> <p>El y la estudiante evidencia capacidad para utilizar óptimamente los recursos que le permiten obtener la información que necesite de la comunidad escolar y su entorno.</p> <p><b>b) Procesamiento de la información</b></p> <p>Es capaz de interpretar y evaluar en forma consistente la información y seleccionar los aspectos más relevantes de ella.</p> <p><b>c) Entrega de la información</b></p> <p>Es capaz de utilizar variadas formas de comunicar los resultados de su investigación, sea esta en forma oral o escrita.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza la biblioteca y los recursos bibliográficos de su entorno</li> <li>• Busca y utiliza información proveniente de artículos de revistas de divulgación científica y periódicos</li> <li>• Recurre a la red de enlace, internet y programas de computación para recopilar información</li> <li>• Realiza entrevistas a expertos y autoridades en el tema de investigación.</li> <li>• Discrimina las fuentes de información según sus necesidades.</li> <li>• Reconoce la información útil y la selecciona.</li> <li>• Es capaz de hacer una reflexión crítica sobre lo recopilado.</li> <li>• Organiza la información según las fuentes utilizadas.</li> <li>• Utiliza, interpreta esquemas y gráficos.</li> <li>• Maneja y utiliza un lenguaje apropiado mostrando conocimiento del significado de conceptos y definiciones relacionados con al física.</li> <li>• Es capaz de interpretar y describir ideas propias o de otras fuentes.</li> <li>• Procesa y cita las fuentes de información dando el crédito al autor.</li> <li>• Realiza un informe oral o escrito en forma organizada utilizando varias técnicas de comunicación, tales como, esquemas gráficos, dibujos.</li> </ul>

## Ejemplos de evaluación

A continuación se presentan algunas preguntas, problemas y actividades que permiten evaluar el nivel de logro de los aprendizajes en alumnas y alumnos. Los ejemplos están divididos en tres secciones. La primera tiene el propósito de ilustrar la manera de evaluar el desempeño de los estudiantes en la resolución de problemas y preguntas, basado en la comprensión de principios y leyes físicas desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, con ejemplos de problemas que implican por lo general un análisis o algún tipo de cálculo numérico, sin dejar de lado lo conceptual. En la segunda sección se muestran ejemplos destinados a evaluar las habilidades relacionadas con el desempeño en actividades experimentales, en el contexto de un trabajo en grupo o individual. Por último, en la tercera sección se proponen trabajos que permiten evaluar el desempeño de los alumnos y alumnas en actividades que implican tratamiento de información por diferentes medios.

Después de la introducción de cada sección se encontrarán agrupadas una serie de preguntas o actividades precedidas por indicaciones al docente que señalan, a modo de referencia, los criterios e indicadores que hacen posible evaluarlas. Debe quedar en claro que no son esos los únicos criterios utilizables. Evidentemente hay otros, de modo que es la profesora o el profesor quien en último término seleccionará los elementos que utilizará considerando la realidad de su entorno escolar.

Ejemplos para la evaluación abundan en los textos de física recomendados en la bibliografía al final de este volumen, los cuales constituirán una valiosa fuente de inspiración para el docente.

Procurar que al plantear una pregunta o problema al alumno o alumna, el enunciado se refiera a situaciones cotidianas de las cuales haya que “extraer” el problema formal que resuelve matemáticamente la física.

Recordar siempre que la física se refiere a la realidad circundante y no es una teoría formal cerrada en sí misma. La evaluación es una valiosa herramienta para reforzar este concepto en alumnos y alumnas.

### Sección I

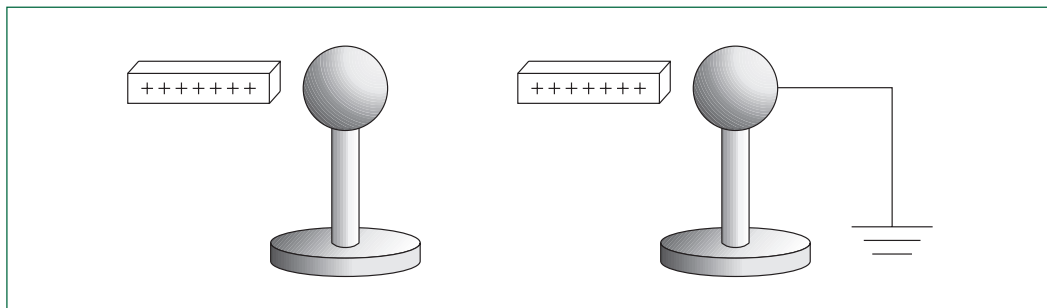
Los ejemplos que siguen permiten verificar la capacidad de alumnos y alumnas para manejar conceptos y principios físicos elementales y su posible relación con otros campos del conocimiento. Por otro lado, la comprensión de estos principios y conceptos físicos debiera capacitarlos para la resolución de problemas cuantitativos relevantes y cotidianos, utilizando las matemáticas. Ocasionalmente puede convenir dar una ayuda en el enunciado. También se pueden entregar las relaciones requeridas, ya que el énfasis está en su manejo y no en su memorización. Tener presente, eso sí, que al dar una fórmula se está también sugiriendo un camino de solución.

A continuación se indican algunos ejemplos de preguntas encabezados por los criterios a evaluar y los indicadores correspondientes.

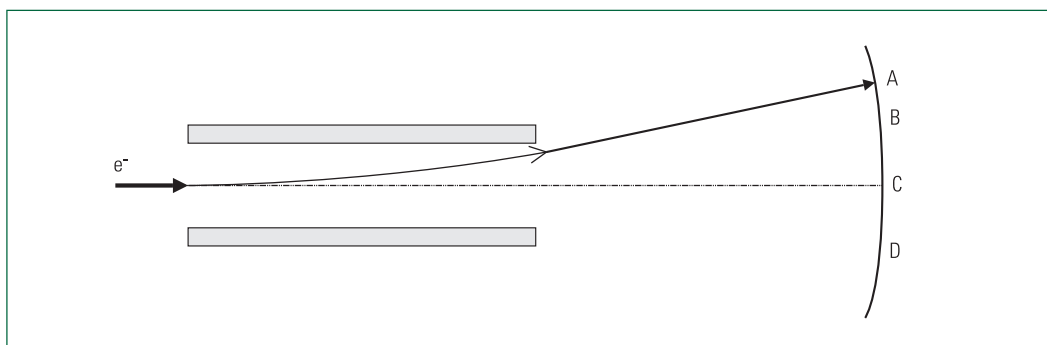
***Criterio a evaluar:** conceptos científicos y manejo de contenidos.*

*Indicadores: Enuncia el principio físico o las relaciones que le permitirán enfrentar el problema; maneja con soltura el vocabulario científico, utiliza correctamente la nomenclatura; desarrolla y da una explicación fundamentada del fenómeno pertinente utilizando argumentos que muestran un razonamiento coherente y el dominio de los principios utilizados.*

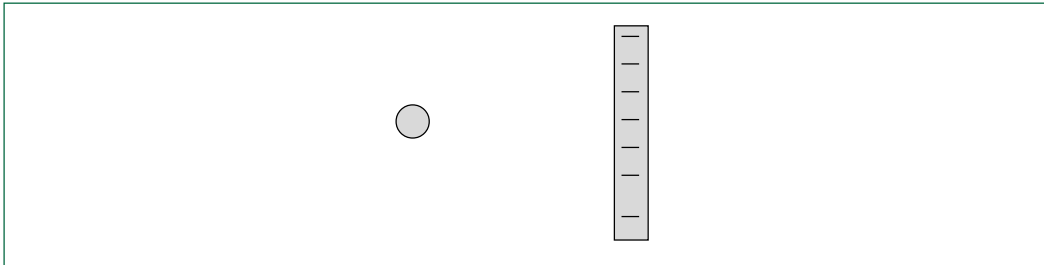
1. Por lo general, en verano, cuando hay poca humedad ambiental, se repite con frecuencia el fenómeno de que un pasajero que desciende de un auto, luego de un viaje, recibe una descarga eléctrica cuando hace puente entre la carrocería y el suelo. Explicar por qué no ocurre lo mismo cuando hay neblina o llueve.
2. La figura muestra una esfera metálica neutra, que se encuentra sobre un soporte aislante. Describir lo que sucede con las cargas en la esfera en los siguientes casos:
  - a) se le acerca, sin tocarla, una barra cargada positivamente;
  - b) manteniendo la barra en la posición indicada en la figura, se pone en contacto la esfera con tierra por medio de un conductor;
  - c) luego de la operación (b) se desconecta el cable a tierra.



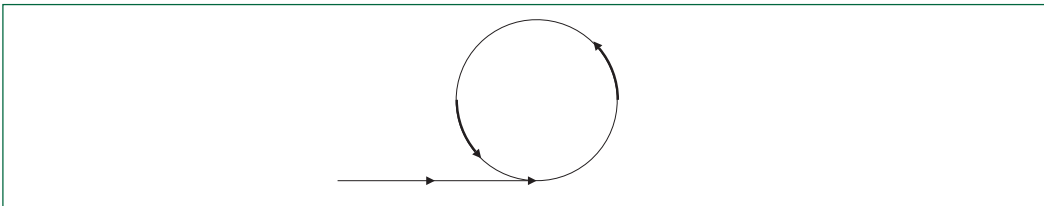
3. Suponga que Ud. se encuentra en un bus de la locomoción colectiva y por un accidente cae sobre éste un cable de alta tensión.
  - a) Explique por qué los pasajeros del bus no corren peligro de electrocutarse si se mantienen en el interior.
  - b) Suponga que estando electrizado el bus Ud. debe organizar una evacuación. ¿Qué instrucciones debería dar a los pasajeros para que al descender no reciban un golpe de corriente eléctrica?
4. Un haz de electrones penetra al campo eléctrico uniforme entre dos placas paralelas electrizadas (ver figura) e impacta en una pantalla de televisión ubicada en el extremo opuesto. Indicar el signo de la carga sobre las placas y cómo varía la diferencia de potencial entre ellas, si el haz hace un barrido pasando por los puntos A, B, C y D.



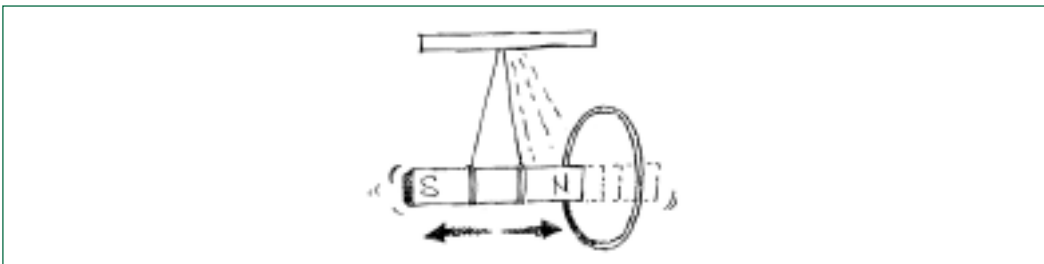
5. Una esfera cargada positivamente se encuentra próxima a una placa metálica con carga negativa como lo indica la figura. Representar mediante líneas de fuerza las características del campo eléctrico en el espacio entre ambos cuerpos y dibujar algunas líneas equipotenciales.



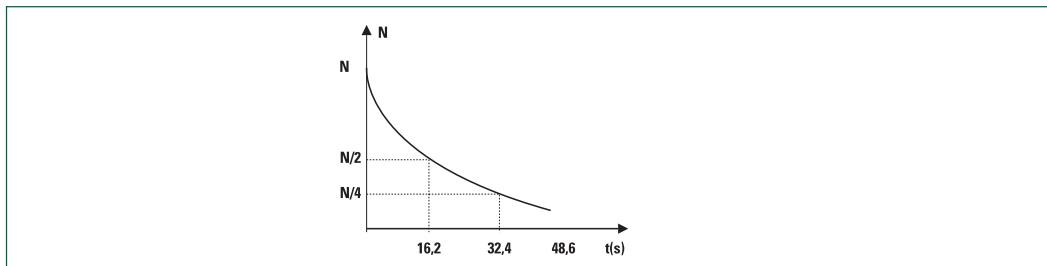
6. Una esfera conductora de radio  $R$ , cargada positivamente, se conecta por medio de un alambre metálico a otra esfera metálica de radio  $R/2$  que se encuentra descargada. Describir el movimiento de cargas de una esfera hacia la otra.
7. Se tienen dos barras metálicas a simple vista iguales. Se sabe que una de ellas es un imán. Señalar algunos métodos que permitan identificar la barra imantada.
8. Un haz de electrones con trayectoria inicial rectilínea comienza un movimiento circular uniforme (ver figura). Explicar, argumentando y fundamentando sus afirmaciones, una posible causa del fenómeno descrito.



9. La figura muestra un imán que cuelga de un par de hilos y puede oscilar libremente entrando y saliendo del anillo. Aplicando la ley de Lenz,
- determine el sentido de la corriente inducida en el anillo en el momento en que el norte se acerca y se aleja del anillo;
  - represente en un gráfico la intensidad de la corriente en función del tiempo, durante varias oscilaciones.



10. Al duplicar el valor del voltaje aplicado a un condensador, señalar, fundamentando su respuesta, lo que ocurre con:
- su capacidad
  - la carga en las placas
  - la energía almacenada entre las placas.
11. Las antenas de radio de alambre usuales se denominan “antenas de un cuarto de longitud de onda”. Averiguar la frecuencia promedio de las transmisiones radiales en FM y determinar la longitud de la antena que se debería utilizar para captar óptimamente dicha banda.
12. Por una estufa eléctrica circula una corriente alterna de 10 ampere rms con una frecuencia de 50 ciclos por segundos. Representar en un gráfico las variaciones de la intensidad en función del tiempo.
13. Describa el experimento de Rutherford y modelo del átomo que de él se desprende.
14. ¿De qué forma se puede constatar la característica de las emisiones  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  por un material radiactivo? Detalle en qué consiste cada una de ellas.
15. ¿A qué se refiere la afirmación de que la emisión radiactiva es probabilística?
16. El gráfico de la figura corresponde al decaimiento de un isótopo de americio. ¿Cuál es la vida media de este isótopo?



17. Entre dos placas paralelas se forma un campo eléctrico. Respecto a los puntos A y B se puede decir que

I  $E_A = E_B$

II  $F_A = F_B$

III  $V_A = V_B$

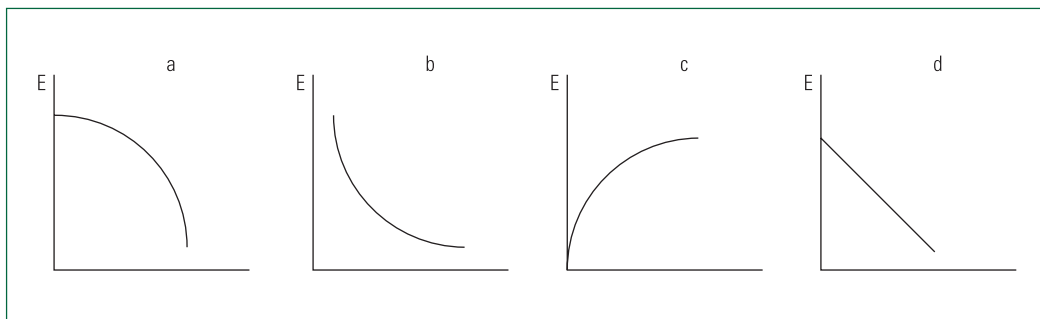
es (son) correcta (s)

- sólo I
- sólo II
- sólo III
- sólo I y II

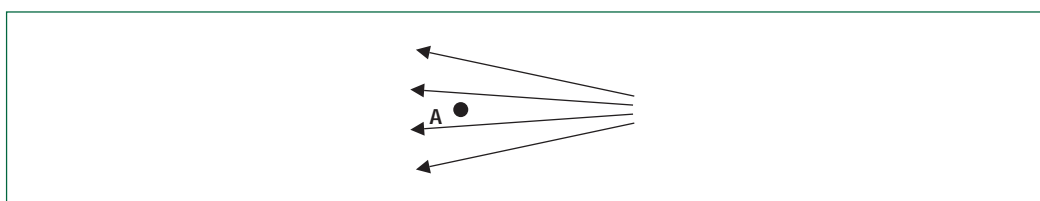


Nota: E representa la intensidad de campo eléctrico  
F la fuerza eléctrica sobre una carga q cualquiera  
V el potencial eléctrico

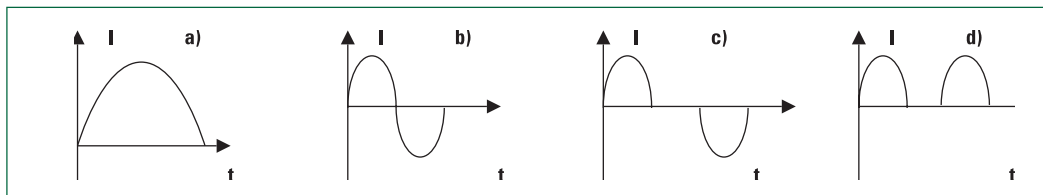
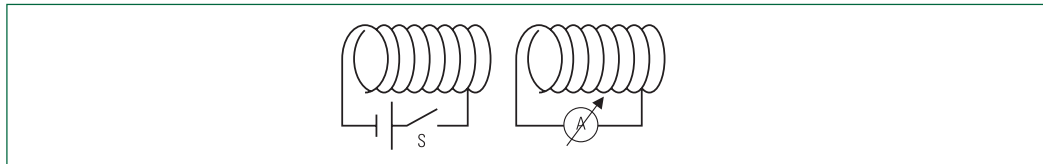
18. Un cuerpo neutro colocado en reposo entre dos placas paralelas cargadas:
- se mueve en el sentido de las líneas de fuerza del campo
  - se mueve hacia donde el campo es más intenso
  - se mueve acercándose a la placa más próxima
  - no se mueve
19. Bajo la acción de un campo, un cuerpo con carga positiva se desplaza horizontalmente hacia la derecha. Esto puede suceder porque hacia la derecha:
- aumenta el potencial y la intensidad de campo eléctrico
  - aumenta el potencial y disminuye la intensidad de campo eléctrico
  - aumenta el potencial y no cambia la intensidad de campo eléctrico
  - disminuye el potencial
20. El gráfico que mejor representa la intensidad del campo eléctrico producido por una carga puntual en función de la distancia a ella es:



21. En el campo eléctrico de la figura una partícula A inicialmente en reposo se desplaza hacia la derecha. Esto significa que la partícula:
- tiene carga negativa
  - tiene carga positiva
  - es neutra
  - puede ser negativa o neutra.
22. La polaridad magnética de un extremo de una bobina por donde circula corriente eléctrica depende:
- del valor de la corriente
  - del número de espiras
  - del material del núcleo
  - de la dirección de la corriente en la bobina



23. Se tienen dos solenoides dispuestos como está indicado en la figura. Se cierra el interruptor S durante un segundo y luego se abre. El gráfico intensidad en función del tiempo que mejor representa la corriente indicada en el amperímetro del secundario es:



24. El espectro atómico del hidrógeno consta de varias líneas que denotan emisión sólo para ciertas frecuencias de la luz bien definidas. La teoría que explica este fenómeno dice que la luz es emitida:
- sólo cuando el hidrógeno ha capturado un electrón adicional
  - cuando el electrón "salta" de una órbita interior a una más exterior
  - cuando el electrón "salta" de una órbita exterior a una interior
  - cuando la masa del electrón se transforma en un cuanto de energía
25. La energía de enlace de un núcleo es:
- la fuerza que se necesita para arrancar al nucleón más débil fuera del núcleo
  - energía requerida para sacar al nucleón más débil fuera del núcleo restante
  - la energía requerida para separar entre sí a todos los nucleones
  - la energía liberada cuando el núcleo se fisiona
26. Según el modelo atómico de Rutherford se puede desprender que:
- los electrones se encuentran estáticos en posiciones fijas
  - las cargas positivas y negativas estaban distribuidas uniformemente
  - los electrones caerían hacia el núcleo en espiral radiando energía
  - a los electrones se les asignó un momento angular
27. Un neutrino:
- es una partícula neutra con espín igual a cero
  - es una radiación peligrosa que se produce de la fisión
  - aparece acompañando al decaimiento  $\beta$
  - es un neutrón pequeño

A continuación se indican algunos ejemplos de problemas que requieren del manejo de relaciones entre variables.

**Criterios a evaluar:** procesamiento de datos y manejo de lo cuantitativo.

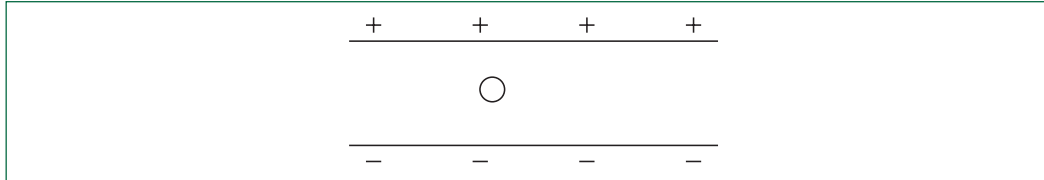
**Indicadores:** comprende las magnitudes que directamente se entregan en el problema y es capaz de extraer y seleccionar datos que no están señalados explícitamente en el enunciado; identifica la pregunta y/o las cantidades que se deben encontrar, selecciona y aplica relaciones para inferir resultados numéricos y dimensionales evaluando con espíritu crítico su significado; manipula, transforma o extrae conclusiones utilizando sus conocimientos sobre el tema y aplica procesos matemáticos adecuados para la resolución del problema.

28. Dos esferas conductoras idénticas A y B con cargas iguales y aisladas se repelen con una fuerza  $F$  (figura i). Otra esfera descargada C también aislada e igual a las anteriores, toca A (Fig. ii) y luego se desliza hacia la derecha hasta tocar B (fig. iii).

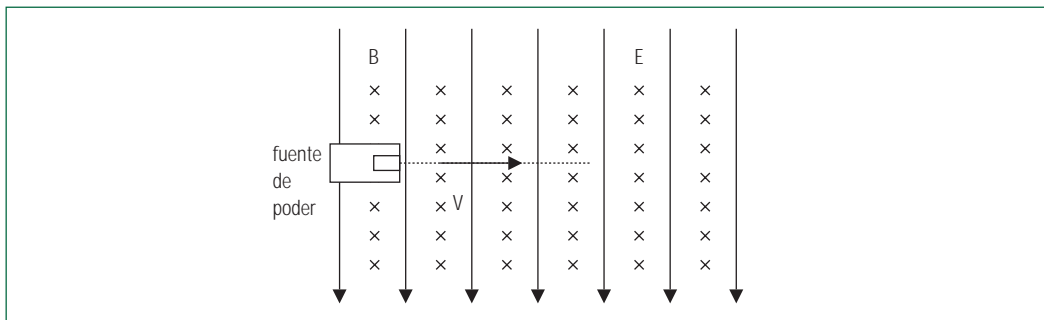


- a) ¿Cuál es el nuevo valor de la fuerza eléctrica entre A y B después de que C toca A?  
 b) ¿Cuál es el valor de la fuerza eléctrica entre A y B después de que C toca B?
29. Para fijarse el pelo, algunas personas utilizan laca en spray. Las gotitas microscópicas del líquido se esparcen antes de llegar al pelo, en parte por repulsión electrostática entre las gotas. Si dos gotitas con igual carga se repelen con una fuerza de  $9 \times 10^9$  N a una distancia de 0,07 cm, ¿cuál es la carga en cada gota?
30. Una partícula de un toner (recipiente que contiene el polvo que se deposita en el papel de una fotocopia) adquiere una carga de  $4 \times 10^{-9}$  coulomb, y se encuentra sometida a un campo eléctrico uniforme de  $1,2 \times 10^6$  N/C mientras es empujada hacia el papel. ¿Cuál es la fuerza eléctrica que el campo ejerce sobre la partícula del toner?

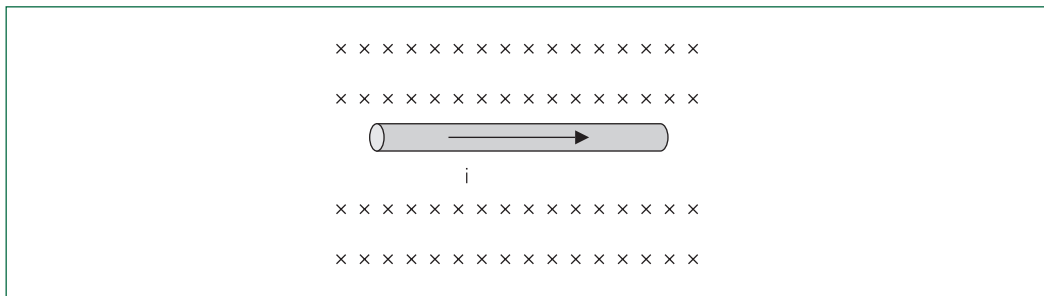
31. Una gota de aceite cargada permanece en equilibrio entre dos placas grandes también cargadas, dispuestas horizontalmente y separadas 2 cm. Si su masa es  $m = 4 \times 10^{-13}$  kg y su carga  $q = 2,4 \times 10^{-18}$  C,
- ¿cuál es la diferencia de potencial eléctrico entre las placas?
  - ¿cuántos electrones extra tiene la gotita?



32. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza eléctrica de atracción entre el núcleo de un átomo de hierro ( $Q = +26e$ ) y un electrón interior, si la distancia entre ellos es de  $1,5 \times 10^{-12}$  m?
33. Se colocan una carga de  $+2,7 \mu\text{C}$  y otra de  $-3,5 \mu\text{C}$  a una distancia de 25 cm. ¿Dónde se puede colocar una tercera carga para que no experimente fuerza neta?
34. La figura muestra un dispositivo que emite iones positivos a gran velocidad. Para medir la magnitud de la velocidad se aplicó en la región un campo eléctrico y uno magnético en las direcciones que se indican. Haciendo variar los valores de  $E$  y  $B$  se encontró que cuando  $E = 10^3$  N/C y  $B = 2 \times 10^{-2}$  T, los iones atraviesan los dos campos en línea recta. Calcular la velocidad de los iones.



35. Por un alambre rectilíneo de 10 cm de largo pasa una corriente de 5 A. El alambre está colocado perpendicularmente a un campo magnético de 0,4 T. Calcular la fuerza electromagnética que actúa sobre el alambre e indicar la dirección de esa fuerza.



36. Durante una tormenta eléctrica las nubes y la Tierra actúan como un condensador gigante con capacidad de  $3000 \mu\text{F}$ . Si la antena de una estación de radio es golpeada por un rayo descargando a través de ella  $60 \text{ coulomb}$  (toda la carga de la nube):
- ¿cuál es la diferencia de potencial entre la nube y la antena?
  - ¿cuánta energía se descarga de la nube?
37. El flash de una cámara fotográfica funciona acumulando energía eléctrica en las placas de un condensador ubicado en su interior. Al presionar el disparador esta energía se disipa a través del filamento de una ampolla lo que genera el destello luminoso. Si el capacitor de un flash es de  $500 \mu\text{F}$  y el potencial máximo que logra es de  $9 \text{ volt}$ , determine:
- la cantidad de carga depositada en el condensador, y
  - la energía liberada al presionar el disparador.
38. La constante de tiempo de un circuito RC es de  $10 \text{ segundos}$ .
- ¿qué significado físico tiene esa cantidad?
  - si el valor de la resistencia es de  $2 \text{ M}\Omega$ , ¿cuál es la capacidad del capacitor?
39. Un circuito sintonizador de una radio tiene un capacitor de placas variable y una inductancia fija de  $5 \text{ mH}$ . Si se escucha a una emisora que transmite en la frecuencia de los  $100 \text{ MHz}$ , ¿cuál será la capacidad del capacitor?
40. El yodo  $^{131}$ , isótopo radiactivo utilizado para el tratamiento de ciertas afecciones a la tiroides, tiene una vida media de  $8 \text{ días}$ . Si se encargan  $40 \text{ mg}$  de esa sustancia y la entrega se hace  $32 \text{ días}$  después de producido el isótopo en un reactor, ¿cuál es la cantidad de  $^{131}\text{I}$  que se recibe?
41. ¿Cuál es la incertidumbre en la velocidad de un electrón confinado en una caja cúbica (punto cuántico) de  $100 \text{ nm}$  lado? ( $\text{nm} = \text{nanómetro} = 10^{-9} \text{ m}$ )
42. El diámetro del átomo de hidrógeno es de  $10^{-10} \text{ metros}$  por lo que su electrón se encuentra en algún lugar dentro de esos límites. ¿Cuál es la incertidumbre en la velocidad y en su energía cinética? Comente su resultado. ¿Cuál sería la incertidumbre si estuviera atrapado en el núcleo (diámetro =  $10^{-15} \text{ metros}$ )?
43. Se tiene una pequeña esfera negativa que genera un campo eléctrico. Si a una distancia de  $10 \text{ cm}$  del centro de la esfera se tiene un campo  $E$ , a  $5 \text{ cm}$  de distancia del centro de la esfera el campo debe medir

a)  $2E$

b)  $4E$

c)  $\frac{E}{2}$

d)  $\frac{E}{4}$



44. Si se supone que en el año 1912 Maria Curie aisló 1 mg de radio 226, cuya vida media es de 1620 años, la masa que quedará hoy de ese isótopo en la muestra es aproximadamente:
- un poco menos de 1 mg
  - 113 mg
  - 226 mg
  - 1/1620 mg
45. Cuando un elemento radiactivo Y de número atómico Z y número de masa A se desintegra, lo hace mediante la emisión de una partícula alfa y radiación gama, para convertirse en el elemento:
- ${}^{A-1}\text{X}_{\text{Z}}$
  - ${}^{A+4}\text{X}_{\text{Z}+2}$
  - ${}^{A-2}\text{X}_{\text{Z}-1}$
  - ${}^{A-4}\text{X}_{\text{Z}-2}$

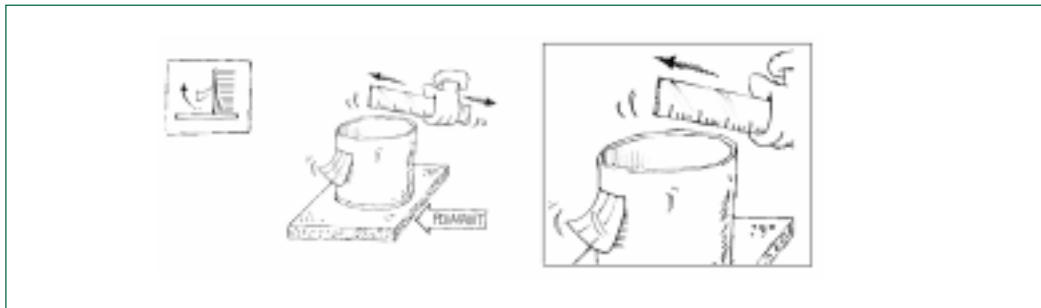
## Sección II

Los trabajos experimentales realizados por alumnas y alumnos, ya sean en grupos o individualmente, pueden ser evaluados tomando en cuenta los criterios relacionados con “evaluación de la actuación en experimentos”. A continuación se indican algunos ejemplos de actividades experimentales posibles de realizar, precedidas por los criterios a evaluar y los indicadores correspondientes. Estos se suman a los sugeridos en los ejemplos del programa, los cuales desde luego pueden aprovecharse para evaluar y calificar el aprendizaje y desempeño de los estudiantes.

*Criterios a evaluar:* actitud en el trabajo experimental; destrezas manuales; utilización del método científico.

*Indicadores:* Realiza el trabajo experimental con motivación personal, enfrenta con entereza los fracasos y persevera repitiendo la actividad, haciendo los cambios necesarios para obtener mejores resultados. Utiliza equipos y aparatos teniendo presente las normas de seguridad; hace mediciones con precisión, y los presenta en forma organizada utilizando esquemas, tablas o gráficos. Analiza la información y los datos obtenidos, transformándolos y presentándolos en forma adecuada y los conecta con otros conocimientos que le permiten llegar a conclusiones.

46. Sobre una placa aislante (plumavit) coloque un tarro de lata pequeño y en la parte externa e interna cuelgue unas tiras de teflón o de politileno. Electricice el tarro tocándolo reiteradamente con una regla frotada en su pelo o un género adecuado y observe con atención las tiras internas y externas. Explique lo observado.



47. Diseñe y lleve a cabo un experimento que compruebe que para una conexión de dos o más capacitores en paralelo se cumple que la capacitancia del sistema es igual a la suma de las capacidades de cada una de los componentes.

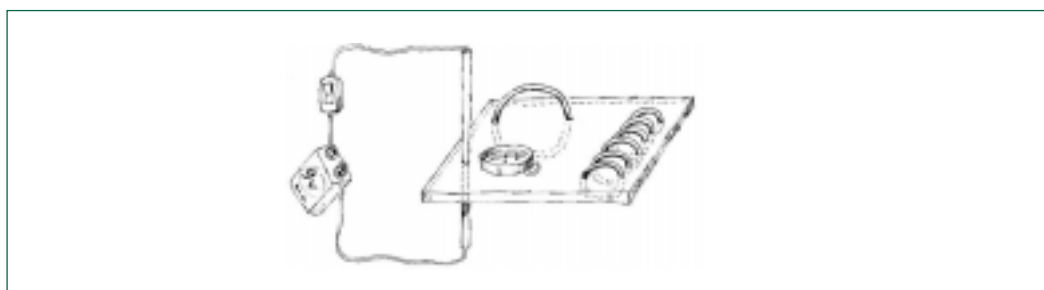
**INDICACIONES AL DOCENTE**

Conviene que los condensadores utilizados tengan capacidades del mismo orden de magnitud. Como ayuda, y sólo si ésta fuese indispensable, recordar a los alumnos y alumnas que mediante el método de descarga de un condensador se pueden determinar el producto RC, que equivale al tiempo transcurrido para que las placas del condensador lleguen a un voltaje igual al 37% del inicial.

48. Diseñe y lleve a cabo un experimento que para una conexión de dos o más capacitores en serie se cumple que la capacitancia del sistema está dada por la relación:

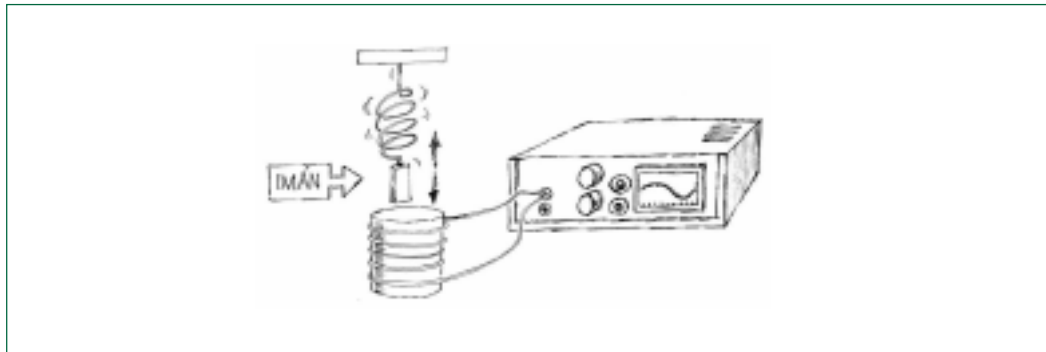
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots$$

49. Construir un sistema formado por una placa lisa de acrílico atravesada por un conductor recto grueso, una espira circular y un solenoide, como lo indica la figura, y de modo que puedan conectarse individualmente a una batería (puede ser de auto si se toman las precauciones necesarias o batería seca de 9 volt). Realizar los siguientes experimentos representando las observaciones mediante dibujos, analizando y anotando las conclusiones:
- Coloque una brújula en diferentes posiciones alrededor del conductor rectilíneo, y en cada oportunidad conecte el conductor a la batería. Repita el procedimiento utilizando la espira y luego el solenoide.
  - Desparrame en torno al conductor polvo de hierro (se puede utilizar el de los toner de las impresoras o simples limaduras de un fierro) y luego cierre brevemente el circuito. Repita el procedimiento con los otros conductores.



50. Experimentar, describir y analizar los campos magnéticos que producen diferentes imanes utilizando polvo de hierro esparcido en un papel que se encuentra sobre el imán de herradura, de parlantes, etc.

51. Analizar la dependencia temporal de la fuerza electromotriz que se induce sobre una bobina conectada a un osciloscopio, si un imán oscila fijo al extremo de un resorte sobre la abertura de la bobina. Planificar, realizar y analizar una investigación experimental sobre el fenómeno.



52. Determinar la frecuencia de resonancia de un circuito RLC en serie empleando un gráfico de la intensidad de la corriente que circula en el circuito en función de la frecuencia.

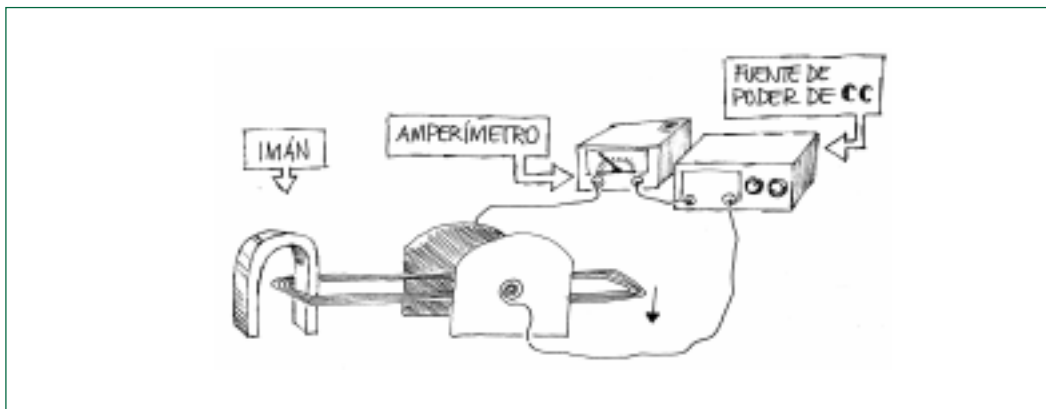
#### INDICACIONES AL DOCENTE

Realizar esta actividad experimental si se cuenta con un generador de corriente alterna con frecuencia variable. Es importante asegurarse que para cada medición el voltaje de salida de la fuente se mantenga en el mismo valor.

53. Construir una balanza magnética y con ella determinar el valor de la intensidad del campo magnético en el interior de una bobina o en el interior de un imán de herradura.

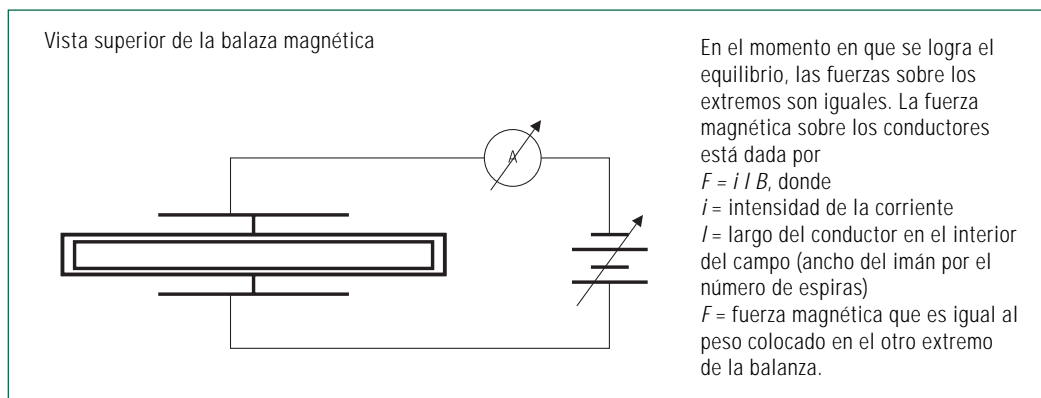
#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se puede construir una balanza de modo que los brazos los forme una bobina rectangular liviana y enrollada sobre un marco (puede ser de madera o plástico) con 100 espiras, que descansa en equilibrio sobre pivotes metálicos ubicados en un soporte, como un balancín. Los terminales del embobinado se conectan a los pivotes, y desde esos puntos se completa el circuito con el amperímetro y la fuente de corriente continua (ver figura).



En uno de los extremos de la balanza se introduce el imán de modo que el campo que produce actúe sobre las espiras. Al hacer circular corriente por la balanza, el desequilibrio de ésta se compensa con un pequeño peso en el extremo opuesto.

Es importante que los estudiantes sean los que planifiquen y determinen la forma que pueden determinar el valor del campo magnético con la información entregada.



54. La masa de las monedas de una misma denominación contenidas en una bolsita está cuantizada del mismo modo que lo está la carga eléctrica en una gotita de aceite, vapor, etc., es decir, corresponde a múltiplos enteros de cierta cantidad mínima llamada quantum. Determine experimentalmente el quantum de masa de una moneda sin hacer mediciones individuales.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se recomienda organizar al curso por grupos y entregarle a cada uno de ellos unos diez paquetes con diferentes cantidades de monedas iguales que no puedan ver ni contar (en reemplazo de monedas se puede utilizar bolitas, tuercas o clavos del mismo tipo, etc.) y una balanza. Se espera en esta actividad que los alumnos y alumnas determinen la masa de cada bolsa, examinen los valores obtenidos y sugieran un procedimiento para determinar la masa unitaria.

### Sección III

La utilización de diferentes fuentes de información, el saber seleccionarlas, sintetizarlas, hacer un análisis crítico de ellas y presentarlas mediante un informe escrito u oral se puede evaluar usando los criterios e indicadores relacionados con “Evaluación en una actividad de tratamiento de la información”. A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades, encabezados por los criterios a evaluar y los indicadores correspondientes.

**Criterios a evaluar:** recolección de la información; procesamiento de la información; entrega de la información.

**Indicadores:** Utiliza la biblioteca y los recursos bibliográficos de su entorno; busca y utiliza información proveniente de artículos de revistas de divulgación científica y periódicos; realiza entrevistas a expertos y autoridades en el tema de investigación. Organiza la información según las fuentes utilizadas; utiliza, interpreta esquemas y gráficos. Maneja y utiliza un lenguaje apropiado mostrando conocimiento del significado de conceptos y definiciones relacionados con la física; es capaz de interpretar y describir ideas propias o de otras fuentes; entrega un informe oral o escrito en forma organizada, utilizando una variedad técnicas, tales como, esquemas gráficos, dibujos.

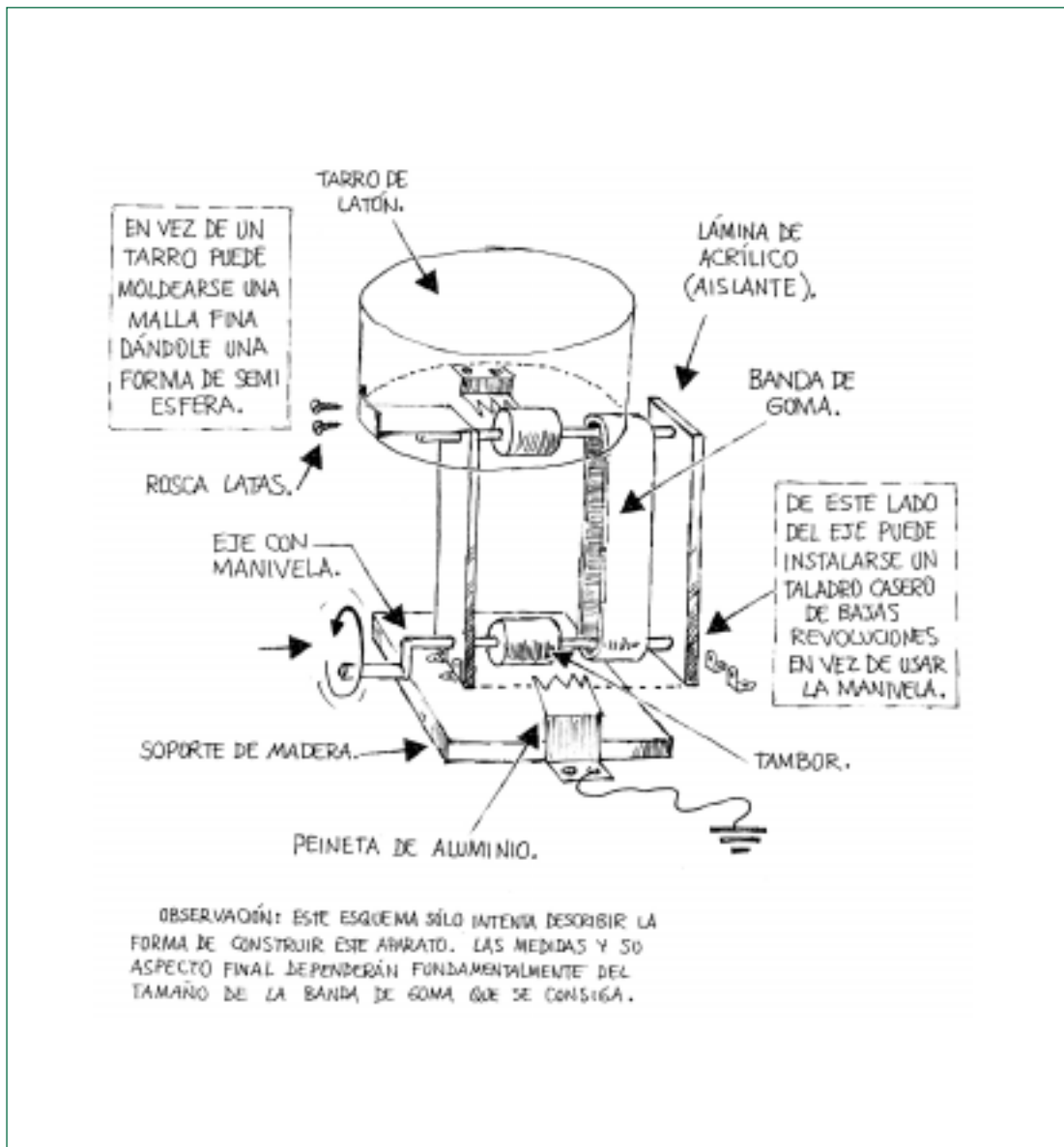
55. Uno de los aparatos construidos para acelerar partículas atómicas a altas energías es el ciclotrón. Realice un estudio histórico de su evolución, de los principios físicos en el cual se basa, los avances que ha permitido en la física de partículas elementales y sus numerosas aplicaciones.
56. Es usual que se utilicen aplicaciones de la inducción electromagnética sin saberlo, como, por ejemplo en las cintas de audio y de video. Hacer un estudio de la forma en que funcionan estos elementos desde el punto de vista de la grabación y reproducción, y comparar los principios en que se basa su funcionamiento con los que utilizan los sistemas de discos compactos.
57. Diseñar y construir una pequeña enciclopedia que muestre aplicaciones del electromagnetismo, explicando su funcionamiento, y que incluya artefactos cotidianos diversos tales como: televisor, generadores de corriente, timbres, micrófono, parlante, horno de microondas, alarma, etc.
58. Realizar una investigación bibliográfica sobre la forma en que la actividad solar repercute en las comunicaciones con ondas electromagnéticas.
59. Construir un póster que muestre una línea del tiempo con los más importantes descubrimientos relacionados con el electromagnetismo y sus gestores.
60. Construir una línea del tiempo en la que se indiquen los avances relacionados con la física atómica y nuclear señalando a los científicos más importantes involucrados en ellos.
61. Recopilar información sobre las aplicaciones de las radiaciones en las siguientes áreas:
  - a) en el diagnóstico médico
  - b) en las terapias médicas
  - c) en el uso industrial
62. Recolectar información acerca de la fisión y fusión nuclear como fuentes de energía; evaluar el impacto social e histórico de la primera, y el que tendría la segunda si fuera técnicamente utilizable. Comparar con otras fuentes de energía tradicionales y alternativas.



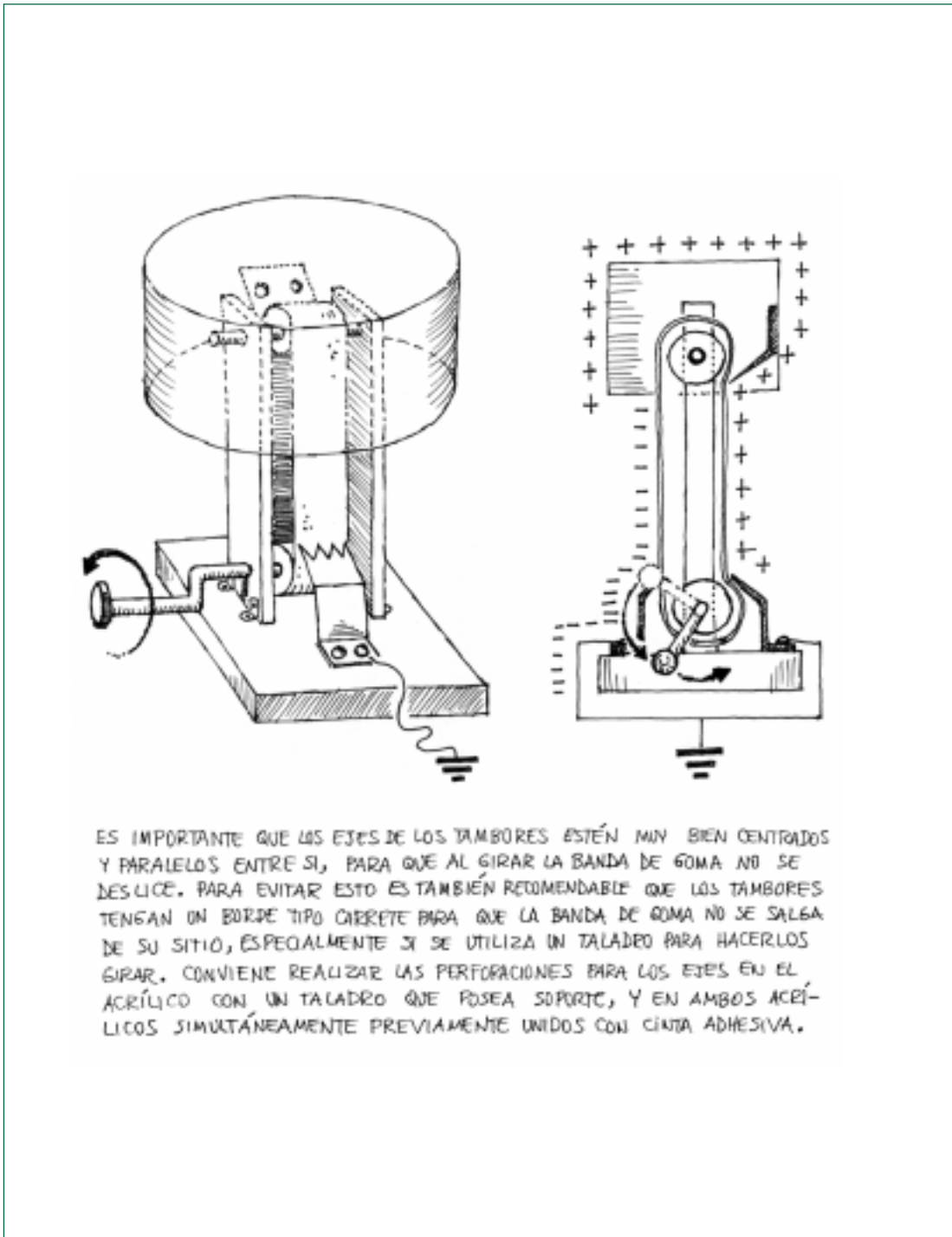
## Anexo C: Equipo de laboratorio

### Construcción de un generador de Van de Graaff

El siguiente esquema ilustra la construcción de un generador electrostático del tipo Van de Graaff. Se requieren dos láminas de acrílico, dos ruedas, una con eje simple y la otra con un eje manilla. Un trozo de goma de cámara de rueda de vehículo, un tarro (preferentemente una esfera metálica), algunos tornillos, chavetas, etc.



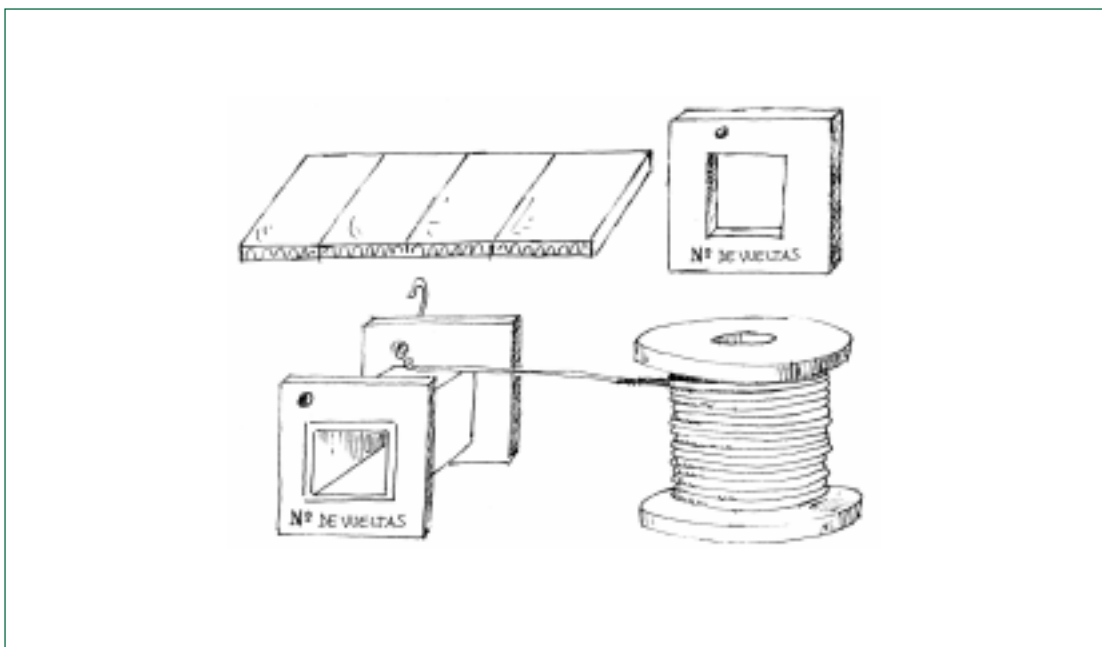
Aquí se ilustra el aspecto que puede llegar a tener este generador y a la derecha, un corte que muestra la disposición de la banda de goma, las peinetas que rozan con ella y el modo en que se mueven las cargas eléctricas.



### Construcción de bobinas

El siguiente esquema ilustra la construcción de bobinas adecuadas para el estudio de la inducción electromagnética, circuitos inductivos y electrónicos. Se requiere un poco de cartón piedra, pegamento (por ejemplo, cola fría) y alambre barnizado para bobinas.

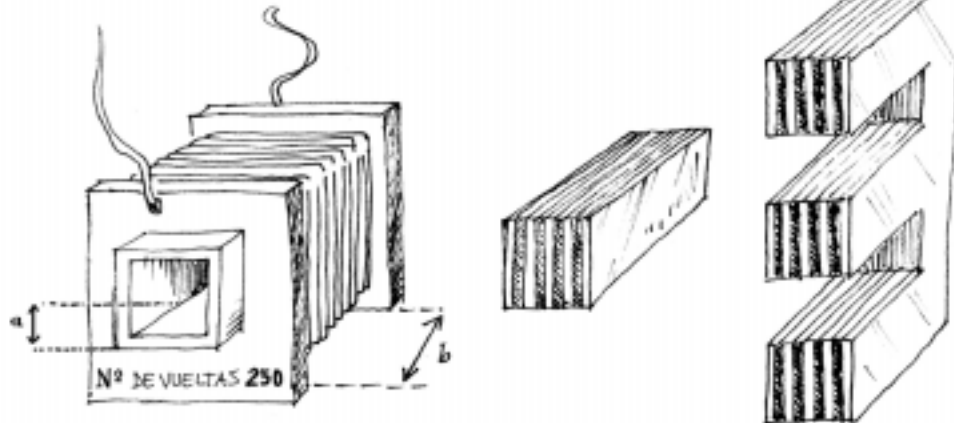
Es conveniente que el caño de cartón sobre el cual se enrolla el alambre posea el tamaño suficiente para que entre en él un núcleo de hierro laminado. Para enrollar el alambre es recomendable ajustar en el interior del caño de cartón un trozo de madera, y que los cartones laterales se encuentren ya bien pegados.



Es importante enrollar el alambre en forma cuidadosa y lo más ordenadamente posible. Si se corta, unirlo con soldadura y asegurarse que la zona quede bien aislada. Preocuparse de contar el número de vueltas y anotar lo finalmente en la propia bobina.

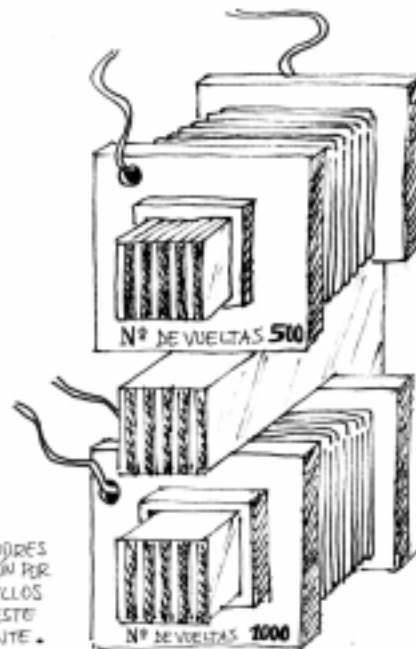
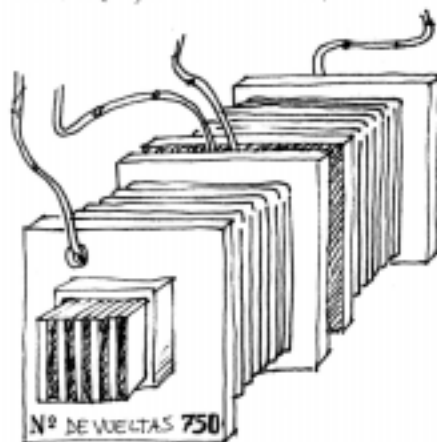
Construir varias bobinas sobre carretes de iguales medidas con un mismo alambre (0,2mm) por ejemplo de 250, 500, 750 y 1000 vueltas. Con alambre de 0,05 mm se puede alcanzar hasta 1000 y 2000 vueltas. Utilizando distintos núcleos de hierro pueden hacerse interesantes observaciones experimentales.

LOS NÚCLEOS DE HIERRO LAMINADO PUEDEN OBTENERSE DE TRANSFORMADORES EN DESUSO, EL ASPECTO FINAL DE LAS BOBINAS Y ALGUNOS DE LOS MONTAJES QUE PUEDEN REALIZARSE CON ELAS SON LOS SIGUIENTES:



LA INDUCTANCIA  $L$  EN  $\mu$  HENRY DE ESTA BOBINA, NÚCLEO DE AIRE ESTÁ DADA APROXIMADAMENTE POR:  

$$L = \frac{0,369 a^2 n^2}{9a + 10b}$$
 DONDE:  $a$  = RADIO DE LA BOBINA (cm),  $b$  = LONGITUD (cm) Y  $n$  = Nº DE VUELTAS.



LAS LÁMINAS QUE CONFORMAN LOS NÚCLEOS DE LOS TRANSFORMADORES SON DE HIERRO OXIDADO. EL OXIDO ES AISLADOR ELÉCTRICO, RAZÓN POR LA CUAL LAS CORRIENTES INDUCIDAS NO PUEDEN CIRCULAR ENTRE ELLOS COMO SERÍA EL CASO DE UN NÚCLEO DE HIERRO MACIZO. SIN ESTE AISLANTE EL NÚCLEO SE CALENTARÍA RÁPIDA Y PELIGROSAMENTE. UNA ALTERNATIVA PARA CONSTRUIR ESTE TIPO DE NÚCLEO ES POR MEDIO DE ALAMBRE DE HIERRO QUE SE ENCUENTRA OXIDADO.

## Anexo D: Unidades, símbolos, códigos de colores y constantes físicas

En este programa se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (S.I.), hoy adoptado convenientemente por la mayoría de los países.





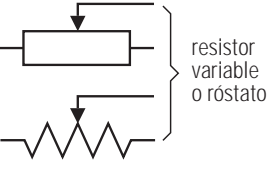

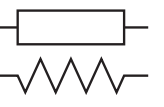


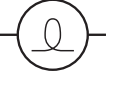
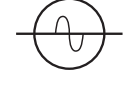







Unidades básicas			Algunas unidades derivadas			
Cantidad	Nombre	Símbolo	Cantidad	Nombre	Símbolo	
longitud	metro	m	frecuencia	Hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
masa	kilógramo	kg	velocidad		m/s	
tiempo	segundo	s	aceleración		m/s <sup>2</sup>	
corriente eléctrica	ampere	A	fuerza	newton	N	kg • m/s <sup>2</sup>
temperatura	kelvin	K	presión	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
			trabajo, energía	joule	J	N • m
			potencia	watt	W	J/s
			carga eléctrica	coulumb	C	A • s
			potencial eléctrico		V	W/A
			resistencia eléctrica	ohm	Ω	V/A
			campo eléctrico		E	N/C
			campo magnético	tesla	B	kg/As <sup>2</sup>
			capacitancia	farad	C	C/V
			inductancia	henry	H	J/A <sup>2</sup>

Equivalente en unidades de energía

$$1 \text{ caloría} = 4,186 \text{ joule}$$

$$1 \text{ electrón volt (eV)} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

### Símbolos que se recomienda usar en electricidad y magnetismo:

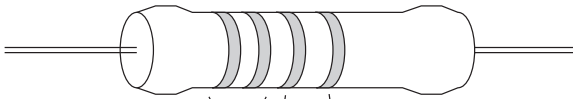
	hilo conductor		tierra		pila
	interruptor		resistor variable o róstato		batería
	resistor fijo		dinamo de corriente continua		Condensador fijo
	ampolleta		generador de corriente alterna		Condensador variable
	bobina				
	Transformador				
	Amperímetro		Voltímetro		Rectificador
					LED

### Código de colores de las resistencias

La mayoría de los resistores en el rango que va de 0,25 a 4 watts, característica que se reconoce por su tamaño, emplea el siguiente código para especificar su valor en ohms ( $\Omega$ ).

Ubicándose de tal modo que el anillo dorado o plateado quede a la derecha, los colores de los dos primeros anillos indican los primeros dos dígitos del valor buscado, mientras el tercero indica el número de ceros que debe agregarse a los dígitos anteriores. El último anillo especifica la tolerancia; es decir, la incerteza del valor antes descrito. Si el anillo es dorado la tolerancia es del 10% y si es dorado, de un 5%.

Color	Valor
negro	0
café	1
rojo	2
naranja	3
amarillo	4
verde	5
azul	6
violeta	7
gris	8
blanco	9

Tolerancia:	
Café	= 1%
Rojo	= 2%
Dorado	= 5%
Plateado	= 10%
Sin color	= 20%

Ejemplos: Si los colores de una resistencia son:	Su resistencia es:
1) verde, gris, naranja, dorado	58000 $\Omega \pm 5\%$
2) violeta, rojo, negro, plateado	72 $\Omega \pm 10\%$

### Algunas constantes físicas de utilidad en este curso:

Nombre	Símbolo	Valor	Unidad S.I.
Radio de Bohr	$a_0$	$0,529177 \times 10^{-10}$	m
Masa del electrón	$m_e$	$9,109 \times 10^{-31}$	kg
Carga del electrón	$e$	$1,6021 \times 10^{-19}$	C
Constante de gravitación	G	$6,6725 \times 10^{-11}$	$\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$
Masa del neutrón	$m_n$	$1,6749 \times 10^{-27}$	kg
Constante de Planck	$h$	$6,6260 \times 10^{-34}$	J·s
Masa del protón	$m_p$	$1,6726 \times 10^{-27}$	kg
Constante de Rydberg	$R_H$	$1,097373 \times 10^7$	$\text{m}^{-1}$
Velocidad de la luz en el vacío	$c$	$2,99792458 \times 10^8$	m/s
Constante de la ley de Coulomb	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$8,98755 \times 10^9$	$\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$

## Anexo E: Bibliografía

### Libros, revistas, software, videos, direcciones de internet.

Las siguientes obras contienen material de utilidad en relación a los contenidos tratados en este documento.

Alonso, Marcelo; Rojo, Onofre; 1979, Física, Mecánica y termodinámica (Fondo Educativo Interamericano S. A.) 454 páginas.

Examina con bastante más rigurosidad los contenidos que considera este programa, pero lo hace de un modo simple y con matemáticas elementales. Propone una gran cantidad de preguntas, problemas, ejemplos, experimentos, tablas de datos, etc. que pueden resultar de gran utilidad para el profesor o profesora.

Alvarenga B. Máximo A. 1976, Física General (Editorial Harta, 3º edición, Colombia) 994 páginas.

Claridad en la exposición de conceptos, variedades de ejemplos, actividades y novedosos problemas lo convierten en un excelente apoyo para este programa.

Astronomía 2000, Revista chilena de astronomía. Revista interesante, entretenida y bellamente diagramada que incluye artículos actualizados de muy buena calidad indispensable en una biblioteca escolar. Su nivel es apropiado tanto para el profesorado como para alumnos y alumnas.

Bueche, Frederick J. 1991, Fundamentos de Física (McGraw-Hill, quinta edición, México) 2 tomos de 500 páginas cada uno.

En el tomo II se tratan los contenidos de este programa. Lo caracteriza un buen nivel de ex-

posición de los temas, buenas ilustraciones y una buena cantidad de problemas para cada uno de los temas que trata. No deja de lado los aspectos históricos y posee excelentes apartados con temas bien escogidos. Su nivel matemático se limita sólo al álgebra.

Carabello, Olano, Torruella y otros, 1972, Física: Una ciencia para todos (Merrill Publishing Company, USA) 574 páginas.

Trata todos los temas del presente programa en forma clara y directa. Dibujos, esquemas y fotografías a todo color, resúmenes, preguntas y problemas caracterizan este libro que sólo hace uso de matemáticas elementales.

Claro Huneeus, Francisco 1995, A la sombra del asombro (Editorial Andrés Bello, Santiago) 207 páginas.

Este libro nos muestra "el mundo visto por la física". Hasta los aspectos más complejos de esta ciencia son expuestos en forma clara y amena. Lectura necesaria para los docentes de física y con muchos capítulos adecuados para los estudiantes.

Creces, el nuevo conocimiento (Publicación mensual especializada de CONIN)

Numerosos e interesantes artículos y noticias de actualidad científica (física, medio ambiente, astronomía y espacio, entre otros), especialmente dirigidos a docentes y estudiantes de la Educación Media de nuestro país.

Gamow, George, 1956, *La investigación del átomo* (Brevarios del Fondo de Cultura Económica. México) 113 páginas.

Obra amena y fácil de leer. Además de entretener a nuestros estudiantes, las aventuras y sueños del señor Tompkins les enseñarán interesantes aspectos del mundo atómico.

Hewitt, Paul. 1995, *Física conceptual* (Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, 2<sup>o</sup> edición, E.U.A) 738 páginas.

El énfasis en el concepto, explicaciones entretenidas, preguntas y actividades lo hacen muy atractivo, permitiendo que alumnos y alumnas comiencen a descubrir los apasionantes caminos de la física.

*Investigación y Ciencia* (Edición española de Scientific American) (Prensa Científica, S. A., Barcelona).

Revista mensual que trata temas de las diversas ciencias a nivel no especializado. Los artículos son en general excelentes, abundantes en material histórico y bien actualizados.

Papp, Desiderio. 1961, *Historia de la física* (Espasa-Calpe, S. A. Madrid) 440 páginas.

Se exponen en forma excelente el origen y evolución de los principales conceptos de la física e incluye un importante apéndice con una selección de textos clásicos muy bien escogidos.

Papp, Desiderio. 1975, *Ideas revolucionarias de la ciencia* (Editorial Universitaria, Santiago) 3 tomos de 350 páginas cada uno.

Nos muestra con gran claridad en qué circunstancias y cómo se originaron los principales conceptos de la ciencia, y proporciona información amena sobre sus protagonistas.

Perrelman, Y, 1971, *Física recreativa* (Ediciones. Martinez Roca S.A.) 187 páginas.

Lectura amena que enseña a pensar desde el punto de vista de la física. Interesantes, motivantes e ingeniosos capítulos nos aproximan a los más variados temas de esta ciencia. Adecuada para docentes y estudiantes.

Romer, Alfred, 1965, *El átomo inquieto* (Editorial Universitaria de Buenos Aires) 213 páginas.

Este libro nos muestra con bastante detalle la historia de los descubrimientos y los personajes que permitieron descubrir el átomo. Muchos capítulos son adecuados sólo para el profesor.

Sagan, Carl, 1980, *Cosmos* (Editorial Planeta S. A.) 365 páginas.

Magistral obra que, aun pasados los años, conserva su vigencia, al igual que la serie de televisión del mismo nombre. En esta obra describe con gran estilo y belleza “una evolución de quince mil millones de años que ha transformado la materia en vida y conciencia”.

Serway, Raymond. 1994, *Física* (Editorial McGraw-Hill, 3<sup>o</sup> edición, U.S.A.)

Excelente texto de toda la física básica. Su mérito es el haber incluido la física más reciente a sus contenidos.

Wilson, Jerry D, 1994, *Física* (Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México) 776 páginas.

Obra muy completa, con variados ejemplos y demostraciones experimentales. Gran número de ejercicios y excelentes ilustraciones.

Zitzawitz, Paul W. Y Robert F. Neff, 1997, *Física, principios y problemas* (Editorial McGraw-Hill. Colombia) 270 páginas.

El tomo 1 expone los temas relativos al movimiento, el calor y el Universo de un modo claro y con una excelente diagramación e ilustraciones. Definición del nivel de logros, resúmenes, actividades de laboratorio, problemas, ejemplos, revisión de conceptos, apartados con aproximaciones a la tecnología son algunas de sus principales características.

**Software educativo:**

Historia del Tiempo, Interactiva, Editorial Anaya.

Enciclopedia Encarta, Microsoft.

Distant Suns, First Light, Versión 1.0.

**Videos:**

“El universo mecánico...y el más allá”.

Es una serie traducida al español de 9 cintas de vídeo cada una de las cuales contiene dos capítulos de 30 minutos cada uno. Se presentan temas de cinemática, dinámica, las leyes de Kepler, gases, electricidad, electromagnetismo, óptica y el átomo con ejemplos tomados de la vida real, e incluye demostraciones, experimentos y animaciones.

United Video S. A. Augusto Leguía 132. Las Condes, Santiago. Fono 3359202, Fax 3359203.

Consultar la última edición del Catálogo CRA, Ministerio de Educación.

**Algunas direcciones de internet que pueden resultar útiles para todos los cursos de Física (1° a 4° Medio).**

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Acústica	<a href="http://personal.redestb.es/azpiroz/">http://personal.redestb.es/azpiroz/</a> Acústica básica y sonido. Curso de sonido. Libros. Software, etc.	Español	Buena
Astrofísica	<a href="http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/index.html">http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/index.html</a> Página del curso Astronomy 162, Stars, Galaxies, and Cosmology, dictado en la Universidad de Tennessee, USA. Incluye propiedades de la luz, telescopios, el Sol, física estelar, estrellas variables, supernovas, estrellas de neutrones, pulsares, galaxias, grupos de galaxias, cosmología, vida en el universo, etc. Abundante material fotográfico. Se ocupa de los aspectos históricos y los personajes involucrados.	Inglés	Excelente
Astrofísica	<a href="http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/videos/education.html">http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/videos/education.html</a> Página de la NASA con ocho videos educacionales (animaciones con sonido) en formato avi y Quick-time. Incluye las leyes de Kepler, el espectro electromagnético, etc. Contiene software y drivers para Windows y Macintosh.	Inglés	Muy buena
Astrofísica	<a href="http://www.civila.com/chile/astrocosmo/conteni.html">http://www.civila.com/chile/astrocosmo/conteni.html</a> Artículos y monografías sobre diversos temas de física y cosmología: estrellas gigantes rojas, enanas blancas, de neutrones y agujeros negros, antimateria, enanas cafés, materia oscura, edad y destino del universo, el Big Bang, formación de galaxias, rayos gamma, planetas en otros soles, relatividad general, teoría de supercuerdas. Artículos breves pero de muy buen nivel.	Español	Buena
Astronáutica	<a href="http://irtf.ifa.hawaii.edu/MOWG/othermissions.html">http://irtf.ifa.hawaii.edu/MOWG/othermissions.html</a> Información muy amplia sobre la totalidad de las distintas misiones de la NASA. Gran cantidad de fotografías.	Inglés	Muy buena
Astronáutica	<a href="http://www.jpl.nasa.gov/">http://www.jpl.nasa.gov/</a> Laboratorio de propulsión a chorro de la NASA JPL. Información sobre: el sistema solar, la Tierra, el Universo y tecnología. Contiene un buscador para la NASA.	Inglés	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronáutica	<a href="http://www.nasa.gov/">http://www.nasa.gov/</a> Página web de la NASA. Toda la información imaginable esta aquí. Desde las primeras misiones hasta la estación espacial internacional.	Inglés	Muy buena
Astronomía	<a href="http://www.astronomia2000">http://www.astronomia2000</a> Página web de la revista chilena Astronomía 2000. Interesantes y valiosos artículos y links.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://209.1.224.14/CapeCanaveral/5514/agujeros.html">http://209.1.224.14/CapeCanaveral/5514/agujeros.html</a> Breve descripción elemental de los agujeros negros, su superficie y su interior.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://64.4.18.250/cgi-bin/linkrd?_lang=ES&amp;lah=2d60b0e23a96ba6be3f22c49bd7f7f79&amp;lat=980001213&amp;hm___action=http%3a%2f%2fns%2edfuls%2ecl%2f%7ecen%2fredastro%2fastrobiblio%2f">http://64.4.18.250/cgi-bin/linkrd?_lang=ES&amp;lah=2d60b0e23a96ba6be3f22c49bd7f7f79&amp;lat=980001213&amp;hm___action=http%3a%2f%2fns%2edfuls%2ecl%2f%7ecen%2fredastro%2fastrobiblio%2f</a> Red astronómica de Chile. Artículos, datos, fotografías, software, etc.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://aagc.ulpgc.es/index.html">http://aagc.ulpgc.es/index.html</a> Agrupación astronómica de Gran Canaria. Algunos temas son: estrellas efemérides, cuerpos menores, divulgación, astroinformática, múltiples enlaces a otras páginas, noticias. En general muy buen nivel. Recomendada para profesores y estudiantes.	Español	Muy buena
Astronomía	<a href="http://almaak.tripod.com/index.htm">http://almaak.tripod.com/index.htm</a> Astronomía autodidacta. Temas de interés general, biografías de astrónomos de la antigüedad (Tales, Anaxágoras, Eudoxo, Ptolomeo, etc) del Renacimiento (Galileo, Copérnico, Brahe, etc.), y modernos (Carl Sagan). Galería de fotos de aficionados.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://ctios6.ctio.noao.edu/~claudio/comen.html">http://ctios6.ctio.noao.edu/~claudio/comen.html</a> Página personal con artículos comentarios, fotos de temas de actualidad astronómica. Asteroides, cinturón de fotones, el planeta Marte, planetas extrasolares, etc., son algunos de los temas aquí tratados con un nivel elemental.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://dir.lycos.com/Science/Astronomy/">http://dir.lycos.com/Science/Astronomy/</a> Portal con muchas direcciones de contenido astronómico: interesantes artículos, imágenes y animaciones.	Inglés	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronomía Física	<a href="http://encyclozine.com/">http://encyclozine.com/</a> Ciencia y tecnología, astronomía. Ilusiones ópticas, juegos didácticos. La estructura atómica y nuclear, Física cuántica. La luz y sus propiedades En mecánica, las máquinas simples. En magnetismo, los polos y las líneas magnéticas.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://leonids.hq.nasa.gov/leonids/">http://leonids.hq.nasa.gov/leonids/</a> Página de la NASA con información y fotografías de la lluvia de meteoritos conocida como leonidas.	Inglés	Muy buena
Astronomía	<a href="http://ns.dfuls.cl/~cen/redastro/">http://ns.dfuls.cl/~cen/redastro/</a> Red Chilena de Astronomía. Interesante página. Información, noticias, fotografías, diversos artículos, concursos, etc.	Español	Excelente
Astronomía	<a href="http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/">http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/</a> Página de NASA. Abundante información sobre planetas, asteroides y cometas. Fotografías.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://olmo.pntic.mec.es/~hiparco/index.html">http://olmo.pntic.mec.es/~hiparco/index.html</a> Completísima información sobre los más variados temas de astronomía.	Español	Muy buena
Astronomía	<a href="http://oposite.stsci.edu/pubinfo/index.html">http://oposite.stsci.edu/pubinfo/index.html</a> Información pública de la NASA sobre el observatorio espacial Hubble. Fotografías y animaciones.	Inglés	Muy buena
Astronomía	<a href="http://personal.redestb.es/juanlois/capostol.html">http://personal.redestb.es/juanlois/capostol.html</a> Interesante página construida por estudiantes para estudiantes. Colegio Apóstol Santiago.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://planetary.org/">http://planetary.org/</a> Página de la revista del mismo nombre (The Planetary Report). Amplia información sobre los planetas, satélites, cometas, etc. del sistema solar. Si bien se encuentra en inglés, posee una sección en español a la cual se entra por la siguiente dirección. <a href="http://planetary.org/spanish/eindex.html">http://planetary.org/spanish/eindex.html</a>	Inglés y Español	Excelente
Astronomía	<a href="http://search.espanol.yahoo.com/search/espanol?p=astronom%Eda">http://search.espanol.yahoo.com/search/espanol?p=astronom%Eda</a> Punto de partida para buscar información en español sobre diversos temas de astronomía.	Español	Bueno

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronomía	<a href="http://snoopy.gsfc.nasa.gov/~orfeus2/science.html">http://snoopy.gsfc.nasa.gov/~orfeus2/science.html</a> Interesante página sobre la misión ORFEUS – SPAS II de la NASA. Interesantes documentos fotográficos. Nivel elemental.	Inglés	Buena
Astronomía El Sol	<a href="http://solar.physics.montana.edu/YPOP/FilmFestival/movie_examples.html">http://solar.physics.montana.edu/YPOP/FilmFestival/movie_examples.html</a> Interesantes videos sobre el Sol factibles de bajar. La dirección de origen es <a href="http://solar.physics.montana.edu/YPOP/index.html">http://solar.physics.montana.edu/YPOP/index.html</a>	Inglés	Muy buena
Astronomía Eclipses	<a href="http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html">http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html</a> Página de la NASA con información general sobre eclipses pasados y futuros. Excelentes ilustraciones.	Inglés	Muy buena
Astronomía	<a href="http://www.astro.uni-bonn.de/~pbrosche/hist_astr/">http://www.astro.uni-bonn.de/~pbrosche/hist_astr/</a> Historia de la astronomía a través de sus personajes, observatorios, museos, etc.	Inglés	Muy Buena
Astronomía	<a href="http://www.astrocity.net/">http://www.astrocity.net/</a> Interesante y completa revista electrónica de astronomía.	Español	Muy buena
Astronomía	<a href="http://www.astrored.org/">http://www.astrored.org/</a> Uno de los sitios en español más importante para astronomía básica. <a href="http://www.astrored.org/digital/">http://www.astrored.org/digital/</a> Revista digital de AstroRed. <a href="http://www.astrored.org/efem/">http://www.astrored.org/efem/</a> Efemérides de AstroRed. Sol, Luna, planetas, satélites, clima, etc. <a href="http://www.astrored.org/internet/internet/superlinks1.html">http://www.astrored.org/internet/internet/superlinks1.html</a> Índice de recursos astronómicos de internet: Observatorios (terrestres y espaciales). Para profesionales y aficionados.	Español	Muy buena
Astronomía El Sol	<a href="http://www.athena.ivv.nasa.gov/curric/space/solterr/output.html">http://www.athena.ivv.nasa.gov/curric/space/solterr/output.html</a> Información sobre el Sol con relación a su actividad y su influencia en nuestro planeta. Muchas ilustraciones.	Inglés	Muy buena
Astronomía	<a href="http://www.civila.com/chile/astrocosmo/55cancri.htm">http://www.civila.com/chile/astrocosmo/55cancri.htm</a> El descubrimiento de Rho'55Cancrí, planeta extrasolar. Comparación con Júpiter en el sistema solar.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronomía	<a href="http://www.das.uchile.cl/">http://www.das.uchile.cl/</a> Página del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile (Cerro Calán). Interesante información sobre historia de la astronomía. Glosario de términos astronómicos, el sistema solar, galería de imágenes. Links, etc.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.fisica.edu.uy/PAGES/oalm/eclipses/eclip.html">http://www.fisica.edu.uy/PAGES/oalm/eclipses/eclip.html</a> Artículos e información referidos al Sol, la Luna, los planetas y las constelaciones. Efemérides de eclipses, mapas de eclipses y estelares, y de actividad solar, entre otros.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.fiz.uni-lj.si/astro/deepsky/aat/astroimages.html">http://www.fiz.uni-lj.si/astro/deepsky/aat/astroimages.html</a> Fotografías a color del telescopio de 3.9m anglo-australiano. Instrumentos, estrellas, nebulosas, galaxias, planetas, etc.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.gbsystems.com/web/astro/">http://www.gbsystems.com/web/astro/</a> Conferencias sobre el Sol y los planetas del sistema solar. Galaxias, Eclipses, Exo – planetas. Nivel básico, interesantes ilustraciones.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.japan.park.org/Japan/NTT/MUSEUM/html_st/star/index_c_e.html">http://www.japan.park.org/Japan/NTT/MUSEUM/html_st/star/index_c_e.html</a> Galería cósmica: historia del zodiaco, esfera del zodiaco, software, etc.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Images/artwork/">http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Images/artwork/</a> Pinturas artísticas de gran calidad sobre astros del sistema solar, principalmente de Saturno desde algunos de sus satélites.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.mtwilson.edu/Science/index.html">http://www.mtwilson.edu/Science/index.html</a> Página web del observatorio del Monte Wilson, USA. Abundante información y material gráfico. Destacan temas como el telescopio en la educación.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.mtwilson.edu/Tour/Museum/index.html">http://www.mtwilson.edu/Tour/Museum/index.html</a> Museo astronómico del observatorio del Monte Wilson, USA. Interesante material fotográfico de observatorios y sobre la historia de la astronomía.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.ole.com/cgi-bin/ink.cgi?Claus=Astronom%EDa">http://www.ole.com/cgi-bin/ink.cgi?Claus=Astronom%EDa</a> Portal de astronomía en español. Conduce a muchas e interesantes páginas web. Por ejemplo: <a href="http://www.laeff.esa.es/~tribuna/">http://www.laeff.esa.es/~tribuna/</a> Es la página de la revista Tribuna de Astronomía y Universo, con muchos artículos interesantes.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronomía	<a href="http://www.iafe.uba.ar/">http://www.iafe.uba.ar/</a> Instituto de Astronomía y Física del Espacio. Buenos Aires – Argentina. Destacan secciones como: “Información astronómica” y “Pregúntale a un astrónomo”.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.rockhounds.com/rockshop/marsrock.html">http://www.rockhounds.com/rockshop/marsrock.html</a> Historia, fotografías y consideraciones sobre el meteorito marciano ALH84001 encontrado en la Tierra. Documento de la NASA.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.sai.msu.su/">http://www.sai.msu.su/</a> Página de AstroNet. Universidad de Moscú. Abundantes artículos y links con otros sitios.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.sai.msu.su/apod/index.html">http://www.sai.msu.su/apod/index.html</a> Astronomy Picture of the Day Index. Cada día en este sitio se muestra una espectacular fotografía astronómica.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.sc.ehu.es/sqwcauri/cientec/astronom.html">http://www.sc.ehu.es/sqwcauri/cientec/astronom.html</a> Página de astronomía general. Nacimiento, evolución y muerte de una estrella, estrellas de neutrones, estrellas T Tauri, límite de Roche, agujeros negros, etc. Nociones básicas.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.seti.org/Welcome.html">http://www.seti.org/Welcome.html</a> Página de “SETI Institute on Line”. Organización dedicada a la búsqueda de vida en el Universo. La ecuación de Frank Drake, y muchos artículos interesantes relativos a este tema.	Inglés	Buena
Astronomía	<a href="http://www.uat.mx/Vinculos/planeta/video2.html">http://www.uat.mx/Vinculos/planeta/video2.html</a> Página del Planetario de Ciudad Victoria, México. Información y noticias de astronomía. Abundante material fotográfico e información de interés general.	Español	Buena
Astronomía	<a href="http://www.vcas.org/">http://www.vcas.org/</a> Ventura Country Astronomical Society. Espacio y telescopios. Abundante material fotográfico de astronomía.	Inglés	Buena
Astronomía Sistema Solar	<a href="http://www3.uniovi.es/MIBI/ciencia/">http://www3.uniovi.es/MIBI/ciencia/</a> Vistas del Sistema Solar. El Sol, los planetas, cometas, asteroides, la nube de Oort, el anillo de Kuiper, historia, glosario.	Español Inglés Francés	Muy buena
Astronomía Sistema solar	<a href="http://library.thinkquest.org/3082/index.htm">http://library.thinkquest.org/3082/index.htm</a> Información técnica básica sobre los planetas del sistema solar: masa, radio, albedo, etc. Incluye glosario de términos astronómicos.	Inglés	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Astronomía Sistema solar	<a href="http://www.oei.org.co/fpciencia/art15.htm">http://www.oei.org.co/fpciencia/art15.htm</a> Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia la Cultura. Interesante resúmenes acerca del sistema solar y su exploración.	Español	Buena
Astronomía El Sol	<a href="http://www.lmsal.com/SXT/homepage.html">http://www.lmsal.com/SXT/homepage.html</a> Abundante información sobre el Sol y conexión con otras páginas relativas a este astro.	Inglés	Buena
Astronomía El Sol	<a href="http://www.ucm.es/info/Astrof/sol.html">http://www.ucm.es/info/Astrof/sol.html</a> Información sobre el Sol. Imagen diaria del Sol. Interesantes textos y material gráfico.	Español	Buena
Biografía	<a href="http://www.angelfire.com/de/BejaminFranklin/">http://www.angelfire.com/de/BejaminFranklin/</a> Breve biografía de Benjamín Franklin acompañada de su imagen. Elemental.	Español	Buena
Biografías	<a href="http://www.castillayleon.com/cultura/cientificos/fisicos.htm">http://www.castillayleon.com/cultura/cientificos/fisicos.htm</a> Breves biografías e imágenes de un número importante de físicos.	Español	Buena
Biografías	<a href="http://www.terra.es/personal/flromera/portcient.htm">http://www.terra.es/personal/flromera/portcient.htm</a> Extensa selección de los más brillantes científicos y técnicos que la humanidad ha conocido. Biografías en orden alfabético. Breves pero de buena calidad.	Español	Buena
Ciencia	<a href="http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm">http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm</a> "El Rincón de la Ciencia" es el título de esta página. Es una revista electrónica de ciencias. Contiene simulaciones de física atómica, como por ejemplo de la "Absorción y emisión de radiación por un átomo", de la "descomposición de la luz en un prisma", del "movimiento relativo", sobre "electromagnetismo".	Español	Buena
Ciencia recreativa	<a href="http://www.biblia.com/maravillas/index.html">http://www.biblia.com/maravillas/index.html</a> Página personal con interesantes puntos de vista sobre átomos, planetas, estrellas, órganos animales (por ejemplo el ojo, el oído, corazón y el sistema circulatorio, etc.).	Español	Buena
Ciencias de la Tierra	<a href="http://pop.life.uiuc.edu/~alynch/macearth.html#spac">http://pop.life.uiuc.edu/~alynch/macearth.html#spac</a> Interesante página sobre "Ciencias de la Tierra". Geología, Meteorología, Oceanografía, Astronomía y Ciencias del Espacio. Links a muchos sitios interesantes. Destaca "A Multimedia Tour of the Solar System" al cual se accede directamente por la dirección siguiente.	Inglés	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
	<a href="http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/nineplanets.html">http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/nineplanets.html</a>		
Ciencias de la Tierra	<a href="http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mcolumb.htm">http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mcolumb.htm</a> La Tierra redonda y Cristóbal Colón. Eratóstenes, Posidonio y el Mamun. Interesantes links sobre el tema.	Español	Buena
Cometas	<a href="http://encke.jpl.nasa.gov/">http://encke.jpl.nasa.gov/</a> Información y fotografías de cometas.	Inglés	Buena
Cosmología	<a href="http://cerezo.pntic.mec.es/~mrego/index.html">http://cerezo.pntic.mec.es/~mrego/index.html</a> Cosmología: estrellas, supernovas, agujeros negros, estructura de galaxias, primeros instantes del universo. Elemental.	Español	Buena
Cosmología	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2921/anisotropy.html">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2921/anisotropy.html</a> Artículo sobre las "Fluctuaciones en la radiación cósmica de fondo". Instructivos diagramas y material fotográfico.	Español	Buena
Cosmología	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2921/cosmolog.htm#Contenidos">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2921/cosmolog.htm#Contenidos</a> Curso básico de cosmología. El modelo estándar del Big Bang. Métricas del espacio tiempo. Niveles básico y medio. Interesante artículo sobre las fluctuaciones de la radiación cósmica de fondo. Ilustraciones y datos de actualidad. Contiene muchos links, por ejemplo: <a href="http://www.geocities.com/newmodel2k/index.html">http://www.geocities.com/newmodel2k/index.html</a> Nociones sobre la teoría especial de la relatividad. Adecuada para el profesor o profesora.	Español	Buena
Cosmología	<a href="http://www.iac.es/gabinete/inves/linea1.htm">http://www.iac.es/gabinete/inves/linea1.htm</a> Estructura del Universo. Instituto de astrofísica de Canarias. El Sol, el sistema solar, materia interestelar, óptica atmosférica, diseño y construcción de telescopios, son algunos de los títulos de esta página.	Español	Buena
Efecto Doppler	<a href="http://academia.col.itesm.mx/materias/fisica/doppler/index.htm">http://academia.col.itesm.mx/materias/fisica/doppler/index.htm</a> Página modesta destinada al efecto Doppler (significado, aplicaciones prácticas, fórmulas clásicas y relativistas, breve biografía y retrato de Doppler)	Español	Buena
Efecto fotoeléctrico	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/2970/efecto.html">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/2970/efecto.html</a> Descripción y análisis del efecto fotoeléctrico. Efecto externo, interno, unión, elementos básicos, medida de $h$ por Millikan, umbral fotoeléctrico, célula fotoeléctrica, teoría cuántica, fotón, Einstein, son algunos de los temas que se tratan.	Español	Muy buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Electricidad	<a href="http://www.fwee.org/Tours.html">http://www.fwee.org/Tours.html</a> Tour hidrológico. Generadores eléctricos. Línea del tiempo del desarrollo de la electricidad, etc.	Inglés	Buena
Electricidad	<a href="http://www.geocities.com/Athens/Delphi/8951/campos.htm">http://www.geocities.com/Athens/Delphi/8951/campos.htm</a> Análisis y comparación de los campos gravitatorios y electrostáticos. Superficies equipotenciales, capacitores, flujo de campo eléctrico, etc. Interesantes esquemas. Nivel adecuado para el docente.	Español	Buena
Electricidad	<a href="http://www.mos.org/sln/toe/toe.html">http://www.mos.org/sln/toe/toe.html</a> Teatro de la electricidad. Interesantes fotografías y video sobre el generador de Van de Graaff.	Inglés	Buena
Electricidad y magnetismo	<a href="http://tierra.ciens.ucv.ve/~rmartin/hfishtm/hey1.html">http://tierra.ciens.ucv.ve/~rmartin/hfishtm/hey1.html</a> Interesante artículo sobre la historia de la electricidad. Información bibliográfica, ilustraciones y fragmentos de textos originales. Muy buen nivel.	Español	Buena
Electro-magnetismo	<a href="http://physics.syr.edu/courses/vrml/electromagnetism/">http://physics.syr.edu/courses/vrml/electromagnetism/</a> Interesante galería sobre electromagnetismo.	Inglés	Buena
Electro-magnetismo	<a href="http://www.cec.uchile.cl/~cutreras/index.html">http://www.cec.uchile.cl/~cutreras/index.html</a> Completo curso de electromagnetismo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Adecuada para el profesor.	Español	Muy buena
Energía	<a href="http://academia.col.itesm.mx/materias/fisica/energia/">http://academia.col.itesm.mx/materias/fisica/energia/</a> Página acerca de la energía. Incluye breves descripciones de conceptos básicos sobre: transformación de energía, degradación de energía, energía potencial y cinética, conservación de la energía mecánica.	Español	Buena
Energía nuclear	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Station/2207/">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Station/2207/</a> Sobre la energía nuclear aborda temas como: su historia, las reacciones nucleares, ventajas y desventajas, la bomba nuclear.	Español	Buena
Energía solar	<a href="http://www.censolar.es/">http://www.censolar.es/</a> Centro de estudios para el aprovechamiento de la energía solar. Curso a distancia. Software. Links.	Español	Buena
Energía solar	<a href="http://www.geocities.com/regorogiram/solar.html">http://www.geocities.com/regorogiram/solar.html</a> Aplicaciones prácticas de la energía solar y sus características.	Español	Buena
Energía solar	<a href="http://www.members.tripod.com/fotografia/textos/solar.htm">http://www.members.tripod.com/fotografia/textos/solar.htm</a> Usos posibles de la energía solar.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Física	<a href="http://contenidos.com/fisica.htm">http://contenidos.com/fisica.htm</a> Interesante página adecuada para que alumnos y alumnas investiguen temas como la historia de la electricidad, el vidrio, la presión atmosférica, el ciclo del agua, el pararrayos, la conservación de la energía, etc. Nivel muy básico.	Español	Buena
Física Óptica y ondas	<a href="http://enebro.pntic.mec.es/~fmag0006/index.html">http://enebro.pntic.mec.es/~fmag0006/index.html</a> PRISMA es un Laboratorio Virtual de física. Simulaciones de óptica y ondas. Referencias históricas.	Español	Muy buena
Física Relatividad general	<a href="http://jean-luc.ncsa.uiuc.edu/Exhibits/">http://jean-luc.ncsa.uiuc.edu/Exhibits/</a> Interesantes animaciones sobre la relatividad general: agujeros negros, ondas gravitacionales, etc. Adecuada para el profesor o profesora.	Inglés	Muy buena
Física Teoría de la relatividad	<a href="http://jean-luc.ncsa.uiuc.edu/World/world.html">http://jean-luc.ncsa.uiuc.edu/World/world.html</a> Amplia e interesante información sobre la teoría general de la relatividad alrededor del mundo. Artículos, dibujos, fotos animaciones, software.	Inglés	Muy buena
Física	<a href="http://physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/">http://physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/</a> Laboratorio virtual. Animaciones en java. Por ejemplo: Reflexión total interna. Reflexión múltiple en espejos planos. Interferencia de ondas, composición de velocidades, circuito RCL, magnetismo, rotaciones, etc. <a href="http://members.nbci.com/surendranath/Applets.html">http://members.nbci.com/surendranath/Applets.html</a> Lista de applets con simulaciones muy buenas en los más variados temas de la física clásica: vectores, cinemática, dinámica, oscilaciones, electricidad, óptica.	Inglés	Muy buena
Física Teoría de la relatividad	<a href="http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/index.html">http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/index.html</a> Página inicial del "cono de luz", una introducción ilustrada a la relatividad tanto especial como general. No descuida la perspectiva histórica. <a href="http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/introduction.html">http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/introduction.html</a> "El cono de Luz". Introducción a la teoría de la relatividad. Excelente síntesis y buenas imágenes y animaciones. Recomendada para el docente. <a href="http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/galilean.html">http://suhp.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/galilean.html</a> Introducción al principio de relatividad de Galileo. Imágenes interesantes desde el punto de vista de la historia de la ciencia.	Inglés	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
	<p><a href="http://suhep.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/events.html">http://suhep.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/events.html</a> Eventos en el espacio tiempo.</p> <p><a href="http://suhep.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/newton.html">http://suhep.phy.syr.edu/courses/modules/LIGHTCONE/newton.html</a> La mecánica de Newton desde el punto de vista de la teoría de la relatividad.</p>		
Física	<p><a href="http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl?">http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl?</a> Entrada a la página Physics 2000 de la Universidad de Colorado.</p> <p><a href="http://fisica2000.maloka.org/">http://fisica2000.maloka.org/</a> Esta es la dirección en español de esta web. No está totalmente actualizada pero es igualmente útil para quienes no se manejan con el inglés.</p> <p><a href="http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/wavpart3.html">http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/wavpart3.html</a> Esta es una dirección que ejemplifica cómo el curso de la Universidad de Colorado, USA, "Física 2000" presenta los contenidos. Es amena y posee interesantes simulaciones de laboratorio. En este caso, al desplazar el puntero del ratón, dibuja el campo eléctrico debido a dos cargas: una positiva y otra negativa.</p>	Inglés Español	Excelente
Física atómica	<p><a href="http://luthien.nuclecu.unam.mx/~vieyra/cuant1.html">http://luthien.nuclecu.unam.mx/~vieyra/cuant1.html</a> Seminario de actualización profesional para profesores de licenciatura. Contiene un curso de física atómica y mecánica cuántica muy completo, con buenas explicaciones y esquemas. Por las matemáticas que emplea su nivel resulta adecuado para el profesor o profesora. Originado en la Universidad Nacional de México.</p>	Español	Muy buena
Física atómica	<p><a href="http://164.73.160.1/~inorgani/estat/indice1.html">http://164.73.160.1/~inorgani/estat/indice1.html</a> Los orígenes del átomo: el pensamiento griego, el atomismo de Dalton, los primeros modelos atómicos, la espectroscopia atómica, la cuantización de la energía, el efecto fotoeléctrico, el modelo de Bohr.</p>	Español	Buena
Física atómica	<p><a href="http://members.es.tripod.de/abb/fisica-1.html">http://members.es.tripod.de/abb/fisica-1.html</a> Interesante artículo de nivel básico sobre el átomo.</p>	Español	Buena
Física atómica	<p><a href="http://members.nbci.com/unet1/malaguera/page11.html">http://members.nbci.com/unet1/malaguera/page11.html</a> Modelos atómicos. Espectros atómicos. Postulados de Bohr. Análisis del modelo de Bohr.</p>	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Física atómica	<a href="http://teleline.terra.es/personal/felix061/paginas/Espectro.htm">http://teleline.terra.es/personal/felix061/paginas/Espectro.htm</a> Espectro de emisión del átomo de hidrógeno. Contiene una interesante simulación.	Español	Buena
Física atómica	<a href="http://www-fusion.ciemat.es/Default.html">http://www-fusion.ciemat.es/Default.html</a> EURATOM – Ciemat (laboratorio de fusión). Conceptos básicos, cursos, conferencias e interesantes enlaces constituyen esta página.	Inglés Español	Buena
Física básica	<a href="http://imartinez.etsin.upm.es/ot1/Units_es.htm">http://imartinez.etsin.upm.es/ot1/Units_es.htm</a> Magnitudes, unidades y medidas. El sistema internacional. Definición de las unidades básicas. Conversiones.	Español	Buena
Física cuántica	<a href="http://luthien.nuclecu.unam.mx/~vieyra/cuant1.html">http://luthien.nuclecu.unam.mx/~vieyra/cuant1.html</a> Curso de introducción a la física cuántica originado en la Universidad Nacional de México. Interesante.	Español	Buena
Física cuántica	<a href="http://www.cienciadigital.net/cientificos/heisenberg2.html">http://www.cienciadigital.net/cientificos/heisenberg2.html</a> Artículo sobre Werner Heisenberg y la creación de la mecánica cuántica.	Español	Buena
Física cuántica	<a href="http://www.sc.ehu.es/sqwcauri/cientec/fisica.html">http://www.sc.ehu.es/sqwcauri/cientec/fisica.html</a> Respuestas breves a preguntas tales como: ¿qué es la magnetohidrodinámica? ¿puede existir la antigravedad? ¿qué son los gravitrones? ¿qué es el efecto túnel? ¿qué son las partículas virtuales?	Español	Buena
Física de partículas	<a href="http://web.cnrs-orleans.fr/~ceri/cyclorc.html">http://web.cnrs-orleans.fr/~ceri/cyclorc.html</a> El ciclotrón. Descripción, esquema a todo color, fotografías y utilidad del ciclotrón.	Francés	Buena
Física de partículas	<a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/alephzero8.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/alephzero8.html</a> Alephzero 8, revista con interesantes artículos de física. Destacan direcciones como: <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/particulas.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/particulas.html</a> Artículo sobre física de altas energías. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/neutrinos.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/neutrinos.html</a> Artículo titulado “Neutrinos”; partículas con problemas. Interesante. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/quantum.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/quantum.html</a> Artículo sobre el mundo cuántico. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/entropia.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/entropia.html</a> Artículo sobre la entropía.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Física general	<a href="http://webphysics.ph.msstate.edu/jc/library/Contemporary%20College%20Physics">http://webphysics.ph.msstate.edu/jc/library/Contemporary College Physics</a> . Amplia librería de simulaciones. Desde simples conversiones de unidades hasta el átomo de Bohr.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/Contents.html">http://dept.physics.upenn.edu/courses/gladney/mathphys/Contents.html</a> Texto interactivo de física. Por las matemáticas que emplea su nivel resulta adecuado para el profesor.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://library.thinkquest.org/10170/main.htm">http://library.thinkquest.org/10170/main.htm</a> Visual Physics. Problemas y soluciones. Simulaciones relativas a fuerza, torque, proyectiles, momentum, electricidad, etc. Biografías de veinte físicos.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://webphysics.ph.msstate.edu/jc/library/">http://webphysics.ph.msstate.edu/jc/library/</a> Página Web de física básica. Múltiples simulaciones en todas las áreas: mecánica, acústica, óptica, electricidad, física atómica, etc.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://www.enlaces.cl">http://www.enlaces.cl</a> Posee una sección para Ciencias Naturales. Contiene interesantes conexiones con sitios dedicados a física. Destacan: física de partículas, la luz, laboratorio virtual de física, etc.	Español	Muy buena
Física general	<a href="http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/indexPopup.html">http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/indexPopup.html</a> NTNU Virtual Physics Laboratory. Simulaciones relativas a circuitos eléctricos, flotabilidad, espejos (simples y múltiples) e imágenes. Juegos de óptica.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://www.physics.umd.edu/deptinfo/facilities/lecdem/">http://www.physics.umd.edu/deptinfo/facilities/lecdem/</a> Interesante página de "The University of Maryland". Descripción de equipo de laboratorio y de experimentos simples en todas las áreas de la física: Mecánica, Dinámica de fluidos, Ondas y sonido, Termodinámica, Electromagnetismo y Física cuántica.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://www.physics.uoguelph.ca/tutorials/tutorials.html">http://www.physics.uoguelph.ca/tutorials/tutorials.html</a> PHYSICS TUTORIALS. Remediales para física: vectores, logaritmos, trigonometría, álgebra, etc. Torque y rotación. Decaimiento exponencial. Simulación de la difusión. Ejercicios.	Inglés	Buena
Física general	<a href="http://www.physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/">http://www.physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/</a> Laboratorio virtual de física. Descripción de gran cantidad de experimentos en todas las áreas de la física. Esquemas, animaciones y software.	Inglés	Excelente

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Física general	<a href="http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm">http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm</a> Curso interactivo de física en internet. Considera gran cantidad de tópicos: Electromagnetismo, óptica, dinámica, oscilaciones, física cuántica. etc.	Español	Muy buena
Física general	<a href="http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm">http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm</a> Física con ordenador. Curso interactivo de física en internet. Unidades de medida, mecánica, termodinámica, electromagnetismo y mecánica cuántica son algunos de los temas que desarrolla esta página en forma simple, con muchos esquemas y animaciones de buen nivel.	Español	Excelente
Física general	<a href="http://www.treasure-troves.com/physics/">http://www.treasure-troves.com/physics/</a> Tesoros de la física. Astrofísica, física experimental, electromagnetismo, mecánica de fluidos, óptica, física moderna, etc. Se trata de un completo diccionario de física. En forma escueta se presentan las definiciones, leyes, unidades, etc.	Español	Buena
Física general	<a href="http://zebu.uoregon.edu/~probs/probm.html">http://zebu.uoregon.edu/~probs/probm.html</a> Problemas de física compilados en la Universidad de Oregon, USA. Se refieren a conceptos básicos: mecánica, termodinámica, electricidad y magnetismo. Además incluye: símbolos y nombre de variables, unidades, ecuaciones, constantes, prefijos y unidades de conversión usados frecuentemente en física.	Inglés	Buena
Física moderna	<a href="http://www.geocities.com/angelto.geo/fisica.htm">http://www.geocities.com/angelto.geo/fisica.htm</a> Página de la Física, agujeros negros, relatividad etc. Interesantes links con artículos de interés general.	Español Inglés	Buena
Física nuclear	<a href="http://www.cchen.cl">http://www.cchen.cl</a> Comisión Chilena de energía nuclear. Cursos y seminarios, preguntas más frecuentes, servicios a la comunidad, visitas, son algunas de las opciones que ofrece este sitio. Destaca. <a href="http://www.cchen.cl/alumno/elementos-fisica.html">http://www.cchen.cl/alumno/elementos-fisica.html</a> Elementos de física nuclear destinado a alumnos.	Español	Buena
Física nuclear	<a href="http://durpdg.dur.ac.uk/lbl/particleadventure/spanish/index.html">http://durpdg.dur.ac.uk/lbl/particleadventure/spanish/index.html</a> Página de física nuclear. La Ruta del modelo standard. La ruta de las evidencias experimentales. La ruta más allá del modelo standard. Por qué decaen los átomos y las partículas.	Español Inglés Francés	Muy buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Física nuclear	<a href="http://cipres.cec.uchile.cl/~clpino/index.html">http://cipres.cec.uchile.cl/~clpino/index.html</a> "Ciclo de combustible nuclear". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica.	Español	Buena
Física nuclear	<a href="http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Trabajos/enuclear2/accidentes.htm">http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Trabajos/enuclear2/accidentes.htm</a> Accidentes nucleares. Chernobyl entre otros.	Español	Buena
Física nuclear	<a href="http://www.angelfire.com/sc/energianuclear/">http://www.angelfire.com/sc/energianuclear/</a> Energía nuclear: Fisión. Fusión. Funcionamiento de una central nuclear. Radiación y seguridad radiológica. Ventajas de la energía nuclear. Buenas ilustraciones y galería de imágenes.	Español	Muy Buena
Física y Química	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1719/experimentos.html">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1719/experimentos.html</a> Experimentos elementales de física y química: el punto ciego del ojo, el ludión de Descartes, midiendo p, etc.	Español	Buena
Historia de la electricidad	<a href="http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/historia.html#Maxwell">http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/historia.html#Maxwell</a> La historia de la electricidad a través de las biografías de más de 30 importantes físicos y tecnólogos, desde Tales de Mileto hasta la actualidad. De muchos científicos se muestra su imagen.	Español	Buena
Láser	<a href="http://www.salonhogar.com/ciencias/tecnologia/ellaser/histlaser.htm">http://www.salonhogar.com/ciencias/tecnologia/ellaser/histlaser.htm</a> El láser. Breve artículo sobre su historia.	Español	Bueno
Mecánica	<a href="http://www.mcasco.com/p1roc.html">http://www.mcasco.com/p1roc.html</a> Completo curso de mecánica: movimiento en una dimensión, vectores, movimiento en dos dimensiones, leyes de Newton, movimiento circular, trabajo y energía cinética, sistema de varias partículas, momentum lineal y colisiones, dinámica de rotación, gravedad, vibraciones, ondas mecánicas, el espacio, son algunos de los temas desarrollados.	Inglés	Buena
Ondas	<a href="http://colossrv.fcu.um.es/Cursos/Walter/huygensEsp.htm">http://colossrv.fcu.um.es/Cursos/Walter/huygensEsp.htm</a> Simulación de la refracción de ondas. Explicación del principio de Huygens.	Inglés	Muy buena
Óptica	<a href="http://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/index.htm">http://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/index.htm</a> Curso de óptica: luz e iluminación, reflexión y refracción, óptica geométrica y lentes delgadas, el ojo humano, instrumentos ópticos, espectro, dispersión, color, interferencia y difracción, polarización, óptica cuántica, son algunos de los temas que aborda.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Óptica	<a href="http://solarcooking.org/minspan.htm">http://solarcooking.org/minspan.htm</a> Indicaciones para construir artesanalmente una cocina solar mínima.	Español	Buena
Óptica	<a href="http://www.ciberia.es/~merjes/Optica/contenidos.htm">http://www.ciberia.es/~merjes/Optica/contenidos.htm</a> Entre los contenidos de esta página encontramos: Naturaleza de la luz (Modelos corpuscular y ondulatorio de la luz, propagación, reflexión, dispersión). Óptica geométrica (Espejos planos, esféricos, lentes delgadas, aparatos ópticos).	Español	Muy buena
Óptica	<a href="http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/7438/int.htm">http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/7438/int.htm</a> Resolución de problemas de óptica geométrica. Teoría sobre óptica geométrica y aplicaciones animadas caracterizan esta dirección.	Español	Buena
Óptica	<a href="http://www.valinet.org/jpc/luz/index.html">http://www.valinet.org/jpc/luz/index.html</a> Muy buenas animaciones relativas a la luz: ondas – partícula, reflexión, refracción, dispersión, espectros, lentes, espejos, el color, etc.	Español	Excelente
Osciloscopio	<a href="http://usuarios.iponet.es/agusbo/osc/osc.htm">http://usuarios.iponet.es/agusbo/osc/osc.htm</a> Curso destinado a manejar un osciloscopio. Explica su funcionamiento, características, controles, ajustes y técnicas de medición.	Español	Buena
Osciloscopio	<a href="http://www.fortunecity.es/virtual/zip/188/index.html">http://www.fortunecity.es/virtual/zip/188/index.html</a> Osciloscopios virtuales. Circuitos electrónicos simples, circuitos electrónicos para convertir un televisor en un osciloscopio, circuito para usar una tarjeta de sonido de computadora como osciloscopio. Parte de la página está en construcción.	Español	Buena
Presión	<a href="http://cipres.cec.uchile.cl/~gecontre/">http://cipres.cec.uchile.cl/~gecontre/</a> Nociones básicas sobre el barómetro y la presión atmosférica.	Español	Buena
Teoría de la relatividad	<a href="http://www.zib.de/Visual/projects/ART/index.html">http://www.zib.de/Visual/projects/ART/index.html</a> “Visualization in General Relativity”. Interesante material gráfico y animaciones.	Inglés	Muy buena
Teoría de la relatividad especial	<a href="http://www.geocities.com/newmodel2k/">http://www.geocities.com/newmodel2k/</a> La teoría especial de la relatividad. Conceptos, fundamentos y análisis crítico. Resumen de publicaciones originales de Einstein. Algunos títulos en esta página personal son: simultaneidad de dos sucesos, sincronización de relojes distantes, velocidad límite, relojes y varillas en movimiento.	Español	Buena

Tema	Dirección	Idioma	Calidad
Teoría de la relatividad y	Serie de documentos sobre la teoría de la relatividad y la física cuántica, en direcciones como:	Español	Buena
Física cuántica	<a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero12/hehl.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero12/hehl.html</a> Artículo breve sobre la teoría general de la relatividad y el acoplamiento de los fermiones a la gravedad. Para el docente. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/neutrinos.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/neutrinos.html</a> Neutrinos, partículas con problemas. Artículo de 1997 referido a estas importantes partículas. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/particulas.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/particulas.html</a> Física de altas energías. Artículo de 1997. Consideración sobre las partículas elementales. <a href="http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/quantum.html">http://webserver.pue.udlap.mx/~aleph/alephzero8/quantum.html</a> El mundo cuántico. Artículo de 1997.		
Termodinámica	<a href="http://mtzpz.kipelhouse.com/termo/">http://mtzpz.kipelhouse.com/termo/</a> Curso de termodinámica irreversible adecuado para el profesor o profesora.	Español	Buena
Termodinámica	<a href="http://personal.redestb.es/juan_villa/index.html">http://personal.redestb.es/juan_villa/index.html</a> Curso completo de termodinámica adecuado para el profesor o profesora.	Español	Buena

Si en el teclado no encuentran el símbolo: ~, manteniendo pulsada la tecla ALT, digitar en el teclado numérico 126 y soltar ALT; lo mismo para el símbolo @; pero digitando 64.

Puede que algunas de las direcciones dejen de existir o se cambien después que este programa de estudio se publique.

## Índice alfabético

### A

aceleración centrípeta, 76  
 ácido sulfúrico, 34  
 aguja magnética, 45  
 aisladores eléctricos, 23  
 alfa, radiación, 95, 96, 97, 114, 115, 118, 119, 121  
 AM (amplitud modulada), 19, 71, 87  
 ampere, unidad de corriente, 45  
 amplitud modulada, 87  
 ancho de la resonancia, 70, 128  
 ángstrom (Å), 97  
 antena, 80  
 aprendizajes esperados  
   electromagnetismo, 19  
   el mundo atómico, 91  
 astronomía de microondas, 74  
   rayos X, 74  
 atmósfera, electricidad en la, 21, 33  
 átomo, 90, 93, 94  
   de hidrógeno, 90, 91, 102, 110, 113, 123

### B

balanza electrostática, 26  
 Balmer, serie de, 101, 102, 103  
 beta, radiación, 114, 115, 118, 119, 120, 121  
 biología, efecto de las radiaciones, 118  
 Bohr, Niels, 90, 91, 98, 100, 106  
   postulados de, 93  
   radio atómico de, 97  
 Brackett, serie de, 101  
 brújula, 47, 73, 76

### C

campo  
   eléctrico, 21, 30, 31, 32, 35, 36, 40, 42, 74, 75, 127  
   gravitacional, 31, 42  
   magnético, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 58, 65,

74, 111  
 capa de ozono, 118  
 capacidad, 37, 127  
 capacidad de un capacitor, 39  
 carbono<sup>14</sup>, 114, 117  
 carga  
   aceleradas, 72  
   de prueba, 30  
   eléctricas, 21  
   elemental, 44  
   libre en un campo eléctrico, 41  
   y descarga de un condensador, 53, 54, 55  
 ciclotrón, 45  
 circuito  
   de corriente alterna, 18, 53  
   de corriente continua, 53  
   LC, 18, 19, 66, 67, 69, 83  
   RC, 19, 53, 54, 56  
   RLC, 69, 70  
 resonantes, 66, 71  
 cobalto, 60 119  
 color, 108  
 condensador  
   aplicaciones de un, 37  
   de placas paralelas, 37  
   electrolítico, 37  
 conductores eléctricos 23  
 conservación  
   de la carga eléctrica, 119, 121  
   de la energía, 42, 67, 119  
   del momentum, 120  
   del número de nucleones, 121  
 constante  
   de la ley de Coulomb, 39, 103  
   de Planck, 100, 103, 106, 111  
   de Rydberg, 101, 103  
   de tiempo, 55

- dieléctrica, 40
- contaminación, 51, 121, 122
- contenidos mínimos
  - el mundo atómico, 90
  - electricidad y magnetismo, 18
- corriente
  - eléctrica, 24, 127
  - y su efecto magnético, 45
- Coulomb, Charles Agustín, 26, 29
- Coulomb, fuerza de, 95, 112
- Coulomb, ley de, 21, 26, 31, 33, 39, 123, 127
- coulomb, unidad de carga eléctrica, 26, 39
- cuadro sinóptico de las unidades, 16
- Curie, María, 114
- curva exponencial, 115, 116
- D**
- Dalton, J, 94, 98
- datación
  - arqueológica, 117
  - geológica, 90
- de Broglie, Louis, 106
- decaimiento
  - del neutrón, 119, 120
  - exponencial, 114, 116
  - nucleares, 124
  - radiactivo, 115, 117, 119
- Demócrito, 112
- descarga de un condensador, 127
- detector de fase, 62
- dieléctricos, 23, 39
- diferencia de potencial eléctrico, 32, 39
- dimensiones de los átomos, 97
- diodo de germanio, 83
- Dirac, P, 98
- dispersión cromática, 101
- Drake, Frank, 85
- dualismo onda-corpúsculo, 108
- E**
- efecto
  - fotoeléctrico, electrización por, 25
  - piezoelectrónico, electrización por, 25
  - termoiónico, electrización por, 25
- Einstein, Albert, 118
- eléctrica, fuerza, 123
- eléctrico,
  - campo, 30, 32, 35, 36, 40, 42
  - potencial, 32, 33
- electrización, 21
  - por frotamiento, 22
- electromagnéticas, ondas, 19
- electrón, 107, 110, 115
  - volt (eV), 42
  - órbitas del, 93
- electroscopio, 27, 28
- Empédocles, 94
- energía, 122
  - conservación de la, 67, 120
  - de un cuanto, 128
  - eléctrica, 69
  - electromagnética, 74
  - en el núcleo atómico, 119
  - en un condensador, 37, 40, 67, 127
  - en una bobina, 66, 67, 127
  - nuclear, 119, 120, 121
  - potencial eléctrica, 99
  - solar, origen de la, 122
- equipotenciales, líneas, 36
- espectro electromagnético, 72, 77, 115
- espectrógrafo de masa, 48
- espectros ópticos, 100
- espectroscopio, 101
- espín, 109, 111
- estrellas, 85
  - de neutrones, 124
- éter cósmico 74
- extraterrestre, búsqueda de vida, 85
- F**
- farad, unidad de capacidad, 37, 39
- Faraday, ley de, 57, 60
- Faraday, Michael, 18, 127
- fem, 58, 60, 62, 127
- Fermi, Enrico, 98
- fermi, unidad de distancia atómica, 123
- Feynman, Richard, 25, 98
- física cuántica, 76
- fisión y fusión nuclear, 119

- flujo magnético, 57, 58, 59, 60, 127
- FM (frecuencia modulada), 19, 71, 87
- fotón, 107, 124, 125
- Franklin, Benjamín, 25, 38
- Fraunhofer, Joseph von, 101
- frecuencia
  - de las ondas electromagnéticas, 74
  - de resonancia, 66, 128
  - modulada, 19, 71, 87
  - natural, 70
  - propia, 67
- fuerza, 58
  - de Lorentz, 49, 127
  - eléctrica, 21, 123
  - electromotriz, 57, 60, 65, 127
  - débil, 121, 124
  - fuerte, 123
  - gravitacional, 98
  - magnética, 45, 49, 51, 58
  - nuclear, 123
- fuerzas
  - fundamentales, 90, 91, 123, 124
  - operando en el núcleo atómico, las, 123
- función de onda, 103
- fusión nuclear, 122
- G**
- Galaxia, 85
- galvanómetro, 45, 50, 60
- gama, radiación, 114, 115, 118, 119, 120, 121
- generador de corriente alterna, 57
- gluón, 124, 125
- Goepper-Mayer, María, 94
- gotita de aceite, experimento de la, 44
- gravitacional
  - campo, 31, 42
  - fuerza, 123
- gravitón, 125
- Guericke, Otto von, 29
- H**
- Hall, experimento de, 52
- Heisenberg, Werner, 91, 106
- Henry, Joseph, 65
- henry, unidad de inductancia, 65
- Hertz, Heinrich, 19, 78
- historia de la radio, 84
- hueco, movimiento de un, 24
- I**
- imán, 48, 49, 57, 61, 111
- incerteza, 104, 105
- incertidumbre, 106
  - principio de, 104, 128
- inducción
  - electrización por, 25
  - electromagnética, 57
  - mutua, 64
- inductancia, 18, 57, 64, 127
- inteligencia extraterrestre, 85
- intensidad de corriente eléctrica, 45
- interacción entre cargas, 21
- internet, 8, 20, 33, 48, 75, 77, 85, 86, 87, 88, 92, 93, 94, 98, 101, 108
- investigación bibliográfica, 125
- ionosfera, 86
- isótopo, 90, 109, 117, 121
- J**
- joule, 42
- Júpiter, 85
- L**
- LED, diodo, 34, 55
- Lenz, Heinrich, 18
- Lenz, ley de, 57, 60
- ley de
  - Coulomb, 26, 27, 30, 98, 103
  - gravitación de Newton, 98
- leyes de
  - conservación, 121
  - Faraday, 57
- limón, 34
- línea
  - de fuerza eléctrica, 32, 41
  - de fuerzas magnéticas, 46
- espectrales, 93, 101, 102, 128
- logaritmos, 116
- longitud de onda, 74, 101
- Lorentz, fuerza de, 46, 49
- luz, 74, 78

Lyman, serie de, 101, 102

## M

magnética, fuerza, 51

magnético, campo, 45, 49, 58

marcapasos cardíacos, 56

Marconi, Guglielmo, 84

masa crítica, 122

Maxwell, James Clerk, 19, 78

mecánica cuántica, 103

medicina, 78

uso de isótopos en, 121

Meitner, Lise, 94

micrófono, 80

microondas 78

Millikan, Robert, 44

experimento de, 44

modelo atómico, 93

de Bohr, 100, 102

planetario, 100

momento magnético, 111

motor

de corriente continua, 50

eléctrico, 45

movimiento de cargas

en un campo eléctrico, 41

en un campo magnético, 45

mundo atómico, el, 90

muón, 118

## N

neutrino, 120

neutrón, 90, 91, 109, 112, 113, 115, 117, 121,

122, 124

Newton, Isaac, 98, 100, 123

Newton, física de, 76

Nobel, premios, 94, 114

núcleo atómico, 90, 94, 97, 109, 114

## O

Objetivos Fundamentales, 13

Oersted, Hans Chhristian, 46

experimento de, 45

ohm, 53

onda

corta, 85, 86

de radio, 74, 86

electromagnética, 18, 72, 74, 75, 76, 78, 115

larga, 86

mecánicas, 76

osciloscopio, 48, 67, 70

OZMA, proyecto, 86

## P

pararrayos, 25, 38

partícula alfa, 94, 96, 110

Paschen, serie de, 101, 103

Pauli, W, 98, 102

permisividad, 39

Pfund, serie de, 101

piezoeléctricos, 25

pila voltaica, 34

pión, 112, 118, 120

Pioneer, 86

placas paralelas, campo entre, 35

Planck, Max, 100

constante de, 100, 103, 106, 111

potencial eléctrico, 21, 32, 33, 34, 41, 127

principio de incertidumbre, 91, 104, 06, 128

protón, 90, 109, 110, 112

pulsares, 124

## Q

quarks, 109, 112, 113, 120, 124

quasares, 85

químico, análisis, 48

## R

radiación

alfa, 114

cósmica, 43, 120

electromagnética, 100, 103

gama, 115

gravitacional, 100

ultravioleta, 118

radiactividad, 114, 119, 120

radio a galena, 83

radio atómico de Bohr, 103

radio emisora, 79

radioaficionado, 81

radioastronomía, 74, 84, 85

radiotelescopio, 74, 85

- rayo (en tormenta eléctrica), 25
  - cósmicos, 117, 118
  - ultravioleta, 74
  - X, 74, 78, 114
- reacción
  - en cadena, 121, 122
  - nuclear controlada, 122
- reactancia capacitiva e inductiva, 66
- reactor nuclear, 121
- receptor de radio, 80
- Recomendaciones al docente
  - el mundo atómico, 92
  - electromagnetismo, 20
- red domiciliaria, 32
- regla de la mano derecha, 46, 47, 49, 58
- rem, unidad de radiación, 118
- Ruhmkorff, bobina de, 78
- Rutherford, Ernest, 93, 94, 96, 97, 98
  - experimento de, 93, 95, 110
- Rydberg, constante de, 101
- S
- scattering, 94
- seguridad en el trabajo experimental, 25, 34, 38, 62, 64, 78, 121, 122
- SETI, proyecto, 85
- simulación, concepto de, 121
- sintonizador de radio, 70, 80
- Skłodowska, Marja, 114
- Sol 85, 122
- T
- tabla periódica, 102, 113, 124
- Tacoma, puente, 70
- Tales de Mileto, 93
- tamaño y constitución del núcleo, 109
- teflón, 21, 22, 40
- telescopio, 74, 85
- televisor, 48
  - teoría de
  - bandas, 23
  - Bohr, 102
- Tesla, Nicolás, 29
- Thomson, J. J., 93, 94, 96
- tierra, concepto de conexión a, 24, 83
- tormenta eléctrica, 25
- transformador, 57, 63, 80
- transmisión de señales de radio, 80
- transmisor de radio, 80
- trayectoria, concepto de, 103, 108
- tubo de neón, 56
- U
- ultravioletas, radiación, 78
- V
- vacío, 74
- Van de Graaff, generador de, 27, 29, 73
- velocidad de la luz, 74, 103
- vida media, 114, 115, 117
- virtuales, procesos, 120
- volt, 21, 32
- Volta, Alejandro, 34
- voltímetro, 34, 35, 54
- Voyager, 86
- W
- W, partícula, 125
- weber, unidad de flujo magnético, 59
- Weber, Wilhelm, 59
- Y
- yodo, 131 114, 121
- Z
- Z, partícula, 125



# Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios Primer a Cuarto Año Medio

## Objetivos Fundamentales

1<sup>o</sup>

Primer Año Medio

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Observar críticamente fenómenos cotidianos asociados a la luz, el sonido y la electricidad; comprenderlos sobre la base de conceptos físicos y relaciones matemáticas elementales.
2. Apreciar la importancia de formular hipótesis en la búsqueda de una explicación a los fenómenos que se observan.
3. Aplicar el conocimiento adquirido con fines prácticos en lo cotidiano; dominar relaciones sencillas entre magnitudes físicas y apreciar la cualidad cuantitativa de la física.

4. Apreciar la importancia del conocimiento científico para la cultura y la tecnología; entender su historicidad, su carácter provisorio y sus límites para el conocimiento integral de la realidad.
5. Pensar con rigor; analizar críticamente y comunicar información científica relevante.

2<sup>o</sup>

Segundo Año Medio

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Comprender los fenómenos cotidianos asociados al movimiento y el calor, y las formas de energía asociadas a ellos, sobre la base de conceptos físicos y relaciones matemáticas elementales.
2. Apreciar la situación de la Tierra y el sistema solar en el universo, a través de un conocimiento básico manejo de grandes magnitudes temporales y espaciales; apreciar el carácter privilegiado de la Tierra para albergar la vida, y la responsabilidad de cada uno en la preservación del ambiente favorable para su existencia.
3. Hacer mediciones con precisión apropiada; comprender que las mediciones van siempre acompañadas de un cierto grado de error y la importancia de tomarlos en cuenta.

4. Entender que el método científico incluye la observación y caracterización cuidadosa de un fenómeno, la formulación de una hipótesis explicativa acerca de su origen, la proposición de una predicción a partir de la hipótesis y su posterior confirmación experimental; diseñar un procedimiento experimental simple.
5. Comprender que la ciencia busca la verdad acerca de la naturaleza y que el método científico requiere de apertura a nuevas ideas, una actitud crítica constante y una disposición a abandonar teorías que no se avengan con lo observado.
6. Comprender que en la ciencia existen muchas preguntas sin resolver y que deben existir también muchas preguntas por formular.

3<sup>o</sup>

Tercer Año Medio

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Aplicar las nociones físicas fundamentales para explicar y describir el movimiento circular; utilizar las expresiones matemáticas de estas nociones en situaciones diversas.
2. Aplicar el concepto de conservación de la energía en sistemas mecánicos y apreciar su vasta generalidad a través de una variedad de ejemplos; cuantificar el efecto del roce en el movimiento.
3. Entender aspectos del comportamiento de los fluidos, como capilaridad, presión, flotación; analizar la expresión de estos principios en fenómenos cotidianos, en aparatos tecnológicos y en el funcionamiento de sistemas como el circulatorio sanguíneo.

4. Entender la importancia del cálculo y de la formulación matemática de los principios de la física, a través de su efectividad en la explicación y predicción de fenómenos.
5. Entender que las explicaciones y teorías físicas se han elaborado en determinados contextos históricos.
6. Sistematizar el manejo de datos de la observación, utilizando gráficos, tablas y diagramas; apreciar su utilidad en el análisis de tendencias.

4<sup>o</sup>

Cuarto Año Medio

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Aplicar a un nivel elemental las nociones físicas de campo eléctrico y campo magnético y sus relaciones para comprender la enorme variedad de fenómenos de la vida diaria que depende de ellos.
2. Utilizar la noción de átomo y su estructura para comprender los fenómenos subyacentes de lo que se observa en la vida diaria; apoyarse en estas nociones para relacionarse con otros campos del conocimiento científico como la química y la biología molecular.

3. Apreciar la complejidad y eficacia del conocimiento científico; reconocer sus aportes a la interpretación del mundo y al desarrollo de nuevas tecnologías. Reconocer el impacto que ha tenido, en sus aspectos positivos y negativos, sobre la forma de vida contemporánea.
4. Recoger, sistematizar y evaluar información científica de diversas fuentes y comunicar los resultados en forma oral y escrita.

# Contenidos Mínimos Obligatorios

## 1<sup>o</sup>

Primer Año Medio

### El sonido

- Vibración y sonido
  - Objetos en vibración introducidos fenomenológicamente: cuerdas, láminas, cavidades, superficie del agua. Relación entre frecuencia de la vibración y altura del sonido, entre amplitud de la vibración e intensidad del sonido.
  - Comparación entre las propiedades de reflexión, transmisión y absorción en diferentes medios como la madera, la piedra, la tela, etc.
  - Descripción de la fisiología del oído en relación con la audición. Rangos de audición: el decibel.
- Ondas y sonido
  - La cuerda vibrante. Relación entre longitud y tensión con su frecuencia. Resonancia.

- Distinción entre ondas longitudinales y transversales, ondas estacionarias y ondas viajeras. Longitud de onda y su relación con la frecuencia y velocidad de propagación. Reconocimiento del efecto Doppler en situaciones de la vida diaria. Su explicación cualitativa en términos de la propagación de ondas.
  - El espectro sonoro: infrasonido, sonido y ultrasonido. Aplicaciones del ultrasonido en medicina y otros ámbitos.
- Composición del sonido
    - Relación entre superposición de ondas y timbre de un sonido. Pulsaciones entre dos tonos de frecuencia similar.
    - Construcción de instrumentos musicales simples: de percusión, cuerdas o viento.

## 2<sup>o</sup>

Segundo Año Medio

### El movimiento

- Descripción del movimiento
  - Caracterización y análisis de movimientos rectilíneos. Conceptos de desplazamiento, velocidad y aceleración, en su aspecto intuitivo y su formulación gráfica y analítica. Su medición notando la existencia de errores. Discusión de este hecho y su universalidad en física.
  - Sistemas de referencia. Su importancia para describir el movimiento relativo. El rol de Galileo Galilei en la formulación de estos conceptos. Contexto histórico.
- Fuerza y movimiento
  - El concepto de fuerza que actúa sobre un objeto. Fuerza de acción y fuerza de reacción. Formulación y discusión del principio de inercia.

- Relación entre fuerza que actúa sobre un móvil y su aceleración. Concepto de masa inercial. Ejemplos en la naturaleza: en el cosmos, la vida diaria, el mundo de lo más pequeño, con énfasis en la disparidad de valores. Uso de la notación científica.
- Definición de momentum lineal. Su conservación; demostración experimental.
- Fuerza de gravedad cerca de la superficie de la Tierra. Cálculo del itinerario de un objeto en movimiento vertical. Ilustración del carácter predictivo de las leyes de la dinámica.
- Caracterización cualitativa del fenómeno del roce. Distinción entre roce estático y roce dinámico. Efecto del pulimento o lubricación de las superficies de contacto. Apreciación de estos conceptos en situaciones de la vida cotidiana y discusión de predicciones acerca del com-

## 3<sup>o</sup>

Tercer Año Medio

### Mecánica

- Movimiento circular
  - Movimiento circular uniforme. Distinción entre velocidad lineal y velocidad angular. Concepto vectorial de la velocidad. Rapidez constante y velocidad variable en el movimiento circular. Aceleración centrípeta.
  - Manifestaciones del movimiento circular y de la fuerza centrípeta en ejemplos tales como el auto en la curva, las boleadoras, el sistema planetario.
  - Nociones de momento angular. Reconocimiento de su conservación a través de demostraciones y ejemplos simples de movimiento circular.
- Conservación de la energía mecánica
  - Comprobación de la independencia del tiempo de la

energía mecánica en la caída libre sobre la superficie de la Tierra.

- Representación gráfica y discusión de la energía potencial gravitacional en una montaña rusa. Deducción del valor de la energía cinética en este movimiento. Puntos de equilibrio estable e inestable. Puntos de retorno.
- Disipación de energía y roce. Definición de los coeficientes de roce estático y dinámico. Magnitud y dirección de la fuerza de roce en cada caso. Su dependencia de la fuerza normal a la superficie de contacto.
- Aplicaciones cuantitativas a situaciones de la vida diaria a través de la resolución de problemas diversos en modalidad individual y grupal.

## 4<sup>o</sup>

Cuarto Año Medio

### Electricidad y magnetismo

- Fuerzas entre cargas
  - Cargas en reposo. Fuerza de Coulomb en distintas situaciones. Campo y potencial eléctrico. Aplicaciones a la electricidad atmosférica.
  - El condensador de placas paralelas. Su capacidad en términos de la geometría y el dieléctrico.
  - Cargas en movimiento. Cálculo y análisis gráfico de la trayectoria de una carga en un campo eléctrico constante y uniforme.
  - Fuerza magnética sobre una carga en movimiento. Observación y análisis de la fuerza entre dos conductores rectilíneos que portan corriente. Descripción de la trayectoria de una carga en un campo magnético homogéneo.

### 2. Circuito de corriente alterna

- Carga y descarga de un condensador. Análisis gráfico de la dependencia temporal del voltaje entre las placas.
  - Demostración experimental de la corriente inducida por el movimiento relativo entre una espira y un imán. Inducción electromagnética: leyes de Michael Faraday y Heinrich Lenz. Inductancia y su efecto cualitativo en un circuito de corriente variable en el tiempo.
  - Circuito LC. Frecuencia propia asociada. Comparación con el movimiento armónico simple. Oscilaciones forzadas y resonancia. Efecto de una resistencia. Aplicaciones, como en la sintonización de frecuencias.
- Ondas electromagnéticas
    - Descripción cualitativa de la interrelación entre campos eléctricos y magnéticos que varían sinusoidalmente en el tiempo. Radiación de cargas aceleradas.

- c. Elaboración de un informe sobre un tema integrador, como podría ser las causas y consecuencias de la contaminación acústica, la acústica de una sala, etc., que contemple la revisión de distintas fuentes, incluyendo recursos informáticos.

### La luz

1. Propagación de la luz
  - a. Observación fenomenológica del hecho que la luz se refleja, transmite y absorbe, al igual que el sonido. Distinción entre la propagación de una onda en un medio (sonido) y en el vacío (luz). Historia del debate entre la hipótesis corpuscular y la hipótesis ondulatoria, para explicar estos fenómenos.
  - b. Derivación geométrica de la ley de reflexión, a partir del principio de Fermat. Distinción cualitativa del comportamiento de la luz reflejada por espejos convergentes y divergentes. Espejos parabólicos.
  - c. Distinción cualitativa entre lentes convergentes y divergentes. La óptica del ojo humano. Defectos de la visión y su corrección mediante diversos tipos de lentes.

- d. El telescopio y su impacto en nuestra concepción del Universo a través de la historia.

### 2. Naturaleza de la luz

- a. Demostración fenomenológica de la descomposición de la luz blanca en un prisma. El arco iris: debate acerca de diversas hipótesis explicativas de su origen.
- b. La luz como una onda. Observación y discusión de esta característica a través de la difracción en bordes y fenómenos de interferencia.
- c. Distinción entre luz visible, radiación infrarroja y ultravioleta, rayos X, microondas, ondas de radio. El radar. El rayo láser como fuente de luz coherente y monocromática.

portamiento de objetos que se mueven en presencia de roce en situaciones diversas.

- f. Introducción fenomenológica del torque. Dedución y aplicación de la relación entre torque y rotación.
  - g. Diseño y realización de un procedimiento experimental que ponga a prueba las nociones sobre fuerza y movimiento desarrolladas anteriormente. Comunicación de los resultados a través de un informe.
- 3. Energía mecánica**
- a. Concepto de trabajo mecánico a partir de la fuerza aplicada. Potencia mecánica.
  - b. Trabajo y energía potencial debida a la fuerza de gravedad cerca de la superficie de la Tierra. Energía cinética. Conservación de la energía mecánica en ausencia del roce.

### El calor

1. La temperatura
  - a. Equilibrio térmico. Termómetros y escalas de temperatura. Escalas de Kelvin y de Celsius.
  - b. Dilatación de la materia con el aumento de la temperatura: su manifestación en materiales diversos. El termómetro médico y su uso. El caso contrario del agua: importancia de aceptar lo inusual y su rol en la generación de nuevos conocimientos.
2. Materiales y calor
  - a. Introducción fenomenológica del calor como una forma de energía. Definición del calor específico y distinción de esta propiedad en diversos materiales como el agua, el cobre, etc.

- b. Transmisión de calor a través de un objeto y su relación con diferencia de temperatura. Distinción fenomenológica entre medios con conductividad térmica diferente, como el vidrio, el metal, el aire, etc.
- c. Distinción de las diferentes fases en que se encuentra la materia: temperaturas de fusión y vaporización. El agua y otros ejemplos. Influencia del calor en los cambios de fase. Descripción del calor como movimiento de átomos en las diferentes fases.
- d. Roce y calor. Sensibilidad térmica de la piel y discusión acerca de su utilidad para apreciar la temperatura de un cuerpo: discusión del error en que se incurre con esta forma de medir.

### Fluidos

1. Hidrostática
  - a. Distinción entre fluidos, por ejemplo, líquidos, gases y sólidos rígidos. Descripción elemental en términos del movimiento de los átomos o moléculas que los componen.
  - b. Características de la presión en fluidos. Dedución de la expresión para la presión a distintas profundidades de un líquido. Aplicaciones, como los frenos y prensas hidráulicas. Medición de la presión sanguínea.
  - c. El principio de Arquímedes introducido a través de la observación experimental. Determinación de las condiciones de flotabilidad de un objeto: su dependencia de la naturaleza del fluido, por ejemplo, agua, aire, etc.

Elaboración de una tabla de datos experimentales; uso de gráficos y análisis de tendencias.

- d. Observación y caracterización del fenómeno de la capilaridad. Su importancia en el mundo vegetal, animal y otros ejemplos.
- 2. Hidrodinámica**
- a. Expresión de Daniel Bernoulli para la conservación de la energía en un fluido. Discusión y aplicaciones a situaciones como la sustentación de los aviones, los sistemas de riego, etc.
  - b. Objetos que se mueven en un fluido: roce y velocidad terminal. Ejemplos tales como el paracaídas, la lluvia, etc.

- c. Nociones acerca de los aspectos físicos del sistema cardiovascular. Presión sanguínea.
- d. Elaboración individual de un escrito y exposición oral acerca de un personaje científico como Arquímedes, Isaac Newton, Daniel Bernoulli, etc., que incluya una descripción y discusión de sus principales contribuciones a la ciencia.

- b. Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas. Descripción cualitativa del funcionamiento de antenas simples. Aplicaciones en telecomunicaciones: por ejemplo, radio, televisión, telefonía, etc.

### Mundo atómico

1. El átomo
  - a. Constituyentes del átomo: descripción cualitativa del experimento de Ernest Rutherford. Análisis mecánico del modelo de Niels Bohr para el átomo de hidrógeno.
  - b. Formulación del principio de incertidumbre. Discusión, a través de ejemplos, de su ámbito de relevancia fenomenológica: el mundo atómico y el ámbito macroscópico. Abandono del concepto clásico de trayectoria y sus consecuencias en la descripción del movimiento.
2. El núcleo atómico
  - a. Dimensiones del núcleo en relación al átomo. Protones y neutrones. Su masa, carga eléctrica y spin. Isótopos.

- b. Descripción fenomenológica del decaimiento radiactivo. Vida media. Radioactividad natural. Ejemplos como las aplicaciones en medicina, la datación geológica y arqueológica, etc.
- c. El núcleo atómico como fuente de energía. Relación entre masa y energía. Aplicaciones en fenómenos como el decaimiento del neutrón, la fisión y la fusión nuclear.
- d. Fuerzas nucleares. Nociones elementales acerca de cómo se mantiene unido el núcleo. Comparación de la magnitud relativa de las fuerzas fundamentales de la naturaleza.
- e. Investigación bibliográfica y ensayo acerca de un tema de la física contemporánea, que contemple la revisión de diversas fuentes, incluyendo recursos informáticos; y presentación oral y escrita.

- d. La luz como una forma de energía. Descripción del espectro de radiación del Sol y su carácter de principal fuente de energía para la vida en la Tierra.

### La electricidad

1. Carga y corriente eléctrica
  - a. La presencia de la electricidad en el entorno: la casa, el pueblo, la ciudad. Debate sobre su importancia en la vida moderna.
  - b. Carga eléctrica: separación de cargas por fricción. Atracción y repulsión entre cargas.
  - c. Corriente eléctrica: la electricidad como un flujo de carga eléctrica, usualmente electrones. Distinción cualitativa entre corriente continua y corriente alterna.
  - d. Obtención experimental de la relación entre resistencia, voltaje e intensidad de corriente, teniendo presente errores en la medición. Su representación gráfica y expresión matemática. Resistencia eléctrica. Discusión

elemental acerca de su origen en metales, sobre la base de una descripción elemental de su estructura atómica.

- e. Componentes y funciones de la instalación eléctrica doméstica: alambres, aislantes, conexión a tierra, fusibles, interruptores, enchufes.

### 2. Magnetismo y fuerza magnética

- a. Magnetismo natural. La electricidad como fuente de magnetismo. Demostración experimental de que un alambre recto que porta corriente eléctrica produce un campo magnético.
- b. Fuerza magnética sobre un conductor que porte corriente eléctrica: el motor eléctrico de corriente continua.
- c. Observación y caracterización de los efectos del movimiento relativo entre una espira y un imán: el generador eléctrico.

### 3. Conservación de la energía

- a. Introducción fenomenológica de la transformación de energía mecánica en calor. Unidades y sus equivalencias: la caloría y el Joule.
- b. Conservación de la energía y sus transformaciones. Ejemplos integradores de las diversas formas de energías, como el automóvil, el refrigerador, los organismos vivos, etc.
- c. Discusión acerca de las consecuencias negativas del malgasto de energía, en términos de la finitud de recursos como el petróleo, y de la responsabilidad individual frente al problema.

### La Tierra y su entorno

1. La Tierra
  - a. Descripción del tamaño, masa y composición de la Tierra. Nociones elementales acerca de su origen: enfriamiento, conformación de los océanos y continentes, las grandes cadenas montañosas.
  - b. El dinamismo del planeta: los sismos, las erupciones volcánicas, cambios en el relieve. Escalas de Richter y Mercalli. Los grandes sismos en Chile.
  - c. Discusión de las características únicas de la Tierra para la existencia de la vida: presencia de la atmósfera, el agua, las temperaturas adecuadas, etc. Análisis de la responsabilidad individual y colectiva frente a la contaminación de este ambiente privilegiado.

### 2. El sistema solar

- a. Descripción del sistema solar. Relación entre la atracción gravitatoria y las órbitas de planetas y cometas. Comparación entre sus diámetros, masas y órbitas. Descripción del universo geocéntrico de la antigüedad y de la transformación de esta visión en el Renacimiento.
- b. Los movimientos de la Tierra: día y noche, el año, las estaciones. Explicación elemental de las mareas sobre la Tierra.
- c. La luna. Su tamaño, sus movimientos y fases. La atracción gravitatoria en su superficie. Los eclipses.
- d. Presentación cualitativa de la teoría de gravitación de Isaac Newton. Su contexto histórico. Su excepcional capacidad de unificar diversos fenómenos. Su formulación como ejemplo del método científico.

- d. Realización de un proyecto que ilustre los principios de artefactos eléctricos, como la construcción de un electroimán, un motor, un circuito simple, etc.
- 3. Energía eléctrica**
- a. Potencia eléctrica en los utensilios domésticos. Manejo de la relación elemental entre corriente, potencia y voltaje en situaciones como el cálculo del consumo doméstico de energía eléctrica. Apreciación de la capacidad de la física de obtener resultados útiles a través de fórmulas matemáticas elementales.
  - b. Descripción de la generación de energía eléctrica por métodos tales como los hidráulicos, térmicos, eólicos, químicos, fotoeléctricos.
  - c. Contexto histórico en que se descubrieron los fenómenos asociados a la electricidad y el magnetismo a través de figuras tales como André Ampere, Michael Faraday, James Watt, James Maxwell, Joseph Thomson, etc.

---

**3. El Universo**

- a. Nociones acerca de las estrellas y su evolución. Dimensiones, composición y otras propiedades descriptivas del Sol.
  - b. La vía láctea y la situación del sistema solar en ella. Tipos de galaxias y estructura en gran escala del Universo.
  - c. Conocimiento de algunas concepciones antiguas y modernas acerca de la evolución del Universo. Las incógnitas del presente. Influencia de los descubrimientos de la física en la cultura.
  - d. La exploración espacial: observaciones astronómicas y vuelos espaciales. Los observatorios en Chile.
-

