

Ciencias Naturales

Física
Termodinámica

Programa de Estudio
Cuarto Año Medio

Formación Diferenciada
Humanístico-Científica



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE EDUCACION

Presentación	5
Objetivos Fundamentales	9
Unidades, contenidos y distribución temporal	10
Objetivos fundamentales transversales y su presencia en el programa	11
Unidad 1 Gases ideales	12
a) Caracterización de un gas ideal	15
b) Modelo cinético de un gas	27
c) Presión parcial de un gas	31
Unidad 2 Leyes de la termodinámica	34
a) Energía interna y equilibrio térmico	37
b) Primera ley de la termodinámica	42
c) Segunda ley de la termodinámica	47
d) Entropía	50
e) El caos	56
Unidad 3 El mundo cuántico	62
a) Dualidad onda - corpúsculo	65
b) Dualidad y el modelo de Niels Bohr para el hidrógeno	70
c) La función de onda	72
d) Ensayo acerca de un tema del programa	77
Anexo A Evaluación	79
Anexo B Elementos de laboratorio	93
Anexo C Glosario de fórmulas	95
Anexo D Unidades, símbolos y constantes fundamentales	97
Anexo E Bibliografía	99

Presentación

EL PRESENTE VOLUMEN COMPLETA la serie de seis documentos que desarrolla en módulos anuales el Programa de Física de Enseñanza Media. La colección incluye los temas más importantes que la propia tradición docente en la disciplina ha ido seleccionando internacionalmente, y según lo establecen los planes y programas vigentes en el país. El nivel con que ellos se abordan es siempre muy básico, a fin de mantener su compatibilidad con la limitada dedicación horaria disponible y con la propia diversidad del conjunto de estudiantes a quienes están dirigidos. Los establecimientos educacionales que opten por ofrecer un horario más extenso en la disciplina, y un programa más ambicioso y exigente, podrán complementar los contenidos entregados en la serie haciendo uso de la literatura especializada indicada al final de cada documento.

En todas sus partes el programa es respetuoso del grado de conocimiento matemático que tienen los estudiantes en cada nivel. Esta actitud no debe interpretarse como una negación del trabajo formal en aula, reduciendo el trabajo docente a la demostración experimental o mera descripción cualitativa de los fenómenos de que se trate. Es bien conocida la sugerente y visionaria cita de Galileo Galilei “La filosofía...” (refiriéndose a la física) “está escrita en lengua matemática” aparecida en 1623 en su libro “El Ensayador”. Gracias a esta característica esencial que posee la disciplina ella tiene el rigor que se le conoce, y ese tremendo poder cuantitativo que exhibe en su discurso acerca de los fenómenos naturales. Es fundamental para el éxito del proceso el que las materias se desarrollen en torno al formalismo permitido por las matemáticas

que ya dominan alumnos y alumnas, por limitado que éste sea. La resolución de problemas que requieren de algún cálculo numérico es parte integral del esfuerzo y debe estar presente a lo largo y ancho de todo el proceso de aprendizaje, y en cada uno de los temas que se desarrollan. El obtener resultados numéricos en situaciones cotidianas y su correcta interpretación física es una de las grandes satisfacciones de la disciplina, así como la herramienta para convertir todo este conocimiento en un bagaje útil para la vida diaria, y el manejo y aprecio de un entorno altamente tecnificado.

Junto con especificar e ilustrar el nivel y contenido del Programa de Formación Diferenciada de Cuarto Año Medio, este volumen ofrece una variedad de actividades diseñadas para apoyar el trabajo del docente en aula, que han de sumarse al material muchas veces de muy buena calidad que ofrecen los textos y direcciones de internet listados al final del volumen. Incluye actividades de los alumnos, demostraciones del profesor, y trabajo mixto. Se espera que recursos como los sugeridos se utilicen con frecuencia en la discusión de los temas, con el objetivo de establecer siempre un nexo entre los conceptos y lo observado en la naturaleza, así como de hacer participar activamente a los estudiantes del proceso de transmisión de conocimientos.

En las primeras dos unidades, el programa profundiza y amplía las nociones en torno a la física del calor introducidas en Segundo Año Medio y en el Programa de Química. Aparte de la belleza que tiene la termodinámica como teoría del mundo macroscópico, su conocimiento tiene gran importancia en el ámbito tecnológico

y forma las nociones básicas para un correcto enfoque de la ecología. La física cuántica por su parte, materia de la tercera unidad, es quizás el aporte más importante del siglo XX a la ciencia y el fundamento de gran parte de la tecnología electrónica, en el ámbito de las comunicaciones del presente. Ha tenido incidencia en nuestra comprensión del mundo fundamental y en nuestra forma de vida.

Se espera que quienes completen este programa salgan de él no sólo instruidos, sino además inspirados por la disciplina y entusiasmados con ella. El aprendizaje no debiera terminar aquí, y lo logrado debe ser sólo el germen de un proceso que durará toda la vida, cuyo enriquecimiento diario dependerá de la actitud que haya desarrollado el estudiante. Este es un desafío para todo el sistema educacional, pero en último término el éxito que se obtenga será el logro personal del profesor o profesora en contacto directo con los estudiantes. Por ello, cuando se logre el objetivo, el merecido y siempre perdurable reconocimiento del alumnado será el mejor premio a la creatividad, dedicación y entrega del docente que cumplió felizmente la fundamental misión que la sociedad le encomendó.

Organización del programa

El Programa de Formación Diferenciada del subsector Física para la modalidad Humanístico-Científica consta de tres unidades, a saber,

- Unidad 1 Gases ideales
- Unidad 2 Leyes de la termodinámica
- Unidad 3 El mundo cuántico

El texto se organiza siguiendo los mismos criterios que los programas anteriores. Cada unidad incluye los siguientes puntos:

- Listado de los contenidos (los mínimos obligatorios)
- Aprendizajes esperados de la unidad
- Recomendaciones al docente
- Detalle de contenidos
- Actividades genéricas y ejemplos a elegir
- Ejemplos de evaluación. El Anexo A está integralmente dedicado a este aspecto con ejemplos para cada una de las unidades.

CONTENIDOS MÍNIMOS

Son los correspondientes al marco curricular de Cuarto Año Medio, Formación Diferenciada (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

Especifica el alcance de los contenidos, del cual 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 los aprendizajes. Para cada una de ellas se dan ejemplos cuidadosamente seleccionados. De estos ejemplos el profesor o la profesora podrá elegir 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 la metodología que crea oportuno emplear. En esta selección se debe 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. Al igual que en los otros programas de Física, aquellos ejemplos que están precedidos por un punto verde (●), 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 para ser ilustrados mediante actividades cotidianas que otros. Es tarea del profesor o profesora cuidar de dicho equilibrio, procurando siempre dar más tiempo y énfasis a los conceptos centrales 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 los alumnos o el docente los actores principales. Así, la palabra “diseñan” sugiere que los estudiantes lo hacen, mientras “enunciar” sugiere que lo haga el profesor o profesora como una demostración práctica.

Si bien en el Anexo A se dan variados ejemplos destinados a ilustrar formas de evaluación para cada unidad, 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 inexistencia, no justifica el que dichas actividades queden sin realizarse. Por laboratorio no se entiende necesariamente una sala llena de aparatos e instrumentos sofisticados; debe serlo, principalmente, el mundo ordinario que rodea a los jóvenes. Para apreciar este aspecto véase el Anexo B, en que se da la lista de materiales que se necesita para tratar los conceptos esenciales de cada una de las unidades que constituyen el presente programa. Esto no significa que si el establecimiento dispone de buenos y bien equipados laboratorios no se los use; por el contrario un buen aprovechamiento de espacios y equipamiento puede tener un enorme impacto en el

logro de los objetivos de este programa. Es necesario preparar bien los experimentos, pues si están mal diseñados pueden producir más daño que beneficio.

En diversos ejemplos de actividades se sugieren e ilustran dispositivos que se pueden construir en el propio establecimiento, con los cuales 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.

Es importante tener presente que las actividades sugeridas no reemplazan una buena elaboración sistemática de los conceptos. Ellas sirven más bien para orientar, motivar e ilustrar el desarrollo de los mismos. En este sentido se espera que la resolución de problemas aplicando fórmulas elementales sea parte integral del trabajo en aula y personal de cada alumno y alumna.

INDICACIONES AL DOCENTE

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

EJEMPLOS DE EVALUACIÓN

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

Como en los ejemplos de actividades en que se dan algunas indicaciones útiles al docente, 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 se han señalado los rangos de tiempo sugeridos para desarrollar el programa. 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. Es conveniente planificar las clases calendario en mano, distribuyendo adecuadamente las actividades. Para aprovechar mejor el tiempo puede ser conveniente hacer pruebas breves, que no requieran más de 30 o 40 minutos de trabajo de parte del estudiantado.

En relación con el orden para tratar las unidades, se recomienda seguir la misma secuencia en que son presentadas aquí, debido a que hay una elaboración progresiva de los conceptos.

Objetivos Fundamentales

Los alumnos y alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. aplicar los principios que explican el comportamiento de los gases ideales, en situaciones de diversa importancia;
2. apreciar la utilidad y las limitaciones de un modelo simplificado de la realidad;
3. visualizar la relación entre las variables macroscópicas con que se describe un fenómeno y el nivel microscópico;
4. aplicar las leyes de la termodinámica en la diversidad de contextos en que son relevantes;
5. distinguir el ámbito en que impera la física cuántica y apreciar sus consecuencias.

Unidades, contenidos y distribución temporal

Cuadro sinóptico

Unidades		
1 Gases ideales	2 Leyes de la termodinámica	3 El mundo cuántico
Contenidos		
<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización de un gas ideal. • Modelo cinético de un gas. • Presión parcial de un gas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía interna y equilibrio térmico. • Primera ley de la termodinámica. • Segunda ley de la termodinámica. • Entropía. • El caos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dualidad onda-corpúsculo. • Dualidad en el modelo de Niels Bohr para el hidrógeno. • La función de la onda. • Ensayo acerca de un tema del programa.
Distribución temporal		
Tiempo estimado 23 a 30 horas	Tiempo estimado 16 a 21 horas	Tiempo estimado 28 a 35 horas

Objetivos Fundamentales Transversales y su presencia en el programa

EL PROGRAMA DE FORMACIÓN DIFERENCIADA de Física de Cuarto Año Medio refuerza algunos OFT que tuvieron presencia y oportunidad de desarrollo en la Educación Media y adicionan otros propios de las nuevas unidades.

- 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 situaciones 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 característicos del método científico, así como las de exposición y comunicación de sus ideas frente a interrogantes planteadas, de resultados de actividades experimentales o de indagación. Adicionalmente, en las 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. La utilización de diferentes fuentes de información, el saber seleccionarla, sintetizarla, hacer un análisis crítico de ella y presentarla mediante un informe escrito u oral .
- En el plano de la *formación ética* se pretende que los y las estudiantes valoren el poder del método científico usado por los grandes investigadores , el cual ha permitido conocer mejor al Universo, desmitificarlo, y admirarlo en lo que en verdad es para de esta forma impedir que personas inescrupulosas hagan predicciones del futuro en los diversos planos de la existencia. Existe, igual preocupación por evitar ejemplos de carácter bélico en el estudio de los fenómenos físicos y comentar lo terrible que han sido las guerras y la poca inteligencia del hombre al no poder evitarlas, para de esta forma propender a valores que conducen a actitudes pacíficas .
- El OFT del ámbito *persona y su entorno* referido a comprender como aspectos de los contenidos de las unidades tienen expresión en fenómenos cotidianos, en aparatos tecnológicos, en el estudio del Universo. Se pretende desarrollar en los y las estudiantes la imaginación y la creatividad a través del estudio de la leyes de la termodinámica y el mundo cuántico. Por sobre todo se intenta que a través de la comprensión de algunos hechos trascendentales de la historia de la física y las controversias científicas se valore el desarrollo lógico y riguroso que debe hacerse de las principales ideas en que se fundamenta la teoría científica.
- Además, el programa se hace cargo de los OFT de Informática incorporando en diversas actividades y tareas la búsqueda de información a través de redes de comunicación, empleo de software, y la selección de redes de comunicación.

Unidad 1

Gases ideales

Contenidos Mínimos

- a. Caracterización de un gas ideal como un modelo para describir un gas real: su ámbito de validez. Ecuación de estado del gas ideal: sus bases fenomenológicas y consecuencias. La hipótesis de Amadeo Avogadro. La escala termodinámica de temperaturas.
- b. Interpretación molecular de los conceptos de presión y temperatura. Formulación del principio de equipartición de la energía: energía cinética media de una molécula en términos de la temperatura. Obtención de la ley de los gases ideales.
- c. Introducción del concepto de presión parcial de un gas en una mezcla. Aplicaciones, como el funcionamiento de los pulmones.

Aprendizajes esperados

Al completar la unidad alumnos y alumnas:

- identifican las variables de estado que describen a un gas;
- reconocen las condiciones físicas para que el comportamiento de un gas pueda tratarse usando el modelo del gas ideal;
- describen experimentos simples para encontrar las relaciones entre presión, volumen y temperatura de una masa gaseosa (transformación isotérmica e isobárica);
- aplican a situaciones cotidianas las leyes macroscópicas de un gas ideal que relacionan presión, volumen y temperatura;
- describen cómo las propiedades de un gas ideal conducen al concepto y valor del cero absoluto de la temperatura;
- resuelven problemas utilizando la ecuación de estado de un gas ideal;
- describen el modelo cinético de un gas y, en base a él, explican las nociones de presión y temperatura de un gas;
- enuncian y aplican la ley de Avogadro a situaciones cotidianas;
- aplican la ley de Dalton para calcular las presiones parciales en una mezcla gaseosa;
- describen el funcionamiento de los pulmones sometidos a diferentes presiones.

Recomendaciones al docente

Es conveniente que el docente tenga presente las siguientes observaciones y sugerencias para el mejor desarrollo del programa en general, y de esta unidad en particular.

- Al iniciar cada clase o un nuevo tema, presentar una actividad que realmente sea significativa y motivante para los alumnos y alumnas. Podría ser una demostración que sorprenda o el llamar la atención sobre un fenómeno cotidiano, de tal modo que se genere entusiasmo para lograr un aprendizaje.
- La unidad se concentra en el estudio del comportamiento de los gases ideales. Evitar caer en objetivos distintos a los propuestos para así poder completar lo exigido.
- En el curso de Física de Segundo Año Medio hay una unidad que trata el tema de “Temperatura y calor”, y en el de Tercer Año Medio se estudia la unidad “Fluidos”. Es conveniente hacer referencia a esos contenidos antes de comenzar con la unidad. Si es posible, iniciarla 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. Evitar el trabajo con unidades de otros sistemas.
- En este nivel las alumnas y los alumnos deben desarrollar su habilidad para procesar datos y resolver problemas con una mayor componente matemática. El uso de calculadoras permite preocuparse más por el proceso que por el cálculo numérico.
- Conviene iniciar el tema estudiando los gases en el ámbito macroscópico, siguiendo procesos empíricos, para luego desarrollar el modelo molecular.
- En internet existen numerosos sitios donde el docente puede encontrar simulaciones sobre este tema (véase 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 profesor revise la página previamente de modo de asegurarse que su contenido es el adecuado y está de acuerdo con los aprendizajes esperados.
- Muchos de los ejemplos de actividades se prestan para evaluar el desempeño de 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 unidad se presta más que las siguientes para desarrollar las habilidades experimentales en los estudiantes. Debe aprovecharse esto para que ellos realicen experimentos verdaderos y no se limiten siempre a trabajar con modelos y simulaciones de fenómenos inaccesibles directamente.
- Es conveniente desarrollar actividades destinadas a satisfacer las inquietudes y necesidades concretas del grupo de estudiantes. El programa propone una variedad de ejemplos de diversa dificultad de implementación, teniendo presente las diferentes tendencias y habilidades del estudiantado.

(a) Caracterización de un gas ideal

Detalle de contenidos

GASES IDEALES

Magnitudes que caracterizan el estado de un gas y sus unidades. Condiciones bajo las cuales un gas real se considera ideal. Transformación isotérmica e isobárica. El cero absoluto y la escala kelvin.

LEY DE AVOGADRO

Mol y número de Avogadro. La ecuación de estado de un gas ideal.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad 1

Observan, experimentan y analizan cualitativa y cuantitativamente los cambios que experimenta una masa gaseosa al variar su presión, volumen o temperatura.

- Ejemplo A

Manipulan globos inflados, bombines, jeringas (sin agujas), etc., aplicando presión al aire que encierran, con válvulas abiertas y cerradas. Discuten sobre lo que observan en el globo y lo comparan con lo que ocurre en los otros aparatos.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede servir para introducir y motivar el tema. Por lo económico y fácil de adquirir del material, se presta además para un trabajo individual por parte de los estudiantes.

Hacer notar que al hacer presión sobre un punto de la superficie del globo se produce una deformación en toda la superficie, debido a que es elástica, sin que cambie significativamente el volumen del aire en su interior. En cambio, al accionar un bombín o jeringa, no hay deformación de las paredes pero se observa un cambio del volumen del gas. Hacer notar que el gas encerrado en cualquiera de los recipientes se encuentra a la temperatura ambiente, posee un volumen y está sometido a una cierta presión. Notar que el repetido uso del bombín calienta las paredes. Discutir con alumnas y alumnos el origen de esta observación destacando el rol del roce del émbolo con la superficie de las paredes.

- Ejemplo B

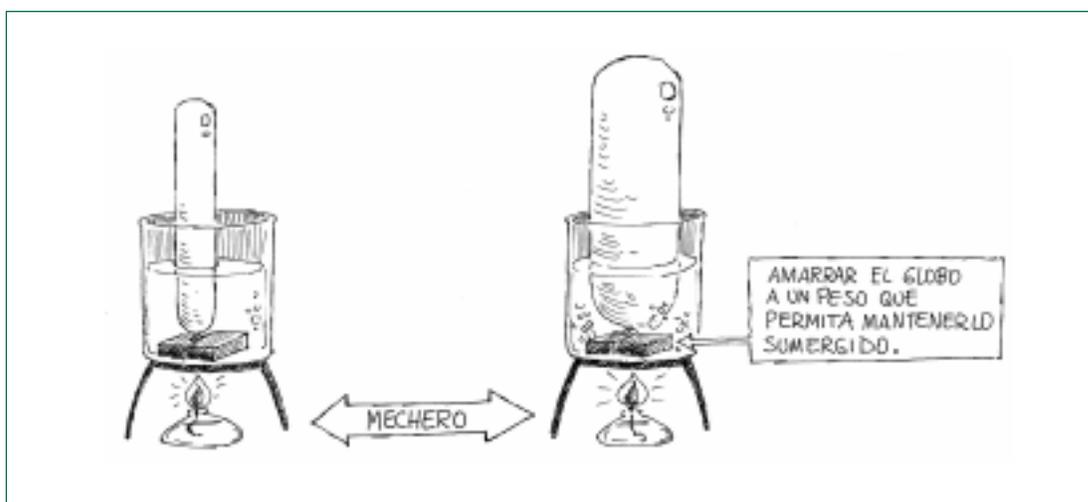
Diseñan un método para medir los cambios de volumen observados al introducir un globo con aire en agua helada y luego en agua caliente. Realizan el experimento y escriben un informe sobre el proceso completo.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia puede asignarse como trabajo individual o grupal a ser realizado ya sea en clase o en la casa. Aunque lo ideal es que los estudiantes se encarguen del diseño en todos sus aspectos, se puede recomendar que usen agua con hielo para enfriar, y agua caliente (sólo lo que toleren las manos), para calentar. Incentivarlos a idear formas de determinar el volumen y la temperatura del aire en el globo. Es el momento de introducir el concepto de transformación de un gas como el cambio de un estado definido por una determinada presión, volumen y temperatura, a otro en que a lo menos dos de esas magnitudes cambian.

Una variante que el profesor o profesora puede realizar en forma demostrativa, es sumergir parcialmente un globo alargado, de los que se usan para hacer figuras de animales, en un recipiente con agua, que descansa sobre un mechero (ver figura 1.1). Al irse calentando el agua se hace muy visible un aumento del volumen del globo.

Fig. 1.1



- Ejemplo C

Determinan experimentalmente la relación entre la presión y el volumen de un gas a temperatura constante, y dibujan una curva isotérmica.

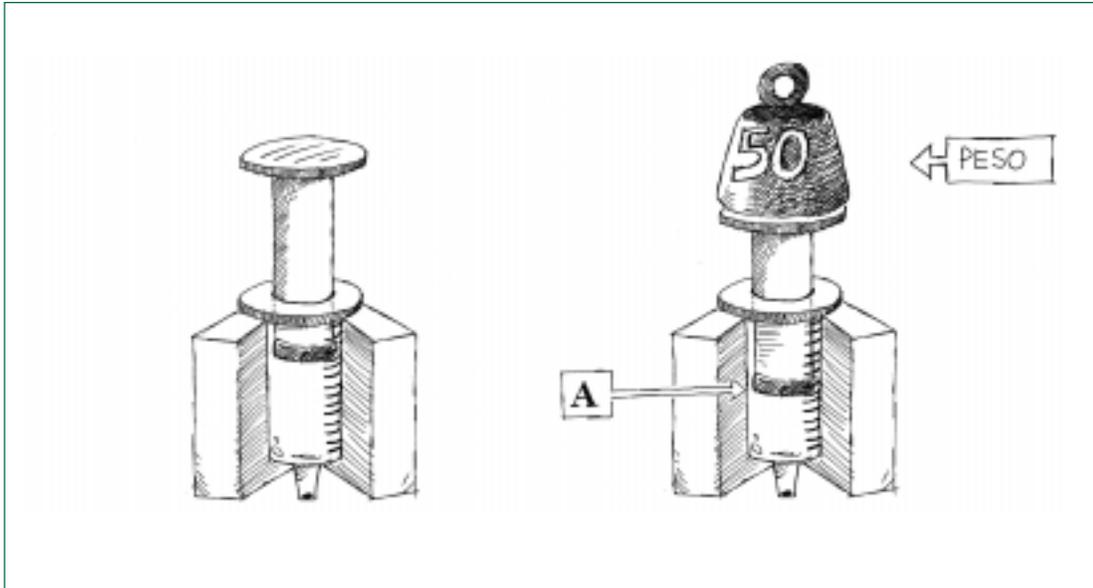
INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia resulta fácil de realizar con una jeringa grande (o bombín de bicicleta), con el émbolo o pistón lubricado con glicerina (o aceitado) para que pueda moverse con suavidad. Sellar la salida del aire con algún pegamento y construir un montaje que permita agregar pesos al émbolo cuando la jeringa está dispuesta verticalmente (figura 1.2). La presión sobre el aire se puede determinar conociendo el peso del émbolo y la carga puesta sobre él, y el área de la sección transversal interior del cilindro, A . La graduación de la jeringa puede servir para determinar el volumen del aire. Señalar que esta relación se conoce con el nombre de Ley de Boyle en honor del químico y físico inglés Robert Boyle (1627-1691), quien la descubrió. Señalar que los cambios experimenta-

dos por el gas al ir presionándolo lentamente se denominan “transformación isotérmica” dado que la temperatura del sistema permanece constante.

Para un resultado óptimo presionar el émbolo más allá de lo que lo haría el peso y luego soltarlo, para que la presión del aire iguale a la que ejerce el peso, haciendo subir el pistón.

Fig. 1.2



De los valores medidos se puede obtener la presión usando la relación:

$$p = \frac{(\text{peso del émbolo} + \text{peso de la carga})}{A}$$

El volumen se obtiene en cm^3 según graduación usual de una jeringa. Anotar los resultados en una tabla de valores y luego dibujar la isoterma; discutir la forma inversamente proporcional que adquiere.

- Ejemplo D

Analizan situaciones cotidianas que puedan explicarse por la ley de Boyle. Discuten acerca del hecho de que las burbujas de aire que expele un buceador sumergido aumentan de tamaño a medida que suben hacia la superficie. Analizan la consecuencia que tendría para el buceador llenar sus pulmones de aire a 20 m de profundidad (obtenido de un equipo de aire comprimido) y luego ascender a la superficie conteniendo el aire.

INDICACIONES AL DOCENTE

Aclarar que para analizar el ejemplo es conveniente suponer que la temperatura del agua es la misma a cualquier profundidad. Comentar que esta aproximación no siempre es permisible, lo que agrava el problema como se verá más adelante.

- Ejemplo E

Aplican la relación $pV = \text{constante}$ para resolver problemas que tratan transformaciones isotérmicas.

INDICACIONES AL DOCENTE

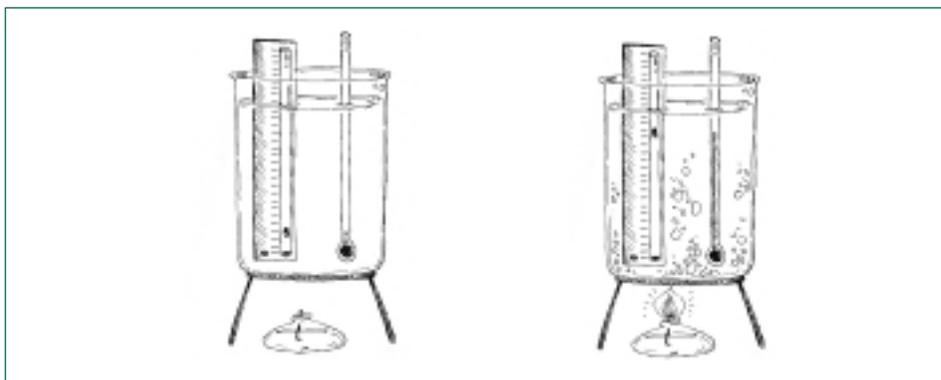
Recordando que una columna de agua de 10 m de altura ejerce una presión de alrededor de 1 atm se pueden plantear problemas tales como los siguientes.

1. Una burbuja de aire de 10 cm^3 se forma a 20 metros de profundidad en el fondo de un lago. ¿Cuál será el volumen de la burbuja cuando llegue a la superficie?
2. Un buzo inventa un “profundímetro” artesanal, el que consiste en una jeringa graduada que contiene 20 cm^3 de aire, su émbolo bien lubricado y el extremo abierto, sellado. Al sumergirse hasta llegar a 30 m de profundidad ¿qué volumen marca la jeringa?

- Ejemplo F

Diseñan y realizan un experimento para encontrar la relación entre el volumen y la temperatura de un gas a presión constante. Utilizan esta actividad para estimar el valor del cero absoluto.

Fig. 1.3



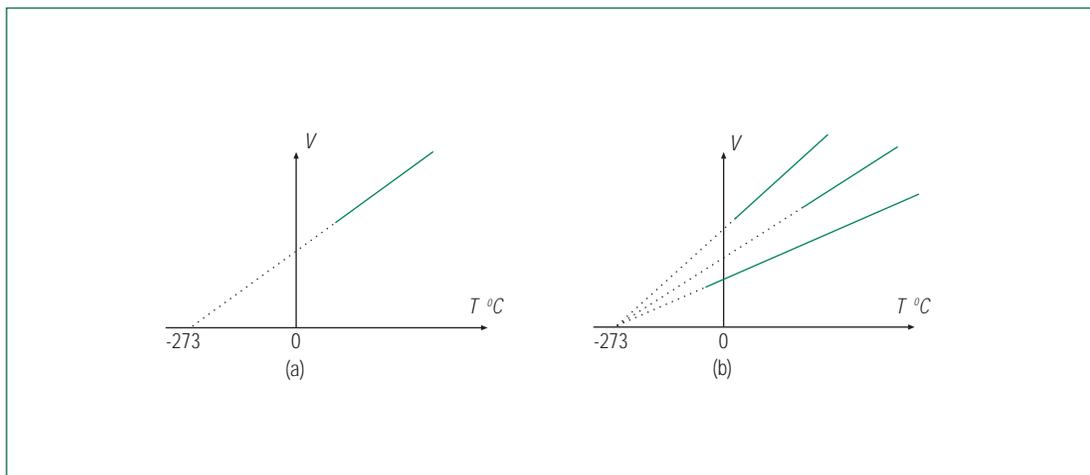
INDICACIONES AL DOCENTE

Indicar a los estudiantes que esta transformación se denomina “isobárica” y que la relación que rige el proceso para un gas ideal se conoce por el nombre de ley de Gay-Lussac (1778-1850) en honor a Joseph Louis Gay-Lussac, químico y físico francés famoso por sus investigaciones acerca del com-

portamiento de los gases. Incentivar a alumnas y alumnos a que desarrollen toda su creatividad. Uno de los posibles diseños es el siguiente.

- Utilizar un tubo capilar de unos 30 cm de longitud, abierto en sus extremos. Colocar en su interior una gota de agua coloreada, introducida succionando hasta dejarla en el centro del tubo. Sellando con algún pegamento el extremo inferior del tubo se asegura que el aire atrapado en ese sector no escape.
- Fijar el tubo sobre una regla de la misma longitud de modo que su cero coincida con la parte sellada e introducirla en un recipiente con agua fría junto a un termómetro (figura 1.3).
- Calentar el agua lentamente y revolver, con el objeto de asegurar que la columna de aire y el termómetro se encuentren a la misma temperatura.
- Leer simultáneamente la altura de la columna de aire y la temperatura.
- Considerar la altura de la columna de aire como si fuera la medida del volumen del gas.
- Representar en un gráfico el volumen en función de la temperatura del gas en lo posible entre 0°C y 90°C .
- Extrapolar la línea recta obtenida hacia el lado negativo de la escala de temperatura.
- Analizar los resultados e interpretar el significado del valor que toma la temperatura al disminuir el volumen. Ver figura 1.4 a.

Fig. 1.4



Al desarrollar el diseño, discutir con profundidad las razones para elegir cada detalle.

- Es importante señalar que si se realiza este experimento con gases diferentes, las prolongaciones de las rectas que se obtienen para cada uno de ellos, como se indica en la figura 1.4 b, dentro del margen de error con que se ha trabajado, coinciden en una misma temperatura en el límite en que el volumen se anula. Hacer ver que esto le da sentido al concepto de cero absoluto y a la escala termodinámica de temperaturas. Conviene en este contexto recordar también la relación entre las escalas kelvin y celsius y hacer algunos ejercicios numéricos que las involucren.

- Ejemplo G

En base a las leyes de Boyle y de Gay-Lussac, y teniendo presente los cambios de estado que puede experimentar una masa gaseosa, delimitan el rango de validez de dichas leyes y la conveniencia de crear el concepto de “gas ideal”.

INDICACIONES AL DOCENTE

Hacer ver a los estudiantes que las relaciones encontradas son válidas sólo bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Promover una discusión haciendo preguntas tales como ¿qué le ocurre a un gas si la presión en él aumenta? Recordar el caso del “gas licuado”, en realidad un líquido a alta presión, y cómo se transforma en gas cuando sale del balón de uso doméstico. Si hay un balón en la sala, al moverlo se puede constatar que en su interior hay un líquido. Mostrar, por ejemplo, un encendedor a gas, transparente. La pregunta ¿qué le ocurre a una masa gaseosa si su temperatura baja? permite analizar el caso de la licuación de un gas. Citar la condensación del vapor de agua cuando toca una superficie fría, como suele ocurrir en la parte interior del vidrio en la ventana de una pieza temperada si afuera hace mucho frío. La conclusión a que se debería llegar apunta a que estas leyes se cumplen sólo para gases lejos del punto de licuefacción. Sólo entonces se comportan como un “gas ideal”. Comentar que estas leyes pueden derivarse de una teoría molecular si se supone que las moléculas no interactúan. Destacar que este tipo de modelación y las aproximaciones que envuelve se usa siempre en física.

- Ejemplo H

Aplican la relación $\frac{V}{T} = \text{constante}$ para resolver problemas en el caso de transformaciones isobáricas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los estudiantes entiendan que, a presión constante, el volumen es directamente proporcional a la temperatura sólo si ésta se mide en kelvin (a partir del cero absoluto) y, por lo tanto, es necesario hacer la conversión en el caso en que se entregue en celsius.

Un ejemplo de problema puede ser el siguiente. En un lugar a la sombra se infla un globo con 1500 cm^3 de aire a temperatura ambiente de 20° C . Se pone por un momento al sol observándose que alcanza un volumen de 1550 cm^3 . Si suponemos que la presión ha cambiado sólo levemente, ¿aproximadamente cuál será ahora la temperatura del aire al interior del globo? Nótese que al estar al sol el globo (y el aire en él) se calientan y también que, en rigor, al expandirse sus paredes elásticas, disminuye la presión en el interior. Esta última afirmación puede confirmarse uniendo dos globos iguales, uno con poco aire y el otro con mucho más, a través de un tubo que los conecte, con el resultado que el pequeño se desinfla aun más. Discutir con los alumnos y alumnas posibles razones para esta observación y las consecuencias que tendría sobre el análisis el tomar en cuenta que el proceso no se estrictamente isobárico.

- Ejemplo I

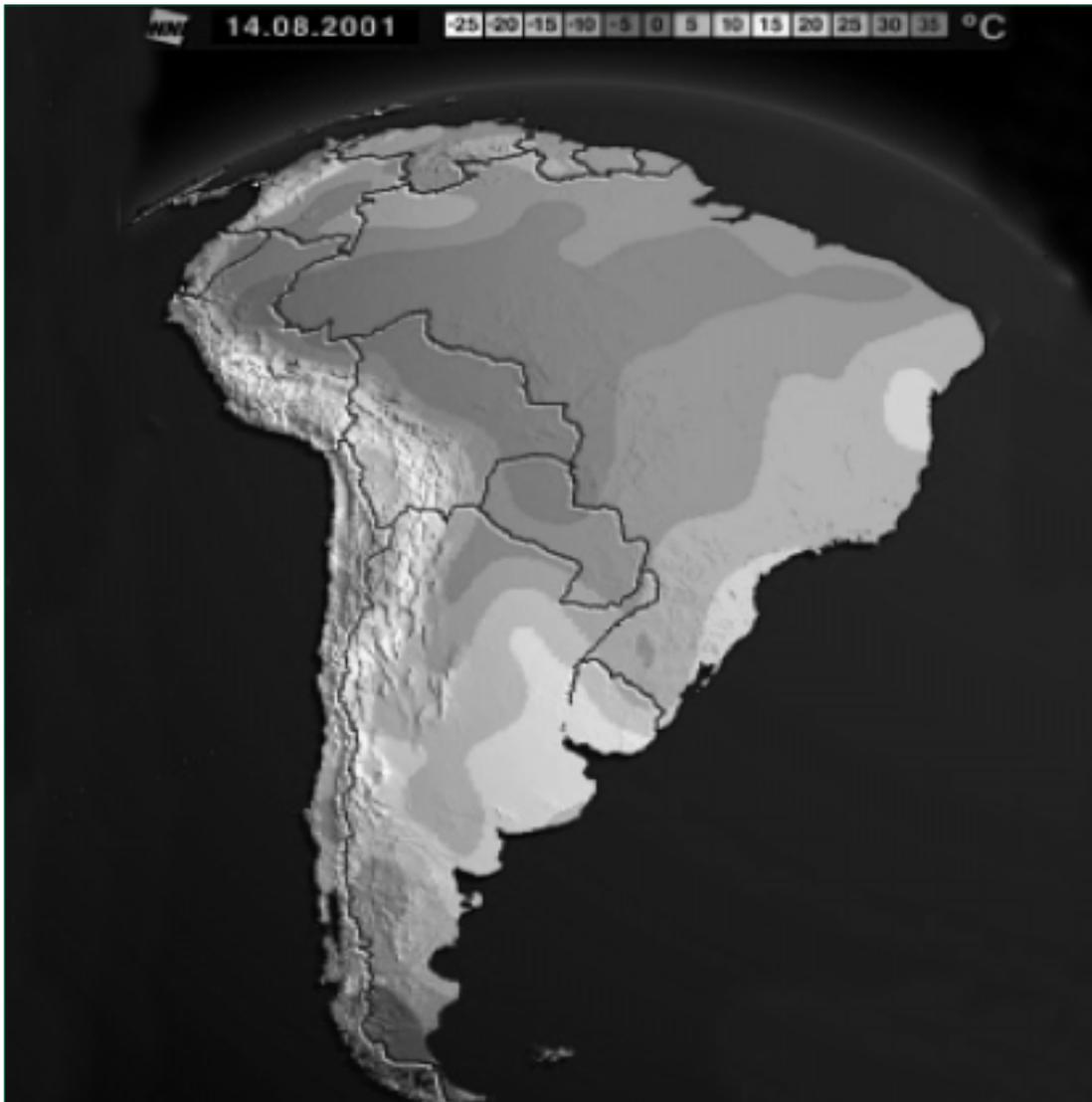
Discuten el significado de las curvas isobáricas e isotérmicas en un mapa meteorológico.

INDICACIONES AL DOCENTE

Las curvas dibujadas sobre un mapa pueden representar frentes de alta o baja presión (líneas isobáricas) o temperatura (líneas isotérmicas). Conectar esa información con los fenómenos climáticos, o sea la posibilidad de lluvia, vientos, tiempo seco, etc.

Estos mapas se pueden obtener del internet (véase por ejemplo la figura 1.5 en que se muestra una imagen satelital en que los estudiantes pueden identificar las isotermas) o a partir de una grabación de vídeo del pronóstico del tiempo.

Fig. 1.5



Ejemplo J

Describen las características de una transformación a volumen constante.

INDICACIONES AL DOCENTE

Habiendo ya tratado aplicaciones de la ley de Boyle a casos en que la temperatura o la presión son constantes, la situación planteada en esta actividad es un simple corolario que los estudiantes podrán resolver. Se trata de deducir, a partir de la ley de Boyle, que se trata de una transformación en la cual la presión es directamente proporcional a la temperatura (a volumen constante). Llamarla transformación isovolumétrica o isométrica.

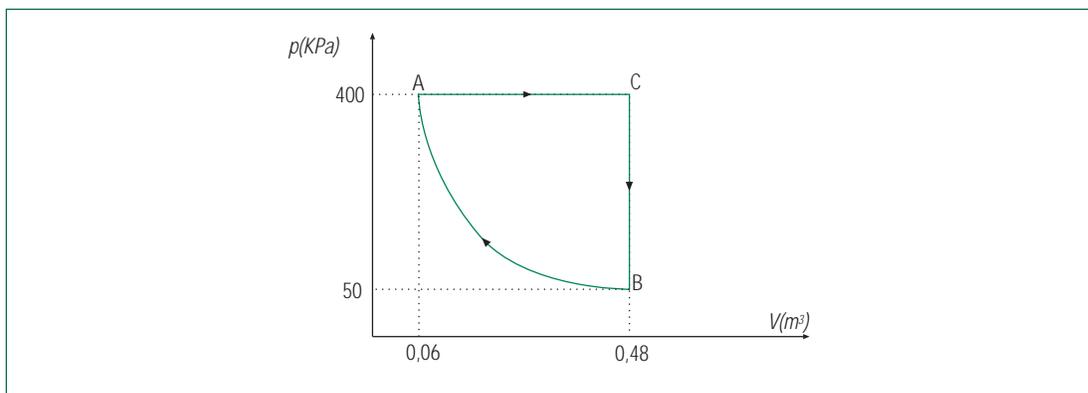
Ejemplo K

Analizan el cambio de estado de una sustancia utilizando la información gráfica de un diagrama P versus V.

INDICACIONES AL DOCENTE

El gráfico $p(V)$ de la figura 1.6 se presta para evaluar y describir las transformaciones que experimenta un gas cuando pasa del estado B al A, de B al estado C, etc.

Fig. 1.6



Actividad 2

Analizan y aplican la ley de Avogadro y la ecuación de estado de un gas ideal

- Ejemplo A

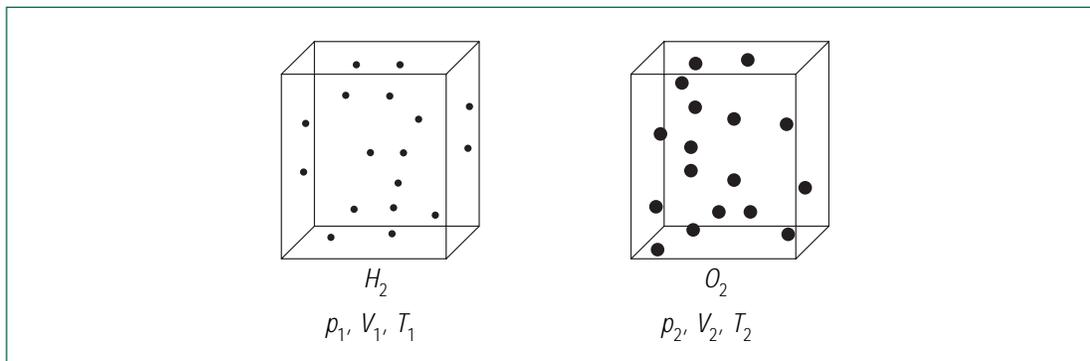
Enunciar la hipótesis de Avogadro. Discuten su origen y significado.

INDICACIONES AL DOCENTE

Hacer ver que utilizando la información obtenida de experimentos realizados con gases, Amadeo Avogadro (1776-1856), físico italiano, formula su célebre hipótesis acerca del número de moléculas que contiene una muestra gaseosa. Enunciar la hipótesis en los términos “volúmenes iguales de diferentes gases a la misma temperatura y presión contienen la misma cantidad de moléculas”.

Comentar que esta hipótesis, formulada en 1811, fue ignorada por 50 años hasta que el químico italiano Estanislao Cannizzaro (1826-1940) se dio cuenta en 1860 de su importancia. El ejemplo ilustra un hecho común en la historia de la ciencia: las ideas más audaces demoran un tiempo en ser aceptadas por la comunidad.

Fig. 1.7



- Ejemplo B

Calculan el número de moles y de moléculas que existe en una determinada masa de gas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Previo a la resolución de problemas de este tipo definir la unidad de cantidad de sustancia “mol” como “la cantidad de materia contenida en una masa en gramos numéricamente igual a la masa molecular de la misma”. Señalar que el número de moléculas en un mol de sustancia es de $6,02 \times 10^{23}$ (número de Avogadro). Discuten el tamaño de este número, escribiéndolo como un seis seguido de 23 ceros, y destacando su enormidad. Hacer comparaciones con el número de estrellas en el cielo, etc. Inducir a los estudiantes a reflexionar sobre el hecho que un mol de hidrógeno está contenido en una muestra gaseosa de 2 gramos, y que 32 gramos de oxígeno equivalen a un mol de esa sustancia.

Ejemplos de problemas de cálculo son: “si un recipiente contiene 96 g de O_2 ¿cuántos moles y moléculas de ese gas hay en el recipiente?”; “al beberse un vaso de 200 cc de agua ¿cuántas moléculas de agua se consumió?”

- Ejemplo C

Identifican el significado de los términos de la ecuación de estado de un gas ideal y lo relacionan con la ley de Avogadro.

INDICACIONES AL DOCENTE

Una manera de iniciar esta actividad es identificando las unidades del cociente $\frac{pV}{T}$ y luego introduciendo la constante k de Boltzman, y el producto $R = Nk$, donde N es el número de avogadro. Mostrar a los alumnos y alumnas que de la ecuación $pV = nRT$ es consistente con la ley de Boyle, y que de ella se desprende que, para el mismo número n de moles a la misma presión y temperatura, el volumen será igual siempre que la constante universal de los gases se mantenga. Por otro lado, se sabe que el número de moléculas de 1 mol es igual para todos los gases; por lo tanto la hipótesis de Avogadro es equivalente a que R tenga el mismo valor para todos ellos.

Ejemplo D

Verifican experimentalmente que $\frac{pV}{T} = \text{constante}$ y determinan el número de moles de una masa gaseosa.

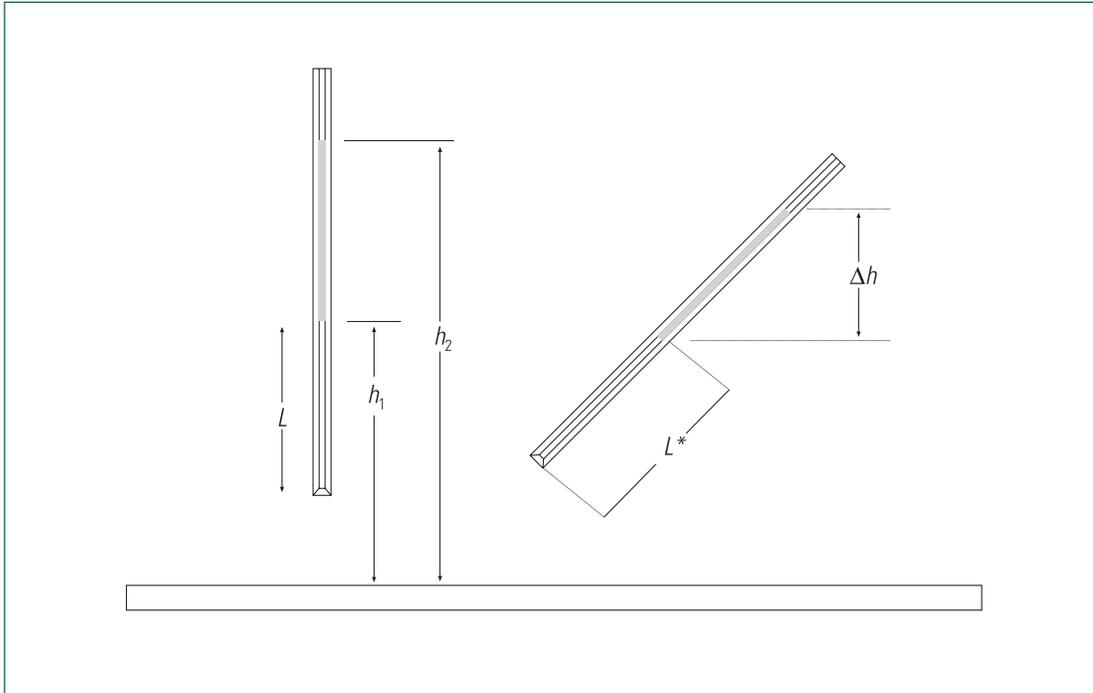
INDICACIONES AL DOCENTE

Recordar a los estudiantes que la temperatura se debe expresar en kelvin. Discutir si en las condiciones de trabajo en la clase se pueden considerar las presiones y temperaturas dentro de los márgenes adecuados para considerar al aire como un gas ideal.

El experimento se puede realizar utilizando un tubo capilar cerrado en su extremo inferior y con una pequeña cantidad de aire atrapado por una columna de mercurio¹. El extremo superior abierto del tubo permite que la columna de aire confinada esté sometida a la presión atmosférica más la que genera la columna de mercurio. Variando el ángulo formado por el tubo capilar y la horizontal se puede cambiar la presión sobre la columna de aire (figura 1.8). Discutir esta afirmación.

¹ Si se realiza esta actividad deben tomarse las precauciones que implican el trabajar con sustancias tóxicas como el mercurio. La experiencia puede realizarla el profesor o la profesora en forma demostrativa, en un lugar ventilado, de preferencia en el patio.

Fig. 1.8



Hacer notar que la presión total sobre el aire es: $p = p_0 + (h_2 - h_1)$ donde, p_0 es la presión atmosférica del lugar medida con un barómetro en mm de Hg, h_2 es la distancia (en mm) a que se encuentra la parte superior de la columna de mercurio y h_1 es la distancia (también en mm) a que se encuentra la parte final de la columna de mercurio (figura 1.8).

Se recomienda el siguiente procedimiento:

1. Sumergir el capilar verticalmente en agua con hielo durante algunos minutos, de modo que sólo el aire atrapado quede bajo el nivel del agua. Notar que es necesario que el aire alcance el equilibrio térmico con el agua. Medir la temperatura de la mezcla, la longitud de la columna de aire y la de la columna de mercurio. Lo anterior permitirá determinar las variables volumen, temperatura y presión de la masa gaseosa en un estado inicial.
2. Repetir el procedimiento introduciendo la columna de aire en agua caliente (unos 50°C), pero esta vez colocando el capilar inclinado en un ángulo de unos 30° . Hacer notar que la presión total ha disminuido considerablemente, pues ha cambiado la diferencia de altura.
3. Con los datos obtenidos calcular $\frac{pV}{T}$ para ambos casos y comparar resultados.
4. Conociendo la constante universal de los gases \mathcal{R} determinar el número de moles del aire confinado.

El mismo dispositivo puede ser usado, sin necesidad de cambiar la temperatura, para encontrar la relación entre presión y volumen variando tan sólo el ángulo de inclinación del capilar.

De igual modo, manteniendo vertical el capilar (presión constante) e introduciendo la columna de aire en recipientes con agua a diferentes temperaturas, se puede encontrar la relación entre volumen y temperatura.

- Ejemplo E

Resuelven una variedad de problemas donde aplican la ecuación de estado de un gas ideal $pV = n R T$.

INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene iniciar los ejercicios con ejemplos como el que sigue. Cuando se infla cierto neumático con $0,2 \text{ m}^3$ de aire se logra una presión de $6 \times 10^5 \text{ kPa}$ cuando la temperatura ambiente es de 10° C . Después de un viaje el conductor mide nuevamente la presión del neumático y encuentra que es de $7 \times 10^5 \text{ kPa}$ y su temperatura alcanza a 20° C . ¿Cuál es el nuevo volumen del aire encerrado en el neumático? ¿Por qué es peligroso sobrepasar los límites de presión que el fabricante recomienda?

- Ejemplo F

Experimentan con un gas en expansión observando que si la expansión es rápida, el gas se enfría. Aplican esta noción para explicar afirmaciones tales como, "el agua evaporada en la superficie de la Tierra es arrastrada por masas de aire caliente hacia las capas altas de la atmósfera formándose las nubes que luego se condensan para producir lluvia".

INDICACIONES AL DOCENTE

Fácilmente se comprueba esto al comparar la temperatura del aire cuando soplamos nuestra mano con la boca semicerrada (como para silbar), o lo hacemos con la boca abierta. En el primer caso el aire sale comprimido a 37° C pero, al expandirse, se enfría rápidamente ya que parte de la energía cinética de las partículas se emplea en el trabajo de expansión. En el segundo caso sale a la misma temperatura de 37° C pero se mantiene caliente puesto que la expansión es lenta. Al discutir la formación de gotas en la altura, guiar la discusión con el objeto que alumnos y alumnas se den cuenta que, al elevarse, el aire húmedo se expande provocando su enfriamiento a tal grado que el vapor se condensa.

(b) Modelo cinético de un gas

Detalle de contenidos

TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES

“Postulados” o supuestos en que se basa la teoría cinética de los gases. La presión como consecuencia de choques de las moléculas de un gas con las paredes del recipiente. Definición operacional de la presión en términos de la teoría cinética.

INTERPRETACIÓN CINÉTICA DE LA TEMPERATURA

Relación entre la energía cinética media de las moléculas y la temperatura. El principio de equipartición de la energía.

Actividad

En base a supuestos simplificadores sobre el movimiento de las moléculas y sus interacciones, desarrollan y aplican un modelo que describa el comportamiento de un gas.

- Ejemplo A

Observan cómo en un choque entre dos objetos, uno en reposo y otro en movimiento, éste transfiere movimiento al primero. Observan el caso del rebote de una pelota contra una pared. Interpretan estos efectos en términos de aceleraciones y fuerzas y aplican sus conclusiones al choque de una molécula con una pared.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene por objeto visualizar el comportamiento microscópico de las moléculas de un gas y la forma cómo el choque de muchas de ellas contra una pared da lugar a la presión. La experiencia puede servir de introducción al análisis de la segunda ley de Newton, escrita de la forma $F\Delta t = m\Delta v$, útil en la derivación de la teoría cinética del calor.

- Ejemplo B

Experimentan haciendo vibrar un globo inflado o caja de acrílico en cuyo interior hay un puñado de granos de arroz y discuten sobre el efecto que el golpe de los granos ejerce sobre las paredes elásticas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Si no se cuenta con un vibrador mecánico esta actividad puede realizarse lo más bien haciendo vibrar manualmente el globo (o la caja). Además de observar los impactos de los granitos sobre las paredes, poniéndolo a trasluz, conviene que los estudiantes sientan al tacto dichos golpes tocando la superficie del globo con sus manos. Es posible pegar al globo a cualquier máquina eléctrica que vibre, por ejemplo una lijadora orbital, de modo que su vibración se transmita a los granos (figura 1.9).

Fig. 1.9



Guiar la discusión con preguntas como las siguientes:

- ¿Qué ocurriría con la cantidad de golpes en las paredes si el número de granos del interior se incrementa?
- ¿Qué ocurrirá con el número de choques con las paredes, de la misma cantidad de granos de arroz, si se encuentra más inflado, es decir, posee mayor volumen?
- ¿Qué ocurrirá con la velocidad de impacto si se agita el globo con más energía y rapidez?
- ¿Qué ocurrirá con los impactos si en vez de colocar arroz se colocan granos de mayor masa "m" unitaria, por ejemplo granos de trigo o lentejas?
- Si los choques de estos últimos granos se hacen más violentos y más frecuentes (suponiendo que podemos aumentar la frecuencia y amplitud de la vibradora), ¿qué debería ocurrir con el volumen del globo?
- Ahora, suponer que el globo, con los granos en su interior, se encuentra desinflado y pegado a la vibradora. ¿Qué le ocurriría a su volumen si se hace funcionar la vibradora?
- ¿Qué ocurriría si los granos golpean sólo una de las paredes?

Conducir la discusión de modo que alumnos y alumnas asocien el continuo choque de los granos de arroz con la presión que ejercen sobre las paredes del globo, destacando su carácter de fuerza por unidad de área. Además conviene escribir matemáticamente las conclusiones de la discusión y asegurarse que los estudiantes han comprendido que se ha construido un modelo que puede explicar la presión en los siguientes términos.

- El número de choques es directamente proporcional a la cantidad de granos: queda en evidencia que el número de choques cada segundo contra las paredes aumenta si se aumenta el número de granos, por lo tanto la presión aumenta.
- El número de choques es inversamente proporcional al volumen del globo: la cantidad de choques disminuye con el volumen, puesto que los granos deben recorrer mayor distancia para impactar en las paredes y por lo tanto la presión disminuye.
- El número de choques es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media de los granos: si se aumenta la velocidad de los granos, no sólo se aumenta la fuerza del impacto sobre las paredes sino que, además, aumenta el número de impactos. Lo anterior implica que la presión es dos veces directamente proporcional a la velocidad de los granos. En este caso, advertir a los estudiantes que por consideraciones estadísticas, se debe considerar la velocidad media de los granos.
- El impacto del choque se incrementa en forma directamente proporcional a la masa del grano: si la masa es mayor, la fuerza del choque aumentará y por lo tanto la presión se incrementa.

Lo anterior se puede resumir, matemáticamente en $p \propto \frac{Nm\bar{v}^2}{V}$

- Ejemplo C

Comentan y analizan las suposiciones e implicancias en que se basa el modelo molecular de un gas y la teoría cinética.

INDICACIONES AL DOCENTE

Inducir a los estudiantes a relacionar la presión de un gas con el comportamiento de los átomos y moléculas que lo componen, sobre la base de las siguientes suposiciones:

- El número de moléculas en una determinada masa gaseosa es gigantesco (basta recordar que en un mol hay aproximadamente 6×10^{23} moléculas).
- La separación entre las moléculas es muy grande con relación a su tamaño.
- Las moléculas están en movimiento constante y se cumplen las leyes de Newton. Este movimiento es al azar, lo que implica que se pueden mover en cualquier dirección y rapidez.

Señalar que lo anterior implica que las moléculas están chocando en forma continua y permanente contra las paredes del recipiente que las contiene, lo que genera la presión sobre ellas. Indicar que la presión se puede calcular mediante la expresión:

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V},$$

donde N es el número de moléculas, m es la masa de cada molécula, \bar{v} es la velocidad media de las moléculas y V es el volumen del recipiente.

De ser posible, derivar esta ecuación a partir de la segunda ley de Newton, como se hace en los textos usuales.

- Ejemplo D

Aplican el modelo cinético o molecular para explicar fenómenos cotidianos de un gas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Para lograr que los alumnos y alumnas conecten el mundo microscópico de un gas con lo cotidiano es conveniente discutir con ellos el significado de cada término en la expresión

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V},$$

y aplicarla a una variedad de casos. Por ejemplo, al aumentar la presión inflando una llanta, lo que se hace es incrementar el número de moléculas por unidad de volumen. Por otro lado, cuando un balón de gas licuado parcialmente lleno, o un simple globo inflado, queda expuesto al sol, la presión aumenta porque el gas absorbe energía solar (¿cómo?) produciéndose un aumento de la energía cinética media de las moléculas.

Llamar la atención que la expresión $\frac{Nm}{V}$ equivale a la densidad del gas.

Ejemplo E

Analizar la relación entre la energía cinética media de traslación de las moléculas y la temperatura absoluta.

INDICACIONES AL DOCENTE

Aquí es adecuado hacer ver que la interpretación molecular de la temperatura se puede derivar comparando las expresiones

$$pV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m\bar{v}^2 \right) \text{ y } pV = nRT$$

De ellas se obtiene la importante relación entre una magnitud macroscópica (la temperatura) y una microscópica (la energía cinética de una molécula).

$$\frac{1}{2} m\bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

De esta expresión se concluye que la energía cinética media de las moléculas en un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Ejemplo F

Resuelven problemas aplicando las expresiones $p = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V}$ y $E_k = \frac{3}{2} kT$

INDICACIONES AL DOCENTE

Los estudiantes deben ser capaces de resolver problemas del tipo “determinar la energía cinética media de traslación de las moléculas de un gas conociendo su temperatura” o “conociendo la densidad de un gas y la presión a que se encuentra determinar la velocidad media de las moléculas”.

Ejemplo G

Explicar el principio de equipartición de la energía cinética. Lo analizan y aplican.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es conveniente iniciar la explicación llamando la atención que en un gas las partículas se mueven en todas direcciones y en tres dimensiones, o sea, poseen tres grados de libertad. La velocidad v de una molécula tiene componentes en las tres direcciones: v_x , v_y , v_z . Por el teorema de Pitágoras, se tiene que el cuadrado de la velocidad de una molécula es igual a la suma de los cuadrados de sus componentes, o sea, $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$. Además, estas componentes deben ser iguales en las tres dimensiones pues no hay nada especial que diferencie una de otra. Por lo tanto $v^2 = 3v_x^2 \Rightarrow v_x^2 = \frac{1}{3} v^2$. El resultado $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$, se interpreta como que cada grado de libertad de traslación (uno por cada dimensión del espacio en que se mueven) contribuye con una cantidad igual de energía $\frac{1}{2} kT$, lo que se conoce como principio de la equipartición de la energía. Así, la energía de un sistema en equilibrio térmico se divide por igual entre todos sus grados de libertad.

(c) Presión parcial de un gas

Detalle de contenidos

LEY DE DALTON DE LA PRESIÓN PARCIAL

Concepto de presión parcial. Ley de Dalton. Efecto fisiológico de la presión en los pulmones.

Actividad

Aplican la ley de las presiones parciales de Dalton al funcionamiento de los pulmones en diversas circunstancias.

- Ejemplo A

Discuten y analizan el significado del enunciado “en una mezcla de gases ideales cada componente ejerce una presión parcial proporcional a su concentración molecular”.

INDICACIONES AL DOCENTE

Orientar la discusión de modo de considerar una mezcla de dos o más gases en equilibrio térmico en un recipiente de volumen V . Recordarles que la presión sobre las paredes del recipiente es causa de los continuos choques de las moléculas de los gases sobre ellas.

- Ejemplo B

Aplican la ley de Dalton para calcular la presión que ejercen diferentes componentes de una mezcla gaseosa sobre las paredes de un recipiente.

INDICACIONES AL DOCENTE

Sabiendo que en un metro cúbico de aire seco (sin agua) a cero grados celcius y a una atmósfera de presión hay 44,5 moles de aire, de los cuales 34,75 son de nitrógeno, 9,31 de oxígeno, 0,40 de argón y 0,013 de dióxido de carbono, pueden calcular las presiones parciales que ejercen cada uno de los gases mencionados. Por ejemplo, la presión parcial producida por el oxígeno O_2 será:

$$P_{O_2} = \frac{nRT}{V} = 9,31 \times 8,31 \frac{J}{K} \times 273 \frac{K}{m^3}$$

$$P_{O_2} = 0,211 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$$

$$P_{O_2} = 0,209 \text{ atm.}$$

De igual forma se puede determinar las presiones parciales de los otros gases que componen el aire y de la suma de dichas presiones parciales se obtiene que la presión total es $1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ o 1 atm.

- Ejemplo C

Utilizando internet o bibliografía recopilan información sobre el efecto de las presiones parciales en los pulmones, tanto cuando la persona se encuentra a una presión normal, como cuando la presión es mayor (caso de los buzos) o menor que la normal (caso de los andinistas).

INDICACIONES AL DOCENTE

En el proceso de respiración a una presión normal, cuando inspiramos el diafragma se desplaza aumentando el volumen de la cavidad torácica y así disminuyendo la presión en unos 3 mm de Hg respecto a la presión atmosférica, lo que permite que el aire penetre a los pulmones. Al espirar, el diafragma se mueve disminuyendo el volumen de la caja torácica y aumentando la presión es unos 3 mm de Hg sobre la presión normal, obligando al aire a salir. Lo anterior implica que la presión en los pulmones es muy próxima a la presión atmosférica, y las presiones parciales de nitrógeno y oxígeno son 0,781 y 0,209 atm, respectivamente.

En general, se puede respirar con normalidad si el aire suministrado se encuentra a igual presión que el medio que nos rodea. Así, los buzos necesitan aumentar la presión del aire que respiran a razón de 1 atm por cada 10 metros de profundidad a que se encuentren. Debido a ello la presión parcial del nitrógeno aumenta pudiendo así penetrar la piel y los vasos sanguíneos. Las toxinas generadas producen lo que se llama “narcosis del nitrógeno”, con síntomas similares a la intoxicación con alcohol.

Incentivar a los estudiantes a investigar lo que ocurre con los otros componentes del aire en la respiración a grandes profundidades y en lugares de gran altitud. Puede ser conveniente coordinar esta actividad con el profesor o profesora de Biología.

Unidad 2

Leyes de la termodinámica

Contenidos Mínimos

- a. Definición y discusión de la energía interna de un objeto. Efecto del trabajo y la temperatura sobre la energía interna. Equilibrio térmico y ley cero de la termodinámica.
- b. Presentación de la primera ley de la termodinámica. Discusión de su significado y la diversidad de ámbitos en que se aplica.
- c. Formulación de la segunda ley de la termodinámica bajo la forma “el calor no se transfiere espontáneamente de un cuerpo frío a uno a mayor temperatura”. Discusión de su significado a través de ejemplos relevantes para la vida diaria. Su importancia biológica y otros ámbitos.
- d. Definición de entropía como medida del grado de desorden en un sistema. Discusión del aumento de la entropía en los procesos naturales. Concepto de degradación de la energía.
- e. Definición del concepto de caos. Discusión de ejemplos que ilustren diversos ámbitos de aplicación.

Aprendizajes esperados

Al completar la unidad alumnos y alumnas:

- reconocen que la materia posee cierta cantidad de energía interna basándose en los cambios que ésta experimenta cuando se realiza trabajo sobre ella o cambia su temperatura;
- señalan la condición que deben cumplir dos cuerpos para encontrarse en equilibrio térmico;
- enuncian y aplican la primera ley de la termodinámica en la explicación de variados fenómenos y reconocen en ella una generalización de la ley de conservación de la energía mecánica;
- enuncian y aplican la segunda ley de la termodinámica a la explicación de diferentes procesos que se producen tanto en las máquinas como en los organismos biológicos;
- reconocen en la entropía como una medida del desorden y proporcionan múltiples ejemplos que pongan de manifiesto que en los procesos naturales la entropía crece; es decir, que la energía se degrada y el desorden aumenta;
- comprenden, desde el punto de vista de la física, el significado del estado caótico de un sistema y describen diversas situaciones en que la noción de caos explica la imposibilidad práctica de predecir a largo plazo el futuro del sistema.

Recomendaciones al docente

Es conveniente que el docente tenga presente las siguientes observaciones y sugerencias para el mejor desarrollo de esta unidad.

- Para enfrentar adecuadamente el tratamiento de los contenidos y facilitar su aprendizaje, es necesario asegurarse que los estudiantes tengan claro los conceptos de los cuales hay que partir, cubiertos principalmente en Segundo Año Medio. Entre estos se encuentran los siguientes.
- El concepto de trabajo mecánico. Basta recordar que si la fuerza F que lo realiza es paralela al desplazamiento d que produce, el trabajo es $W = Fd$. Si son antiparalelos, entonces $W = -Fd$.
- El concepto de energía. Es indispensable recordar que un sistema posee energía si tiene capacidad para realizar trabajo. Recordar también la expresión de la energía cinética $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, el concepto de energía potencial y la ley de conservación de la energía mecánica.
- Los conceptos de calor y temperatura. Es indispensable asegurarse que los alumnos y alumnas no los confundan. Deben diferenciar sus unidades, comprender cómo y qué mide el termómetro y el modo como se calcula el calor cedido o absorbido por un material a partir de su calor específico, su masa y el cambio de temperatura que experimenta, al menos cuando no hay cambio de estado.
- El equivalente mecánico del calor, introducido conceptualmente a través del experimento de James Joule, y que $1 \text{ caloría} = 4,18 \text{ joule}$.
- En termodinámica es de una gran importancia el comprender cómo una serie de conceptos abstractos se articulan entre sí dando cuenta de una gran cantidad de situaciones de la vida diaria. Por otra parte las actividades experimentales factibles de realizar en el liceo son muy escasas. Es necesario por lo tanto que el profesor o la profesora organice las actividades buscando el equilibrio adecuado entre teoría, observación y experimentación.
- Durante el desarrollo de esta unidad es importante transmitir al alumnado que la termodinámica constituye uno de los mayores logros de la física, que posee una estructura teórica de ejemplar belleza, y además un sinnúmero de importantes aplicaciones tecnológicas en el entorno cotidiano.

(a) Energía interna y equilibrio térmico

Detalle de contenidos

ENERGÍA INTERNA

Definición. Efecto del trabajo realizado sobre un sistema y del cambio de temperatura sobre su energía interna.

LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

Formulación. Equilibrio térmico.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad

Discuten el concepto de energía interna de un cuerpo, su origen y el modo en que se manifiesta.

- Ejemplo A

Discuten el origen de la energía asociada a una masa de gas monoatómico que se encuentra térmicamente aislado. Extrapolan estas nociones a los otros estados de la materia.

INDICACIONES AL DOCENTE

El estudiante ya sabe que un gas encerrado en un recipiente aislado térmicamente, un “termo” por ejemplo, está constituido por un conjunto de moléculas en movimiento y chocando entre sí. Destacar que si el gas es monoatómico, las “moléculas” son en este caso simples átomos con simetría esférica (nada cambia al rotarlas en torno a su centro). Como cada uno posee una masa m y las supone moviéndose en promedio con una rapidez v , entonces tiene una energía cinética, también promedio, $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Las moléculas chocan con las paredes del recipiente y entre sí elásticamente conservándose la energía mecánica del conjunto. La energía interna de este gas debe ser por lo menos igual a la suma de la energía cinética de todos los átomos del gas, $U = \frac{N}{2} mv^2$, donde N es el número total de átomos. Usando el principio de equipartición de la energía de aquí se obtiene también que $U = \frac{3}{2} NkT$, lo que muestra que la energía interna de un gas monoatómico encerrado depende sólo de la temperatura. Habría que sumar además la energía propia mc^2 , la energía de rotación de cada átomo, la potencial de interacción entre ellos y la energía en el campo gravitatorio terrestre, pero en la aproximación de los gases ideales éstas se desprecian.

En los líquidos y en los sólidos las moléculas están permanentemente cerca unas de otras (son más densos que un gas) por lo cual interactúan más fuertemente entre sí, razón por la cual además de la energía cinética debe considerarse la energía potencial que cada una posee debido a su posición respecto de las otras. La energía interna de una porción de materia corresponderá entonces a la suma de las energías cinética y potencial de todas sus moléculas. Si además de desplazarse las moléculas rotan, habrá que sumar también su energía cinética de rotación.

Es imperativo no confundir la energía interna con la noción de calor ni con la de temperatura. El término calor debe reservarse para expresar la energía en tránsito entre dos cuerpos cuando están a diferente temperatura. También es necesario enfatizar que dos objetos no poseen la misma energía interna por el solo hecho de estar a la misma temperatura. En efecto, de ellos poseerá mayor energía interna el que tenga mayor masa si están hechos del mismo material. Por otra parte la temperatura debe ser concebida como una medida macroscópica de la rapidez promedio con que se trasladan (gases y líquidos) o vibran (sólidos) las moléculas, con debida consideración a su masa o inercia.

Se designa habitualmente por U_i y U_f a la energía interna inicial y final de un objeto que experimenta un proceso termodinámico, y por $\Delta U = U_f - U_i$ a la correspondiente variación de su energía interna. Al calor en cambio corrientemente se lo anota con la letra Q . Si M es la masa de un cuerpo de calor específico c y varía su temperatura desde T_i a T_f , entonces la energía térmica o calor que recibe o cede está dado por: $Q = cM(T_f - T_i)$. Recordar a los estudiantes algunos valores de c de

importancia: $c(\text{agua}) = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, $c(\text{aire}) = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, $c(\text{cobre}) = 387 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, $c(\text{madera}) = 1700 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, etc.

Tanto para motivar como para evaluar a los alumnos y las alumnas puede ser interesante plantearles preguntas como las siguientes. Si bien la energía interna y el calor son conceptos diferentes ¿estarán relacionados entre sí? ¿Puede un trozo de hielo poseer mayor energía interna que la misma masa de agua en estado líquido o de vapor? ¿Tendrá sentido hablar de temperatura de una molécula? ¿Podríamos ingresar a una nube de gas que se encuentre a una temperatura muy alta (digamos 1000°C) y experimentar en nuestro organismo la sensación de frío? ¿Se pueden aplicar las nociones de gas ideal al espacio interestelar donde, en promedio, hay unos 4 átomos por metro cúbico?

- Ejemplo B

Proponen una lista de situaciones y procesos de la vida cotidiana en que no se produce variación de la energía interna del sistema considerado, y otros en que sí cambia.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante velar porque los ejemplos que se discutan sean sencillos y correspondan a situaciones de la vida diaria. Casos simples de examinar en que la energía interna permanece prácticamente constante pueden ser los siguientes: el agua contenida en un vaso que permanece a la temperatura ambiente; el agua de un lago profundo, inicialmente quieto, que luego desarrolla grandes olas por efecto de un fuerte viento; un cubo de hielo en el congelador que se mantiene a temperatura estable y el café encerrado en un termo. Si bien sólo este último caso se aproxima a un sistema aislado, en los anteriores tampoco se espera que cambie la energía interna si no cambia la temperatura. Ejemplos de sistemas

en los que hay cambio de la energía interna pueden ser los siguientes: el agua contenida en un vaso que al estar más fría o más caliente que el ambiente intercambia calor con él, un té caliente que se revuelve con una cuchara de metal, un cubo de hielo que se golpea con un martillo, el agua que se calienta en la tetera de una cocina. En todos estos casos los sistemas considerados no están aislados del medio y el cambio de su energía interna resulta una consecuencia de la interacción medio-sistema.

- Ejemplo C

Discuten el modo en que se puede cambiar la energía interna de un sistema.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta es una actividad relativamente simple. Los estudiantes fácilmente reconocerán tres maneras de cambiar la energía interna de un sistema como un gas: variando su masa, calentándolo o enfriándolo, y realizando trabajo sobre él. Este último caso puede ilustrarse con ejemplos como los siguientes: al empujar el pistón de una jeringa o bombín de bicicleta que contiene aire éste empuja las moléculas colindantes traspasándoles energía; doblando sucesivamente en un mismo sitio un alambre galvanizado; golpeando en un mismo sitio con un martillo una pieza de metal; etc. En todos estos casos se hace sensible el aumento de temperatura, lo que pone de manifiesto el aumento de la energía interna en cada caso.

- Ejemplo D

Analizar desde el punto de vista lógico la condición de equilibrio térmico de dos objetos, estén o no en contacto térmico.

INDICACIONES AL DOCENTE

El estudiante sabe, porque lo ha experimentado y porque en Segundo Año Medio se insistió en ello, que dos cuerpos inicialmente a diferente temperatura, si están en contacto térmico, después de un cierto tiempo alcanzan una temperatura intermedia estable que denominamos temperatura de equilibrio. Este hecho resulta tan evidente que no constituye una dificultad. ¿Pueden, sin embargo, estar en equilibrio térmico dos cuerpos que no estén en contacto térmico? Si no hay contacto, esto es, si no existe la posibilidad de transferencia de energía calórica entre ellos parece en un primer análisis difícil establecer tal condición. Basta sin embargo introducir un tercer cuerpo y el problema se resuelve desde el punto de vista lógico. En efecto, podemos decir que los cuerpos A y B están en equilibrio térmico si A y B lo están independientemente con un cuerpo C. Si el objeto C es un termómetro, entonces si al ponerlo en contacto primero con A marca la misma temperatura que al ponerlo después en contacto con B, se puede decir que A y B están a la misma temperatura y, por lo tanto, en equilibrio térmico.

Este principio lógico es conocido como *ley cero de la termodinámica* y su importancia resulta fundamental, por ejemplo, para definir el propio concepto de temperatura.

Hacer ver que las partes de un sistema pueden no estar en equilibrio térmico unas con otras, como el caso del cuerpo humano en su medio ambiente (hay un continuo intercambio de calor entre ellos), teniendo sentido definir el equilibrio interno de un sistema. Un gas en equilibrio interno sería entonces aquel en que su temperatura y presión son las mismas en todas sus partes.

- Ejemplo E

Diferencian las variables termodinámicas de las magnitudes microscópicas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Conviene que, teniendo como base el modelo de los gases ideales estudiado en la unidad anterior, el alumno o alumna reconozca como variables macroscópicas: su volumen V y masa M y energía interna U , la presión P a que está sometido, la temperatura T a que se encuentra, el trabajo W y el calor Q que intercambia con el exterior. Y como variables asociadas a magnitudes microscópicas: la masa m de las moléculas, su número N , sus velocidades v . Enfatizar que estas variables microscópicas y el modo en que se relacionan permiten explicar el comportamiento de las variables macroscópicas, que son las que se observan experimentalmente y cuyas relaciones están contenidas, por ejemplo, en la ley de los gases ideales. Explicar que para definir el estado termodinámico de una porción de materia por lo general son suficientes dos variables macroscópicas. A modo de ejemplo mencionar que la presión y el volumen especifican completamente el estado de un gas ideal.

- Ejemplo F

Formulan hipótesis destinadas a explicar por qué el agua contenida en un vaso a temperatura ambiente se evapora lentamente haciéndose notoria la reducción de su volumen en algunas horas.

INDICACIONES AL DOCENTE

La experiencia se puede realizar en forma simple dejando un vaso con agua en la sala y observando clase a clase cómo el nivel del agua va bajando (¡suponiendo que nadie se la toma!). Alternativamente puede ser adecuado dar a investigar a los estudiantes el tema en sus casas. Al dar la tarea es conveniente hacer un debate con el fin de especificar las variables termodinámicas macroscópicas que pueden intervenir en el proceso: ¿tal vez el volumen del agua? ¿su temperatura? ¿la forma del recipiente que la contiene? ¿el material del recipiente?, etc. Para realizar un experimento controlado se requerirá algo de paciencia y de varios envases de materiales y formas diferentes. De la forma interesará el ancho del gollete. Puede ser suficiente uno muy ancho y otro muy angosto. Para analizar el efecto de la variable temperatura se puede sugerir a los estudiantes el colocar la misma cantidad de agua en frascos de igual forma y material pero en ambientes a diferente temperatura: un juego en el interior del refrigerador (en la parte baja) y el otro afuera.

Una explicación al alcance de los estudiantes puede ser esta: Las moléculas de agua que se encuentran en el límite que separa agua de aire ambiente en un recipiente pueden tener, en algunos instantes, la rapidez y la dirección necesarias para escapar del agua y salir del vaso. Así el agua se estaría evaporando permanentemente. También moléculas de agua en el aire podrían entrar al líquido por la superficie, aunque en número menor ya que el aire contiene muchas menos moléculas de agua por centímetro cúbico que el agua líquida. Si el gollete del recipiente es angosto el aire en el interior podrá retener más humedad y así retardará la evaporación.

El experimento mostrará a los estudiantes que mientras mayor es la temperatura y más ancho el gollete del frasco, más rápido se evapora el agua. En los casos extremos: al estar cerrado el recipiente evidentemente no se produce evaporación medible y, si el agua se vierte en una superficie plana muy extensa, su evaporación será rapidísima. Como puede verse, el modelo y la observación concuerdan bastante bien.

Puede ser motivante plantear a los alumnos y alumnas preguntas tales como ¿Se producirá también este proceso de evaporación en un cubo de hielo en el interior de una nevera? ¿Se producirá en la Antártida?

Ejemplo G

Discuten acerca de la real existencia de los átomos y moléculas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Si bien los fenómenos que estudia la termodinámica y las relaciones entre las distintas variables macroscópicas resultan muy bien explicadas sobre la base de entes microscópicos muy alejados de nuestra percepción: átomos y moléculas ¿existe alguna evidencia directa de su existencia? Para responder a esta legítima interrogante puede ser oportuno relatar algunas de las primeras evidencias empíricas que se tuvieron al respecto, como por ejemplo el movimiento browniano. Un tema como este puede ser asignado como tarea de investigación bibliográfica en conjunto con el docente de química o biología. Explicar que observando al microscopio granos de polen suspendidos en un líquido, en 1827 el botánico Robert Brown (1773-1858) vio que los granos se movían irregularmente de un lugar a otro, ver figura 2.1. El hecho permaneció inexplicado hasta que en 1905 Albert Einstein (1879-1955) desarrolló una teoría que explicaba la causa de este movimiento. El movimiento de los granos de polen se debe al constante bombardeo que reciben de los átomos y moléculas que conforman el líquido. Esta observación y los estudios de Einstein dieron realidad a los constituyentes atómicos y moleculares de la materia. En internet (véase Anexo E) hay una interesante simulación (applet) del movimiento browniano.

Fig 2.1



(b) Primera ley de la termodinámica

Detalle de contenidos

PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Trabajo mecánico sobre un gas. Formulación de la primera ley y discusión de sus términos. Ejemplos de situaciones en que se la aplica.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad

Analizan el enunciado de la primera ley de la termodinámica y discuten su calidad de extensión de la ley de conservación de la energía mecánica.

- Ejemplo A

Discuten acerca de la posibilidad de enfriar la cocina en verano dejando abierta la puerta del refrigerador.

INDICACIONES AL DOCENTE

Este ejemplo u otro similar puede servir para introducir y motivar el tema. La simple observación de que el refrigerador extrae energía eléctrica de la red basta para aceptar que la propuesta no funcionaría. Conviene sin embargo inducir a los estudiantes a un análisis más detallado, en que se mencione el roce en la compresora del refrigerador, la ampolleta encendida en su interior, etc.

- Ejemplo B

Discuten la termodinámica de un bombín de bicicleta sellado en su extremo. Al accionarlo, distinguen cambios de volumen, presión, temperatura, energía interna del aire en su interior, etc.

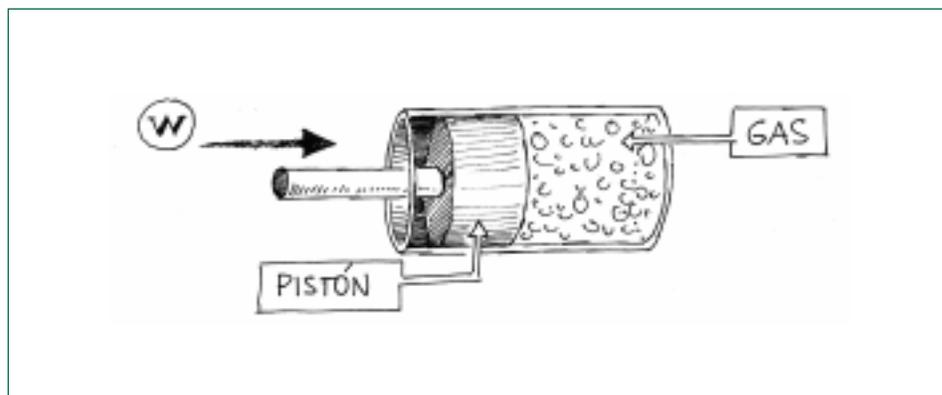
INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad se puede también realizar con jeringas. Hacer ver que en termodinámica se supone que el sistema esté siempre en equilibrio termodinámico, de modo que es difícil el análisis del cambio brusco, el que produce toda clase de inhomogeneidades en el aire encerrado en el bombín. Para hacer un análisis termodinámico los cambios deben ser “cuasiestáticos”, es decir, tan lentos que siempre hay tiempo para que se establezca el equilibrio termodinámico entre las distintas partes del gas y de éste con el medio externo.

- Ejemplo C

A partir de una situación como la que se ilustra en la figura 2.2, proponen alguna relación entre la variación de energía interna que experimenta el gas, el trabajo que realiza la fuerza que el pistón le ejerce y el calor que absorbe del medio.

Fig. 2.2



INDICACIONES AL DOCENTE

Es conveniente orientar a los estudiantes a buscar la respuesta basándose en su intuición, y luego a comprobar las ideas que emergen en base al modelo microscópico. Conviene también hacerles reflexionar sobre el significado de los signos de las magnitudes involucradas. El resultado de esta actividad debe conducir a la expresión para el cambio de la energía interna $\Delta U = Q + W$, donde Q es la cantidad de calor que ingresó al gas y W el trabajo que el pistón hace sobre él. Esta convención de signos se elige para seguir la introducida por el Programa de Química del Tercer Año Medio. Hacer ver que en algunos textos de física se escribe $\Delta U = Q - W$, donde en este caso W se define como el trabajo que el sistema hace sobre un medio externo.

Si el pistón comprime al gas, $W > 0$, lo que contribuye a aumentar la energía interna. Si, además, no hay intercambio de calor con el medio ($Q = 0$), entonces $\Delta U > 0$ y la temperatura sube. Los estudiantes reconocerán en esta expresión una formulación de la ley de conservación de la energía mecánica. Puede ser conveniente visualizar una posible interpretación de este proceso desde el punto de vista microscópico. Así por ejemplo, si despreciamos la interacción de las moléculas del gas, su energía interna inicial U_i corresponderá a la suma de las energías cinéticas de todas las moléculas antes de comprimirlo. Esta se reflejará macroscópicamente en una cierta temperatura inicial T_i . Al mover el pistón éste empujará las moléculas incrementando sus velocidades, lo cual se reflejará en un aumento de la energía cinética total, a U_f y, por tanto, en un aumento de la temperatura del gas, que llegará a T_f .

Analizar también el otro caso extremo en que el pistón no se mueve ($W = 0$) y el gas se calienta, por ejemplo, con un mechero.

Es conveniente resolver algunos problemas numéricos para mostrar, entre otras cosas, que las tres energías de las que nos habla esta ley deben expresarse en la misma unidad. Un ejemplo es el siguiente: Cierta cantidad de vapor de agua encerrada en un recipiente hermético como el que ilustra la figura 2.2 se lo enfría desde 180°C a 120°C , a la vez que se realiza un trabajo externo de 100 joule reduciendo su volumen por medio del pistón. Considerando que el calor específico del vapor es aproximadamente de $1925 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ ¿en cuánto debió variar su energía interna?

Destacar que, si bien el análisis se ha hecho en base a un gas en situación muy controlada, la primera ley como generalización de la conservación de la energía es aplicable en todas las transformaciones que ocurren en la naturaleza.

- Ejemplo D

Experimentan en situaciones simples con la conversión de energía mecánica en calor.

INDICACIONES AL DOCENTE

Lo más simple es frotarse las manos. Otras experiencias que se pueden aprovechar son las siguientes. Distribuir a cada alumno o alumna un trozo de 10 cm de alambre para que lo doblen repetidamente y observen cómo se calienta en el punto de doblez. O, distribuir un elástico delgado a cada estudiante, instándolos a que lo estiren y relajen repetidamente manteniéndolo apoyado sobre un labio.

- Ejemplo E

Discuten acerca del comportamiento de un sistema aislado basándose en la primera ley de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Como un sistema completamente aislado no interactúa con sus alrededores, no hay intercambio de calor con el medio ($Q=0$, proceso adiabático) y el trabajo externo que se realiza es nulo ($W=0$). Aplicando la primera ley de la termodinámica $\Delta U = Q + W$, necesariamente se tiene que $\Delta U = 0$, lo que significa que la energía interna del sistema permanece constante. Este es el caso del café encerrado en un termo.

Puede ser oportuno dar a investigar a alumnos y alumnas el diseño de un termo o botella de Dewar, como se los conoce en física, y comparar este tipo de envase con los trajes que usan los astronautas en sus caminatas espaciales y las vestimentas que usan las personas que se exponen al fuego para evitar quemarse.

Si bien en la práctica no existen sistemas estrictamente aislados o adiabáticos, el Universo sí puede ser considerado como tal. Hacer ver que la expansión adiabática puede ser muy útil en algunos procesos, y ser una buena aproximación. Un ejemplo sería agitar un termo con café.

Ejemplo F

Argumentan acerca de las características de un proceso cíclico basándose en la primera ley de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Un proceso cíclico es aquel que se inicia en cierto estado y termina en el mismo estado. En este caso el cambio de energía interna es nulo ($\Delta U = 0$) y el calor agregado al sistema iguala al trabajo realizado durante el ciclo ($Q = -W$). Como se verá más adelante, este tipo de proceso cíclico es muy importante en la descripción de las máquinas térmicas.

- Ejemplo G

Argumentan acerca de las características de un proceso adiabático y un proceso isovolumétrico basándose en la primera ley de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Por definición de proceso adiabático en el primer caso no sale ni entra calor al sistema, razón por la cual $Q = 0$ y $\Delta U = W$. Este proceso ocurriría, por ejemplo, si un gas en el interior de una jeringa forrada con una camisa de lana o algún otro buen material aislante se expandiera. Como el trabajo realizado por el sistema es positivo, la variación de la energía interna resulta ser negativa y el gas se enfriaría. Si el gas se comprime, el trabajo es negativo, la energía interna es positiva y el gas se calienta.

En el segundo caso, el de un proceso a volumen constante, no hay trabajo ($W = 0$) y en consecuencia $\Delta U = Q$. En otros términos, si se agrega calor a un sistema que se mantiene a volumen constante, éste se ocupa en su totalidad en incrementar su energía interna. Esto es aproximadamente lo que le ocurre a una mezcla de vapor de gasolina y aire cuando explota en el cilindro de un motor a combustión, despreciando claro está el cambio de volumen del cilindro durante la corta duración de la explosión.

En los procesos isobáricos, aquellos que tienen lugar cuando la presión del sistema permanece constante, ni el trabajo realizado ni el calor transferido son en general nulos; o sea, $Q \neq 0$ y $W \neq 0$.

- Ejemplo H

Diseñan, construyen y discuten acerca del funcionamiento de una máquina térmica como la de Hero.

Fig. 2.3



INDICACIONES AL DOCENTE

Para construirla basta un tarro de lata que se pueda cerrar, un par de bombillas para tomar bebidas o de tubos doblados de lápiz pasta, pitilla, un mechero y un poco de agua. Según se ilustra en la figura 2.3, los tubos deben insertarse en perforaciones laterales sellándolos con algún pegamento que soporte bien la temperatura después de doblarlos (con calor en el caso de los de lápiz pasta). Al hacer hervir el agua, el vapor saldrá por los tubos y, como el tarro está colgando, empezará a girar. Discutir este comportamiento procurando guiar a los alumnos a través de un análisis termodinámico primero, y luego basado en la constitución molecular del gas.

Comentar que esta máquina fue inventada por Hero en Alejandría alrededor del año 150 A. de C.

(c) Segunda ley de la termodinámica

Detalle de contenidos

SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Tendencias en el flujo de calor. Procesos reversibles e irreversibles. Formulación de la segunda ley. Sus manifestaciones en la vida cotidiana y en la biología.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad

Analizan la dirección en que fluye el calor en diferentes situaciones.

- Ejemplo A

Describen situaciones en que el calor fluye desde un cuerpo más caliente a uno más frío y situaciones en que ocurra al revés.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que sean los estudiantes quienes propongan los ejemplos. Del primer tipo de proceso encontrarán muchos ejemplos. Mencionarán seguramente que el té o café caliente vertido en una taza entrega calor al medio circundante reduciéndose paulatinamente su temperatura y haciendo que aumente la del cuarto en que se encuentra; la estufa, que en el invierno entrega calor al aire de nuestras casas, a los objetos en ella y a nosotros, etc. Del segundo tipo hay menos ejemplos. Destacan el refrigerador y los sistemas de aire acondicionado. Si bien el funcionamiento de estos artefactos se trató en Segundo Año Medio, puede ser conveniente recordar cómo funcionan.

- Ejemplo B

Discuten y analizan el significado de la frase “el calor no se transfiere espontáneamente de un cuerpo frío a uno a mayor temperatura”.

INDICACIONES AL DOCENTE

Si se ha realizado el ejemplo anterior con algún detalle será fácil aceptar que si bien el calor puede fluir tanto de un cuerpo caliente a uno frío como de uno frío a uno caliente, la segunda situación es a costa de un proceso forzado que no es nada corriente en la naturaleza. Hacer ver que por “espontáneo” aquí se entiende que no ocurre ningún otro efecto que el indicado; si interviene un motor, entonces ya el proceso no es espontáneo. En los ejemplos mencionados, la existencia de un motor

en refrigeradores y sistemas de aire acondicionado revela que la transferencia espontánea de calor es intervenida para que ocurra en sentido contrario.

Puede ser interesante discutir lo que ocurre entre dos cuerpos en contacto e inicialmente, en equilibrio térmico. Por ejemplo, con un vaso con agua que ha estado sobre la mesa algún tiempo. Podemos imaginar que empiece a fluir calor del vaso al aire circundante haciendo que aquel se enfríe y éste se calienta cumpliéndose la ley de conservación de la energía, hasta el punto que el agua se congela. ¿alguien ha observado que algo así ocurra espontáneamente? Ciertamente no. Este es un importante aspecto de la segunda ley de la termodinámica.

Ejemplo C

Comparan diferentes enunciados de la segunda ley de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Por ejemplo, se pueden comparar los enunciados de Kelvin-Planck con el de Clausius y sus correspondientes diagramas, utilizando un cuadro como el siguiente:

Enunciado de Kelvin-Planck		Enunciado de Clausius	
No existe ningún sistema termodinámico cuyo único efecto al evolucionar sea extraer calor de un sistema y realizar trabajo sobre otro.		No existe ningún sistema termodinámico cuyo único efecto al evolucionar sea extraer calor de un sistema y cederlo a otro que está a mayor temperatura.	
En el caso de ceder calor al foco frío se tiene un motor térmico.		En el caso de introducir trabajo en la máquina se tiene un frigorífico o una bomba de calor.	

Ejemplo D

Estudian el funcionamiento de los motores a combustión.

INDICACIONES AL DOCENTE

A los alumnos y alumnos interesados en la mecánica automotriz puede ser conveniente dar a investigar el funcionamiento de los motores a combustión interna desde el punto de vista termodinámico. Es importante que en este trabajo incluyan a los motores bencineros de uno, dos, tres y cuatro tiempos. También pueden investigar las diferencias entre estos motores y la tecnología Diesel, comparando también con motores eléctricos y sus respectivos efectos ambientales. En internet y enciclopedias de multimedia hay interesantes simulaciones que pueden ser de gran utilidad en este estudio.

Este es un buen momento para comprender con mayor profundidad el origen de la contaminación que produce este tipo de motores y su impacto medio ambiental en las grandes ciudades.

Ejemplo E

Realizan un trabajo acerca de la interacción térmica entre los animales y el ambiente.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta investigación requerirá del uso de enciclopedias y/o de internet. Se pretende que el estudio responda preguntas como las siguientes: ¿Cuáles son las temperaturas típicas de mamíferos, insectos, lagartos? ¿En qué dirección ocurre el intercambio de calor con el medio ambiente, generalmente más frío? ¿Qué importancia tiene para la vida el mantener la temperatura humana entre 34 y 40° C? Si los animales entregan calor al ambiente, ¿cómo compensan esta pérdida de energía?, etc.

Ejemplo F

Discuten la posibilidad de considerar la atmósfera terrestre como una máquina de calor.

INDICACIONES AL DOCENTE

Conducir al alumnado a reconocer que la atmósfera se comporta como una gigantesca máquina térmica, con la fuente de calor en el ecuador y la de enfriamiento en los polos. La diferencia de temperatura entre los dos da lugar al movimiento sobre la superficie del planeta de grandes masas de aire (circulación atmosférica), el cual transporta aire caliente hacia los polos y aire frío hacia el ecuador.

Si se ha tratado en el curso el concepto de eficiencia de las máquinas térmicas, conviene destacar que la de esta máquina, o sea la capacidad de transformar calor en trabajo, es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y la de enfriamiento, e inversamente proporcional a la temperatura del ecuador. Estimaciones aproximadas indican que la eficiencia de la atmósfera como máquina térmica es del orden de 2%, lo que significa que de la energía que nos llega del Sol sólo esa cantidad es transformada en energía cinética en las masas de aire y que observamos como viento, tornados y huracanes.

(d) Entropía

Detalle de contenidos

ENTROPÍA

Definición de Clausius para procesos reversibles y discusión de su significado en base a situaciones simples.

ENTROPÍA Y DESORDEN

Interpretación desde el punto de vista del aumento del desorden en los sistemas físicos. Reformulación de la segunda ley en términos de la entropía. Interpretación desde el punto de vista de la degradación de la energía.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

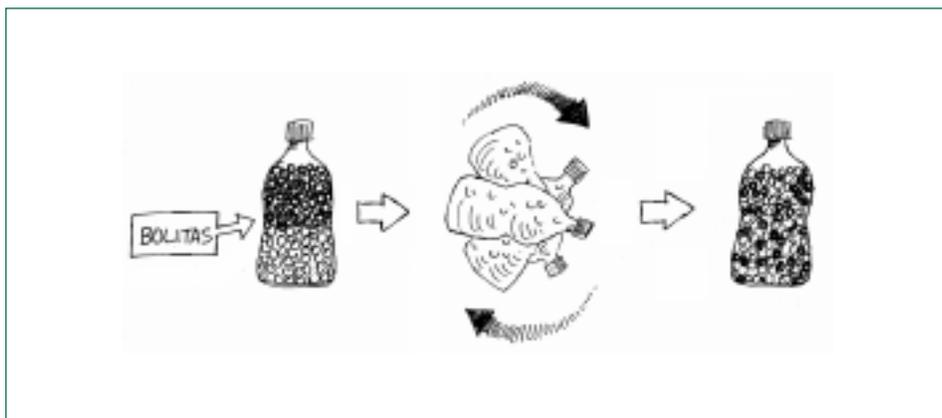
Actividad 1

Observan y discuten qué ocurre con el desorden en diversos sistemas físicos a medida que evolucionan.

- Ejemplo A

Vierten en una botella 50 bolitas blancas y encima 50 bolitas negras. Discuten qué ocurrirá con las bolitas al agitarlas, volteando al mismo tiempo la botella. Verifican experimentalmente su predicción. Discuten luego la posibilidad, volteando y agitando nuevamente la botella, de dejar las bolitas negras abajo y las blancas arriba.

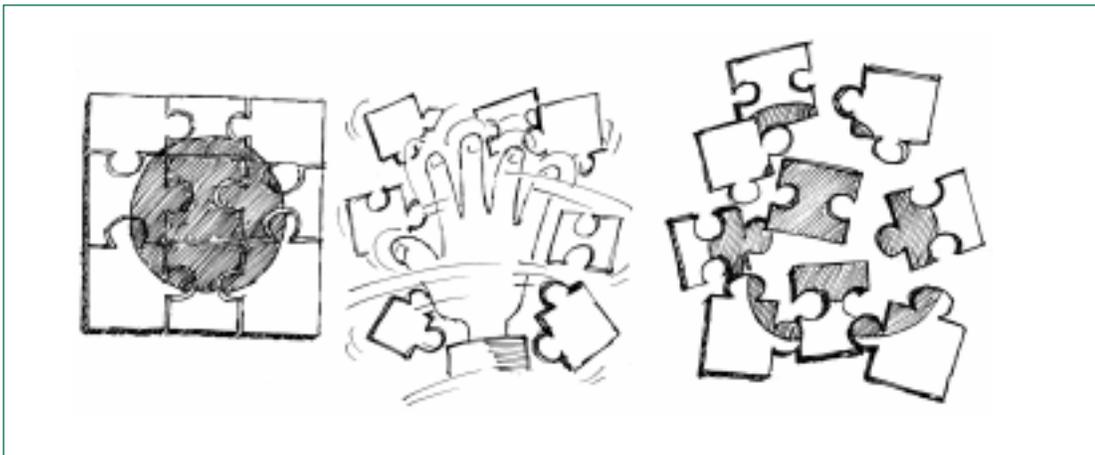
Fig. 2.4



INDICACIONES AL DOCENTE

Si bien esta actividad (figura 2.4) puede realizarse de muy diversas formas, pudiera parecer superflua pues una persona que no sabe física puede predecir acertadamente lo que ocurrirá, así como la improbabilidad de conseguir el efecto inverso. Sin embargo, desde el punto de vista didáctico será siempre ilustrativo realizar este ejemplo o uno equivalente, como el agitar un rompecabezas previamente armado como el que se ilustra en la figura 2.5. El movimiento desordenará siempre las piezas y nunca aparecerá la imagen oculta al agitarlas nuevamente.

Fig. 2.5



Es el momento de analizar la diferencia entre un sistema ordenado y uno desordenado. Si el estado en que se encuentra el sistema puede ocurrir de una sola manera siendo así altamente improbable, dicho estado será ordenado. Por otra parte, si el estado puede producirse de muchas maneras, es decir, siendo en el caso extremo el más probable del sistema, su grado de desorden será máximo. Para fijar estos conceptos conviene ilustrarlos con algunos ejemplos. Un castillo de naipes, las letras de un libro, las notas musicales de una orquesta tocando una sinfonía, las estrellas de una galaxia, etc. son sistemas muy ordenados. Las moléculas de un gas en equilibrio térmico, la arena de una playa y una orquesta afinando los instrumentos constituyen en cambio ejemplos de sistemas muy desordenados. Los propios estudiantes podrán proponer otros ejemplos.

Indicar que los procesos que involucran a la materia inanimada espontáneamente tienden al desorden, mientras que aquellos que involucran organismos vivos, luchan con su entorno inanimado intentando mantener el elevado nivel de orden u organización que los caracteriza, aunque finalmente la muerte (y la desorganización que provoca) se impone.

- Ejemplo B

Dan ejemplos de procesos físicos reversibles y otros no reversibles.

INDICACIONES AL DOCENTE

Después de que el profesor o profesora introduzca y explique un ejemplo de cada tipo, con seguridad los estudiantes podrán proporcionar muchos otros. Un caso reversible sería el enfriar agua hasta que se congele: al calentar el hielo resultante, vuelve a su estado de agua líquida original. Un vaso de vidrio que cae desde una mesa al suelo y se quiebra en mil pedazos no subirá a la mesa ni reconstituirá nuevamente en forma espontánea. Un huevo crudo al cocinarlo cambia a huevo duro, pero al enfriarlo ya no regresa a su estado original. Un papel que se quema originará cenizas las cuales al enfriarlas tampoco regresarán al estado original. Dos cuerpos inicialmente a distinta temperatura si están en contacto después de un tiempo alcanzarán una temperatura de equilibrio. Nunca observamos en cambio que al juntar dos cuerpos a igual temperatura uno de ellos se enfríe mientras el otro se calienta.

Para reforzar estas ideas puede resultar entretenido imaginar la filmación de diferentes procesos y clasificarlos entre aquellos en que si la película se pasa en un u otro sentido resultan indistinguibles, y aquellos en que al pasarla en sentido inverso nos resultan claramente imposibles. Si el film trata de una piedra que cae rebotando en el suelo hasta quedar en reposo, efecto que hemos visto muchas veces, nos resultará risible si se proyecta en sentido inverso, pues nunca hemos visto una piedra en reposo en el suelo que empieza a dar pequeños saltos y termina subiendo.

- Ejemplo C

Discuten sobre la posibilidad de construir máquinas que transformen energía mecánica en eléctrica, sin que al menos una parte de ella se disipe en forma de calor.

INDICACIONES AL DOCENTE

La actividad puede iniciarse realizando en conjunto con alumnos y alumnas un cuadro que muestre en una columna un dispositivo doméstico (por ejemplo, un ventilador), y en otras dos la energía que alimenta al sistema (electricidad) y la que resulte (mecánica, el movimiento de las aspas). El propósito final es que el alumnado reconozca que en los procesos en que hay conversiones entre distintos tipos de energía, siempre una parte termina disipándose en forma de calor. Basta examinar cualquier ejemplo del entorno para apreciar esta situación. La energía eléctrica que en una ampolla se convierte en energía luminosa constituye un ejemplo dramático, pues en el proceso una cantidad importante de energía se convierte en calor y no en luz. Lo mismo ocurre con los motores eléctricos; como el taladro, por ejemplo, en el cual la energía eléctrica que debe convertirse en rotación también genera calor. Otro ejemplo es el de los motores a combustión de los automóviles. Este invento tiene el propósito de convertir la energía del combustible en energía cinética; sin embargo, los motores se calientan bastante, disipando al medio una cantidad importante de energía térmica, la cual no puede ser aprovechada por el motor para producir movimiento.

Es importante que los alumnos y alumnas reconozcan que no sólo no hay máquinas que generen más energía que la que se les suministra, sino que la naturaleza impide que toda la energía

disponible pueda ser completamente aprovechable si no es en forma de calor. Esta es la razón por la cual se dice que la energía se degrada. En otros términos, si bien la primera ley de la termodinámica aclara que la energía se conserva, la segunda establece que no todos los procesos en que se conserva la energía son posibles en nuestro universo.

Si hay tiempo puede resultar motivante para los estudiantes el mencionar que en este principio se basa la imposibilidad de la máquina de movimiento perpetuo. Este tema se presta para un trabajo de investigación bibliográfica.

Actividad 2

Analizan y aplican el concepto de entropía desde el punto de vista cuantitativo. Lo comparan con la medida del orden de un sistema y con la degradación de la energía.

- Ejemplo A

Analizan el significado de la entropía como variable de estado de un sistema y su conveniencia para expresar la segunda ley de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad deberá estar precedida por una adecuada definición del concepto de entropía por parte del docente. Una forma de presentarlo es hacer que los estudiantes imaginen un proceso reversible que ocurre a temperatura constante cuando al sistema se le agrega cierta cantidad de calor ΔQ . En vez de subir la temperatura, el calor produjo la entropía $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$. Notar que cuando el sistema absorbe calor, ΔS es positivo y su entropía aumenta.

Durante un cambio de fase, por ejemplo de agua a vapor, la temperatura no cambia y una gran cantidad de calor puede ser absorbida por el sistema. Este hecho puede usarse para vincular la entropía al desorden, evidentemente mayor para las moléculas en un gas que en un líquido. Es importante recalcar que S expresa la medida del desorden que caracteriza a un sistema, es decir, expresa cuantitativamente lo que se analizó en la actividad 1. Conviene analizar algunos ejemplos para ver esta relación.

Sobre la base del concepto de entropía la segunda ley de la termodinámica puede expresarse diciendo que en todos los sistemas físicos aislados la entropía o permanece constante o crece.

Comentar que la definición de entropía, así como la palabra misma, fueron introducidas en 1865 por Rudolph Clausius (1822-1885). Entropía se deriva de la palabra griega “transformación”, por su semejanza con la palabra energía y la aparente similitud entre ambos conceptos.

Ejemplo B

Discuten qué ha ocurrido con la entropía del Universo en su evolución desde el Big Bang hasta nuestros días.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede darse como tema de investigación bibliográfica a alumnos y alumnas interesados en la cosmología.

Ejemplo C

Analizan lo que ocurre en los procesos en que hay transporte de información, como por ejemplo cuando dos personas se comunican por medio de teléfonos en que hay un fuerte ruido de fondo.

INDICACIONES AL DOCENTE

Orientar la discusión a concluir que el contenido de la información que se transporta en procesos de comunicación como el descrito posee, en su origen, un elevado grado de organización u orden y que en su destino, en el mejor de los casos, será igual, pero nunca se incrementará. En efecto, lo más probable es que en la comunicación telefónica se pierdan palabras. Normalmente estas pérdidas pueden deducirse a través del contexto.

Mencionar que es posible asociar la entropía con la información, expresando con rigor matemático que a mayor información, menor entropía.

Como una actividad ilustrativa se puede dar a leer a un alumno un texto breve que contenga información que no conoce. Este alumno luego se lo reproduce en voz baja a otro, y así varias veces para al final cotejar lo que recibe el último con el contenido inicial del texto. Las distinciones, pudiendo mantener la coherencia lógica, revelarán pérdida de la información original.

Otro ejemplo que muestra pérdida de información es el fotocopiar una imagen sucesivamente varias veces en una máquina de poca resolución. Este aumento de desorden se vincula a un crecimiento de entropía.

- Ejemplo D

Observan el proceso de difusión de una gota de tinta en un vaso con agua y lo analizan desde el punto de vista de la entropía del sistema.

Fig. 2.6



INDICACIONES AL DOCENTE

Al caer una gota de tinta china al agua se empieza a difundir hasta quedar repartida homogéneamente en todo el líquido (figura 2.6). Si el agua está a baja temperatura el proceso será más lento que si se encuentra caliente.

Además de ilustrar el segundo principio de la termodinámica a través del incremento permanente de la entropía durante la difusión, este ejemplo puede aprovecharse para ejemplificar un proceso irreversible.

Discutir por qué el ejemplo muestra aumento de entropía, destacando que no hay intercambio de calor pero sí el paso de cierto orden: la tinta aquí, el agua allá, a un estado desordenado en el cual no quedan vestigios de la agrupación inicial de las moléculas de tinta.

Ejemplo E

Escriben un artículo sobre el desarrollo histórico de la termodinámica.

INDICACIONES AL DOCENTE

La idea puede consistir en ubicar cronológicamente a las personas que contribuyeron a su desarrollo, algunos detalles de sus biografías y de sus aportes a la ciencia. No deben estar ausentes: Robert Boyle (1627-1691), John Dalton (1766-1844), Amadeo Avogadro (1776-1856), Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), James Watt (1796-1819), Nicolás Léonard Sadi Carnot (1796-1832), James Prescott Joule (1818-1889), Rudolf Clausius (1822-1888), Lord Kelvin (William Thomson) (1824-1907), Ludwig Boltzman (1844-1906). Una alternativa es centrar el trabajo en exponer el desarrollo histórico de los conceptos mismos de termodinámica, o en las aplicaciones tecnológicas que se derivan de esta rama de la física.

(e) El caos

Detalle de contenidos

CAOS

Definición de estado caótico de un sistema. Ejemplos de situaciones cotidianas en que se manifiesta un estado caótico.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad 1

Analizan el significado corriente del vocablo caos y lo comparan con su acepción científica.

- Ejemplo A

Buscan en diccionarios y enciclopedias el significado de la palabra caos. Leen y analizan algún artículo reciente acerca de a la teoría del caos. Proponen y analizan ejemplos.

INDICACIONES AL DOCENTE

La palabra caos, de origen griego, en su uso cotidiano es sinónimo de desorden, de desorganización. Entre los ejemplos de situaciones en que ordinariamente observamos caos en este sentido pueden mencionarse el desorden típico en las habitaciones de los adolescentes, el que se produce en las clases con ciertos profesores, lo que ocurre en las salidas a recreo, etc. En el contexto de la física, se habla de estado caótico de un sistema, como una situación en la cual un pequeñísimo cambio en las condiciones iniciales con que parte un sistema produce diferencias que crecen exponencialmente en su evolución temporal. Se trata de estados cuya evolución es extraordinariamente sensible a las condiciones iniciales.

Un ejemplo de sistema en estado caótico es la atmósfera terrestre. Para ilustrarlo se puede mencionar el clásico “efecto mariposa” según el cual el aleteo de una mariposa en el desierto chileno (o cualquier otro lugar del mundo) puede causar un huracán a miles de kilómetros de distancia; los descalabros económicos, como quiebra de compañías e incluso recesiones a nivel nacionales y mundiales producidos por pequeños cambios en los valores de ciertas acciones en las bolsas de comercios, etc.

Es importante destacar que caos y azar no son lo mismo. Un sistema en que domina el azar no es necesariamente caótico y viceversa. En el estado caótico hay cierto orden, muy estudiado por físicos y matemáticos en el último tercio del siglo XX, que los sistemas desordenados en general no poseen.

Después de que el profesor o profesora dé este tipo de ejemplos, instar a los estudiantes a proponer otros. Ello permitirá detectar si se ha comprendido adecuadamente el concepto.

Ejemplo B

Realizan una investigación bibliográfica, apoyándose en enciclopedias, textos de divulgación científica o internet, del origen histórico de la teoría de caos y su importancia.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es interesante que el estudiantado sepa la historia del meteorólogo Edward Lorenz, quien al intentar resolver ecuaciones para predecir el clima con un programa de computadora, dio con esta novedosa noción. Observó que al cambiar ligeramente los datos introducidos al programa salían resultados completamente diferentes, no obstante esperar, de acuerdo con las ideas convencionales, sólo pequeños cambios.

Lorenz publicó estas ideas el año 1963 en una revista de meteorología pasando inicialmente inadvertidas, reconociéndose su valor sólo años más tarde cuando fueron redescubiertas por otros investigadores. Él estudió la rueda de agua que se describe en la actividad 2.

- Ejemplo C

Proponen y discuten diversas situaciones cotidianas en que pequeños cambios iniciales producen grandes efectos en la evolución futura del sistema.

INDICACIONES AL DOCENTE

Entre los ejemplos podrán surgir el caso de un lápiz apoyado en la punta y que se deje caer, un péndulo invertido, un castillo de naipes a punto de caer, un terremoto a punto de ocurrir, una economía a punto de desplomarse, etc.

Hacer notar que el estado caótico de un sistema se caracteriza con todo rigor matemáticamente como aquél en que las trayectorias futuras se apartan exponencialmente con el tiempo. Muchas situaciones, aunque reflejan sensibilidad a las condiciones iniciales éstas no son “extremas” (exponenciales) y por ello el estado no es estrictamente caótico. Por ejemplo, en el caso del lápiz descansando sobre su pupitre, es fácil apreciar que las trayectorias se apartan cuadráticamente y no exponencialmente con el tiempo. Para ello basta considerar el movimiento de un punto del lápiz como si cayera libremente, variando su altura como $y = -\frac{1}{2}gt^2$. Mencionar que cuando el apartamiento de las trayectorias es como una potencia del tiempo (t , t^2 , t^3 , etc.) se suele hablar de “caos débil”.

- Ejemplo D

Discuten el significado para la predictibilidad del futuro de que pequeñas diferencias en el estado inicial de un sistema físico puedan significar, después de cierto tiempo de evolución, grandes diferencias en su destino.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede darse de tarea a los alumnos y las alumnas interesados en la filosofía. Se les puede proponer, por ejemplo, escribir un ensayo a exponer en clases, o a publicar en una revista escolar. En la discusión puede surgir la pregunta si aquello de que nos habla la teoría del caos es una limitación impuesta por la naturaleza a la posibilidad de predecir con certeza su comportamiento futuro, como ya ocurre debido al principio de incertidumbre, o se trata más bien de una limitación práctica, siempre superable mejorando la instrumentación.

Ejemplo E

Observan y describen una figura fractal.

INDICACIONES AL DOCENTE

Un breve trabajo en torno a los fractales puede ser muy motivador. Bastará con mencionar que en situaciones caóticas es posible encontrar trayectorias del sistema que tienen formas fractales. Figuras fáciles de dibujar y atractivas de describir son la golilla de Sierpinski y el copo de nieve de Koch. Hay programas computacionales muy simples que las dibujan en la pantalla del computador en tiempo real. Recomendar la búsqueda de información al respecto en internet (ver Anexo E). Esta tarea puede ser dada a los estudiantes con vocación en las artes visuales.

Los estudios en torno a fractales han tenido importancia, además de en meteorología (predicción de huracanes y tornados, de la caída de rayos en las tormentas eléctricas), en geología (formación de montañas y accidentes geográficos, predicción de sismos), en biología (desarrollo de las bacterias o de la evolución de las especies, por ejemplo), en economía (modo en que fluctúan las acciones en la bolsa de comercio, por ejemplo), en astronomía (distribución de las galaxias en el universo y de las estrellas en las galaxias).

Actividad 2

Experimentan con sistemas caóticos.

Ejemplo A

Construyen y observan el funcionamiento de una rueda de agua.

INDICACIONES AL DOCENTE

Usando alambre galvanizado, alicate y unos cuantos vasitos de plástico con una pequeña perforación en el fondo es posible construir esta rueda. Al final se ve similar a la de los parques de entretenimientos, según se ilustra en la figura 2.7, de modo que la boca de los vasos mire siempre hacia arriba.

En el patio del liceo se puede proceder a echarle agua a uno de los vasos. Es importante analizar lo que ocurre con la rueda al variar la corriente de agua. Si el agua se echa lentamente, ella saldrá por el orificio inferior y prácticamente no ocurrirá nada. Si se aumenta un poquito el flujo de agua la rueda empezará a girar debido a que el agua entra en los vasos más rápido que lo que sale. El sistema mostrará un comportamiento estable rotando en un mismo sentido casi a rapidez constante. Si se aumenta aún más la corriente de agua se observará que el sistema empieza a variar su rotación, llegando incluso a invertir en ciertos momentos su sentido de rotación. El caos se ha hecho presente.

Intentar no desperdiciar el agua. Realizar la experiencia aprovechando de regar el césped, por ejemplo.

Fig. 2.7



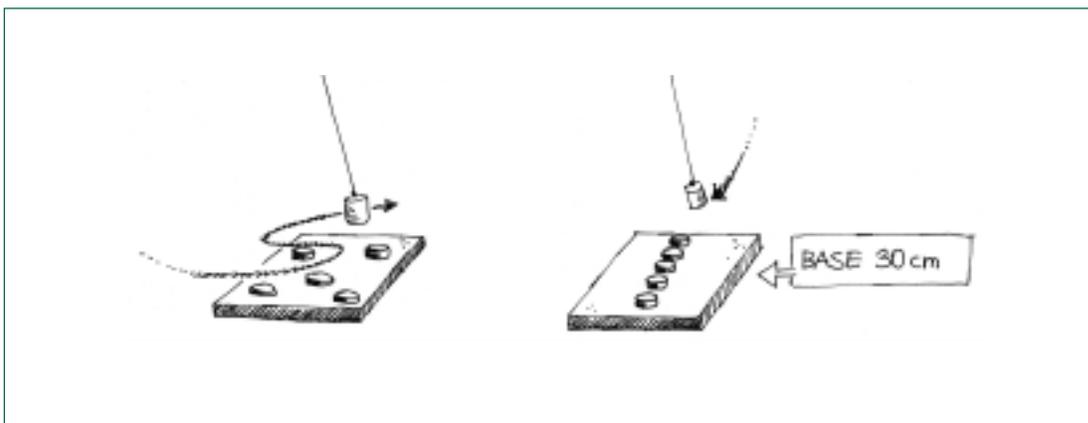
- Ejemplo B

Observan y analizan el movimiento de un péndulo caótico.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia puede realizarse distribuyendo al azar un conjunto de pequeños imanes adheridos a una superficie cuadrada de unos 30 cm de lado. Otro pequeño imán que cuelga de un hilo de unos 2 m de longitud se hace oscilar como péndulo inmediatamente encima del cuadrado, observándose que sigue una trayectoria impredecible. Véase figura 2.8. El sistema está gobernado por el caos. El juego puede consistir en tratar de lanzar el péndulo de modo que en distintas ocasiones se mueva del mismo modo. Probar con los imanes ordenados (un cuadrado, por ejemplo) y desordenados.

Fig. 2.8



- Ejemplo C

Experimentan con la gotera de una llave.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta experiencia puede ser muy ilustrativa. La idea es escuchar el ruido de una gota que cae, para distintos grados de apertura de la llave. Si ésta es poca, el goteo es periódico (ordenado); si es mayor, eventualmente se transforma en caótico. Este sistema se ha investigado en detalle, quedando demostrado rigurosamente su carácter caótico. Si el goteo lo recibe un micrófono protegido para que el agua no lo inutilice y el sonido se amplifique, el efecto podrá ser apreciado por la clase entera. Alumnos o alumnas interesadas en sonido podrán diseñar y montar el dispositivo.

Unidad 3

El mundo cuántico

Contenidos Mínimos

- a. Dualidad onda-corpúsculo en la materia. Relaciones de Louis de Broglie.
- b. Análisis del átomo de hidrógeno de Niels Bohr a la luz de las relaciones de de Broglie.
- c. La noción de función de onda y sus consecuencias sobre la descripción del átomo. Interpretaciones acerca de su significado.
- d. Ensayo acerca de un tema termodinámico o física cuántica, por ejemplo su origen histórico, su importancia para comprender los fenómenos, sus aplicaciones, etc. Uso de diversas fuentes de información como libros y revistas técnicas o de divulgación, enciclopedias, bases de datos, etc.

Aprendizajes esperados

Al completar la unidad alumnos y alumnas:

- reconocen que en el ámbito atómico la física no rige en la forma determinista concebida por Newton a través de su segunda ley, siendo modificada por la física cuántica, que predice sólo la probabilidad de eventos.
- diferencian, caracterizan y reconocen los conceptos de partícula y onda, como abstracciones genéricas útiles para describir algunos fenómenos cotidianos;
- pueden aplicar las relaciones de Louis de Broglie a situaciones simples del ámbito atómico;
- conocen el modelo planetario de Niels Bohr para el átomo;
- conocen a un nivel elemental el rol de la función de onda en la descripción de los fenómenos atómicos, y su significado como amplitud de probabilidad;
- aprecian la preeminencia de la física cuántica en la tecnología moderna: rayos láser, electrónica, medicina nuclear, etc;
- aprecian el valor de la simplicidad en los modelos científicos, y la necesidad de hacerlos más complejos cuando ello es requerido para ajustarse a la observación.

Recomendaciones al docente

El material de esta unidad se encuentra en libros de física moderna, buenas enciclopedias, libros de divulgación y algunos textos de física general modernos. La expectativa en esta unidad es que alumnos y alumnas adquieran nociones muy básicas, aunque correctas y rigurosas en su planteamiento.

El trabajo en el aula se puede complementar con lecturas asignadas de aspectos históricos del desarrollo de la física cuántica. Se encarece la importancia del ensayo, parte (d), el que idealmente será asignado a cada alumno y alumna al iniciarse el curso, y desarrollado a lo largo de él.

(a) Dualidad onda - corpúsculo

Detalle de contenidos

EL CONCEPTO DE DUALIDAD EN LA MATERIA

El caso de la luz: comportamiento corpuscular en la óptica geométrica (espejos y lentes), y ondulatorio en la óptica física (difracción e interferencia). La disputa de Newton y Huygens en torno a la naturaleza de la luz.

RELACIONES DE LOUIS DE BROGLIE

Relación entre momentum y longitud de onda, y entre energía y frecuencia, como expresión matemática del dualismo.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad 1

Analizan los conceptos de partícula y de onda como descripciones diferentes de la realidad, y los caracterizan mediante ejemplos. Discuten el caso de la luz, incluyendo la perspectiva histórica.

- Ejemplo A

Observan el comportamiento de una pelota que es lanzada, luego rebota y es atrapada, y describen lo que ocurre cualitativa y cuantitativamente. Hacen lo mismo con la vibración de una cuerda tensa. Reflexionan acerca de la mejor forma de expresar lo que observan en términos de magnitudes medibles, apuntando a diferenciar ondas y partículas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene por objeto dar contenido a los conceptos de partícula y onda, para que no sean manejados como meras palabras sino como abstracciones de objetos y comportamientos reales y cotidianos. Poner énfasis en las variables “posición y velocidad del centro de masa” en el caso de la partícula, y “longitud de onda, período y amplitud” en el caso de la onda. Recordar que habitualmente en una onda no hay transporte de masa, aunque sí de energía. El ejercicio permitirá afinar las definiciones de partícula y onda, en particular su habilidad para describir situaciones de la realidad. Preguntarse, por ejemplo, qué simplificaciones implican modelar una pelota de ping pong o un huevo como una partícula, o el sonido de una campana como una onda. Si el nivel del curso lo permite, se pueden hacer alcances cualitativos a los conceptos básicos del análisis de Fourier.

- Ejemplo B

Hacen un listado de fenómenos cotidianos que pueden ser descritos adecuadamente mediante los conceptos de partícula o de onda. Reflexionan acerca de posibles situaciones ambiguas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Objetos del ámbito cotidiano que pueden ser bien descritos como partículas son todo tipo de proyectiles y el sistema planetario; comportamientos ondulatorios tienen las ondas de luz, sonido, sísmicas, olas extendidas en la superficie del agua, cuerda vibrante en una guitarra. Ambigüedad puede encontrarse si se trata de entender la propagación de una onda con un modelo microscópico: masas unidas por resortes, átomos que chocan en un gas, etc. Reflexionar acerca de la existencia de diversas escalas de descripción que se usan en física (e.g. lo macro y lo microscópico), en las cuales los modelos para un mismo fenómeno pueden diferir.

- Ejemplo C

Se informan acerca de la controversia entre Isaac Newton y Christian Huygens en torno a la naturaleza de la luz.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede ser dada como tarea para la casa, y encomendada a voluntarios para ser relatada en clase. La historia es interesante e ilustra muy bien cómo se van formando los conceptos en física, su a veces larga gestación, los conflictos entre personas y teorías alternativas que pueden ocurrir, el rol de la experimentación en zanjar las diferencias. Enfatizar todos estos aspectos.

- Ejemplo D

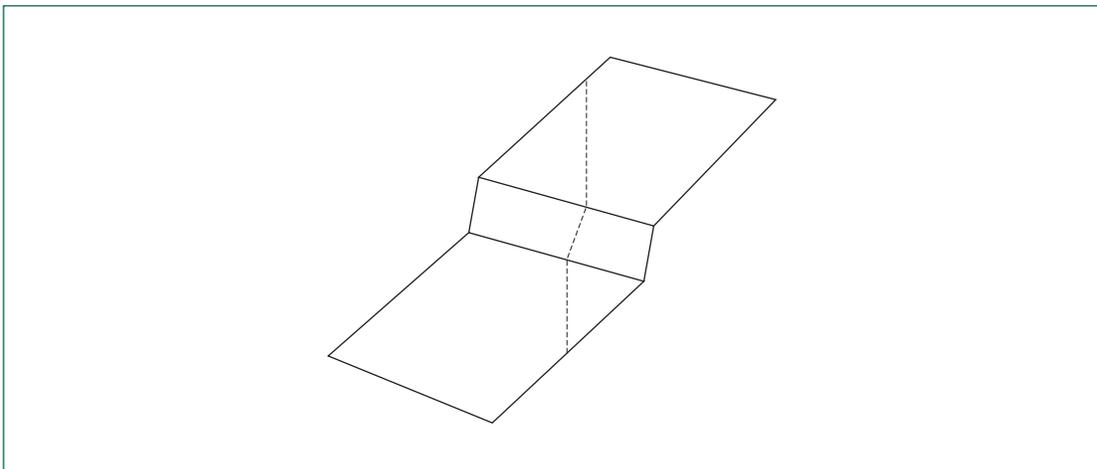
Elaboran modelos que simulan el comportamiento dual de la luz, destacando las circunstancias en que se comporta como onda o como partícula.

INDICACIONES AL DOCENTE

La controversia entre Newton y Huygens a que se refiere el ejemplo anterior estuvo marcada por el estado de desarrollo de la física de su época (siglo XVII), la emergente mecánica para cuerpos con masa y las ideas ondulatorias inspiradas en la observación de ondas superficiales en el agua, cuerdas vibrantes, etc. Es interesante que alumnos y alumnas se enfrenten a dichas observaciones y hagan modelos en base a ellas. Por ejemplo, se puede modelar el experimento de interferencia en la doble rendija (Young) mediante ondas en el agua, usando una cubeta de ondas o hacer el experimento de Young con un puntero láser y una doble rendija. El comportamiento corpuscular típicamente se ilustra por medio de la reflexión y refracción, las cuales se pueden modelar a través de la mecánica. Por ejemplo, la refracción de la luz al pasar por una interfase plana aire-vidrio se puede simular haciendo rodar una bolita por dos superficies horizontales a diferentes niveles, conectadas por un plano inclina-

do (figura 3.1). El modelo se puede hacer con madera o cartón. La bolita cambia bruscamente de trayectoria en las intersecciones de los planos, cambiando también su velocidad. Un papel carbón sobre la superficie mostrará la trayectoria y resultará particularmente elocuente si luego de realizar el experimento se muestra estirado. Esta experiencia es muy ilustrativa, pues muestra además cómo la modelación analógica puede inducir a error. Mencionar que las ideas corpusculares de Newton, hoy aceptadas en el contexto de la física cuántica, sufrieron un duro revés histórico cuando se demostró que la velocidad de la luz en un medio más denso que el aire (agua, vidrio, etc.) es inferior a la del vacío, contrariamente a lo que el modelo mecánico ilustrado en nuestro ejemplo sugiere.

Fig. 3.1



Actividad 2

Reflexionan acerca del dualismo onda-corpúsculo de la materia. Aplican las relaciones de Louis de Broglie al modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno y otras situaciones sencillas.

- Ejemplo A

Discuten acerca de la naturaleza dual de la luz, y sus manifestaciones a veces como onda, a veces como partícula (fotón).

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad se presta para contrastar los métodos usados por la óptica: uno meramente geométrico apropiado para un comportamiento balístico de la luz, y otro centrado en el concepto de ondas, necesario para tratar la interferencia y la difracción. Motivar a alumnos y alumnas para que reflexionen acerca de situaciones concretas, como la visión, la propagación de ondas de radio y televisión, etc.

- Ejemplo B

Observan el efecto fotoeléctrico y discuten acerca de la naturaleza de la luz como un ente discreto, según se manifiesta en dicho efecto.

INDICACIONES AL DOCENTE

El efecto fotoeléctrico está en la base del funcionamiento de algunas calculadoras de bolsillo cuya fuente de energía es la luz, es decir, se activan sólo si luz incide sobre una “celda fotoeléctrica” dispuesta en su cara frontal. Es también la base de algunas celdas de energía solar que se usan en lugares donde no existe red de energía eléctrica como fuente de poder para telefonía y televisión. Por su cotidianeidad, puede ser una buena ilustración de la luz como corpúsculo. Lo más fácil es observar junto a alumnos y alumnas cómo una calculadora u otro artefacto se enciende sólo cuando la celda se ilumina. Variar la intensidad de la fuente y comentar lo que sucede. Una manera más informativa de visualizar el efecto es ubicando sobre un electroscopio una placa de zinc con la superficie expuesta muy bien pulida con virutilla muy fina o lana metálica (Ver figura 3.2). Se carga el electroscopio con electrones, tocándolo con, por ejemplo, una tira de plástico blanco que se ha frotado previamente con un trozo de lana bien seco, y luego se hace incidir luz ultravioleta sobre el zinc. El electroscopio se descarga entonces rápidamente por efecto de los corpúsculos de luz (fotones), los que liberan uno a uno a los electrones al colisionar y entregarles su energía. Comentar que en el zinc los electrones están como en una caja abierta (un pozo de potencial), de modo que un fotón ultravioleta les entrega energía cinética suficiente como para “saltar” los bordes y escaparse. La observación puede enriquecerse haciendo toda clase de pruebas, como tocar la placa de zinc electrizada con un dedo, cargándola con una tira de plástico (acetato) frotada con seda, etc.

Fig. 3.2



- Ejemplo C

Calculan la longitud de onda asociada a un electrón que se mueve con distintas velocidades, y la comparan con la de una pelota de fútbol en un juego normal.

INDICACIONES AL DOCENTE

Una vez presentadas las relaciones de de Broglie es conveniente aplicarlas a algunos casos de interés para los alumnos y alumnas. Usar en este ejemplo la relación $mv = \frac{h}{\lambda}$, donde h es la constante de Planck. Esta actividad de cálculo se presta para ilustrar cómo se aplica a un electrón esa especie de diccionario entre los lenguajes de onda y partícula que constituyen las relaciones de de Broglie. Incluir una velocidad típica para electrones en el ámbito atómico, por ejemplo, 10^7 m/s, con lo que se obtiene una longitud de onda asociada del orden del diámetro de un átomo. Con esto se demuestra que el ámbito atómico el dualismo es relevante. En cambio, para una pelota de fútbol se obtienen longitudes de onda del orden de 10^{-22} cm, tan pequeñas que resultan completamente irrelevantes para describir su movimiento. Con este ejemplo se recalca la gran diferencia que existe entre los comportamientos en los ámbitos atómico y macroscópico.

- Ejemplo D

Comparan la interpretación clásica con la interpretación cuántica del fenómeno de interferencia cuando un haz de luz llega a una doble rendija.

INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante hacer ver que los objetos cuánticos, a diferencia de aquellos con los que estamos familiarizados en la vida cotidiana (una pelota de ping-pong, por ejemplo), pueden pasar por dos orificios simultáneamente, cosa que la pelota no puede hacer.

(b) Dualidad y el modelo de Niels Bohr para el hidrógeno

Detalle de contenidos

APLICACIÓN DE LA DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO AL MODELO DE NIELS BOHR

Orbitas permitidas del átomo de hidrógeno como ondas electrónicas estacionarias. Confirmación matemática de la equivalencia entre el tratamiento mecánico y el ondulatorio del átomo de hidrógeno.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad

Analizan el modelo de átomo de Bohr considerando al electrón como una onda estacionaria dispuesta en un círculo concéntrico en torno al núcleo.

Ejemplo A

Dibujan el sistema planetario, incluyendo los seis planetas más importantes.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad es sólo para introducir el tema y recordar las órbitas planetarias. Aprovechar la oportunidad para comentar que en la construcción de la ciencia se inicia la búsqueda de una explicación siempre con los modelos más simples, que sólo se hacen más complejos en la medida que resulten incapaces de dar cuenta de lo que se observa.

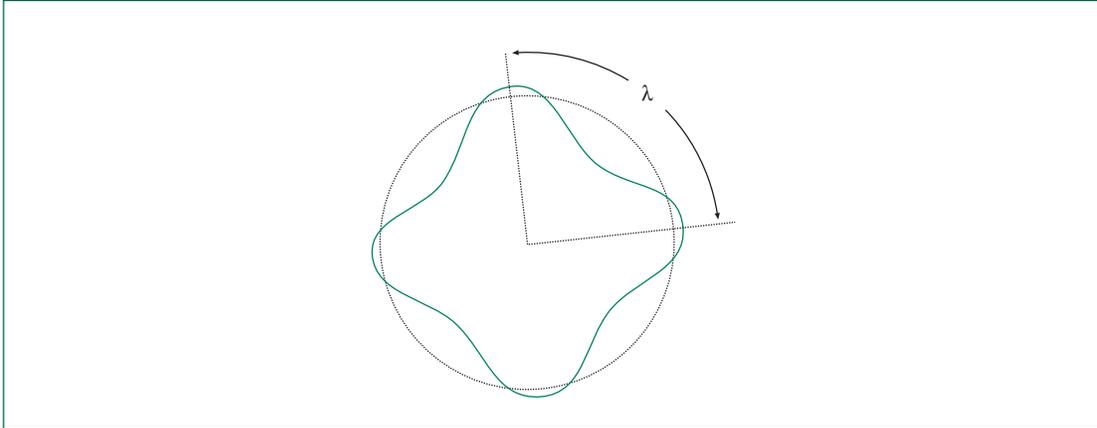
- Ejemplo B

Analizan el modelo atómico de Bohr apelando a la naturaleza ondulatoria de los electrones.

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad es muy recomendable para los cursos más exigentes. Puede ser necesario recordar los contenidos de Primer Año Medio relativos a los modos de vibración de una cuerda fija en ambos extremos, y la formación de ondas estacionarias. Mostrar que las relaciones $mv = \frac{h}{\lambda}$ (de Broglie) y $2\pi r = n\lambda$ (condición para que se forme una onda estacionaria en un círculo de radio r), conducen a las reglas de cuantización de Bohr. Ver figura 3.3

Fig. 3.3



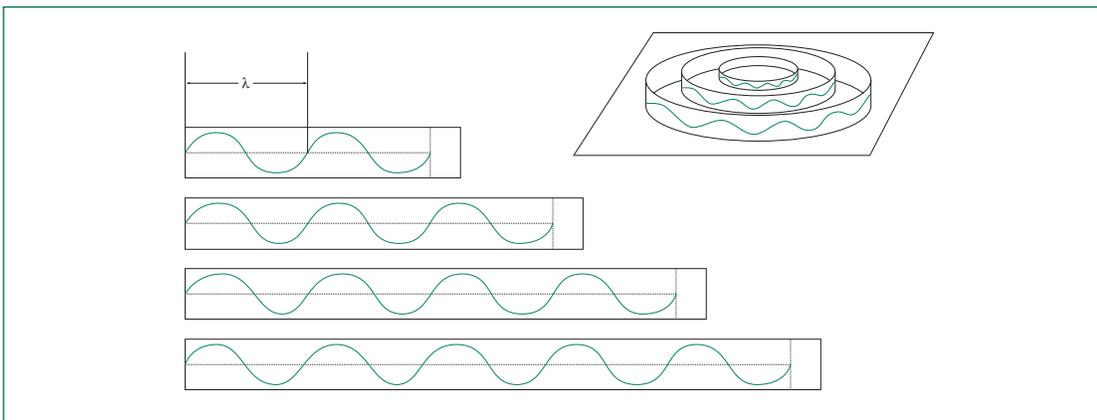
- Ejemplo C

Simulan ondas estacionarias de materia (electrones) según el modelo de Bohr, utilizando tiras de cartulina de unos 1,5 cm de ancho. Sobre ellas dibujan ondas de una específica longitud de onda (por ejemplo $\lambda = 3$ cm) y cortan las tiras para 2λ , 3λ , 4λ , etc. pegándolas luego en forma concéntrica sobre una cartulina plana, mostrando así los orbitales que propone el modelo.

INDICACIONES AL DOCENTE

En la figura 3.4 se ilustra este trabajo, el que permite apreciar cómo se conforman los orbitales propuestos por Bohr. Es conveniente dejar en cada tira 1 cm demás para poder pegarla con el otro extremo. Se puede sugerir a los estudiantes que dibujen las ondas en las huinchas de papel por medio de la computadora. Para centrar las huinchas sobre la cartulina que les servirá de base es conveniente trazar las circunferencias con compás, para lo cual hay que calcular previamente el radio de cada una de ellas. Teniendo presente que el perímetro p de cada circunferencia es $p = 2\pi r = n\lambda$, se tiene que $r = \frac{n\lambda}{2\pi}$. Discutir la propiedad del modelo y sus limitaciones.

Fig. 3.4



(c) La función de onda

Detalle de contenidos

LA FUNCIÓN DE ONDA

Introducción del concepto. Antecedentes históricos. Partícula en una caja en una dimensión.

SU INTERPRETACIÓN

Interpretación de Max Born, como amplitud de probabilidad. Consecuencias para la predictibilidad de los fenómenos a escala atómica.

Actividades genéricas y ejemplos a elegir

Actividad 1

Reflexionan acerca de formas en que la física describe la realidad y la introducción de esa nueva magnitud que es la función de onda, en su contexto histórico.

- Ejemplo A

Hacen un listado de “formas” para describir la realidad: magnitudes escalares (e.g. temperatura, presión), vectoriales (e.g. velocidad, campo eléctrico), relaciones entre ellas (e.g. segunda ley de Newton), figuras (e.g. ecuación de estado de un gas, la trayectoria de una pelota de ping pong dibujada en el pizarrón), etc. Discuten en tal contexto la noción de función de onda.

INDICACIONES AL DOCENTE

Se sugiere esta actividad como introducción, antes de dar a conocer la función de onda. Tener presente que ésta es una magnitud escalar que depende de la posición y del tiempo, como sería la temperatura a lo largo del país, incluyendo sus variaciones durante un año. Enfatizar que la función de onda es una magnitud con dos componentes (compleja, con una parte real y una imaginaria) que varía en el tiempo y en el espacio, y que contiene toda la información acerca del sistema. Hacer ver que gran parte de la física moderna se ha centrado en buscar estrategias para encontrarla, tarea muy difícil salvo en unos pocos casos, muy simples y particulares, como el átomo de hidrógeno.

- Ejemplo B

Se informan acerca de aspectos históricos en torno a la necesidad de introducir la función de onda en la física.

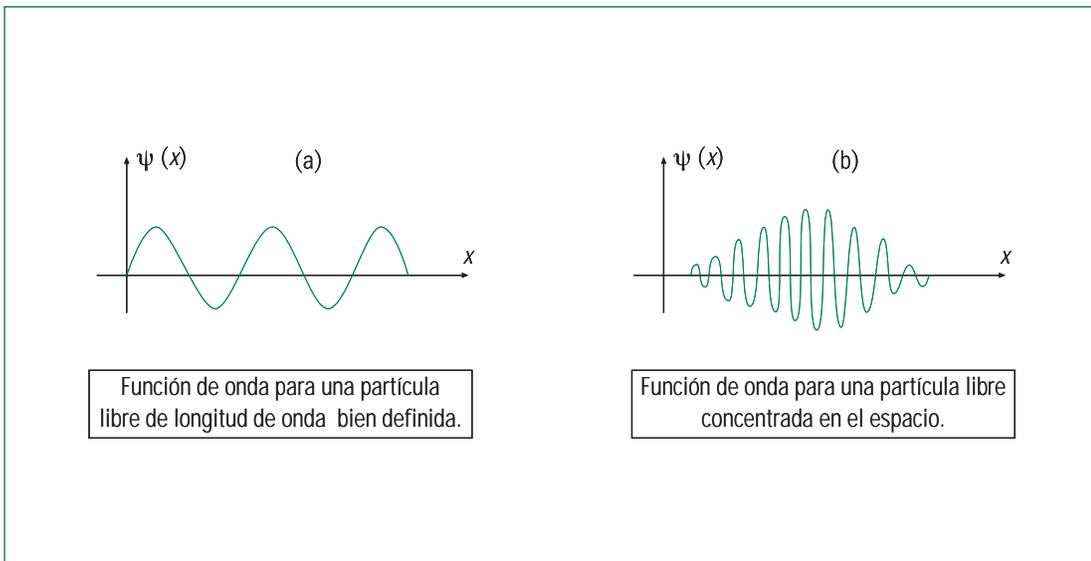
INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad puede darse como tarea para la casa o la biblioteca. Relevante información se encuentra en enciclopedias, libros de divulgación o historia de la física. Hacer ver la importancia que, en cada momento de la historia, ha tenido la física conocida en la elaboración de nuevos conceptos (OF). En este caso, se puede considerar como antecedente importante la física ondulatoria en óptica y acústica, desarrolladas durante el siglo XIX.

Puesto que para sistemas unidimensionales la función de onda se puede expresar como una magnitud real conviene orientar a los estudiantes a analizar este tipo de situaciones usando gráficos como los de la figura 3.5.

Notar que en el caso (a) normalmente la partícula resulta ser muy “larga”, mientras en el caso (b) está concentrada espacialmente. La forma matemática de este último caso se obtiene sumando ondas de longitud de onda definida, formando lo que se llama en análisis de Fourier un “paquete de ondas”.

Fig. 3.5



Actividad 2

Analizan la descripción del electrón en una caja unidimensional (muy larga y angosta) mediante la función de onda, y discuten acerca de su interpretación probabilística.

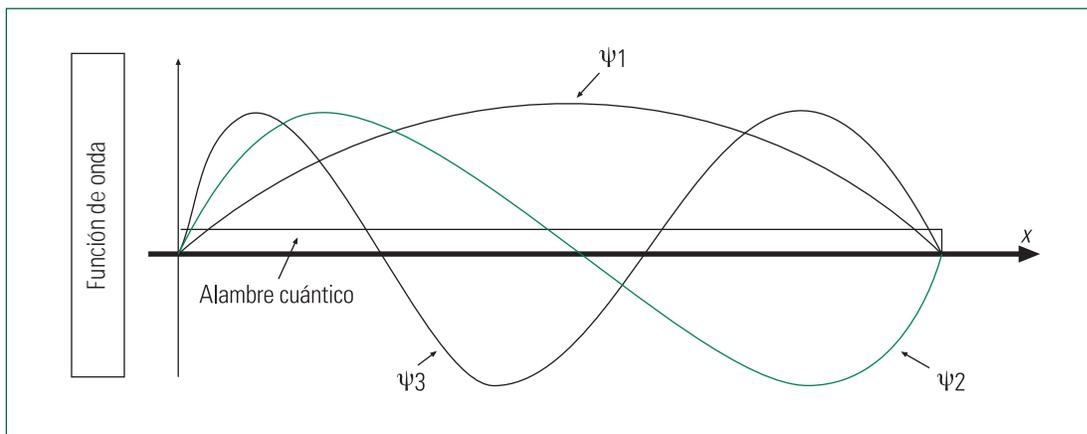
- Ejemplo A

Discuten acerca de las características de la función de onda para el electrón en un alambre muy delgado (unidimensional).

INDICACIONES AL DOCENTE

Esta actividad tiene como objeto que alumnos y alumnas conozcan al menos la función de onda para un caso de importancia. Hacer ver que si un alambre se estira hasta el límite en que su sección transversal cubre apenas algunos átomos (alambre cuántico), se le puede considerar como unidimensional pues el electrón no puede moverse transversalmente. Tratar el ejemplo como si el electrón fuera una cuerda vibrante, con los extremos fijos, y su función de onda fuese una función sinusoidal que se anula en los extremos. Discutir los diversos modos de vibración, como estados estacionarios del electrón. El análisis de la figura 3.6 puede ser de ayuda en este ejemplo.

Fig. 3.6



- Ejemplo B

Discuten acerca de la descripción probabilística de la realidad, y la certeza en las predicciones clásicas.

INDICACIONES AL DOCENTE

Este tema sirve de introducción a la interpretación probabilística para la función de onda. Hacer ver que el concepto de probabilidad se usa en muchos ámbitos: la estadística, la economía, la medicina. Destacar que en física resulta un concepto esencial en el ámbito atómico, allí donde la función de onda es el elemento adecuado para describir al sistema. El ejemplo del electrón en una caja se presta para introducir el concepto, en combinación con la actividad siguiente. Destacar que la física que se deriva de las leyes de Newton es perfectamente predictiva y en ella no interviene la probabilidad.

- Ejemplo C

Realizan algún modelo analógico para apreciar la diferencia entre la descripción clásica para el electrón en una caja, y aquella mediante una función de onda (descripción cuántica).

INDICACIONES AL DOCENTE

Para algunos estudiantes es importante aprender a través de imágenes. Esta es una buena oportunidad para desafiarlos a crear una. La actividad puede darse como tarea, para luego ser discutida en la clase siguiente. Una idea sería poner una pelota de ping pong al interior de una caja (modelo clásico), a ser reemplazada en la descripción cuántica por algodón que llena todo el espacio disponible, donde el algodón representa la “densidad de probabilidad” (función de onda al cuadrado) para el electrón, y quizás se filtra algo fuera. Enfatizar que el algodón tiene que tener la forma de una onda estacionaria, con nodos y vientres bien marcados.

- Ejemplo D

Discuten el modelo ondulatorio de Bohr para el átomo de hidrógeno en el contexto de su descripción mediante una función de onda.

INDICACIONES AL DOCENTE

Mencionar la dificultad de cerrar la onda unidimensional sobre la esfera, y la necesidad de utilizar matemáticas más elaboradas para tratar este caso, en comparación con el caso del electrón en una caja. La discusión puede centrarse en el estado fundamental del átomo de hidrógeno (el de más baja energía), para el cual la función de onda tiene la forma $\psi = \exp(-r/r_0)$, donde $r_0 = 5,3 \times 10^{-11}$ m es llamado el radio de Bohr y r es la distancia al núcleo. Convendrá dibujar esta magnitud, o más bien su cuadrado, que representa la densidad de probabilidad de encontrar al electrón a distancia r del núcleo. Comentar que se trata de un estado estacionario, y por eso no depende del tiempo. Puede ser instructivo “modelar” analógicamente al electrón en tal estado, por ejemplo con algodón, denso en el centro y adelgazándose hacia fuera.

Ejemplo E

Analizan el caso en que la función de onda no se anula en los extremos del hilo cuántico.

INDICACIONES AL DOCENTE

Hacer ver que en situaciones realistas la función de onda se extiende un poco hacia afuera del alambre. Esto significa que la probabilidad de encontrar al electrón fuera no es cero. En contraste, un zapato en el interior de una caja de zapatos estará allí cada vez que la abramos y miremos dentro de ella. La probabilidad de no encontrarlo allí es cero. En el mundo cuántico, por sorprendente que nos parezca, una partícula en una pequeña caja sí tiene la probabilidad de abandonarla. El análisis de una figura como la 3.7 puede ayudar a explicar esta noción. El área achurada de la curva de probabilidad del electrón representa la probabilidad de encontrarla fuera de la caja. Este efecto de escape ha sido utilizado para explicar la emisión de partículas alfa (núcleo de helio) por núcleos de elementos pesados, como el uranio. También es la base para el funcionamiento del microscopio de túnel, el que se usa para estudiar átomos individuales.

Fig. 3.7



- Ejemplo F

Se informan acerca de la importancia que ha tenido la física cuántica en hacer posibles algunos artefactos de uso diario.

INDICACIONES AL DOCENTE

Numerosos artefactos cotidianos han sido posibles sólo gracias al desarrollo de la física cuántica. Ejemplos son los rayos láser, usados en lectores de discos compactos, observación y cirugía médica, etc.; la microelectrónica al interior de computadores, teléfonos celulares, etc.; las memorias magnéticas en computadoras. Mencionar que los elementos que se usan hoy en circuitos eléctricos (alambres, diodos, etc.) tienden a ser tan pequeños que en ellos impera la física cuántica. Mucha investigación del presente procura disminuir estructuras al máximo posible (unos pocos átomos) a fin de reducir también el tamaño de los artefactos, haciéndolos además más rápidos y eficientes.

(d) Ensayo acerca de un tema del programa

Detalle de contenidos

ELABORACIÓN DE UN ENSAYO POR PARTE DE ALUMNOS Y ALUMNAS

Trabajo personal en base a uso abundante de fuentes de información.

INDICACIONES AL DOCENTE

Este trabajo es de la mayor importancia como elemento de motivación para el estudiantado. Realizarlo dando espacio a su imaginación y creatividad, teniendo presente que lo que se origina en ellos mismos y su autovaloración, son elementos importantes para un desarrollo positivo y amigable de los conceptos. El trabajo puede asignarse al iniciar el curso, de modo que sea desarrollado a lo largo del año, en forma individual. Una manera de motivar los temas es proponer un listado donde se indiquen fuentes de información para que ellos y ellas elijan, dejando siempre la posibilidad que surjan propuestas de otros temas no incluidos en el listado. Es importante la disponibilidad del docente para consultas relativas a cada trabajo, y un control periódico de su avance para que no sea hecho a último minuto. Valorar y estimular la consulta a expertos en las universidades o donde sean accesibles a los jóvenes.

Algunos temas que puede contener este listado son: los aportes de Einstein a la física cuántica, el efecto fotoeléctrico, historia de la dualidad onda-corpúsculo, radiación del cuerpo negro, el microscopio electrónico, el principio de incertidumbre, el rayo láser, la superconductividad, la superfluidez, los primeros minutos del Universo, y la vida, obra y aportes a la física cuántica de científicos como: Max Born (1882-1970), Louis de Broglie (1892-1987), Niels Bohr (1885-1962), Paul Dirac (1902-), Enrico Fermi (1901-1954), Richard Feynman (1918-1988), Otto Hahn (1879-1968), Werner Heisenberg (1901-1976), Max von Laue (1879-1960), Max Planck (1858-1947), Erwin Schrödinger (1887-1961), Otto Stern (1888-1969), Hideki Yukawa (1907-1981), etc.

Es de la mayor importancia que los estudiantes tengan claro desde el principio cómo deberán presentar este trabajo y cómo será evaluado. En relación al primer aspecto conviene dividir el trabajo en dos instancias: el desarrollo de un escrito y una presentación oral al curso. En ambos es indispensable acotar la extensión (número de páginas, tiempo de presentación) y la estructura (introducción, desarrollo, conclusiones, etc.). En relación al segundo aspecto se recomienda, por una parte, seguir los criterios y descriptores sugeridos en el Anexo A sobre “Evaluación en una actividad de recopilación de información” y, por otra, hacer que el propio alumno se autoevalúe. La presentación oral es conveniente para constatar la comprensión que el estudiante alcanzó del tema y es importante evaluarla considerando la opinión de los demás alumnos y alumnas del curso, sobre la base de una pauta rigurosa que permita que este proceso sea lo más objetivo posible.

Anexo A: Evaluación

Consideraciones generales sobre la evaluación

La evaluación constituye una parte sustantiva del proceso de enseñanza y aprendizaje. Por un lado, orienta a los estudiantes hacia los aspectos más importantes del programa, y los énfasis que se desea establecer. 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 recomienda como mínimo llevar a cabo dos evaluaciones formales para cada unidad.

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 los estudiantes debe reflejar aprendizajes significativos, es decir, medir la capacidad de análisis basándose en lo aprendido, la comprensión de los fenómenos observados, etc. En ningún caso, cuantificar la capacidad de memorizar de los jóvenes, ni sus habilidades matemáticas que son materia de otro programa.

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 alumnos y las alumnas basada en los aprendizajes esperados.

ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN

El 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 científico, 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 principalmente el grado de comprensión y capacidad de aplicación de los conceptos más relevantes a situaciones concretas cotidianas 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:

- **Desempeño en la resolución de problemas y preguntas**
- **Desempeño en el trabajo experimental**
- **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 los estudiantes, y los medios de que disponga la escuela.

Con el objetivo que los alumnos y alumnas aprecien la estrategia de aprendizaje adoptada, como un juego informado y limpio, es necesario que conozcan también los criterios e indicadores que empleará el 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 preguntas y problemas

La habilidad para enfrentar y resolver problemas es uno de los indicadores más utilizados en la evaluación de la Física. Los problemas pueden ser puramente conceptuales, en cuyo caso lo que se pide es la explicación de una situación o fenómeno físico basada en la comprensión y aplicación de principios y leyes. Pueden incluir además un desarrollo matemático, en el cual además de mostrar claridad conceptual, se espera que el estudiante realice procesos cuantitativos.

Ambito del trabajo	Criterios	Indicadores
<p>Qué permite evaluar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 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. • La capacidad de analizar la respuesta en términos de orden de magnitud, concordancia de unidades y signos. • El procedimiento seguido en la resolución de problemas; el uso de 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>a) Conceptos científicos y manejo de contenidos</p> <p>El estudiante posee un buen manejo de los contenidos, vocabulario, conceptos y principios físicos y es capaz de aplicarlos a situaciones novedosas.</p> <p>b) Procesamiento de datos y manejo de lo cuantitativo.</p> <p>El alumno o alumna 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"> • Identifica las magnitudes involucradas en el problema. • Enuncia el principio físico o relaciones que le permitirán enfrentar al problema. • Maneja con soltura el vocabulario científico, utiliza correctamente nomenclatura, convenciones y unidades. • Desarrolla y da una explicación fundamentada utilizando argumentos que muestran un razonamiento coherente y los principios utilizados. • 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. • 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. • 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.

II. Evaluación del desempeño en la realización de experimentos

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

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

III. Evaluación en una actividad de recopilación de información

Busca evaluar 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>Qué permite evaluar:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 la observación directa del trabajo del estudiante, su plan de trabajo y revisando informes, bibliografía y medios empleados. 	<p>a) Recolección de la información El 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) Procesamiento de la información Es capaz de interpretar y evaluar la información en forma consistente y seleccionar los aspectos más relevantes de ella.</p> <p>c) Entrega de la información Es capaz de utilizar variadas formas de comunicar los resultados de su investigación, sea ésta en forma oral o escrita.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza la biblioteca y los recursos bibliográficos de su entorno. Busca y utiliza información proveniente de artículos de revistas de divulgación científica y periódicos. Recurre a la red Enlaces, internet y programas de computación para recopilar información. Realiza entrevistas a expertos y autoridades en el tema de investigación. Discrimina las fuentes de información según sus necesidades. Reconoce la información útil y la selecciona. Es capaz de hacer una reflexión crítica sobre lo recopilado. 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. Procesa y cita las fuentes de información dando el crédito al autor. Realiza un informe oral o escrito en forma organizada utilizando varias técnicas de comunicación, tales como, esquemas gráficos, dibujos.

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 recopilación 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 utilizados. 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, 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 capacitar a los estudiantes 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 con 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. **Indicar las magnitudes físicas que determinan el estado de un gas y sus unidades en el Sistema Internacional.**
2. **Explicar por qué las leyes de los gases ideales son válidas sólo aproximadamente para los gases que existen en la naturaleza.**
3. **Explicar cómo a partir de la ley de Gay-Lussac se llega a la conclusión que existe el cero absoluto y qué supuestos deben asumirse.**
4. **Unos estudiantes deciden verificar que se cumple la ley $pV = nRT$ de los gases. Para ello se quedan solos en la sala de clases, cierran puertas y ventanas, y encienden una estufa. La temperatura sube, pero la presión no cambia, pues hay rendijas bajo la puerta de modo que permanece constante. Como el volumen de la pieza tampoco cambia ¿cómo puede entonces aumentar la temperatura?**
5. **Se dice que si un buzo sube rápidamente a la superficie debe exhalar el aire que traga en los pulmones o de lo contrario puede morir. Explique por qué.**
6. **Un microscopio electrónico se usa para observar células de aproximadamente un diez milonésimo de centímetro de diámetro. Si el criterio para distinguir los detalles de la célula es que la longitud de onda de los electrones debe ser menor que el tamaño de la célula, ¿qué restricción pone esto sobre su velocidad? Considere que la masa del electrón es $9,1 \times 10^{-31}$ kg y la constante de Planck $6,6 \times 10^{-34}$ J·s.**
7. **Es normal que la cabina de los aviones de pasajeros se presuricen a una presión equivalente a la que existe aproximadamente a 2000 m de altura. Utilizando esa información explicar los siguientes fenómenos que ocurren en el avión.**
 - a) Algunos pasajeros sienten sus oídos tapados.
 - b) El globo inflado de un niño aumenta de volumen.
8. **Si se infla un globo poco a poco se observa con claridad que su volumen aumenta. Construir un modelo que permita explicar por qué la presión del aire sobre las paredes elásticas aumenta haciendo que se expanda.**
9. **El aire está compuesto en su mayor parte por O_2 y N_2 . Si la temperatura de la sala de clases es la misma en todos los puntos:**
 - a) ¿Cuál de las moléculas posee mayor energía cinética media?
 - b) ¿Cuál de las moléculas posee mayor velocidad media?
 - c) Aproximadamente el 20% del aire es oxígeno y el 80% es nitrógeno. Si la presión en la sala es de 1 atm, ¿se podría decir que el O_2 produce 0,2 atm y el N_2 0,8 atm de presión sobre las paredes de la sala? Justifique su respuesta.

- 10. Se comprime el aire encerrado en un bombín tapando el orificio de salida y empujando con el émbolo. Luego se suelta el émbolo y éste se desplaza hacia fuera impulsado por las moléculas del gas que chocan contra él.**
 - a) Utilizando la teoría cinética de los gases y conservación del momentum explicar por qué la temperatura del gas se reduce en esta expansión.
 - b) Explicar el mismo fenómeno, pero ahora utilizando principios energéticos.
- 11. Describir lo que le ocurre a la temperatura y a la energía interna de un sistema cuando se realiza trabajo sobre él.**
- 12. Es usual que cuando se toca la campana del colegio para un recreo se produce un aumento de la “entropía estudiantil” y cuando se vuelve a tocar para ingresar a clases, la “entropía estudiantil” disminuye. Explicar lo anterior utilizando conceptos de termodinámica.**
- 13. Se afirma que la primera ley de la termodinámica representa la ley de conservación de energía. Explicar el contenido de la ley y dar argumentos para fundamentar dicha afirmación.**
- 14. En un aviso del diario se hace propaganda sobre un vehículo que posee una eficiencia del 100% respecto de la utilización del combustible. ¿Cómo se podría desvirtuar dicha afirmación?**
- 15. Al inflar la rueda de una bicicleta se observa que la temperatura de la válvula aumenta. Dar algunos argumentos para explicar este fenómeno.**
- 16. Compare los modelos atómicos de Bohr y de Broglie.**
- 17. Señalar algunas evidencias de la naturaleza ondulatoria de la luz y otras que sólo se pueden explicar con el modelo corpuscular.**
- 18. Dar tres ejemplos de sistemas físicos que, al dejarlos solos, se vuelven más desordenados y explicar en cada caso por qué no se observa que el proceso inverso ocurra en forma espontánea.**
- 19. ¿Cuál es la diferencia entre caos y azar?**
- 20. Proporcionar tres ejemplos de fenómenos naturales que puedan considerarse como sistema caótico.**
- 21. Al lanzar una bolita en una ruleta ella termina deteniéndose en el casillero seis negro. Este evento ¿es un efecto del azar o se trata de un efecto de sistema caótico?**
- 22. En un juego de naipes se mezclan las cartas, se corta el mazo y se les reparte un cierto número de cartas a los jugadores. La mano que le toca a uno de los jugadores ¿es producto del azar o de un resultado del caos?**

- 23. Analizar la siguiente afirmación dando ejemplos concretos en que claramente se verifique: “en cualquier proceso natural, algo de la energía se vuelve inútil para efectuar un trabajo útil”.**
- 24. Al comprimir el aire rápidamente con un bombín o jeringa aumenta su temperatura. Explicar ese aumento de temperatura utilizando la teoría cinética.**
- 25. Al tirar el émbolo de un bombín el aire rápidamente se expande disminuyendo su temperatura. Explicar esa disminución de temperatura utilizando la teoría cinética.**
- 26. La segunda ley de la termodinámica se puede enunciar de las siguientes formas:**
- “El calor pasa en forma natural de un objeto caliente a uno frío y nunca pasará espontáneamente de un objeto frío a uno caliente”.
 - “No es posible tener un dispositivo cuyo único efecto sea transformar una cantidad dada de calor completamente en trabajo”.
 - “La entropía total de cualquier sistema, más la de su ambiente, aumentan como resultado de cualquier proceso natural”.
- Dar y explicar con dos ejemplos la validez de esas afirmaciones.
- 27. En términos de la segunda ley de la termodinámica describa lo que ocurre al destapar una bebida gaseosa. ¿Es posible que suceda el proceso inverso? Explicar los cambios de calor (Q), energía interna (U), trabajo (W) y entropía (S) en las siguientes circunstancias:**
- Se calienta un globo inflado que contiene aire.
 - Una caja aislada está dividida por un tabique en el centro conteniendo vacío en un lado y gas en el otro. Se quita el tabique.
- 28. Describir un método para demostrar la existencia de estados de energía discretos en los átomos.**

A continuación se indican algunos ejemplos de problemas que requieren del manejo de relaciones entre variables incluyendo los criterios a evaluar con los indicadores correspondientes.

***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.*

- 1. Una botella de bebida de 2 litros se cierra herméticamente con aire en el interior en un lugar donde la temperatura es de 27°C y la presión de 1 atm. Si la botella se sumerge en agua y ésta se calienta a fuego lento, dibuje un gráfico que represente en forma cualitativa la presión en función de la temperatura en el interior de la botella suponiendo que ésta no se dilata.**

2. **Las ollas a presión, usadas para cocer los alimentos en un menor tiempo y con menor gasto de energía, permiten que el agua hierva sólo cuando la presión del aire en su interior es de $1,28 \times 10^5$ Pa. Sabiendo que el agua hierve a 100°C cuando la presión es de una atmósfera ($1,01 \times 10^5$ Pa), calcular la temperatura de ebullición del agua en el interior de la olla.**
3. **En un vaso se encuentran 40 gramos de hielo a 0°C , el cual se empieza a fundir hasta convertirse enteramente en agua a 0°C . Sabiendo que el calor de fusión del hielo es de 80 cal/g , determinar el incremento de entropía en este proceso.**
4. **Se infla un neumático con aire cuando la temperatura ambiental es de 20°C hasta que el marcador de presión indica 200 kPa . Cuando el vehículo recorre una gran distancia, la temperatura de los neumáticos alcanza 50°C . ¿Qué fracción de gas hay que extraer para que la presión siga siendo la misma y no se corra peligro de que el neumático se reviente?**
5. **Un gas ideal con una presión $P_a = 4 \text{ atm}$ y un volumen $V_a = 3 \text{ cm}^3$ sufre las siguientes transformaciones**
 - I. Se expande isotérmicamente hasta un volumen $V_b = 2 \text{ cm}^3$
 - II. Es comprimido a presión constante hasta que su volumen alcanza un valor $V_c = 3 \text{ cm}^3$
 - III. Se calienta a volumen constante hasta volver al estado inicial**Representar estas transformaciones en un diagrama $p(V)$.**
6. **Una cantidad de gas ideal en un cilindro tiene una temperatura de 27°C y una presión de 125 kPa . Este gas se calienta a volumen constante hasta que su temperatura es de 127°C . Suponiendo que no hay pérdida de gas, determine la presión final del gas.**
7. **Un fotón de 500 keV de energía choca con un electrón en reposo y éste adquiere una energía de 400 keV . ¿Cuál es la longitud de onda del fotón desviado?**
8. **Determinar la longitud de onda que debe tener la radiación electromagnética para que un fotón de un haz tenga el mismo momentum que el de un electrón que se mueve con una velocidad de $2 \times 10^6 \text{ m/s}$.**
9. **Las moléculas de un gas tienen:**
 - a) velocidad constante a una temperatura dada
 - b) velocidad media constante a una temperatura dada
 - c) todas la misma velocidad
 - d) menor velocidad a mayor presión
10. **De la segunda ley de la termodinámica se desprende que:**
 - a) todos los procesos de la naturaleza son reversibles
 - b) todos los acontecimientos de la naturaleza van del desorden al orden
 - c) en todos los procesos es posible convertir completamente energía térmica en energía mecánica
 - d) todo cambio de energía por sí mismo conduce a formas de energía menos útiles.

- 11. Un gas ideal se encuentra a una presión p , ocupando un volumen V cuando la temperatura es T . Si la temperatura y el volumen aumentan al doble, la nueva presión será:**
- 4 p
 - 2 p
 - p
 - $p/4$
- 12. Cuando el agua se congela, podemos afirmar que:**
- la entropía y la energía interna aumentan
 - la entropía y la energía interna disminuyen
 - la entropía aumenta y la energía interna disminuyen
 - la entropía disminuye y la energía interna aumentan
- 13. Un refrigerador se coloca en una habitación cerrada y aislada y a continuación se abre la puerta del refrigerador. Aplicando los principios de la termodinámica, se puede prever que después de cierto tiempo en la habitación:**
- aumentará la temperatura
 - disminuye la temperatura
 - aumentará su temperatura para luego disminuirla
 - mantendrá su temperatura constante.
- 14. Si se duplica la velocidad cuadrática media de las moléculas de un gas ideal, la temperatura absoluta será:**
- la misma
 - el doble de la original
 - el cuádruplo de la original
 - la mitad de la original.
- 15. Si se tiene proceso de expansión termodinámico que es adiabático e isotérmico se cumple que:**
- $\Delta Q = 0$; $W = 0$; ΔU no es necesariamente cero
 - $\Delta Q = 0$; W y ΔU no son necesariamente cero
 - $\Delta U = 0$; W y ΔQ no son necesariamente cero
 - $\Delta Q = 0$; $U = 0$ y $\Delta Q = 0$.
- 16. Considerando los procesos termodinámicos siguientes:**
- fusión del hielo en un vaso de agua
 - un fósforo que se enciende
 - el reventón de un globo
- ¿cuáles de estos procesos son reversibles?
- Sólo I
 - Sólo I y II
 - Sólo I y III
 - Todos.

17. Se afirma que un gas está compuesto de partículas que:

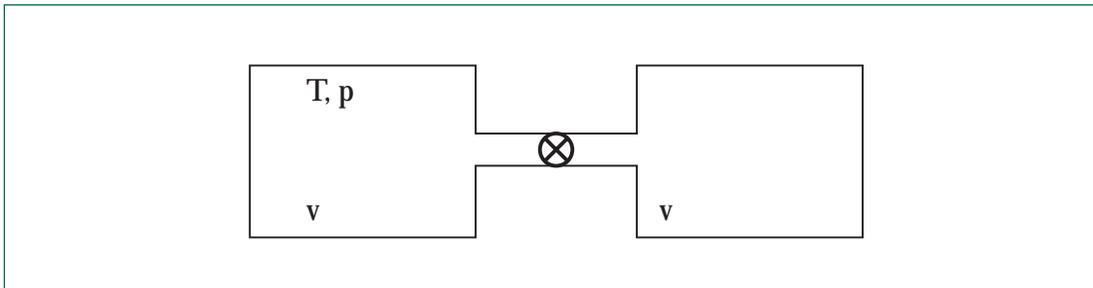
- I. están en continuo movimiento
- II. su agitación aumenta al aumentar la temperatura

De esas afirmaciones podemos aseverar que:

- a) Sólo I es verdadera
- b) Sólo II es verdadera
- c) I y II son verdaderas
- d) I y II son falsas.

18. Se tienen dos recipientes adiabáticos de igual volumen separados por una llave de paso. El recipiente de la izquierda está lleno con gas a temperatura T y presión p , mientras que el recipiente de la derecha está vacío. Se abre la llave de paso y el gas pasa a ocupar ambos recipientes, alcanzando una temperatura final t . El proceso es:

- a) irreversible y $T = t$
- b) irreversible y $T < t$
- c) reversible y $T = t$
- d) reversible y $T < t$



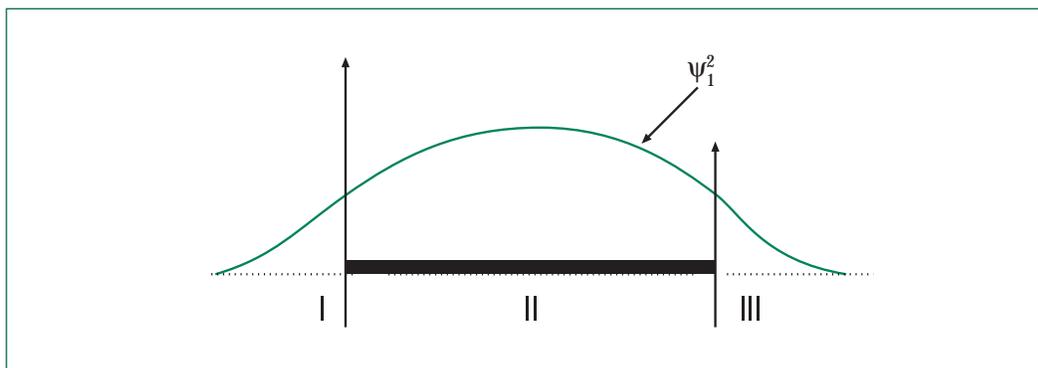
19. Se deja caer una gota de tinta en un vaso con agua que se encuentra a la misma temperatura que la tinta. Después de un rato toda el agua está coloreada. Este fenómeno es una evidencia de que:

- a) la temperatura de la tinta aumentó y por ello se difundió
- b) la energía cinética de la tinta y del agua aumentaron
- c) se incrementó la entropía
- d) hay un intercambio de calor y por ello aumenta la temperatura y la entropía del sistema.

20. La frase “la circunferencia de una órbita de estado estacionario es igual a un número entero de longitudes de onda del electrón” está relacionada con:

- a) el modelo de átomo de N. Bohr
- b) el sistema planetario
- c) el modelo ondulatorio de la luz de Huygens
- d) el modelo corpuscular de la luz de Newton

21. La figura muestra la densidad de probabilidad para el estado más bajo de energía de un electrón en un hilo cuántico.



El hecho que la función de onda se extienda un poco hacia afuera del alambre implica que la probabilidad de encontrar al electrón es:

- mayor en las regiones I y III y menor en la región II
- cero en las regiones I y III
- baja en las regiones I y III y máxima en la región II
- cero en la región II y máxima en I y III.

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 con 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 alumnos.

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 las 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.

- Estire y relaje con sus manos repetidas veces un elástico de billetes de modo que se mantenga en contacto con sus labios. ¿Qué percibe en relación a la temperatura del elástico al estirarlo y relajarlo?. Explique lo observado utilizando la primera ley de la termodinámica.**
- En relación al caos, el físico Edward Lorenz se preguntaba, “¿es posible que el aleteo de una mariposa en Brasil desencadene un tornado en Texas?”. Este efecto mariposa se utiliza para describir situaciones en las que pequeños e insignificantes cambios pueden amplificarse**

hasta producir consecuencias imposibles de predecir. Diseñe y realice un experimento en que se observe el efecto descubierto por Lorenz.

3. Deje caer sobre una superficie de baldosa un dado desde una altura de unos 2 metros y marque donde se detiene después de los sucesivos rebotes. ¿Es posible predecir donde tendrá que llegar el dado si después se repite la experiencia, siempre de igual forma, sin cambiar perceptiblemente las condiciones iniciales de la caída? Realice la experiencia y analice el “efecto mariposa” en esta situación.
4. Para hacer “cabritas de maíz” se pueden desparramar algunos granos sobre una olla o plancha (lata) que se encuentre sobre un mechero. Experimente haciendo estas palomitas de maíz y observe con mucha atención lo que ocurre cuando el grano se transforma en palomita. Haga un histograma que muestre la fracción de cabritas que saltó haciendo un ángulo entre 0 y 10 grados con la vertical, 10 y 20, 20 y 30, etc. Interprete su resultado.
5. Tome dos recipientes transparentes e introduzca cantidades de agua iguales, una con agua recién hervida y la otra con agua bien fría. Experimente echando una gotita de tinta o colorante a ambos recipientes. ¿Qué ocurrirá? Plantee una hipótesis y verifique haciendo el experimento.

Sección III. La utilización de diferentes fuentes de información, el saber seleccionarla, sintetizarla, hacer un análisis crítico de ella y presentarla mediante un informe escrito u oral se puede evaluar usando los criterios e indicadores relacionados con “Evaluación en una actividad de recopilación de información”. A continuación se indican algunos ejemplos de actividades encabezados por los criterios a evaluar con 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 de técnicas, tales como, esquemas gráficos, dibujos.*

1. **Recopile información sobre la teoría corpuscular para la luz de Isaac Newton y el modelo de los cuantos de Albert Einstein; sobre la teoría ondulatoria de Christian Huygens y la teoría electromagnética de James Maxwell y evalúe tanto sus coincidencias como diferencias.**
2. **Construir un afiche mural donde se explique las diferencias en la aplicación de un ciclo de refrigeración en refrigeradores domésticos y en aire acondicionado.**
3. **Se sabe que la primera ley de la termodinámica indica que $\Delta U = Q + W$. Recopile información sobre el metabolismo humano y explíquelo en términos de esta ley.**

Anexo B: Elementos de laboratorio

Listado de materiales de laboratorio

Para la realización de las experiencias propuestas en el presente programa se requieren elementos en general simples y fáciles de conseguir.

LISTA DE MATERIALES:

Unidad 1: Gases ideales

- 1) Globos, bombines y jeringas.
- 2) Recipiente con agua fría o caliente para introducir globo inflado.
- 3) Jeringa grande.
- 4) Capilar de unos 30 cm. Colorante, regla, mechero, termómetro, recipiente de vidrio de unos 20 cm de alto que se pueda calentar.
- 5) Una pequeña cantidad de mercurio. Recipiente con agua y hielo. Termómetro.
- 6) Caja de acrílico. Granitos de arroz. Máquina que permita hacer vibrar la caja.

Unidad 2: Leyes de la termodinámica

- 1) Jeringa grande.
- 2) Un tarro de lata con tapa, tubitos de plástico, mechero.
- 3) Una botella de cualquier material, unas cien bolitas de 1 cm de diámetro, cincuenta de un color y cincuenta de otro.
- 4) Un rompecabezas de cartón.
- 5) Vaso con agua y gota de tinta.
- 6) Unos siete vasitos desechables de plástico y unos metros de alambre galvanizado de 1 mm de diámetro.
- 7) Un conjunto de pequeños imanes, como los que se usan en cerámicas decorativas para muebles metálicos o los que se usan en cierres de armarios.

Unidad 3: El mundo cuántico

- 1) Pelota saltarina, cuerda tensa que pueda vibrar.
- 2) Cartón y bolita para simular la refracción.
- 3) Calculadora con celda solar.
- 4) Cartulina y, materiales para dibujar, cortar y pegar.

Anexo C: 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	Gases ideales	Página
Ley de Boyle	$pV = \text{constante} \cdot$	18
Ley de Gay-Lussac	$\frac{V}{T} = \text{constante} \cdot$	20
Ecuación de estado	$pV = nRT \cdot$	24, 26, 30, 85
	$p \propto \frac{Nmv^2}{V}$	29
	$p = \frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{V}$	29, 30
Energía cinética y temperatura	$\frac{1}{2} \frac{mv^2}{V} = \frac{3}{2} kT \cdot$	30
Unidad 2	Leyes de la termodinámica	Página
Energía interna	$\Delta U = Q + W \cdot \quad U = \frac{3}{2} NkT$	37, 43, 44
Variación de entropía	$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \cdot$	53
Unidad 3	El mundo cuántico	Página
Relación de de Broglie	$mv = \frac{h}{\lambda} \cdot$	69, 70
Orbitales de Bohr	$r = \frac{n\lambda}{2\pi} \cdot$	71
Función de onda (Hidrógeno)	$\psi = \exp\left(\frac{-r}{r_0}\right) \quad \psi = e^{\frac{-r}{r_0}}$	75

Anexo D: Unidades, símbolos y constantes fundamentales

Unidades, símbolos y abreviaciones

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

Unidades básicas		
Cantidad	Nombre	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilógramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampere	A
temperatura	kelvin	K

Equivalencia entre unidades de energía

1 caloría = 4,186	joule
1 electrón volt (eV) = $1,60 \times 10^{-19}$	joule
1 kWh = $3,60 \times 10^6$	joule

Equivalencia entre unidades de presión

1 bar = 10^5	Pa
1 atm = 760	mm Hg
1 atm = $1,013 \times 10^5$	Pa

Algunas unidades derivadas			
Cantidad	Nombre	Símbolo	
frecuencia	Hertz	Hz	s^{-1}
velocidad		m/s	
aceleración		m/s^2	
fuerza	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
presión	pascal	Pa	N/m^2
trabajo, energía	joule	J	$N \cdot m$
potencia	watt	W	J/s
carga eléctrica	coulumb	C	$A \cdot s$
potencial eléctrico		V	W/A
resistencia eléctrica	ohm	Ω	V/A
campo eléctrico	volt	E	N/C
campo magnético	tesla	B	kg/As^2
capacitancia	farad	C	C/V
inductancia	henry	H	J/A^2

Algunas constantes fundamentales que pueden resultar útiles en este curso:

Cantidad	Símbolo	Valor
Carga del electrón	e	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante de gravitación universal de Newton	G	$6,672 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
Constante de los gases	R	8,314 J/K mol
Constante de Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Electrón-volt	eV	$1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
Masa del electrón (en reposo)	m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masa del neutrón (en reposo)	m_n	$1,674 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masa del protón (en reposo)	m_p	$1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Número de Avogadro	N	$6,022 \times 10^{23} \text{ 1/(g mol)}$
Radio de Bohr	r_o	$5,29177 \times 10^{-11} \text{ m}$
Velocidad de la luz en el vacío (exacto)	c	$2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$

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 rigurosidad gran parte de los contenidos que considera este programa, y 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.

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

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

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

En el tomo I se tratan los contenidos correspondientes a las dos primeras unidades de este programa. Lo caracteriza un buen nivel de exposición de los temas, buenas ilustraciones y una gran cantidad de problemas para cada uno. 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.

Muchos de los temas del presente programa se ven aquí 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 alumnos, las aventuras y sueños del señor Tompkins les enseñarán interesantes aspectos del mundo atómico.

Hewitt, Paul. 1995, Física conceptual (Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, 2º 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 Martínez 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.

Serway, Raymond. 1994, Física (Editorial McGraw - Hill, 3º 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 trata muy resumidamente algunos de los temas de las dos primeras unidades de este programa. Lo hace de un modo claro y simple.

Gleich, James. 1988, Caos, la creación de una ciencia (Seix Barral) 358 páginas.

Texto de divulgación fácil de leer, ameno e informado. De valor para docentes y estudiantes.

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

Algunas direcciones de internet que pueden resultar útiles

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Física general	http://www.profisica.cl Esta página constituye un apoyo a los docentes de física de Chile, con el propósito de facilitar la implementación de la Reforma Educacional. Además de noticias, links y artículos de interés se hayan en ella experimentos y ejemplos de problemas para la evaluación.	Español	Buena
Física atómica	http://164.73.160.1/~inorgani/estat/indice1.html 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.	Español	Buena
Física general	http://bellota.ele.uva.es/~imartin/libro/libro.html Útil curso de física general: para este nivel resultan de interés capítulos tales como: naturaleza de la luz, dualidad onda corpúsculo, el efecto fotoeléctrico, etc.	Español	Buena
Ciencia	http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm "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", etc.	Español	Buena
Cosmología	http://cerezo.pntic.mec.es/~mrego/index.html Cosmología: estrellas, supernovas, agujeros negros, estructura de galaxias, primeros instantes del universo. Elemental.	Español	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Termo- dinámica	http://cipres.cec.uchile.cl/~jualopez/ La entropía en el universo. Por su nivel, es adecuada para el profesor.	Español	Buena
Física nuclear	http://durpdg.dur.ac.uk/ibl/particleadventure/spanish/index.html La aventura de las partículas. La Ruta del modelo standard. La ruta de las evidencias experimentales. La ruta más allá del modelo standard. Porque decaen los átomos y las partículas.	Español Inglés Francés	Muy buena
Teoría del caos	http://elcaos.tripod.com/ Historia del descubrimiento del concepto de caos, el efecto mariposa, fractales, el caos en el arte, en la naturaleza y en el cuerpo humano son algunos de los temas que se tratan en esta página.	Español	Buena
Física básica	http://imartinez.etsin.upm.es/ot1/Units_es.htm Magnitudes, unidades y medidas. El sistema internacional. Definición de las unidades básicas. Historia. Prefijos. Conversiones.	Español	Buena
Física cuántica	http://luthien.nuclecu.unam.mx/~vieyra/cuant1.html Interesante curso de física cuántica. El problema del cuerpo negro, el átomo de Bohr, el efecto fotoeléctrico, ondas de de Broglie, la función de onda, el átomo de hidrógeno, la ecuación de Schrödinger, etc. son algunos de los temas que trata este sitio y que pueden ser útiles al profesor. Universidad Nacional de México.	Español	Muy buena
Termo- dinámica	http://mtzpz.kipelhouse.com/termo/ Curso de termodinámica irreversible adecuado para el profesor o profesora.	Español	Buena
Termo- dinámica	http://personal.redestb.es/juan_villa/index.html Curso de termodinámica adecuado para el profesor o profesora.	Español	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Movimiento browniano	http://seneca.fis.ucm.es/brito/sistemas/brown.html Información sobre el movimiento browniano. Destaca una ilustrativa animación.	Español	Buena
Física atómica	http://teleline.terra.es/personal/felix061/paginas/Espectro.htm Espectro de emisión del átomo de hidrógeno. Contiene una interesante simulación.	Español Ingles Frances	Muy buena
Biografías	http://www.castillayleon.com/cultura/cientificos/fisicos.htm Breves biografías e imágenes de un número importante de físicos.	Español	Buena
Física nuclear	http://www.cchen.cl 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. http://www.cchen.cl/alumno/elementos-fisica.html Elementos de física nuclear destinado a alumnos.	Español	Buena
Física cuántica	http://www.cienciadigital.net/cientificos/heisenberg2.html Artículo sobre Werner Heisenberg y la creación de la mecánica cuántica.	Español	Buena
Astrofísica	http://www.civila.com/chile/astrocosmo/conteni.html 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 buen nivel.	Español	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Física general	<p>http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl</p> <p>Colorado, USA, "Física 2000" presenta los contenidos en forma amena y posee interesantes applet. De interés para este curso son el que describe la "temperatura de un gas" según el modelo cinético, "niveles de energía", etc.</p>	Español	Buena
Física experimental	<p>http://www.euitt.upm.es/departamentos/fisica/ asignaturas/fisica_exp/Fisica_Experimental.html</p> <p>Física experimental: medida y errores. Representación de datos. Campos electromagnéticos. Oscilaciones y ondas. Óptica. Por su nivel estos documentos son adecuados para el profesor.</p>	Español	Buena
Efecto fotoeléctrico	<p>http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/2970/efecto.html</p> <p>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.</p>	Español	Buena
Cosmología	<p>http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2921/cosmolog.htm#Contenidos</p> <p>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.</p>	Español	Buena
Física general	<p>http://www.geocities.com/SunsetStrip/Amphitheatre/5064/cfc.html</p> <p>Explicaciones elementales acerca de "Cómo funcionan las cosas". Son de utilidad para este curso la explicación de los motores eléctricos, a gasolina y diesel. Posee buenas animaciones. Adecuada para alumnos y alumnas.</p>	Español	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Física general	<p>http://www.physics.umd.edu/deptinfo/facilities/lecdem/</p> <p>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.</p>	Inglés	Buena
Física general	<p>http://www.physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/</p> <p>PhysicsWeb corresponde a un laboratorio virtual de física. Descripción de gran cantidad de experimentos en todas las áreas de la física. Esquemas, animaciones y software.</p>	Inglés	Excelente
Física general	<p>http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm</p> <p>Curso interactivo de física. Considera gran cantidad de tópicos: En este curso resultan particularmente oportunos los temas correspondientes a física estadística y termodinámica (se recomienda ver la simulación del movimiento browniano y la del proceso de difusión) y el de mecánica cuántica (ver simulaciones del efecto fotoeléctrico, pozos y cajas de potencial, etc.)</p>	Español	Muy buena
Biografías	<p>http://www.terra.es/personal/flromera/portcient.htm</p> <p>Extensa selección de los más brillantes científicos y técnicos que la humanidad ha conocido. Biografías en orden alfabético. Breves pero de buena calidad.</p>	Español	Buena
Física general	<p>http://www.treasure-troves.com/physics/</p> <p>Tesoros de la física. Puede ser particularmente útil el capítulo sobre termodinámica, en el cual se exponen las leyes de los gases, el concepto de temperatura, leyes de la termodinámica etc. Además incluye: símbolos y nombre de variables, unidades, ecuaciones, constantes, prefijos y unidades de conversión usados frecuentemente en física.</p>	Inglés	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Termo- dinámica	<p>http://www.unidata.ucar.edu/staff/blynds/acerca.html#universo</p> <p>Artículo acerca de la temperatura: calor y termodinámica, la teoría cinética, la temperatura del universo, son algunos de su índice. Su nivel es adecuado para los estudiantes.</p>	Español	Buena
Física general	<p>http://zebu.uoregon.edu/~probs/probm.html</p> <p>Problemas de física compilados en la Universidad de Oregon, USA. Los relativos a la física de la temperatura (conversión de escalas termométricas, primera ley de la termodinámica, expansión adiabática de un gas, etc), junto a sus soluciones pueden resultar de utilidad en el proceso de evaluación de este curso.</p>	Inglés	Buena
Mecánica cuántica	<p>http://teleline.terra.es/personal/casanchi/cuant1.htm</p> <p>Elementos de mecánica cuántica. Función de onda y superposición, medición e indeterminismo, operadores de onda y ecuación de onda son algunos de los temas que figuran en esta página que, por su formalismo matemático, resulta adecuada para el profesor.</p>	Español	Buena
Termo- dinámica	<p>http://www.udec.cl/~dfiguero/curso/</p> <p>De este "Curso de física: Mecánica y Calor" pueden resultar de utilidad para el profesor temas como: Trabajo, energía y potencia. Comportamiento de los gases. Difusión. Primera ley de la termodinámica. Segunda ley de la termodinámica. Metabolismo humano. Capacidad térmica y cambios de fase. Etc.</p>	Español	Buena
Termo- dinámica	<p>http://www.clases.cl/apuntes/fisica/cal%20y%20energ%20term.htm</p> <p>Calor y energía térmica. Se exponen aquí temas como: Medida de la temperatura; dilatación y termometría. Ecuación calorimétrica; unidades de calor; calor específico y capacidad calórica. Medida del calor. Máquinas térmicas.</p>	Español	Buena

Tema	Dirección Breve descripción del contenido	Idioma	Calidad
Presiones parciales	Algunas direcciones en que se trata el tema de las presiones parciales son: http://users.facilnet.es/gaudiunderw/Henry.htm http://marenostrum.org/buceo/normativa/legislacion/cap1.htm http://www.terra.com.uy/canales/deportes/4/4411.html http://personal.redestb.es/frikuspeleo/gas1.htm http://biologicalmango.metropoli2000.net/Aparato_Respiratorio/lospulm.html http://www.semm.org/curso/interfis.html http://www.fut.es/~ses/articulo/bajar.html	Español	Buena
Fractales	Algunas direcciones relativas a los fractales. http://www.red-mat.unam.mx/gog/tabfra.html http://members.es.tripod.de/Hylian57/fractal.htm http://168.83.21.26/olimpi99/fractales/principal.htm http://147.96.33.165/Cursos/La_frontera_de_la_vida/Capitulos/Fractales/Fractal_Mandelbrot.html http://ciberbach.iespana.es/ciberbach/prog_fractales.htm	Español	Buena

Si en el teclado no se encuentra 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

adiabático, proceso, 44, 45, 89
 alambre cuántico, 74
 aprendizajes esperados
 el mundo cuántico, 63
 gases ideales, 13
 leyes de la termodinámica, 35
 Avogadro, Amade, 23, 55 hipótesis de, 12
 ley de, 13, 15
 número de, 97
 azar y caos, 56

B

barómetro, 25
 Big Bang, 54, 103, 104
 Bohr, Niels, 62, 63, 68
 modelo de, 70, 71, 75, 77, 86, 95, 101, 102
 radio de, 75, 97
 Boltzman, Ludwig, 55
 constante de, 24
 Born, Max, 72, 77
 botella de Dewar, 45
 Boyle, Robert, 16, 55
 ley de, 20, 22, 24, 95
 Brown, Robert, 41
 browniano, movimiento, 41, 103, 105

C

calor específico, 36, 38, 44, 106
 calor, concepto de, 14, 36, 38
 equivalente mecánico del, 36
 flujo de, 47, 49
 Cannizaro, Estanislao, 23.
 caos, concepto de, 34, 35, 56, 57, 58, 59, 60, 86, 91, 102
 teoría de, 57
 Carnot, Nicolás Lénard Sadi, 55
 celda de energía solar, 68
 celsius, escala, 19, 20

cero absoluto, 13, 15, 18, 19, 20, 85
 Clausius, Rudolph, 53, 55
 definición de entropía de, 50
 enunciado de, 48
 constante de gravitación universal, 97
 de los gases, 97
 constantes fundamentales, 97
 contenidos mínimos
 el mundo cuántico, 62
 gases ideales, 12
 leyes de la termodinámica, 34
 cuadro sinóptico, 10

D

Dalton, John, 55
 ley de, 13, 31, 32, 101
 de Broglie, Louis, 62, 63, 65, 68, 77
 relaciones de, 70
 desorden, 34, 35, 50, 51, 53, 54, 56, 88
 Dewar, botella de, 44
 Dirac, Paul, 77

E

ecuación de estado de un gas ideal, 12, 13, 15, 23, 24, 26
 efecto fotoeléctrico, 68, 77, 101, 102, 104, 105
 efecto mariposa, 56
 Einstein, Albert, 41, 77, 92, 104
 electrón, 69, 75, 76
 electrónica, 6, 63, 101
 electrón-volt (eV), 97
 electroscopio, 68
 energía
 cinética media, 12, 27, 30, 31, 85
 concepto de, 36
 interna, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 86, 87, 89
 entropía, 34, 35, 50, 53, 54, 55, 86, 87, 88, 89, 90, 95, 102

- equilibrio térmico, 25, 31, 32, 34, 35, 37, 39, 48, 51
- equipartición, principio de, 12, 27, 31, 37
- equivalente mecánico del calor, 36
- escala termodinámica, 12
- estacionarias, ondas, 70
- estado caótico, 35, 56, 57
- evaporación, 40
- F**
- Fermi, Enrico, 77
- Feynman, Richard, 77
- fluidos, 14
- fotoeléctrico, efecto, 104
- fotón, 68, 88, 104
- Fourier, análisis de, 65, 73
- fractal, 58, 107
- función de onda, 62, 63, 72, 73, 74, 75, 76, 102
- G**
- gases ideales, 9, 12, 14, 15, 31, 37, 40, 85, 93, 95
- Gay-Lussac, Joseph Louis, 18, 55
- ley de, 18, 20, 95
- H**
- Hahn, Otto, 77
- Heisenberg, Werner, 77, 103
- Hero, máquina térmica de, 46
- hidrógeno, átomo de, 62, 68, 70
- Huygens, Christian, 65, 66, 90, 92
- I**
- internet, 5, 14, 21, 32, 41, 49, 57, 58, 83, 99, 101
- irreversibles, procesos, 47
- isobáricas, curvas, 21
- transformaciones, 20
- isotérmica, 13, 15
- curva, 16, 21
- transformación, 17
- isovolumétrica, transformaciones, 22
- isovolumétrico, proceso, 45
- J**
- Joule, James Prescott, 55
- K**
- kelvin, escala, 15, 19, 20, 24
- Kelvin, Lord, 55
- Kelvin-Planck, enunciado de, 48
- Koch, copo de nieve de, 58
- L**
- láser, rayos, 63, 66, 76, 77
- Laue, Max von, 77
- ley cero de la termodinámica, 34, 39
- de Avogadro, 13, 23, 24
- de Boyle, 16, 17, 22, 24, 95
- de conservación de la energía, 35, 36, 42, 43, 48
- de Gay-Lussac, 18, 85, 95
- leyes de la termodinámica, 9, 34, 93, 95, 105
- licuación de un gas, 20
- Lorenz, Edward, 57, 91
- luz, naturaleza de la, 65, 66, 68
- velocidad de la, 97
- M**
- máquinas térmicas, 45, 49
- mariposa, efecto, 56, 91, 92, 102
- matemática, 5, 14, 65, 70, 73
- Maxwell, James, 92
- medicina nuclear, 63
- mol 15, 23, 24, 29, 97
- momentum, 65, 86, 88
- motores a combustión, 49, 52
- N**
- Newton, Isaac, 66
- leyes de, 27, 29, 63, 72, 75, 97
- modelo corpuscular de la luz de, 65, 67, 90, 92
- nuclear, medicina, 63
- número de Avogadro, 15, 23
- O**
- objetivos fundamentales, 9
- objetivos fundamentales transversales, 11
- onda – corpúsculo, dualidad, 62, 68
- ondas estacionarias, 70, 71
- P**
- paquete de ondas, 73
- partícula, concepto de, 65
- Planck, Max, 77
- constante de, 69, 85, 97

presión atmosférica, 24, 25, 32
presión parcial, 12, 31, 32, 33
primera ley de la termodinámica, 34, 35, 42,
44, 45, 53, 86, 91, 92, 106
principio de equipartición, 12, 27, 31, 37
probabilística, interpretación, 74
pulmones, 12, 13, 17, 31, 32, 85

R

radio de Bohr, 75
recomendaciones al docente
 el mundo cuántico, 64
 gases ideales, 14
 leyes de la termodinámica, 36
relaciones de de Broglie, 62, 69
reversibles, procesos, 47, 50, 52, 88

S

segunda ley de la termodinámica, 34, 35, 47, 48,
53, 87, 88, 106
Shrödinger, Erwin, 77
Sierpinski, golilla de, 58
sistema internacional de unidades, 14, 81, 85,
97
Stern, Otto, 77

T

temperatura, concepto de 14, 36, 39
teoría cinética, 27, 29, 86, 87, 106
termo 37, 38, 44
termodinámica, escala, 12
Thomson, William *Véase* Kelvin, Lord
trabajo mecánico, 36

U

ultravioleta, luz, 68
uranio, 76

V

variables macroscópicas, 9, 40, 41
velocidad de la luz, 97

W

Watt, James, 55

Y

Young, experimento de, 66
Yukawa, Hideki, 77