

SERIE
NUEVAS
MIRADAS

Física

Para la educación secundaria

Jorge Rubinstein (Coordinador)

Silvia Calderón ▶ Lucía Iuliani ▶ Diana Macchi ▶ Dolores Marino

María Gabriela Rodríguez Usé

Física

Para la educación secundaria

Gerente general
Claudio De Simony
 Directora editorial
Alina Baruj

Coordinación autoral
Marta Bulwik
Jorge Rubinstein

Autores
Silvia Calderón
Lucía Iuliani
Diana Macchi
María Gabriela Rodríguez Usé
Jorge Rubinstein

Editora
Samantha Matos
 Corrector
Juan Pablo Cesio
Diego Kochmann

 Jefa de arte
Eugenio Escamez
 Diseño de tapa
Héctor Horacio Chivih Steinig
 Diagramación
Sergio Israelson

 Diseño gráfico
Federico Gómez

Ilustraciones
Fabián Slongo
 Cartógrafo
Miguel Ángel Forchi

Jefa de prensa y fotografía
Andrea Balbi
 Selección de imágenes
Leandro Ramírez

Fotografías
Archivo Clarín
Martín Katz
Roberto Cinti
Pablo Picca

Asistente editorial
Carolina Pizze

 Producción editorial
Ricardo de las Barreras
Gustavo Melgarejo

 Marketing editorial
Mariela Inés Gomez

© Tinta fresca ediciones S. A.
 Corrientes 534, 1^{er} piso
 (C1043AAS)
 Ciudad de Buenos Aires

Hecho el depósito que establece
 la ley 11.723.
 Libro de edición argentina.
 Impreso en la Argentina.
Printed in Argentina.

ISBN 978-987-576-782-9

La presente publicación se ajusta
 a la cartografía oficial establecida
 por el Poder Ejecutivo Nacional a
 través del IGN –Ley N° 22.963– y
 fue aprobada por el Expte. N°
 GG15 2449/5.

Física : para la educación
 secundaria / Silvia E. Calderón ... [et
 al.] ; coordinación general de Jorge
 Alberto Rubinstein. - 1a ed. edición
 para el alumno. - Ciudad
 Autónoma de Buenos Aires : Tinta
 Fresca, 2015.
 240 p. ; 28 x 22 cm.

ISBN 978-987-576-782-9

1. Física. I. Calderón, Silvia E. II.
 Rubinstein, Jorge Alberto, coord.
 CDD 530

Este libro se terminó de imprimir
 en el mes de noviembre de 2015.
 La tirada consta de 3.300
 ejemplares.



Este logo alerta al lector sobre
 la amenaza que fotocopiar libros
 representa para el futuro de la
 escritura. En efecto, la fotocopia de
 libros provoca una disminución tan
 importante de la venta de libros que
 atenta contra la posibilidad de los
 autores de crear nuevas obras y de las
 editoriales de publicarlas.

La reproducción total o parcial de
 este libro en cualquier forma que sea,
 idéntica o modificada, y por cualquier
 medio o procedimiento, sea mecánico,
 electrónico, informático o magnético
 y sobre cualquier tipo de soporte,
 no autorizada por los editores, viola
 derechos reservados, es ilegal y
 constituye un delito.

En español, el género masculino
 en singular y plural incluye ambos
 géneros. Esta forma propia de la
 lengua oculta la mención de lo
 femenino. Pero, como el uso explícito
 de ambos géneros dificulta la lectura,
 los responsables de esta publicación
 emplean el masculino inclusive en todos
 los casos.

► Índice

Parte I: La energía en el mundo cotidiano

Capítulo 1

La energía en la vida diaria y en la Física	7
Magnitudes físicas	8
Cifras significativas	9
Sistemas físicos.....	10
Diversidad de sistemas físicos	11
Variables de estado	12
Sistemas en equilibrio.....	13
La energía.....	14
Formas de energía	15
Transformaciones de energía.....	16
Transferencia de energía.....	16
Unidades de energía	17
Cálculos de energía.....	18
Actividades finales.....	20

Parte II: Transferencia de energía

Capítulo 2

Potencia	21
Ahorrar energía: la potencia	22
Medir potencias y energía	24
La potencia de una casa	26
La potencia de los medios de transporte ..	28
La potencia en la naturaleza	29
Potencia instalada y generación de energía eléctrica	30
Historia de la Física: La energía y la potencia a través del tiempo	32
Historia de la Física: Relaciones actuales e históricas entre la ciencia y la tecnología	34
Actividades finales.....	36

Capítulo 3

La energía mecánica y el trabajo	37
Las leyes de Newton	38
Fragmentos de los <i>Principia Mathematica</i> (1687).....	39
Primera Ley.....	39
Segunda Ley	39
Tercera Ley	39

Aplicaciones de las leyes de Newton

Aplicaciones de las leyes de Newton	40
Primera Ley de Newton o Principio de Inercia ...	40
Segunda Ley de Newton o Principio de Masa ...	41
Un ejemplo de aplicación de la Segunda Ley de Newton	41
Tercera Ley de Newton o Principio de Interacción.....	42
Newton y el movimiento de los satélites.....	43
Trabajo mecánico	44
Un ejemplo de trabajo mecánico.....	45
Energía cinética y energía potencial gravitatoria.....	46
Energía cinética.....	46
Un ejemplo de cálculo de la energía cinética....	46
Teorema del trabajo y la energía cinética	47
Un ejemplo del teorema del trabajo y la energía cinética	47
Energía potencial gravitatoria	48
Un ejemplo del cálculo de la energía potencial gravitatoria.....	48
Energía potencial elástica	49
Un ejemplo del cálculo de la energía potencial elástica	49
Conservación de la energía mecánica	50
Las fuerzas no conservativas	50
Las fuerzas conservativas	50
Análisis de la aplicación de una fuerza conservativa: la fuerza elástica.....	50
Otro caso de conservación de energía mecánica: el péndulo	51
Principio de Conservación de la Energía Mecánica	52
Un ejemplo del Principio de Conservación de la Energía Mecánica.....	52
La energía mecánica en la pista de patinetas y en la montaña rusa	53
Trabajo de las fuerzas no conservativas ..	54
Un ejemplo del trabajo de las fuerzas no conservativas	54
Comunicación científica: Recreación de un experimento histórico usando las nuevas tecnologías de la información y la comunicación	55
Interacción gravitatoria.....	56
Energía potencial.....	57

Experimentos y exploraciones: la mecánica y el automóvil.....	58
Actividades sobre la Física de la bicicleta.....	59
Historia de la Física: Algo más sobre la vis viva..	60
Una vieja ley enmendada	60
Actividades finales.....	61

Capítulo 4	
Calor.....	63
Temperatura.....	64
Principio Cero de la Termodinámica	64
Algo más sobre el equilibrio térmico.....	65
La temperatura y la estructura de la materia.....	65
Escalas termométricas	66
Conversión de una escala a otra	66
Ejemplos de aplicación de escalas termométricas	67
Termómetros	68
Termómetros clínicos	68
Termocuplas	68
Termómetros de resistencia o termoresistores.....	68
Pirómetros ópticos	68
Sensación térmica.....	69
Dilatación	70
Dilatación lineal de los cuerpos	71
Calor	72
Evolución histórica del concepto de calor	72
Calorimetría	73
Ecuación calorimétrica.....	74
Conservación de la energía.....	74
Calorímetro	75
Cambios de estado	76
Calor de fusión y calor latente de vaporización	77
Un ejemplo del intercambio de calor en un cambio de estado	78
El ciclo del agua	79
Nieve, granizo y nieblas.....	79
Transmisión del calor	80
Conducción	80
Convección.....	82
Radiación.....	83
Actividades experimentales	84
¿Es el agua un buen conductor térmico?.....	84
Corrientes convectivas en líquidos.....	84
Transmisión de energía por radiación.....	84
Ley de Stefan-Boltzmann	85
Coeficiente de transmisión total.....	86

Ley de Planck.....	86
Efecto invernadero	87
Comunicación científica: Noticias sobre el efecto invernadero.....	88
Actividades finales.....	89

Parte III: Termodinámica

Capítulo 5	
Primer Principio de la Termodinámica	91
Termodinámica: de un juguete griego a una central nuclear.....	92
La primera máquina de vapor.....	92
El juguete griego se convierte en una máquina térmica.....	93
Las máquinas térmicas de hoy y la Termodinámica	93
El trabajo y la variación de energía interna.....	94
El trabajo exterior	94
El trabajo termodinámico.....	95
Intercambio de calor de un sistema	96
Historia de la Física: Historia del Primer Principio de la Termodinámica	97
Mayer y la primera síntesis	97
Joule y el aporte experimental	98
Helmholtz y el Primer Principio de la Termodinámica	98
Sistemas termodinámicos	99
Sistemas cerrados y sistemas aislados	99
Variación de la energía interna	100
Primer Principio de la Termodinámica	101
La energía interna solo depende del estado del sistema	101
Ejercicios de aplicación del Primer Principio de la Termodinámica	102
Gases ideales	103
Leyes de los gases ideales.....	103
Evolución a temperatura constante	103
Evolución a presión constante	104
Evolución a volumen constante	104
Ecuación de estado de los gases ideales	104
Intercambio de energía en los gases ideales: calor y trabajo	105
Cálculo del trabajo en forma gráfica.....	105
Calores específicos de un gas	106

Aplicaciones del Primer Principio de la Termodinámica a las evoluciones de los gases ideales.....	107
Evoluciones a volumen constante	107
Evoluciones a presión constante	108
Evoluciones a temperatura constante	109
Evoluciones adiabáticas.....	110
Algunos ejemplos de procesos adiabáticos....	110
Termodinámica y atmósfera	111
Experimentos y exploraciones: Simular evoluciones de gases ideales	112
Cómo utilizar la simulación	112
Comunicación científica: Ciencia y lenguaje	114
Las descripciones.....	114
Las explicaciones	114
Actividades finales.....	115

Capítulo 6	
Segundo Principio de la Termodinámica.....	117
Los procesos que no ocurren	118
Segundo Principio de la Termodinámica: enunciado de Kelvin.....	120
Máquinas térmicas	121
El rendimiento y el Segundo Principio	122
Segundo Principio de la Termodinámica: enunciado de Clausius	123
Máquinas frigoríficas	123
Eficiencia de una máquina frigorífica.....	124
Degradación de la energía y entropía	125
Motores de combustión interna	126
Motores nafteros: ciclo Otto.....	126
Motores gasoleros: ciclo diésel	127
Refrigeración	128
Cómo funciona una heladera.....	129
Móviles perpetuos	130
Energía y Ecología	131
Contaminación y desarrollo sustentable	132
Huella ecológica	133
Comunicación científica: Argumentar y justificar	134
Actividades finales.....	135

Capítulo 7	
La energía y los seres vivos.....	137

La energía del Sol en la biomasa	138
La cadena alimentaria.....	138
La energía de los alimentos.....	139
Cómo los seres vivos utilizan la energía	140
Metabolismo	140
Trabajo muscular.....	141
Algunos mecanismos de termorregulación	141
Regulación térmica	142
Radiación.....	142
Convección.....	142
Evaporación.....	142
Conducción	143
Energía y adaptaciones	144
Relación entre la superficie y el volumen.....	146
Comunicación científica: Formas de informar en la Física y en la escuela	148
Actividades finales.....	150

Parte iv: Energía eléctrica

Capítulo 8	
Transformaciones de la energía eléctrica	151
Potencia y energía eléctrica	152
Circuitos eléctricos.....	154
Fuentes: fuerza electromotriz	155
Corriente eléctrica	156
Efectos de la corriente eléctrica.....	156
Intensidad de la corriente eléctrica.....	157
Ley de Ohm	158
Resistencia y resistividad	160
Efecto joule	162
Instrumentos de medición	164
Amperímetro	164
Voltímetro	165
Ohmímetro u óhmetro	165
Asociación de resistencias	166
Conexión en serie.....	166
Conexión en paralelo.....	167
Conexión mixta	168
Ejemplos de resolución de circuitos	168
Leyes de Kirchhoff	170
Primera Ley de Kirchhoff	170
Segunda Ley de Kirchhoff	171
Medidas de seguridad	172

Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano.....	173
Metodología científica: Lenguaje matemático ...	174
Actividades finales.....	176

Capítulo 9	
Producción de energía eléctrica	179
Redes de distribución de energía eléctrica	180
Centrales eléctricas	182
Transformación de energía química en eléctrica	184
Pila.....	184
Pila de hidrógeno.....	185
Transformación de energía solar en eléctrica	186
Efecto fotoeléctrico.....	186
Celdas solares.....	188
Centrales solares	189
Transformación de energía mecánica en eléctrica	190
Campo magnético	190
Inducción electromagnética	192
Ley de Faraday-Lenz	193
Generadores eléctricos.....	194
Centrales hidroeléctricas.....	195
Centrales mareomotrices	196
Centrales térmicas	197
Centrales nucleares	198
Centrales eólicas	199
Centrales geotérmicas.....	200
Impacto ambiental.....	201
Uso racional de la energía	201
Transformadores	202
Motor eléctrico.....	203
El telégrafo	203
Metodología científica: Lenguaje gráfico	204
Uso de la planilla de cálculo para graficar	205
Actividades finales.....	206

Metodología científica: ¿Qué hay?	
¿Cómo se sabe? Hipótesis y modelos	209
La Espectroscopía y el Sol.....	210
Los modelos atómicos y los espectros	212
Un acercamiento al modelo atómico actual....	213
Modelos nucleares.....	214
El modelo estándar.....	215
La estabilidad de los núcleos	216
Interacción fuerte	216
Energía de enlace.....	217
Fusión nuclear.....	218
La vida de las estrellas.....	220
Aceleradores de partículas	222
Radiactividad natural.....	223
Desintegración alfa	223
Desintegración beta.....	224
Desintegración gamma	225
Radiactividad artificial.....	225
Beneficios y peligros de la radiactividad.....	226
Fisión nuclear.....	228
Reactores nucleares.....	230
La ética en la ciencia actual	232
Actividades finales	234

Índice temático alfabético.....	237
--	------------

Parte v: Energía nuclear

Capítulo 10	
La energía de las estrellas	207
El Sol: fuente de energía	208

La energía en la vida diaria y en la Física

1

Contenidos

- > Magnitudes físicas
- > Sistemas físicos
- > Variables de estado
- > Sistemas en equilibrio
- > Energía: formas y transferencia

Los problemas de contaminación ambiental están estrechamente relacionados con la utilización que hace el hombre de los recursos disponibles en la naturaleza.

Simultáneamente, en el mundo se pueden encontrar personas que...

- analizan cómo disminuir el impacto ambiental ocasionado por la emanación de gases a la atmósfera, mientras que otras continúan utilizando artefactos que los producen.
- construyen centrales nucleares, mientras que otras se agrupan para luchar oponiéndose a instalaciones de ese tipo.
- se comunican por chat, teléfono celular o redes sociales de la web, mientras que otras no tienen energía eléctrica a su disposición.
- riegan el jardín con agua potable, mientras que otras deben recorrer cientos de metros para conseguirla.
- juntan el estiércol del ganado para hacer funcionar biodigestores, mientras que otras tiran alimentos.

EN ESTE CAPÍTULO...

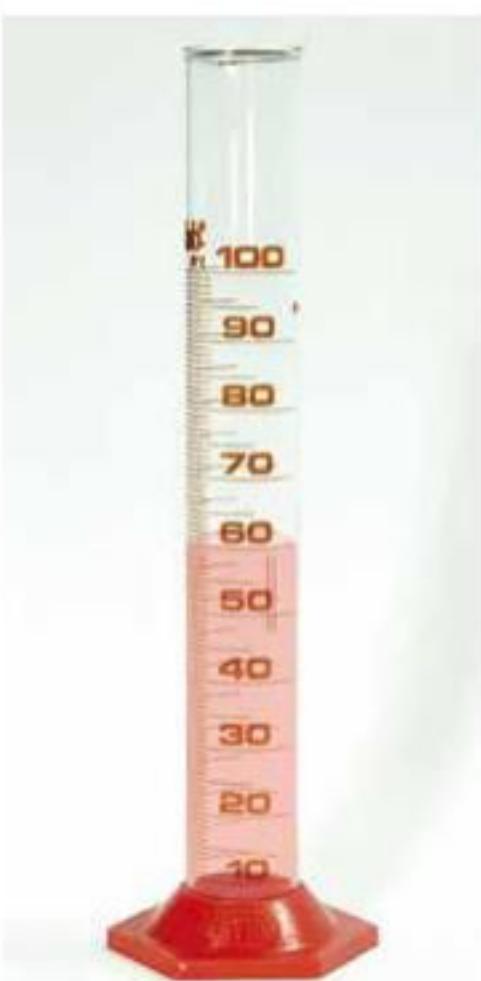
Se estudian algunos conceptos relacionados con la energía, sus formas, intercambio y transformaciones. Además, se espera que los alumnos puedan argumentar, con fundamento en conocimientos científicos, sobre la problemática y las posibles soluciones al problema energético mundial.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC1



Magnitudes físicas



El agua contenida en la probeta tiene un volumen de 60 cm^3 . Si al colocar un trozo de cobre, el nivel sube hasta 70 cm^3 , se puede calcular que el volumen de este es de 10 cm^3 .

El ser humano estudió los fenómenos naturales desde la Antigüedad. La búsqueda de regularidades en la naturaleza lo fue llevando a enunciar leyes que tratan de explicar cómo funciona el universo.

Para conocer qué relaciones existen entre las variables involucradas en un fenómeno, es necesario **medir**. Primero se define cuáles son las variables que caracterizan al fenómeno y que se desean medir, y luego se planifica la medición de acuerdo con los instrumentos disponibles. Así, si se quiere saber la relación entre la variación de volumen de un líquido y su temperatura, es necesario medir los volúmenes del líquido en distintos momentos mediante una probeta, por ejemplo, y sus temperaturas con un termómetro. De esa manera, se podrá encontrar una relación que explique cómo se dilata ese líquido.

La medición implica un proceso de comparación. Cuando se expresa que algo mide 2 m , 8 s o 10 N , se está estableciendo una comparación con la unidad metro, con el segundo o con el newton.

Todos los números asignados a las magnitudes físicas resultan de un proceso de medición. Se miden diferentes magnitudes que implican el uso de variados instrumentos de medición y distintas formas de utilización.

Algunos ejemplos son:

► El volumen de un cubo macizo de hierro puede medirse por desplazamiento de líquido, de esta manera:

$$\text{Volumen cubo} = \text{volumen total} - \text{volumen líquido}$$

o determinarlo de forma indirecta, midiendo la longitud de un lado y utilizando la fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{lado}^3$$

► Los valores de las constantes características de los materiales, tal como la densidad, el calor específico o el coeficiente de dilatación, se obtienen generalmente a través de la medición de otras magnitudes.

Así, si en un laboratorio escolar se obtiene que la densidad del cobre es 8.960 kg/m^3 , dicho resultado probablemente haya surgido de un procedimiento en el que se midieron diferentes magnitudes tales como la masa y el volumen. El valor de la densidad se puede obtener midiendo las masas y los volúmenes de muchos objetos macizos de cobre. Se observa que el cociente entre cada masa y el respectivo volumen siempre da 8.960 kg/m^3 , es decir que cada metro cúbico de cobre tiene una masa de 8.960 kg .

Entonces, si se tiene un objeto de cobre de 300 g de masa, ¿cuál es su volumen? Partimos de la definición de densidad:

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

De allí obtenemos el volumen a partir de la masa y la densidad:

$$\text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{0,3 \text{ kg}}{8.960 \text{ kg/m}^3} = 3,348 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Esto sería $33,48 \text{ cm}^3$.

Es cierto que la calculadora indica más cifras decimales, pero no tienen sentido físico. Alcanza con redondear a $33,5 \text{ cm}^3$.

Cifras significativas

No solamente en la Física es necesario comprender cuándo las unidades o las cifras decimales son necesarias y tienen sentido o, como se dice habitualmente, son **cifras significativas**. También el concepto de cifras significativas se utiliza en la vida diaria. A continuación se presentan algunos ejemplos que ilustran esta idea.

► Una empresa dice tener un capital de 45 mil millones de pesos con 5 centavos. ¿Qué información dan los 5 centavos sobre la solvencia de la empresa? Si se hace una investigación y resulta que la empresa tiene 45 mil millones de pesos menos 1 peso, ¿se la puede acusar de mentir acerca del capital que dice poseer?

► Un supermercado aumenta los precios un 3%. El precio de un chocolate sin aumento es \$7,30 y, con el aumento, \$7,519. No existen los milésimos de pesos y, por lo tanto, ese precio no tiene sentido. El comercio redondea el valor a \$7,55 o a \$7,50.

En otras palabras, el lenguaje matemático se utiliza tanto en la Física como en la vida cotidiana. Sin embargo, hay que recordar que la vida y la Física no son Matemática. Los números tienen sentido en cuanto a que expresan la idea que se transmite. Así, tiene sentido decir que la potencia del cohete impulsor de un transbordador espacial es 40.000.000 kW, pues da una idea concreta del valor aunque, en realidad, en algún caso fuese 39.998.998 kW.

La cantidad de cifras significativas con que se expresa el resultado de una medición en Física depende de los instrumentos usados y del proceso de medición. Si se mide el largo de una hoja de cuaderno con una regla escolar graduada en milímetros, el resultado podrá ser 22,3 cm, pero no 22,34 cm, ya que el instrumento no permite medir las 4 décimas de milímetro. Por otro lado, si se utilizara esa regla para medir el largo de una mesa, como hay que transportarla sucesivamente durante la medición, se obtendría un resultado que, a lo sumo, se podrá expresar en centímetros, ya que los milímetros no se pueden precisar.

Cuando los números provienen de una operación matemática, la cantidad de cifras que se consideran, llamadas cifras significativas, dependen de los instrumentos con los que se hayan realizado las mediciones.

Por ejemplo, si un auto recorre 100 km en 3 horas, su velocidad media puede calcularse como:

$$V_{\text{media}} = \frac{100 \text{ km}}{3 \text{ h}} = 33,333333... \text{ km/h}$$

Ese resultado no tiene sentido físico. Si los instrumentos para medir las distancias y el tiempo fueron la cinta métrica y un cronómetro, es probable que solo pueda asegurarse que la velocidad media es 33 km/h o, a lo sumo, si se hicieron las mediciones con más precisión, 33,3 km/h.

Otra cuestión para considerar es cuando la última cifra decimal es cero. En Matemática, sabemos que $5 = 5,0$. Esta idea de no considerar los ceros detrás de la coma decimal no se utiliza cuando el número indica el resultado de la medición de una magnitud, como sucede habitualmente en Física. Cuando dos personas miden una longitud y obtienen por resultados: $l_1 = 2 \text{ m}$ y $l_2 = 2,00 \text{ m}$, estos se consideran diferentes, pues los valores indican que la longitud se midió con diferente precisión. En el primer caso, no se indica qué ocurre con los décimos y centésimos de metro, mientras que en el segundo, se indica expresamente que la medición fue 0 décimo y 0 centésimo de metro.

Cuando se resuelven ejercicios y problemas numéricos, es importante comprender qué conceptos están involucrados y colocar los resultados con la cantidad de cifras significativas apropiadas. Por esto, en los cálculos en Física se aproximan las cifras aunque, desde un punto de vista matemático, a veces los resultados no parezcan exactos o correctos.



Los precios se ajustan para ser expresados en pesos y centavos, que son los valores de curso legal existentes.

a)

1. Los precios de los combustibles se suelen expresar con valores en los centavos que no tienen curso legal, ya que no hay monedas de valores menores a 5 centavos.

a. Si alguien va con un bidón a comprar un litro de nafta Súper, ¿cuánto deberá pagar si lo hace en efectivo?

b. Un automovilista carga 31 litros de nafta V-Power-Nitro+Nafta. ¿Cuánto debería pagar y cuánto paga realmente?



Sistemas físicos

Al estudiar los fenómenos naturales, se analiza una parte del mundo. Si se estudia cómo cae la lluvia, se hace un recorte de la hidrosfera. La hidrosfera incluye toda el agua del planeta, pero las precipitaciones son solo una parte de ella. Si se estudia cómo se produce un terremoto, se analiza una parte de la geosfera.

Cada parte que se aísla, real o idealmente, para enfocar su estudio, constituye un sistema. Algunos ejemplos:

- un vaso con agua líquida y un cubito de hielo
- el agua líquida contenida en el vaso
- el hielo que flota en el agua
- un resorte estirado
- la resistencia eléctrica en una plancha
- una plancha

De los ejemplos se desprenden que los sistemas pueden estar conformados por distintos cuerpos y dependen del objeto de análisis. Para considerar el límite de un sistema, se puede hacer una comparación o analogía con el lugar donde viven y cuál es el límite. Si les preguntan dónde viven, pueden dar como respuesta la calle y el número de la vivienda, o la ciudad. Si dan como respuesta la dirección de su vivienda, los límites están dados por los que establece el título de propiedad, pero, si dicen que viven en determinada ciudad, los límites son el perímetro de esta. También pueden considerar que viven en un partido, en una provincia, un país, un continente o en el planeta Tierra. Es claro que al delimitar dónde se vive, quedan definidas las personas que comparten el lugar donde viven, y el resto son vecinos. Así, según se delimite el lugar donde viven, los vecinos serán los que se encuentran en las casas cercanas a la vivienda, en las ciudades aledañas, o en países como Uruguay, Brasil, Paraguay, Chile y Bolivia.

Para el estudio de un sistema físico, se lo aísla, física o conceptualmente, y su entorno se denomina medio exterior. La definición del sistema depende del interés de estudio, es decir, del fenómeno que se pretende analizar. Una vez definido el sistema, el medio exterior está constituido por otros sistemas con los cuales existe posibilidad de interacción.

Por ejemplo, si se desea estudiar qué parte de un cubo de hielo queda sumergida al colocarlo en un vaso con agua, el sistema será el hielo. Si se quisiera analizar cómo se enfria el agua, esta sería el sistema, mientras que el cubito y el vaso serían parte del medio exterior. Pero, si se quiere estudiar por qué se condensa agua sobre la superficie exterior del vaso, el sistema será el vaso con su contenido y el medio exterior será el aire.

Para estudiar el movimiento de los planetas, se toma el Sistema Solar, que incluye al Sol, los planetas, los satélites y todos los cuerpos que se encuentran fuertemente influidos por el campo gravitatorio del Sol. Las estrellas, aun las más cercanas, son parte del medio exterior.



1. Indiquen, para cada caso, diferentes formas de considerar el sistema a estudiar, y determinen, para cada forma, cuál es el medio exterior:

- Guitarra criolla con cuerdas
- Aqua que circula por una casa
- Lata de conserva de tomates

Diversidad de sistemas físicos

Los sistemas pueden ser simples o complejos. Los sistemas complejos están formados por varios componentes que se interrelacionan, mientras que los simples están formados por uno o dos componentes. Por ejemplo, un animal unicelular es más simple que un mamífero.

Los sistemas físicos interactúan con el medio exterior de tal manera que pueden intercambiar materia y energía. La forma en que lo hacen induce otra forma de clasificación de los sistemas, que es la más habitual para encarar los problemas de Física. Según este criterio, los sistemas pueden ser abiertos, cerrados o aislados.

Un **sistema abierto** intercambia energía y materia con el medio. La atmósfera es un sistema abierto. El intercambio de materia se produce a través del intercambio de gases y partículas, mediante el ingreso de humo, vapor de agua y gases provenientes del medio exterior. La atmósfera intercambia energía, ya que recibe radiación del Sol y de la Tierra. Sin embargo, la atmósfera como sistema mantiene ciertas características prácticamente constantes pese a esos intercambios, tales como la composición del aire. Es decir que llega a un equilibrio dinámico que le permite mantener, por ejemplo, la proporción de oxígeno prácticamente constante.

Un **sistema cerrado**, como una heladera cerrada, intercambia energía con el medio, pero no materia. Mientras se mantenga cerrada, no ingresan ni salen alimentos o bebidas del artefacto; sin embargo, hay intercambio de energía, pues la heladera emite energía en forma de calor al medio ambiente y funciona manteniendo el interior a temperatura aproximadamente constante, conectada a la red eléctrica domiciliaria. Si se desconecta la red eléctrica, el aire del interior y los alimentos aumentan su temperatura aun cuando no se abra el artefacto.

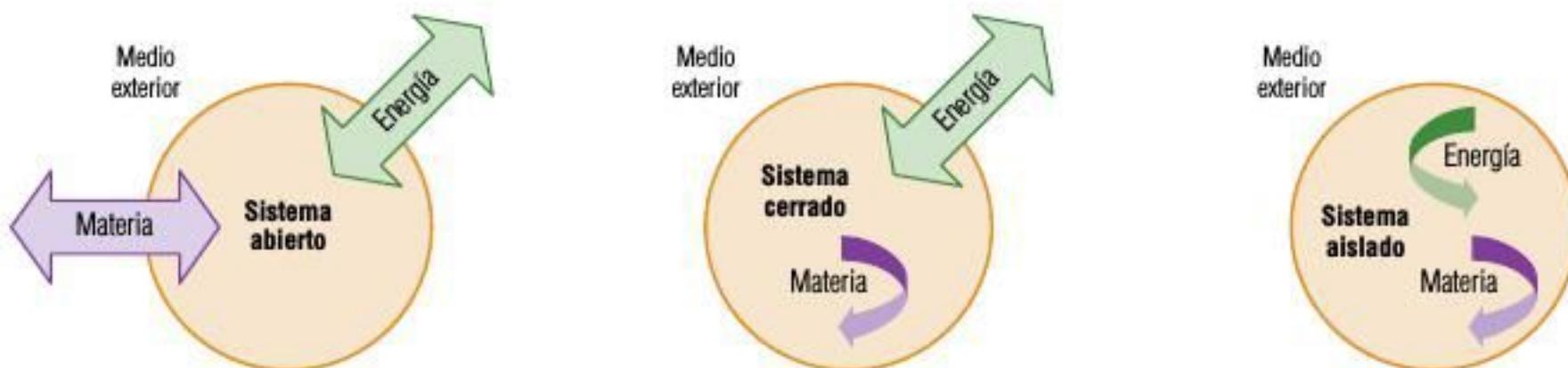
La Tierra puede considerarse un sistema cerrado, ya que la cantidad de materia que llega desde el exterior en forma de meteoritos o partículas de la radiación cósmica puede considerarse despreciable. Intercambia energía, ya que la recibe del Sol, y la emite desde la superficie debido a su temperatura.

Un **sistema aislado** no intercambia materia ni energía con el medio exterior. Un ejemplo de sistema aislado en un lapso breve de tiempo, lo constituye un recipiente de telfoglass que contiene helado. Como no intercambia energía, el helado no se derrite y, mientras el pote permanezca cerrado, no ingresan ni salen helado ni otro tipo de materia.

Al definir un sistema para su estudio habrá que tener presente si es abierto, cerrado o aislado para poder utilizar las leyes físicas que lo caracterizan y, por lo tanto, describir adecuadamente su funcionamiento.



Una vez que el envase aislante que contiene al helado ha sido tapado, se puede considerar que es un sistema aislado durante algunos minutos, ya que no intercambia energía con el medio exterior.



Sistema abierto, sistema cerrado y sistema aislado.

Variables de estado



La medición de la presión, la temperatura y otras variables permite conocer el estado del sistema constituido por una persona.

Como se indicó anteriormente, cuando se desea estudiar un sistema físico, primero hay que definirlo claramente y, en ese sentido, se suelen describir sus límites. Según las características de los límites, el sistema será abierto, cerrado o aislado. Pero, el estudio de lo que le ocurre al sistema requiere otros datos, además de sus límites.

En principio, se podrá hacer una descripción del sistema. Por ejemplo, si el sistema es un globo inflado, se podrá decir que es rojo, que tiene una forma casi esférica, que tiene aire en su interior, que su diámetro es de aproximadamente 20 cm, etcétera. Y si el sistema es un auto, se podrá indicar su marca, su color, etcétera.

En el estudio más preciso de un sistema, se busca describirlo mediante atributos que se puedan medir y, por lo tanto, que permitan detectar si el sistema se mantiene en un estado o se modifica. El diámetro del globo o la velocidad del automóvil pueden ser útiles en ese sentido. Sus valores se pueden medir e indican, en algún sentido, el estado del sistema.

Estas magnitudes, es decir, propiedades que se pueden medir y que indican el estado de un sistema, se denominan **variables de estado**.

Por ejemplo:

- ▶ Para un sistema constituido por un resorte, su largo es una variable de estado, ya que su medición puede indicar cuánto está estirado o comprimido, es decir, su estado.
- ▶ Si el sistema es agua colocada en una cacerola, las variables de estado podrán ser su volumen y su temperatura.
- ▶ Para el sistema formado por un gas encerrado en una garrafa, las variables de estado serán su presión y su temperatura.
- ▶ Para determinar el estado de salud de una persona, las variables pueden ser su temperatura, su presión arterial y los valores del análisis de su sangre.

En todos los casos, la variación de los valores de las variables indica que el estado del sistema cambió. Por ejemplo, si el resorte está más estirado, el agua tiene mayor temperatura o el gas tiene mayor presión.

Cuando se eligen las variables para caracterizar el estado de un sistema, hay que tener en cuenta que sean independientes entre sí, es decir que el valor de una o de varias no determinen el valor de otra. Por ejemplo, si se elige el diámetro de un globo esférico para la descripción de su estado, no se podrá tomar su volumen como variable, porque este queda determinado por el diámetro.

Por lo general, la evolución de un sistema, es decir, la forma en que va cambiando su estado, se analiza midiendo cómo se modifican las variables de estado a medida que pasa el tiempo. Por ejemplo, si se desea saber con qué rapidez se desinfla el globo, habrá que medir su diámetro en momentos diferentes.

Es evidente que hay sistemas que varían su estado en tiempos muy diferentes. Esto se puede determinar analizando cómo se modifican sus variables. En un globo que se pincha, su presión disminuye muy rápidamente; en el agua colocada en una cacerola al fuego, la temperatura varía mucho más lentamente y, si se toma un árbol como sistema y su altura como variable, los cambios serán realmente muy lentos.

a)

1. ¿Cuáles serían posibles variables de estado para caracterizar los siguientes sistemas?

- Un horno.
- El ascensor de un edificio.
- Una heladera con freezer en puertas separadas.
- Un equipo de audio.

2. ¿Por qué no es razonable elegir como variables de estado para caracterizar a un tanque con agua, el volumen de agua y la altura que alcanza desde la base del tanque?



Los instrumentos de la cabina de un avión les suministran a los pilotos los valores de las variables del estado del avión en cada instante.

Sistemas en equilibrio

Cuando se hace referencia al equilibrio, la imagen que más lo caracteriza es la de un equilibrista que camina por una cuerda. Sin embargo, "equilibrio" se aplica a muchos otros ámbitos. Se puede hablar de equilibrio ecológico, de equilibrio económico y hasta de equilibrio emocional.

Por lo general, cuando un sistema interactúa con el medio exterior intercambiando energía, materia o ambas cosas, va evolucionando, y esto se puede observar a partir de los cambios en sus variables de estado. Puede llegar un momento en el que la situación se estabilice, es decir que el sistema mantenga fijas sus variables de estado. Este es un estado del sistema denominado de **equilibrio** y se puede interpretar de dos maneras diferentes.

Puede ocurrir que el sistema intercambie materia o energía con el medio exterior de tal manera que su estado no se modifique; a esa situación se la llama **equilibrio dinámico**.

Por ejemplo, si en el tanque de agua de una casa ingresan por su parte superior 30 litros por minuto y, desde la cañería conectada en su parte inferior, salen también 30 litros de agua por minuto, el sistema "tanque con agua" estará en equilibrio dinámico. Lo mismo ocurriría en una casa en la que ingresa mensualmente la misma cantidad de dinero que la que se gasta. Estaría en un equilibrio económico dinámico.

Otra situación es la de un sistema que establece su equilibrio con el medio exterior sin intercambios; en este caso, su equilibrio es **estático**. Por ejemplo, si se coloca un vaso con leche a 50 °C en una habitación que se encuentra a 20 °C, se puede observar que la temperatura de la leche irá disminuyendo hasta alcanzar también los 20 °C. Cuando esto ocurra, la leche no entregará más energía al medio y se logrará un equilibrio estático.

¿Qué puede ocurrir cuando un sistema está en equilibrio estático y el medio exterior, por alguna razón, interactúa con él?

En términos generales, se pueden dar tres situaciones:

► **Equilibrio estable:** el sistema es apartado de la situación de equilibrio y vuelve a ella. Si al vaso de leche del ejemplo anterior, cuando está en equilibrio, lo calentamos a veintidós grados, luego de apartar la fuente que lo calentó, el sistema vuelve al estado de equilibrio inicial.

► **Equilibrio inestable:** al apartar el sistema de su equilibrio estático, no vuelve a la misma situación. Este es el caso del equilibrista que, si sale de la posición de equilibrio, se cae.

► **Equilibrio indiferente:** en algunos casos se da que el sistema, apartado de su situación de equilibrio estático, pasa a otras situaciones de equilibrio. Una pelota quieta en un piso horizontal está en equilibrio estático. Si se la mueve, llega a otra posición, también de equilibrio.



El agua caliente se irá enfriando y llegará a un equilibrio térmico cuando tenga la misma temperatura que el medio exterior.



Por lo general, la idea de equilibrio está asociada a los casos de equilibrio inestable, como es el del equilibrista.

La energía



Las personas obtienen de los alimentos la energía necesaria para su metabolismo, regulación térmica, desplazamiento, etcétera.

El término "energía" se utiliza en distintos contextos.

El término "energía" es familiar para muchas personas. Se puede leer, en diarios y revistas, que la energía es básica en relación con el ambiente y que hay que evitar su "derroche", que los alimentos proveen la energía necesaria para vivir, que el combustible da energía para que un auto se mueva, y los niños pequeños hablan de la energía que obtendrá el personaje de historieta al accionar determinado mecanismo. Además, el tema de la energía se estudia en diversas asignaturas escolares, tales como: Biología, Física, Química, Geografía y Economía.

Sin embargo, parece que el significado de la palabra "energía" y los términos utilizados para explicar sus propiedades son diferentes en distintas situaciones. Es decir que se la emplea en diversos contextos en los que adopta un sentido diferente. Por ejemplo: ¿la energía se "gasta" o se mantiene constante?, ¿hay alguna relación entre el concepto de energía que aparece en los libros de Física y la energía que se obtiene del petróleo o de los alimentos?, ¿cuál es la importancia de la energía para los grupos ambientalistas, para los políticos y para los científicos?

Diario | 28 de marzo de 2011

Sin energía, se agrava la situación en La Angostura

12 Diario Internacional 21 enero 2011

ITALIA

Votan un referéndum sobre energía nuclear

Diario | 28 de marzo de 2011

Una joven que tiene la fuerza y la energía de un soldado se medirá con una despiadada agente de Inteligencia y ambas lucharán para imponer sus habilidades.

12 Diario Internacional 21 enero 2011

Se dice que existe buena energía, vibraciones, aura o karma cuando percibimos con nuestro

El concepto de energía es difícil de definir, pero el estudio y análisis de diferentes procesos y objetos permitirá comprender qué es la energía, cómo clasificarla y cómo estudiar y caracterizar sus propiedades.

Una primera aproximación al concepto de **energía** es que un sistema posee energía si puede transformarse a sí mismo o producir transformaciones en otros sistemas. El Sol, el petróleo, los alimentos, el agua y el aire tienen energía porque pueden producir cambios o transformaciones en otros sistemas. El Sol evapora el agua y permite la fotosíntesis en las plantas; la energía de los alimentos permite que las personas desarrollen sus funciones vitales y realicen movimientos; el agua y el aire pueden mover objetos.

¿Qué formas de energía existen? Si colocan en un buscador de Internet la palabra "energía", aparecerá un listado que incluye energía eléctrica, lumínica, solar, eólica, nuclear, química, de los alimentos, mecánica, potencial y cinética, entre otras. Este listado no resulta explicativo de las formas de energía y puede ser confuso pues, por ejemplo, la energía de los alimentos es energía química.

Para clasificar las diferentes formas de energía, es necesario establecer criterios que permitan definir categorías. Un criterio puede ser la disponibilidad a corto plazo de recursos energéticos. En esta clasificación, hay energías de fuentes renovables y de fuentes no renovables. Entre las energías de fuentes renovables está la eólica, los biocombustibles y la energía solar. Entre las no renovables a corto plazo está la energía proveniente de los combustibles fósiles.

Otro criterio consiste en agrupar la energía de acuerdo con el tipo de sistema en donde está el recurso. Así, la energía puede clasificarse en eólica, hidráulica, de combustibles fósiles, solar, etcétera. También, es posible agrupar las distintas formas de la energía en función de las transformaciones que tienen lugar en el sistema. Desde este punto de vista, hay energía mecánica, eléctrica, lumínica, química y nuclear. ¿Y cuál es el motivo por el cual se han buscado diversas maneras de clasificar y agrupar las formas de energía? Ocurre que, cuando es posible agrupar fenómenos o sistemas que comparten características y se comportan de forma parecida, es más sencillo estudiar la naturaleza y los procesos energéticos que ocurren en dichos sistemas.

Formas de energía

Desde el punto de vista científico, la clasificación más habitual incluye las formas de energía: mecánica, eléctrica, química, electromagnética y nuclear. La energía mecánica está asociada al movimiento, a las posiciones de los cuerpos en general y a las deformaciones de los cuerpos elásticos, en particular. Por ejemplo, el viento, aire en movimiento, tiene energía mecánica y puede, por ejemplo, impulsar un velero o transformarse en energía eléctrica en un generador eólico.

La energía de un trozo de carbón o de madera que se puede utilizar para producir fuego, la que contiene un trozo de carne que se digiere o la que almacenan las plantas mediante el proceso de fotosíntesis, se debe a la estructura atómica de los elementos químicos que los componen y de cómo están combinados. Se trata de energía química porque se manifiesta cuando se producen transformaciones en la materia, como la combustión. En estas transformaciones, ciertas sustancias se combinan y se obtienen otras que son diferentes a las que reaccionaron inicialmente.

La energía eléctrica se produce cuando hay movimiento de cargas eléctricas, tal como el movimiento de electrones en el circuito eléctrico de una linterna o de iones en una solución. Ejemplos de esta forma de energía son la descarga eléctrica que se produce entre una nube y la tierra durante una tormenta eléctrica, y el funcionamiento de un electrodoméstico cuando circula corriente eléctrica por él.

La energía que permite calentar el agua contenida en una taza en un microondas, así como la que posibilita cambiar de canal o aumentar el volumen de un televisor con un control remoto, se llama electromagnética. La energía lumínica corresponde a una parte de la energía electromagnética.

La energía nuclear es la energía que se manifiesta cuando un elemento químico se transforma en otro diferente a través de procesos de fisión, de fusión o radiactivos. Prácticamente toda la energía que utiliza el hombre es originalmente nuclear, ya que proviene del Sol, donde procesos de fusión nuclear producen la energía que nos llega desde él.



El arco tenso tiene energía mecánica.



La vela tiene energía química que se transforma durante la combustión.



La energía del rayo es eléctrica y puede provocar daños.



La energía electromagnética proveniente del Sol puede modificar la tonalidad de la piel.



Mediante el proceso de fotosíntesis, las hojas transforman la energía electromagnética del Sol en energía química.

Transformaciones de energía

Una de las propiedades de la energía es la de poder transformarse de una forma a otra. Por ejemplo, a partir de la energía química, mediante la combustión del petróleo o de sus derivados, es posible aportar energía mecánica a un auto o calentar agua hasta formar vapor que, a su vez, puede mover un generador y proveer energía eléctrica a los hogares y las industrias.

La energía eléctrica, por la que pagamos a una empresa que la distribuye a los hogares, permite encender lámparas, hacer funcionar un ventilador o cargar la batería de un teléfono celular. En la lámpara, la energía eléctrica se transforma en energía lumínica; en el ventilador, en energía mecánica, y en la batería del celular, en energía química.

Gran parte de los esfuerzos en el desarrollo y en la construcción de artefactos domésticos e industriales es para facilitar la vida de las personas. Los diferentes aparatos y sistemas proporcionan un mejor aprovechamiento de la energía y permiten realizar trabajos con menos esfuerzo o en menos tiempo.

Según cómo se defina el sistema en estudio, estas transformaciones de la energía pueden significar cambios en el propio sistema o intercambios con el medio exterior. Es decir que la energía se puede transferir de un cuerpo a otro.

Por ejemplo, las plantas transforman la energía electromagnética del Sol en energía química. Y, por otro lado, un cargador de celular transforma la energía eléctrica de la red domiciliaria en energía química almacenada en la batería.

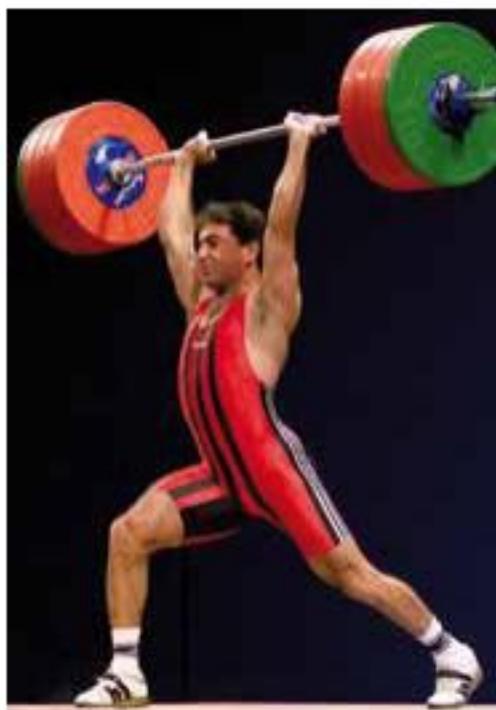
Transferencia de energía

Existen tres mecanismos mediante los cuales un sistema, al interactuar con otros, puede ganar o perder energía: a través del trabajo, el calor o la radiación.

Una de las formas de transferir energía entre dos cuerpos es mediante la acción de fuerzas. Si un cuerpo ejerce sobre otro una fuerza y lo desplaza o lo deforma, le entrega energía. Esa transferencia de energía se denomina **trabajo**. En un caso como el indicado, en el que el cuerpo entrega energía, el trabajo realizado se considera positivo.

Cuando una persona que está haciendo esquí acuático ejerce una fuerza sobre la soga que lo une a la lancha, su trabajo es negativo ya que no aporta energía a la lancha, sino que ocurre lo contrario.

Si dos cuerpos ejercen fuerzas entre sí, pero no se mueven ni deforman, no están intercambiando energía, por lo que el trabajo es cero. Un ejemplo de esto es cuando se sumerge un trozo de corcho en el fondo de un recipiente que contiene agua. El corcho sube hasta la superficie porque la fuerza de empuje del agua realiza un trabajo positivo y el corcho adquiere energía de movimiento. Cuando el corcho está flotando en equilibrio, la fuerza de empuje continúa ejerciéndose, por eso flota, pero el trabajo es nulo.



El atleta entrega energía a la pesa aplicando una fuerza y elevándola, es decir, intercambia energía mediante trabajo.

Otra forma de intercambio de energía entre dos sistemas es a través de **calor**, y se produce cuando los sistemas que interactúan están a diferente temperatura. La energía pasa del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura.

Esto sucede, por ejemplo, cuando se coloca una taza con leche caliente sobre una mesa y la taza se va enfriando porque cede energía en forma de calor al exterior, que se encuentra a menor temperatura. O, también, cuando se coloca una cacerola sobre una hornalla encendida: la cacerola aumenta su temperatura debido al intercambio de energía con la hornalla.

La energía que llega desde el Sol lo hace mediante ondas electromagnéticas. Esta forma de transferencia de energía se denomina **radiación**.

Hay muchos otros ejemplos de transferencia de energía mediante radiación: un receptor de radio que recibe una señal desde la antena de una emisora, la cocción de alimentos mediante microondas y las señales emitidas por el control remoto de un televisor.



El fuego, es decir, los gases en combustión, están a mayor temperatura que el agua y le ceden energía en forma de calor.

Unidades de energía

El Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA) tiene al joule como unidad para medir la energía; su símbolo es J.

El **joule** es una unidad de energía relativamente chica. Por ejemplo, cuando un pan con mantequilla de 100 gramos cae al suelo desde un metro de altura, adquiere una energía de movimiento de, aproximadamente, 1 joule. Por otro lado, para aumentar en un grado la temperatura de 100 cm³ de agua, hay que entregarle alrededor de 24 joule en forma de calor.

Como esta unidad es muy chica, se suelen utilizar otras. Así como ocurre con todas las unidades, es posible encontrar múltiplos del joule. El prefijo kilo (k) indica que la unidad que le sigue debe ser multiplicada por 1.000 (10³), como el caso del kilogramo o el kilómetro. El **kilojoule** (kJ) es igual a 1.000 joule.

Como se irá viendo en los capítulos siguientes, también se usan otras unidades de energía, como el kilowatt-hora, la caloría y la kilocaloría. Esta última unidad es bastante utilizada para indicar el valor calórico de los alimentos.



La energía se mueve desde el control remoto al automóvil mediante ondas electromagnéticas, es decir que es un proceso de radiación.

Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)

En el año 1960, la Conferencia General de Pesos y Medidas propuso un sistema de unidades para medir todas las magnitudes y lo denominó Sistema Internacional (SI). A este sistema se han adherido casi todos los países del mundo.

Nuestro país, mediante la ley 19511 del año 1972, toma al SI como único sistema de unidades con el nombre de SIMELA.

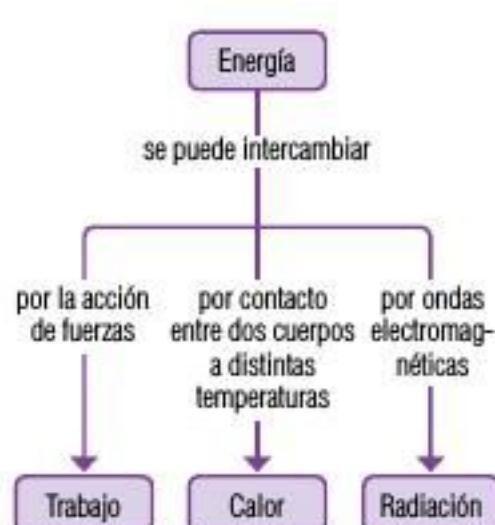
Este sistema tiene 7 unidades de base que se definen experimentalmente, excepto el kilogramo, que lo hace mediante un cuerpo patrón. Todas las demás unidades son alguna combinación de estas.

Las unidades de base son las siguientes:

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	celsius	C
Intensidad luminosa	candela	Cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

El joule, por ejemplo, es una combinación de ellas, y se puede escribir de la siguiente manera:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$



Cálculos de energía

Las distintas formas en que se presenta la energía permiten su cálculo a partir de los valores que toman algunas de las variables de estado del sistema que se estudia. Varias de las expresiones matemáticas que se utilizan para realizar estos cálculos fueron estudiadas en años anteriores y otras se irán introduciendo en los próximos capítulos.

► **Energía y velocidad:** La energía cinética de un cuerpo puede calcularse como:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

donde m es la masa del cuerpo y v es su velocidad.

Por ejemplo, un auto de 1.000 kg de masa que se mueve con una velocidad de 80 km/h (22,22 m/s) tiene una energía cinética de $2,5 \cdot 10^5$ J, aproximadamente, ya que:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot 1.000 \text{ kg} \cdot (22,22 \text{ m/s})^2 = 247.000 \text{ J}$$

► **Energía y altura:** La energía potencial gravitatoria, es decir, la energía debida a la altura respecto de cierto nivel de referencia en la Tierra, se calcula como:

$$E_P = m \cdot g \cdot h$$

donde m es la masa del cuerpo, g es la llamada aceleración de la gravedad, que tiene un valor medio de $9,8 \text{ m/s}^2$, y h es la altura desde algún nivel de referencia.

Por ejemplo, si un cuerpo de 100 kg de masa se encuentra a 700 m de altura respecto del nivel considerado como cero, su energía potencial gravitatoria es de $6,9 \cdot 10^5$ J, aproximadamente, ya que:

$$E_P = 100 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 700 \text{ m} = 686.000 \text{ J}$$

► **Energía potencial elástica:** La energía elástica de un resorte comprimido o estirado se calcula como:

$$E_{\text{pot elas}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2$$

donde k es la constante característica del resorte y Δx es la compresión o estiramiento respecto de la posición de equilibrio. Los resortes "más duros" tienen una constante elástica más grande que la de los resortes "blandos". Cuanto mayores sean el estiramiento o la compresión, mayor será la energía "almacenada" en el resorte.

Cuando, por ejemplo, un resorte de constante 1.000 N/m se estira 5 cm, tiene una energía potencial elástica de 1,25 J, ya que:

$$E_{\text{pot elas}} = \frac{1}{2} \cdot 1.000 \text{ N/m} \cdot (0,05 \text{ m})^2 = 1,25 \text{ J}$$

De la misma manera que en los casos anteriores se ha calculado la energía mecánica a partir de expresiones matemáticas específicas para cada uno de ellos, existen expresiones que permiten calcular otras formas de energía como, por ejemplo, la energía nuclear generada en el Sol cuando cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan para formar un núcleo de helio.



La energía cinética de un auto depende de su masa y del cuadrado de su velocidad.



La energía potencial gravitatoria de la carga depende de su peso y de la altura a la que se encuentra.



La energía potencial elástica de un resorte depende de su constante elástica y de su deformación.

También se han desarrollado expresiones que permiten calcular la transferencia de energía desde un sistema a otro. En algunos casos, el detalle de estas expresiones se desarrollará en los próximos capítulos.

► **Energía y trabajo:** Cuando un cuerpo intercambia energía con otro cuerpo mediante una fuerza que los desplaza, ese intercambio de energía se puede calcular mediante el trabajo (W) con la fórmula:

$$W = F \cdot \Delta x$$

donde F es la fuerza aplicada paralela al desplazamiento producido y Δx es dicho desplazamiento.

Por ejemplo, si una persona empuja una caja mediante una fuerza horizontal de 150 N (cada newton equivale, aproximadamente, a 100 gramos) y la desplaza 2 metros, entonces, le ha entregado 300 joule de energía, ya que:

$$W = 150 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 300 \text{ J}$$

► **Energía y potencia eléctrica:** La potencia eléctrica de los artefactos electrodomésticos permite determinar el "gasto" o "consumo" de energía eléctrica cuando se utiliza el artefacto durante cierto tiempo. Es decir que se calcula cuánta energía eléctrica se transforma en otra forma de energía por segundo o por hora. Esta transformación se calcula con la fórmula:

$$E = P \cdot \Delta t$$

donde E es la energía eléctrica, P es la potencia del artefacto y Δt es el tiempo de uso.

Por ejemplo, una estufa de 1.500 W de potencia que se utiliza durante 6 horas ocasiona un "consumo" eléctrico de 9.000 Wh o 9 kWh, ya que:

$$E = 1.500 \text{ W} \cdot 6 \text{ h} = 9.000 \text{ Wh}$$

Como cada Wh equivale a 3.600 J, los 9.000 Wh son 32.400.000 J.

Muchas veces, como se verá más adelante, la energía eléctrica se expresa en esa unidad, sin dar su equivalencia en joule.

► **Energía y variación de temperatura:** Para aumentar la temperatura de un cuerpo, se requiere cierta cantidad de energía. Si esta energía es suministrada en forma de calor, su cálculo requiere saber qué tipo de sustancia es, cuál es la variación de la temperatura y cuál es la masa del cuerpo. Se verá en el capítulo 4 la expresión que permite este cálculo.

Por ejemplo, para que 500 ml de agua aumenten su temperatura de 10 °C a 70 °C, para cebar mate, se necesitan 30.000 cal o 30 kcal de energía en forma de calor.

Estas 30.000 calorías equivalen a 125.000 J.

► **Energía y radiación:** Todos los cuerpos emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Las características de esa emisión las veremos en el capítulo 4.

Resulta evidente que un cuerpo como el Sol emite energía, pero todos los cuerpos lo hacen, aunque no sea tan evidente. Por ejemplo, aun un cubito de hielo sacado de la heladera emite energía mediante ondas electromagnéticas, esto es en forma de radiación, por un valor que puede ser de unos 20 joule por minuto.

Si un sistema está caracterizado a través de sus variables de estado, en muchos casos resulta posible calcular, mediante expresiones matemáticas, su energía, la variación de esta o los valores del intercambio de energía con el medio exterior.



La mujer, al empujar el armario, le entrega una cantidad de energía que se calcula mediante el trabajo.

Actividades finales

1. Investigan qué es la Agencia Internacional de la Energía, cuándo fue creada, qué países son sus miembros y qué objetivos persigue.

2. Indiquen el nombre de un artefacto que transforme:

- a. energía eléctrica en luz y sonido,
- b. energía eléctrica en luz,
- c. energía electromagnética en sonido,
- d. energía sonora en electromagnética.

3. Un sistema puede ser abierto, cerrado o aislado. Indiquen en cuál de las tres categorías se encuentra cada uno de los siguientes sistemas. Aclaren las condiciones en caso de ser necesario.

- a. El agua contenida en un termo por corto tiempo.
- b. La mezcla de gases contenida en el interior de los tubos utilizados para bucear.
- c. Una planta.
- d. Un televisor encendido.

4. El equilibrio estático de un sistema puede ser estable, inestable o indiferente. Indiquen a qué categoría corresponde cada una de las siguientes situaciones, explicando lo que le ocurre a cada sistema al ser apartado de su estado de equilibrio.

- a. Un pequeño cuerpo colgado de un hilo.



- b. Una persona que se mantiene sobre un monociclo deteniendo sin tocar el piso.



- c. Una pequeña pelota colocada en equilibrio en la parte superior de una pelota mucho más grande.



- d. La hélice de un avión cuando está quieta.



5. Enumeren las transformaciones de la energía que se producen cuando los siguientes sistemas evolucionan de la manera indicada. El sistema se indica en negrita.

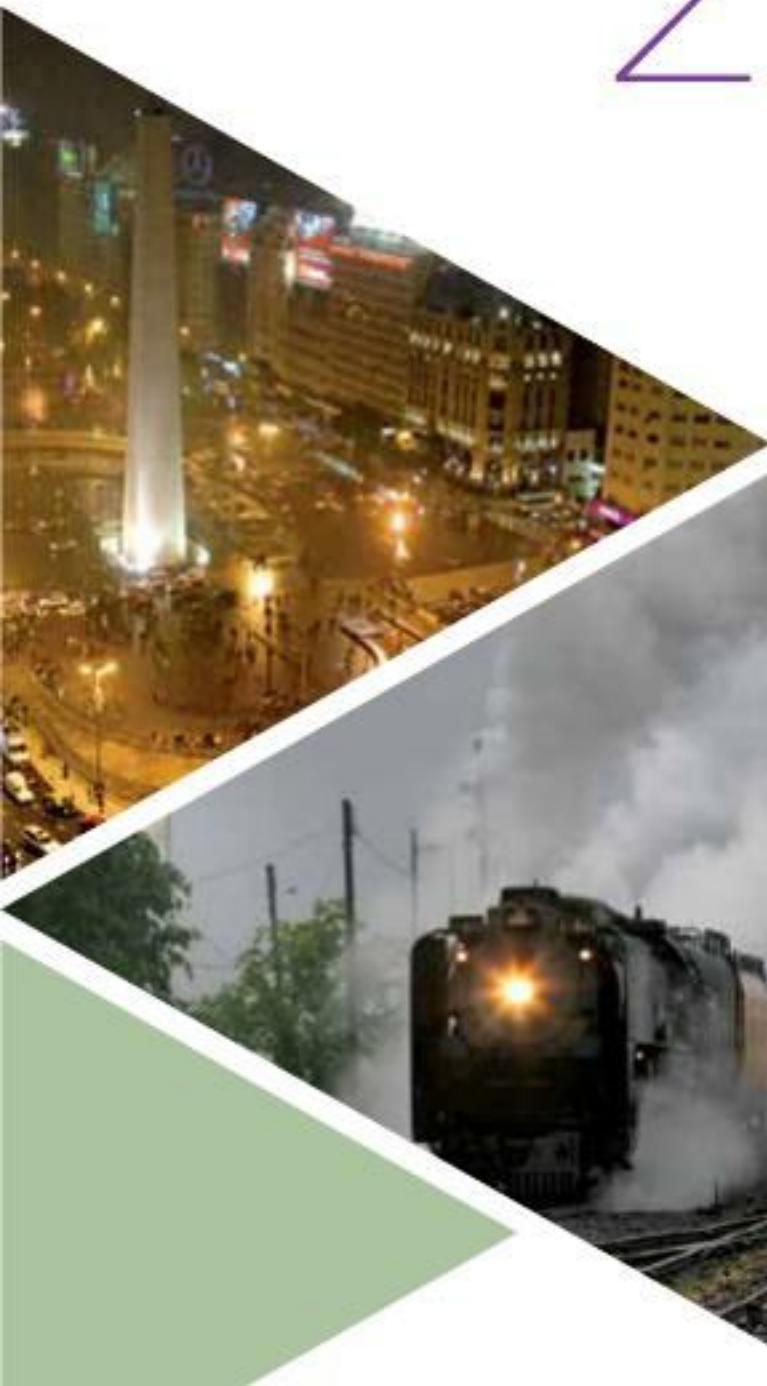
- a. **Un atleta con su garrocha** toma carrera, salta y cae en la colchoneta colocada bajo la varilla.
- b. **La pelota** utilizada en un partido de fútbol es impulsada en un tiro libre a ras del césped y, después de recorrer 20 m, es detenida por el arquero.
- c. **La pelota** utilizada en un partido de básquet se hace picar dos veces por un jugador, que luego la arroja y convierte un doble en el aro.
- d. Un lanzador arroja **una jabalina** que, después de recorrer 80 metros, se clava en el piso.

6. La energía se intercambia mediante tres formas: trabajo, calor y radiación. ¿Cuál o cuáles de estas formas intervienen en las siguientes situaciones?

- a. El Sol ilumina la Tierra.
- b. Los alimentos que se encuentran a temperatura ambiente se enfrián al ser colocados dentro de una heladera.
- c. Se coloca agua extraída de la canilla en un recipiente sobre el fuego para hacer té.
- d. Una mujer empuja un carrito en el que lleva a su bebé.

Potencia

2



Contenidos

- > Potencia
- > Unidades de potencia y de energía
- > Potencia mecánica, eléctrica, térmica
- > Rendimiento
- > Potencia en la generación de la energía eléctrica
- > Potencia instalada
- > Evolución histórica

▶ ¿Cuánta energía necesita una casa para funcionar? ¿Cuánta energía requiere una ciudad? ¿Cuánta energía necesita el país y cuánta se genera?

Las cantidades de energía necesarias para abastecer una casa, una industria o una ciudad varían durante los distintos horarios de un día y en las distintas épocas del año. Pero, además, van aumentando año a año. La creciente oferta de artefactos tecnológicos y electrónicos que mejoran nuestras actividades diarias, junto con el crecimiento demográfico en las ciudades, demanda cada vez más cantidad de energía para abastecerlas. Esta gran cantidad de energía requerida simultáneamente implica aumentar la rapidez con que se la suministra o transforma, es decir que se necesita aumentar la potencia.

Esto es lo que a veces provoca que, al iniciarse el verano, haya una crisis energética que obligue a realizar cortes programados del suministro eléctrico, o que, en pleno invierno, haya escasez de gas.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC2



EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudia la potencia. Se analiza cómo influye la potencia en una casa, en los medios de transporte y en la naturaleza. Además, se desarrolla el concepto de potencia instalada.

Ahorrar energía: la potencia



La potencia del motor de un auto indica la cantidad de energía que transforma por segundo utilizando el combustible para mover el auto.

Desde el año 2008, el Gobierno nacional lanzó un programa para el uso racional y eficiente de la energía, que involucra, entre otras medidas, reemplazar las lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas, también llamadas lámparas de bajo consumo. El beneficio directo que se obtiene del uso de este tipo de lámparas es que permiten ahorrar energía iluminando de forma equivalente, ya que disipan mucha menos energía eléctrica en forma de calor que las usadas tradicionalmente. Por esto, una lámpara de bajo consumo, al estar encendida durante el mismo tiempo e iluminando de la misma manera, transforma una cantidad de energía menor que si se usara una lamparita incandescente. Esta característica se indica mediante un valor numérico llamado potencia. La **potencia** es una magnitud que permite conocer la cantidad de energía transferida o transformada por segundo.

Clarín

AYER SE PUBLICÓ EN EL BOLETÍN OFICIAL QUE EN 2012 NO SE PODRÁN VENDER MÁS

Adiós a las lamparitas: las claves antes de cambiarlas

Titular del diario *Clarín* del jueves 22 de enero de 2009.



Una lamparita incandescente y una de bajo consumo.

En los procesos de intercambio o de transformación energética, es importante la cantidad de energía intercambiada y también el tiempo en que se realiza esa transferencia. Por ejemplo, el motor de una bomba de agua, que para funcionar necesita transformar 1.000 joule de energía durante 1 segundo, podrá llenar un tanque de agua en menos tiempo que otra que transforme 1.000 J en 2 segundos. En el primer caso, la potencia será mayor.

Si bien un litro de nafta puede aportar la misma cantidad de energía a cualquier motor, el tiempo que tarde en consumirlo está relacionado con su potencia. El motor de un auto necesita menos energía que el motor de un avión, y por eso tardará más tiempo en utilizarla. Es decir que los autos necesitan motores menos potentes que los aviones.

Al ir a comprar un artefacto eléctrico, el vendedor generalmente informa al comprador la potencia de ese electrodoméstico, entre otras características. Este dato no indica la cantidad de energía que suministra, sino con qué rapidez es capaz de transferirla. Un aparato más potente realiza intercambios de energía más rápidos, es decir, en menos tiempo.



La etiqueta de un televisor informa su potencia, entre otras características.

Actividades con la computadora



- Muchas personas se oponen a reemplazar las lámparas tradicionales por las de bajo consumo. Investigan las características de las lámparas fluorescentes compactas y las de las incandescentes. Pueden consultar las siguientes páginas web:

<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2860>

<http://www.planetica.org/como-funcionan-las-bombillas-de-bajo-consumo>

- Completen el siguiente cuadro sobre las distintas potencias a igualdad de iluminación.

Tipo de lámpara	Potencia	Tiempo de uso diario	Tiempo de uso mensual	Tiempo de uso anual	Consumo energético anual	Costo mensual	Costo anual
Incandescente							
Bajo consumo							

- Escriban un informe en el que se describan las ventajas de las lámparas de bajo consumo por sobre las incandescentes. Para ello utilicen la tabla anterior y comparen el consumo energético anual de cada una.

Se puede definir entonces la potencia como la rapidez con que se realiza un intercambio de energía, o la cantidad de energía intercambiada en una unidad de tiempo. Operativamente, se puede determinar:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

donde ΔE es la cantidad de energía intercambiada, y Δt es el intervalo de tiempo empleado durante el intercambio.

En el ejemplo de las bombas de agua dado en la página anterior, la potencia de la primera de ellas es:

$$P = \frac{1.000 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1.000 \text{ J/s}$$

Mientras que la potencia de la segunda bomba es:

$$P = \frac{1.000 \text{ J}}{2 \text{ s}} = 500 \text{ J/s}$$

De esta manera, la potencia indica la cantidad de energía intercambiada por cada segundo. La primera bomba de agua intercambia 1.000 joule por cada segundo que está operando, mientras que la segunda, solo 500 J por segundo.

La unidad J/s (joule por segundo) recibe el nombre de **watt** (W) en reconocimiento a los aportes realizados por el mecánico James Watt (Escocia, 1736-1819), al mejorar, en forma práctica, el rendimiento de las máquinas a vapor y, con ello, su potencia.

Un watt es la potencia de un sistema que intercambia 1 joule de energía en 1 segundo:

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$$

Así, en los ejemplos anteriores, las potencias de las bombas de agua son de 1.000 W y 500 W, respectivamente.

La potencia de una lámpara de bajo consumo puede ser de 20 W, es decir que transforma solo 20 J de energía eléctrica por cada segundo que está encendida; mientras que su equivalente tradicional es de 100 W, transformando 100 J por segundo. Esto indica que su potencia es cinco veces mayor a la de bajo consumo.

Hay secadores de pelo de uso hogareño cuya potencia es de 1.000 W, hay otros de 1.200 W y algunos, de uso profesional, de 2.000 W. Con cualquiera de los tres secadores se obtiene el mismo resultado, y la cantidad total de energía necesaria para lograrlo también es la misma, pero el tiempo que cada uno emplea para hacerlo es diferente. Con el secador de 1.000 W se tardará más tiempo que con el de 1.200 W, ya que puede transferir solo 1.000 J de energía por segundo. En cambio, el secador profesional de 2.000 W es el más rápido, ya que es capaz de intercambiar 2.000 J en un segundo.

El watt es una unidad relativamente pequeña, por eso se suelen usar los múltiplos del watt para sistemas de alta potencia.

$$1 \text{ kilowatt (kW)} = 1.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ megawatt (MW)} = 1.000 \text{ kW} = 1.000.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ gigawatt (GW)} = 1.000 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ kW} = 1.000.000.000 \text{ W}$$

Por ejemplo, la central hidroeléctrica Yacyretá genera energía eléctrica con una potencia de 3,1 GW, la turbina de un barco puede desarrollar una potencia de 3 MW y un horno eléctrico transforma energía con una potencia de 1,3 kW.



La potencia de un secador de pelo puede variar entre 1000 watts y 2000 watts según el modelo y la marca. De esto dependerá el tiempo que tarde en secar el cabello.

Notación científica

Los múltiplos de una unidad se expresan en notación científica, es decir como potencias de 10, para facilitar su escritura. De esta manera, queda:

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

$$1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$$

Medir potencias y energía



Un medidor de luz que utiliza la unidad kW-h.



Una estufa de gas de tiro balanceado, en general, tiene una potencia de entre 2.500 kcal/h y 4.000 kcal/h.

A partir de la potencia de un artefacto o de un sistema, se puede calcular la cantidad de energía que se intercambia durante un proceso:

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

Al usar un secador de pelo que tiene una potencia de 2.000 W durante 20 minutos, la energía eléctrica que ha transformado es:

$$\Delta E = 2.000 \text{ W} \cdot 1.200 \text{ s} = 2.400.000 \text{ J}$$

En este caso, la empresa de energía eléctrica cobrará por la utilización de 2.400.000 J de energía eléctrica.

Esta es la manera en que se realizan los cálculos sobre el intercambio energético entre sistemas tecnológicos de cualquier tipo: electrodomésticos, máquinas industriales, autos, etcétera.

Observemos que si la cantidad de energía que utiliza un secador de pelo durante 20 minutos es del orden del millón de joules, entonces la que necesita una casa o una fábrica durante un bimestre es mucho más grande aún y resulta poco práctico expresarlo en joules. Es por eso que las empresas de energía eléctrica miden el gasto energético en **kilowatt-hora** (kW-h). Un kW-h es la cantidad de energía que transforma, durante 1 hora, un sistema cuya potencia es de 1 kW:

$$1 \text{ kW-h} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1.000 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kW-h} = 3.600.000 \text{ J}$$

Así, la energía que utilizó el secador de pelo que estuvo funcionando durante 20 minutos y cuya potencia era de 2 kW, se expresa en kW-h de la siguiente manera:

$$\Delta E = 2 \text{ kW} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} = 0,67 \text{ kW-h}$$

Muchas veces, en las publicidades o folletos, se suele indicar equivocadamente la potencia de estufas o cocinas en kilocalorías. Una estufa de 3.000 kcal entrega al ambiente 3.000 kcal en forma de calor, pero... ¿en cuánto tiempo lo hace? No es lo mismo si esa cantidad de energía es aportada en 1 segundo, en 1 hora o en 1 día. ¿O quiere decir que la estufa puede entregar solo 3.000 kcal y luego no sirve más?

A pesar de que el fabricante o el vendedor digan que la estufa nos brinda 3.000 kcal, expresado en unidades de energía, están indicando que la estufa puede aportar 3.000 kcal por hora, es decir, 3.000 kcal/h. En ese caso, las especificaciones técnicas indican la potencia utilizando incorrectamente una unidad de energía.

De manera análoga, se suele indicar erróneamente la potencia de los refrigeradores, heladeras o equipos de aire acondicionado en frigorías. La **frigoría** es una unidad de energía, equivalente a la kcal en valor numérico, pero con signo negativo, es decir que indica la cantidad de energía que un sistema puede quitar o absorber.

Un aire acondicionado de 2.500 frigorías tiene una potencia real de 2.500 frigorías/hora, es decir que, al funcionar durante una hora, transfiere 2.500 kcal desde el ambiente que se quiere refrigerar hacia el exterior.

Calorías y kilocalorías

En el capítulo 4 se analizan las transferencias de energía en forma de calor. Para ese tipo de transformaciones, se utiliza una unidad particular: la caloría (cal) y su múltiplo, la kilocaloría (kcal). Sus equivalencias con el joule son las siguientes:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.180 \text{ J}$$

Para indicar la potencia de los motores, se suele utilizar el **HP** ("horse power": caballo de fuerza) o también el **CV** ("cheval au vapeur": caballo vapor). Si bien parecen ser la misma unidad, son levemente diferentes en su valor numérico y en su definición. Ambas tienen su origen en los primeros motores y máquinas de vapor, desarrollados a finales del siglo XVIII durante la Revolución Industrial.

Estas primeras máquinas se utilizaban para extraer el agua que inundaba las minas, para moler granos, para impulsar barcos o trenes, o para las industrias. Su utilización reemplazaba el trabajo de los caballos que, con su esfuerzo, hacían este tipo de tareas.

Es por eso que Thomas Savery, mecánico inglés que desarrolló la primera máquina de vapor en el año 1698, sugirió que la medida de la potencia de un motor debía indicarse con la cantidad de caballos que dicha máquina sustituía.

James Watt tomó esta idea y, luego de varias pruebas y mediciones, estimó que un caballo de tiro podía levantar un peso de 330 libras a una altura de 100 pies en un minuto. De esta manera, cualquier máquina que pudiera realizar ese mismo trabajo durante un minuto, tendría una potencia equivalente a la de un caballo: 1 Horse Power.

Así, se empezó a indicar la potencia de los distintos motores como 1 HP, 0,5 HP o 2 HP. La potencia de 1 HP equivale a 746 W.

En Francia, hacia 1770, se quiso adaptar el valor del HP utilizando medidas decimales. Surgió así el caballo vapor (CV), estimando que un caballo levantaba un peso de 735 N hasta una altura de 1 metro en 1 segundo. Así, 1 CV equivale a 735 W.

Entonces:

$$1 \text{ HP} = 1,013 \text{ CV}$$

Esta leve diferencia entre el HP y el CV no se debe a que los caballos franceses sean menos potentes que los ingleses, sino a diferencias en las unidades utilizadas en las mediciones y estimaciones para la definición de cada una de ellas.

Actualmente, el CV está prácticamente en desuso, ya que los países que usaban el sistema decimal de medición adoptaron el sistema internacional, en el que la unidad de medida de la potencia es el watt.

Caballo de fuerza (HP)

Un motor de 1 HP es aquel que realiza el mismo trabajo que el caballo durante el mismo tiempo.

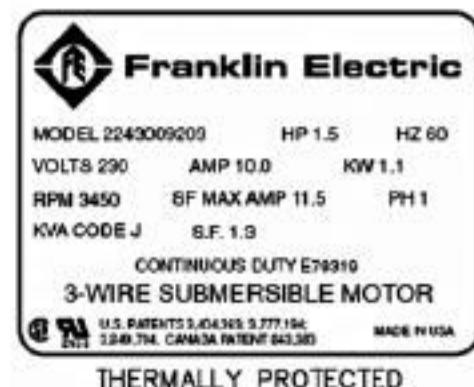
Las estimaciones de Watt en el sistema internacional se pueden expresar de la siguiente manera:

$$330 \text{ libras} = 1.465 \text{ N}$$

$$100 \text{ pies} = 30,48 \text{ m}$$

$$1 \text{ HP} = \frac{1.465 \text{ N} \cdot 30,48 \text{ m}}{60 \text{ s}}$$

que se aproxima a 746 W.



Las etiquetas de los motores siguen informando su potencia en HP.

a)

1. Aún es común referirse a la potencia de los motores de automóviles indicando su valor en "caballos" en referencia de los HP. Sin embargo, la legislación actual obliga a expresar la potencia en unidades internacionales, es decir, en kilowatt.
 - a. ¿A cuántos "caballos de fuerza" (HP) equivale la potencia de un motor que, según indica su manual, es de 80 kW?

Electrodoméstico	Potencia promedio (W)
Ventilador	70
Equipo de música	100
Televisor	120
Lamparitas incandescentes	entre 25 y 150
Heladera con freezer	200
Licuadora	250
Computadora	300
Horno microondas	1.000
Estufa eléctrica	entre 600 y 1.500
Plancha	entre 1.000 y 1.500
Aire acondicionado	1.300
Lavarropas con termostato	2.000

Potencias promedio de algunos electrodomésticos.



Factura de consumo de electricidad.

a

1. ¿Durante cuánto tiempo se debe utilizar un equipo de música para que transforme la misma energía eléctrica que un lavarropas durante un lavado completo?
2. ¿Variará la potencia eléctrica de una casa en los distintos meses del año? ¿Cuál será la potencia media de una casa en verano? ¿Y en invierno? Consigan las facturas del servicio eléctrico de su casa de los meses correspondientes y calcúlen ambas potencias medias.

La potencia de una casa

Cada vez que se enciende un artefacto eléctrico, comienza una transformación de energía eléctrica en otra forma de energía: luz y sonido, en un televisor o una computadora; térmica, en una estufa eléctrica o una plancha; o de movimiento, en un ventilador o un lavarropas. Cada uno de estos artefactos transforma distintas cantidades de energía, según el tiempo en que estén encendidos y la potencia de cada uno de ellos. La mayoría obtienen la energía del servicio domiciliario de energía eléctrica.

Estas empresas miden directamente la cantidad de energía eléctrica utilizada por toda la casa durante el tiempo que se facturará y, en función de esa medición, determinan el valor que se pagará por el servicio. Esa cantidad de energía depende tanto de la potencia de los electrodomésticos y aparatos tecnológicos que haya en la casa, como del tiempo durante el que se los utiliza. Ambos factores tienen la misma importancia a la hora de determinar el consumo energético de la casa.

El uso de un electrodoméstico que tenga potencia muy grande durante poco tiempo puede consumir la misma energía, o menos, que otro de poca potencia pero que esté encendido durante todo el día.

Así, por ejemplo, si se utiliza un microondas para calentar un café durante un minuto, se habrán usado:

$$\Delta E = 1.000 \text{ W} \cdot \frac{1}{60} \text{ h} = 16,67 \text{ W-h}$$

Mientras que el televisor, si está encendido durante 4 horas, consumirá:

$$\Delta E = 120 \text{ W} \cdot 4 \text{ h} = 480 \text{ W-h}$$

La potencia eléctrica media de una casa, es decir, la cantidad de energía eléctrica que utiliza por segundo, se puede determinar a partir del consumo total que aparece en la boleta del servicio eléctrico.

Como ya se dijo, en estas boletas figura el consumo total de una casa a lo largo del período facturado, que puede ser mensual o bimestral. Dividiendo ese consumo por el período total facturado, se puede obtener la potencia media de la casa. Así, por ejemplo, sabiendo que el consumo indicado en una factura es de 392 kW-h, medido en un período de 62 días, la potencia media es:

$$P = \frac{392 \text{ kW-h}}{1.488 \text{ h}} = 0,263 \text{ kW} = 263 \text{ W}$$

Es decir que, durante el período considerado, en esta casa se transformó energía eléctrica en otros tipos de energía a razón de 263 J/s.

Potencia media

Las cantidades de energía que se utilizan en una casa, una fábrica o, incluso, en un artefacto, varían a lo largo del tiempo, sufren fluctuaciones, con momentos de mayor consumo, como puede ser en las primeras horas de la noche en una casa o, incluso, con momentos de consumo mínimo o cero, si nadie vive en ella. Es por eso que la potencia media no indica la cantidad de energía que se está transformando continuamente, sino un valor estimado que indica la rapidez con que se transformaría la energía, si se lo hiciera en forma constante.

No toda la energía utilizada en una casa es de origen eléctrico. Para cocinar, calefaccionar u obtener agua caliente, también se utiliza energía a partir de la combustión del gas. En estos casos, la energía química del gas se transmite a los distintos sistemas (comida, ambiente, agua) en forma de calor, al mismo tiempo que se transforma en energía térmica. La cantidad de energía liberada durante la combustión depende de cuánto combustible se queme y de su poder calorífico.

El consumo de gas suele medirse en metros cúbicos (m^3). Este es el volumen de gas utilizado por la casa durante el período facturado y se calcula a partir de las mediciones realizadas al comienzo y al final del ciclo.

Teniendo en cuenta el poder calorífico del gas, se puede conocer la cantidad de energía que se utiliza en una casa durante cada período.

Por ejemplo, si el poder calorífico del gas suministrado es de 9300 kcal/ m^3 y el consumo fue de $84\ m^3$, la energía utilizada durante ese bimestre fue:

$$\Delta E = 84\ m^3 \cdot 9.300\ \text{kcal}/m^3$$

$$\Delta E = 781.200\ \text{kcal}$$



Factura de consumo de gas natural.

Es decir que en esa casa se utilizaron 781.200 kcal de la combustión del gas. Esto es 3.200.000 kJ, aproximadamente, ya que cada kilojoule (kJ) es igual a 1.000 J.

De la misma manera en que se operó en el caso eléctrico, también se puede determinar la potencia media de una casa para el consumo de energía que se obtiene del gas:

$$P = \frac{3.200.000\ \text{kJ}}{62\ \text{días}} = \frac{3.200.000\ \text{kJ}}{5.356.800\ \text{s}} = 0,6\ \text{kW}$$

La potencia media de esta casa, durante este bimestre, fue de 0,6 kW; es decir que se transformó la energía del gas en combustión a razón de 600 J por segundo.

Mantener calefaccionada una casa

Para mantener calefaccionada una casa o una habitación, no solo hay que tener en cuenta la potencia de la estufa que se utilice, sino también la potencia de enfriamiento a través de las paredes de la casa o de la habitación. La potencia de enfriamiento es la rapidez con que se transfiere la energía a través de las paredes de la habitación hacia el exterior, y depende de las dimensiones y del material de dicha pared (ladrillo, vidrio o madera), y de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la casa.



Por ejemplo, una pared de ladrillo de 4 m de largo y 3 m de alto, que separa una diferencia de temperatura de $10\ ^\circ\text{C}$ entre el exterior y el interior, tendrá una potencia de enfriamiento de 2000 W; es decir que transferirá a razón de 2000 J/s de energía desde el interior de la casa hacia el exterior. Pero, si la mitad de la pared está ocupada por un ventanal de vidrio, su potencia puede aumentar hasta 6000 W. La relación entre la potencia de la estufa y esta potencia de transferencia de energía es la que indica si la casa se mantiene calefaccionada a temperatura constante o no.

Lo mismo sucede cuando se quiere mantener refrigerada una casa durante el verano. En ese caso, la transferencia de energía a través de las paredes se produce desde el exterior hacia el interior. Mejorar el aislamiento de las paredes reduce esta potencia de transferencia de energía, lo que permite utilizar estufas o acondicionadores con potencias menores, para calefaccionar o refrigerar los hogares y reducir, así, el consumo energético.

Poder calorífico

El poder calorífico es una característica de cada material que indica la cantidad de energía que se libera durante la combustión completa por unidad de sustancia. Se puede indicar por cada kilogramo de sustancia (kcal/kg) o por metro cúbico (kcal/ m^3). Por ejemplo, el poder calorífico del carbón vegetal es 7.800 kcal/kg, es decir que al quemar 1 kg de carbón, se liberan 7.800 kcal de energía. El poder calorífico del gas natural es de 11.900 kcal/kg o 9.300 kcal/ m^3 , es decir que la combustión de 1 m^3 de gas libera 9.300 kcal de energía.

La potencia de los medios de transporte

Motor de...	Potencia promedio (kW)	Potencia promedio (HP)
Motocicleta	10	13,5
Auto chico	55	75
Auto grande	100	135
Avión deportivo	260	350
Barco (cada turbina)	3.100	4.200
Transbordador espacial	40.000.000	54.000.000

Potencias promedio de los motores de algunos transportes.

Sección 4

ESPECIFICACIONES Y CAPACIDADES

Especificaciones del motor

Motor DOHC 1.6

Tipo	4 cilindros en línea
Tren de válvulas	16 válvulas DOHC
Desplazamiento	1.598 cc
Diámetro x Carrera	79.0 mm x 81.5 mm
Relación de compresión	9.5 : 1
Potencia máxima	76 kW @ 5,800 rpm
Torque máximo	145 Nm @ 3,600 rpm
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Bujías	BKR6E-11 (1.0-1.1 mm de luz)
Batería	
Clasificación	12 Volts (55 AH)
Ampères de arranque en frío	550 CCA
Alternador	12 Volts (85 Amps)
Motor de arranque	12 Volts (1.2 kW)

Manual de especificaciones de un auto.



Avión despegando.

En general, los fabricantes suelen indicar la potencia máxima de los motores de combustión interna en CV o en HP aunque, actualmente, también lo hacen en kW. Uno de los valores que influye en la potencia de las motos o de los autos son las cilindradas del motor. Este valor es el volumen de la cámara de combustión del motor. Cuanto mayor es la cámara, mayor es la cantidad de combustible que puede quemar al mismo tiempo y, por eso, transformar una mayor cantidad de energía. Una moto de 125 cc tiene una cámara con un volumen de 125 cm³, y el volumen de la de un auto cuyo motor tiene una cilindrada de 1.6 es de 1,6 litros.

Pero no toda la energía que aporta el combustible a un motor de combustión se transforma en trabajo útil o en energía cinética del medio de transporte. De toda la energía que transforma un motor a partir del combustible, solo entre el 22% y el 28% se utiliza para mover el vehículo. Alrededor del 75% se utiliza en el aumento de la energía interna del sistema y, como no se utiliza para un trabajo útil, se dice que se pierde.

Es por esta "pérdida de energía" que, además de la potencia del motor, es importante conocer su rendimiento; es decir, cuánta de la energía que necesita para funcionar es utilizada para realizar un trabajo útil que, en este caso, se transforma en energía de movimiento. Si bien esta energía útil se puede aumentar, nunca se puede obtener un 100% de rendimiento, ya que siempre habrá cierta cantidad de energía que no podrá utilizarse o que será "perdida" en el ambiente. Aumentar el rendimiento de un motor implica poder utilizar menos combustible para la realización de un mismo trabajo o, por ejemplo, que con la misma cantidad de combustible se puedan obtener aceleraciones mayores. Es decir que mejorar el rendimiento de un motor es, en cierto modo, aumentar su potencia.



- Energía cinética e interna de los gases desechos de la combustión.
- Energía interna del ambiente.
- Energía interna.
- Movimiento del auto.

La potencia en la naturaleza

Todos los procesos que ocurren en la naturaleza involucran intercambios de energía: las plantas transforman la energía que reciben del Sol en energía química del almidón y de los azúcares; los animales y las personas transforman la energía química de los alimentos en energía interna y cinética; la energía que proviene del Sol modifica la temperatura de la atmósfera generando cambios climáticos, así como las condiciones del tiempo en un determinado lugar. En cada proceso se intercambia la energía con diferente rapidez.

El desarrollo de la vida en la Tierra empieza en el Sol, con la energía que este libera. Esta energía se produce a partir de una reacción nuclear llamada fusión, en la que el combustible es el hidrógeno. El Sol fusiona alrededor de 650 millones de toneladas de hidrógeno por segundo ($6,5 \cdot 10^{11}$ kg de hidrógeno). Como producto de esta reacción, se liberan alrededor de $4 \cdot 10^{26}$ J de energía por segundo. Es decir que el Sol emite energía con una potencia de $4 \cdot 10^{26}$ W.

Esa energía es emitida en todas las direcciones y solo una milmillonésima parte llega a la Tierra. La potencia con que la energía del Sol llega a la Tierra es de alrededor de $1,7 \cdot 10^{17}$ W.



Esquema de la emisión y recepción de potencia entre el Sol y la Tierra.

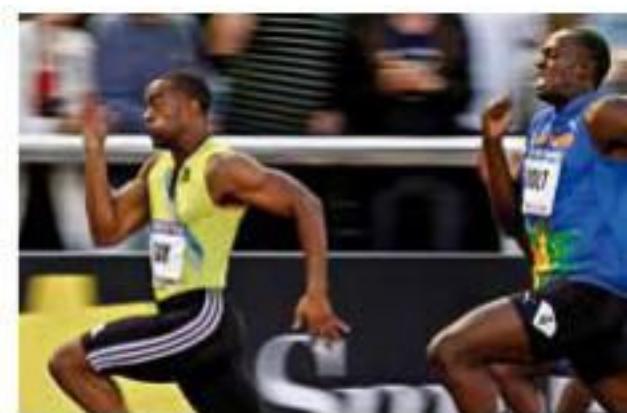
Los seres vivos necesitan energía para poder vivir y realizar sus actividades; esta energía la obtienen de los alimentos que ingieren. La combustión de los alimentos a nivel celular libera esa energía. Pero aun estando en reposo, los seres vivos necesitan transformar energía para poder realizar las funciones vitales: el mantenimiento de la temperatura, la respiración, la circulación de la sangre, la actividad cerebral, el latido del corazón, etcétera.

Cada tipo de actividad que realiza el ser humano no solo requiere distintas cantidades de energía, sino que además es diferente la rapidez con la que se necesita transformarla. Puede suceder que dos actividades que realice el ser humano demanden la misma cantidad de energía, pero que el organismo requiera diferente rapidez para su uso. Por ejemplo, un atleta transformará energía con mayor rapidez para correr una carrera de 100 m (de velocidad) que para correr una maratón de 42 km (de resistencia). Así es como cada actividad que realiza el cuerpo humano desarrolla diferentes potencias, es decir, diferentes cantidades de energía que este necesita intercambiar por unidad de tiempo.

El balance entre la energía que aportan los alimentos y lo que utiliza el cuerpo al cabo de un día permite mantener constante el peso de una persona, adelgazar (si recurre a las reservas de grasas del organismo para obtener energía), o engordar (si almacena la energía sobrante de lo que ingiere en forma de grasa).



- Apartir de los datos de la tabla, y estimando los tiempos que emplean para realizar cada actividad, calculen la cantidad de energía que necesitan en un día.
- Consigan un alimento envasado y busquen en su paquete la cantidad de energía que aporta. Luego calculen cuánto tiempo deberían correr para gastar una energía equivalente.



Un atleta transformará energía con mayor rapidez para correr una carrera de velocidad que para correr una maratón.

Actividad	Potencia (W)
Reposo o dormir	90
Estar sentado	125
Estar de pie	140
Estudiar	210
Trabajo liviano	210
Caminar	270
Andar en bicicleta lento	350
Nadar	500
Andar en bicicleta rápido	700
Correr o jugar al fútbol	700
Esfuerzo máximo (por un minuto)	810
Límite de esfuerzo (hasta 10 s)	1.400

Potencias de distintas actividades de un adulto.



Central nuclear Embalse.

Potencia instalada y generación de energía eléctrica

La energía eléctrica de un país se obtiene en las centrales eléctricas. En ellas se produce energía eléctrica a partir de otros tipos de energía: la energía potencial del agua, la energía química de un hidrocarburo, la energía nuclear de radioisótopos, la energía cinética del viento o de las mareas, etcétera.

Además de diferenciarse por el tipo de energía inicial que utilizan, las centrales eléctricas se caracterizan por las distintas potencias que pueden suministrar. Si bien esta potencia depende del tipo de generadores que utilice cada una, la cantidad de energía que puede transformar está condicionada por el tamaño de cada central. Las hidroeléctricas, nucleares o térmicas suelen tener potencias muy altas, que permiten satisfacer suficientemente las demandas energéticas. En cambio, las centrales eólicas, solares o mareomotrices son de potencias más bajas y se suelen usar para abastecer pequeños poblados.

Como se dijo al comienzo del capítulo, las cantidades de energía necesarias para abastecer una ciudad o un país varían a lo largo de los distintos horarios del día y en las distintas épocas del año. Es por ello que no todas las centrales eléctricas funcionan permanentemente, ni tampoco en su potencia máxima.

En el país encontramos distintos tipos de centrales, según el servicio que prestan:

► **Centrales de base:** son aquellas que satisfacen la demanda básica de energía de un país. Suministran energía en forma permanente y están en funcionamiento durante largos períodos. Se caracterizan por su alta potencia y pueden variarla en los distintos horarios del día. Suelen ser centrales hidroeléctricas, térmicas o nucleares.

► **Centrales de punta:** sirven de apoyo a las centrales de base. Se ponen en funcionamiento en los momentos de mayor consumo, cuando la potencia máxima de las centrales de base no alcanza a cubrir la demanda de energía. Trabajan durante espacios cortos de tiempo, en determinadas horas. Suelen ser centrales hidroeléctricas o térmicas.

► **Centrales de reserva:** se recurre a ellas cuando las centrales de base dejan de funcionar por escasez o falta de materias primas (agua, carbón, combustible, etc.), o por fallas en sus maquinarias. Suelen ser centrales hidroeléctricas o con turbinas de gas, ya que estas tienen una capacidad de respuesta rápida y potencia alta.

► **Centrales de socorro:** tienen la misma función que las centrales de reserva, pero son pequeñas, autónomas y transportables. Suelen ser accionadas por motores diésel y su potencia es menor que la de los demás tipos de centrales.

Los radioisótopos

Son elementos cuyos núcleos son inestables y que emiten radiaciones o partículas radiactivas. Algunos radioisótopos son naturales y otros son artificiales.



Central térmica Costanera.

El sistema eléctrico argentino no almacena energía eléctrica, lo cual significa que en todo momento la generación debe ser igual a la demanda o al consumo del mercado, variando para ello la potencia de las centrales de base o poniendo en funcionamiento las centrales de punta.

Se llama **potencia instalada** a la capacidad máxima que tiene una central para producir energía eléctrica. En la Argentina encontramos, por ejemplo, la central hidroeléctrica El Chocón, que tiene una potencia instalada de 1,2 GW, y la central nuclear Atucha I, cuya potencia instalada es de 357 MW.

Se denomina **parque eléctrico** al conjunto de centrales eléctricas del país; la potencia total instalada del parque eléctrico es la suma de las potencias instaladas de las centrales que lo forman.

El parque eléctrico argentino está formado por centrales térmicas, hidroeléctricas, nucleares, eólicas y solares. Todas ellas aportan energía al sistema eléctrico integrado.

La potencia total instalada de la Argentina es de aproximadamente 31 GW. Esta es la potencia máxima que lograrían generar todas las centrales eléctricas del país si funcionaran al mismo tiempo y al máximo de su capacidad. El 96% de la potencia instalada del país es aportada por las centrales térmicas e hidroeléctricas, mientras que las centrales eólicas, ubicadas en su mayoría en la Patagonia argentina, y las centrales solares apenas llegan al 0,1%.

Cuando la potencia total instalada de un parque eléctrico no alcanza para satisfacer las necesidades de consumo en las horas pico, se deben efectuar cortes programados en el suministro de energía eléctrica, por sectores, para reducir el consumo, adecuándolo a la generación y así evitar el colapso del sistema eléctrico.

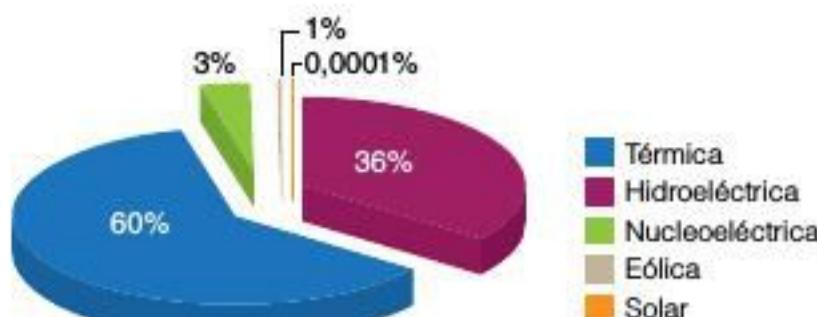


Gráfico de torta de los porcentajes de las potencias instaladas de cada tipo de central eléctrica de la Argentina.



Construcción de Atucha II.

Tipo de central eléctrica	Potencia instalada total (MW)
Térmica	18.736
Hidroeléctrica	11.106
Nucleoeléctrica	1.010
Eólica	187
Solar	8
Total	31.047

Potencia instalada total de cada tipo de central eléctrica de la Argentina.

Programa GENREN

El Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios lanzó el Programa de Provisión de Energía Eléctrica de Fuentes Renovables (GENREN) en el año 2009. Mediante este programa, se busca incrementar la potencia instalada del país a partir de centrales que utilicen fuentes renovables de energía, como la eólica, la solar o la generada a partir de biocombustibles. Se estableció que, en el plazo de 10 años, el 8% del consumo de energía eléctrica del país debería provenir de este tipo de centrales. Entre otras cosas, el programa busca reducir las emisiones de gases que influyen en el incremento del efecto invernadero y diversificar el tipo de centrales eléctricas, al mismo tiempo que se promocionan las economías regionales. Bajo este programa, el 18 de abril de 2011 se puso en marcha la primera planta fotovoltaica que, de esta forma, se unió al Sistema Interconectado Nacional. Esta planta está ubicada en el departamento de Ullum, a 17 km de la ciudad de San Juan, y tiene una potencia instalada de 1,2 MW.



Paneles solares de la planta fotovoltaica del departamento de Ullum en San Juan.

Central	Potencia instalada (GW)
Piedra del Águila	1,4
El Chocón	1,2
Yacyretá (binacional con Paraguay)	3,1
Salto Grande (binacional con Uruguay)	1,89

Principales centrales hidroeléctricas de la Argentina.

La energía y la potencia a través del tiempo

El concepto de energía es relativamente actual. Recién a mediados del siglo xix, este concepto fue introducido dentro de las teorías físicas. Sin embargo, a lo largo de la historia, el ser humano ha ido mejorando y perfeccionando las distintas formas de utilizar la energía para facilitar sus actividades y hacer su vida más confortable. La historia de la ciencia va de la mano de la historia de la energía o, mejor dicho, la ciencia ha ido avanzando y construyendo su conocimiento en función del mejoramiento del uso de la energía y, para ello, también ha mejorado la potencia de las diferentes máquinas y artefactos.

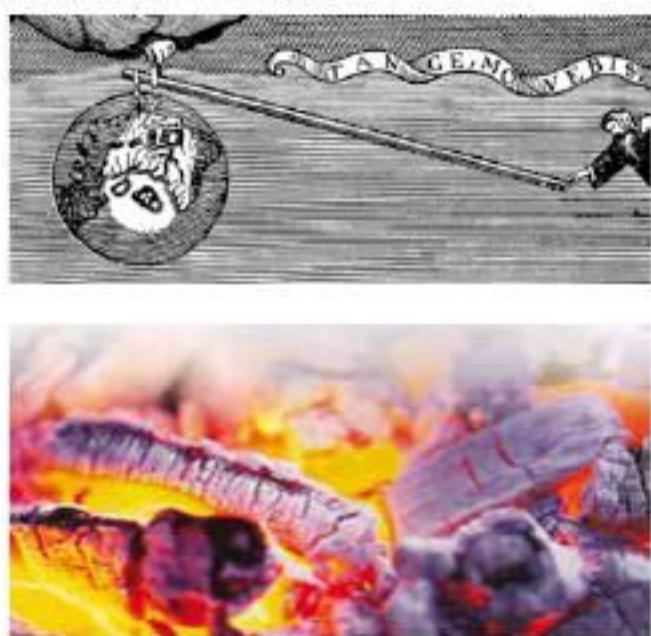
Durante la Antigüedad y el Medioevo, el hombre comenzó a desarrollar diferentes técnicas y herramientas que simplificaran su trabajo y su esfuerzo. El transporte y la iluminación fueron dos de ellas. El uso de los animales para la tracción de arados y el transporte comenzó hace 6000 años, aproximadamente, junto con los primeros vehículos con ruedas. A partir de aquí, el uso de la energía aportada por los animales y simplificada por la rueda, se hizo extensivo a casi todas sus actividades.

El petróleo crudo se comenzó a utilizar hace más de 5000 años con diferentes usos, como medicina y como combustible para la iluminación con antorchas, entre otros. Y hace 2500 años, ya lo habían comenzado a usar como arma de guerra: los persas lanzaban flechas ardientes, empapadas en aceites. El gas natural comenzó a ser utilizado por los chinos hace unos 3000 años.

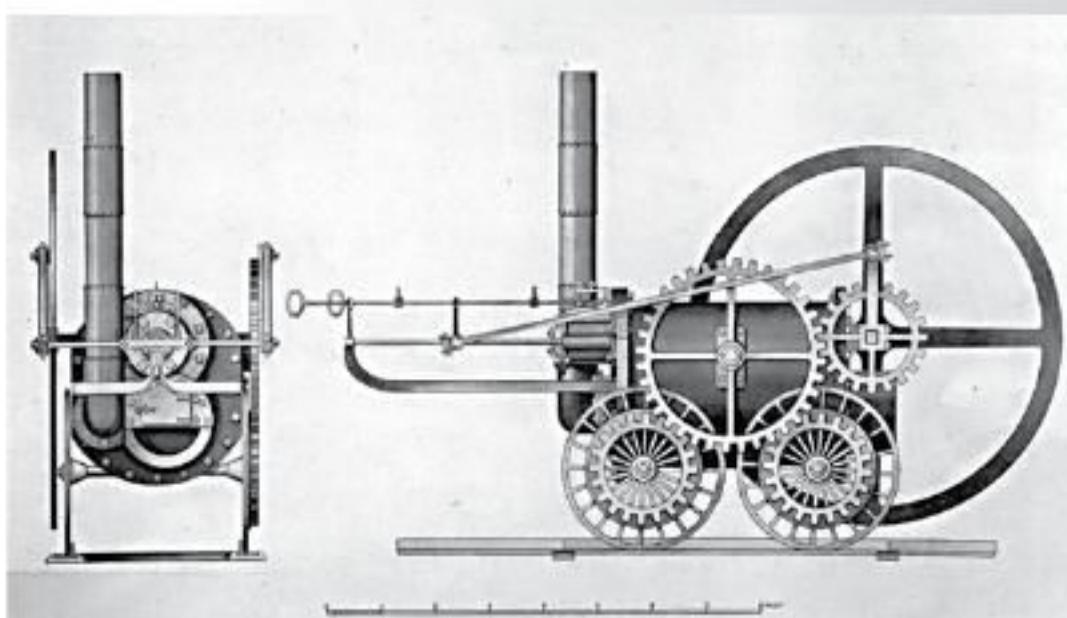
Más cerca de esta era, Arquímedes (Siracusa, 287-212 a.C.) postuló numerosos principios y diseñó gran cantidad de máquinas sencillas que simplificaban el trabajo diario. Si bien muchas de ellas, como la palanca, se usaban en la vida diaria desde la prehistoria, se le atribuye a Arquímedes el primer enunciado formal. Estos fueron los primeros aportes teóricos que resolvían los problemas cotidianos, disminuyendo el esfuerzo y utilizando otras formas de energía. Si bien la rapidez con la que se realizaban los trabajos era la misma, resultaba mucho más cómodo y práctico utilizar estas máquinas.

Alrededor del año 1700, comenzaron a aparecer los primeros esbozos de las máquinas de vapor. La primera de ellas fue diseñada por Thomas Savery (Inglaterra, 1650-1715), que luego fue perfeccionada por James Watt. Su creciente utilización fue una de las causas que impulsaron la Revolución Industrial. Paralelamente, comenzaron a desarrollarse las primeras teorías científicas acerca de la relación entre la energía térmica y el trabajo mecánico.

Grabado de Arquímedes levantando la Tierra (1787).



Carbón encendido.



Primera locomotora de Richard Trevithick.

Estas máquinas mejoraban considerablemente la rapidez con que se podía realizar un trabajo o, lo que es mejor, en igualdad de tiempo se realizaba más trabajo. La potencia mejoraba la producción de una fábrica. En el siglo xix, las máquinas térmicas eran utilizadas para la industria y el transporte. Cada año se patentaban nuevas máquinas, más potentes y más eficientes, cuyos usos se iban ampliando día a día. A principios del siglo xx, el 95% de la energía se obtenía a partir de la combustión del carbón.

En el año 1600, el médico de la reina de Inglaterra, William Gilbert (Inglaterra, 1544-1603), comenzó los primeros estudios científicos sobre la electricidad. Junto con él y con Otto von Guericke (Alemania, 1602-1686), la energía eléctrica entró en la escena de la historia. A lo largo del siglo xviii se desarrollaron diversos estudios sobre la electricidad. Cómo obtenerla, cómo transmitirla y cómo utilizarla para el beneficio del hombre eran los objetivos centrales de los físicos electricistas. Las primeras máquinas electrostáticas, o generadores eléctricos, permitían cargar cuerpos. Científicos holandeses descubrieron que la electricidad se podía almacenar para ser utilizada en otro momento. En 1799, Alessandro Volta (Italia, 1745-1827) fabricó la primera batería eléctrica, llamada pila voltaica, en la que se transformaba energía química en energía eléctrica.

En 1834 se construyó el primer generador de energía electromagnética con fines comerciales. Así se comenzaron a construir los primeros motores eléctricos, que transformaban la energía eléctrica en energía de movimiento.

En 1865, James Clerk Maxwell (Escocia, 1831-1879) elaboró un conjunto de ecuaciones que describían los fenómenos electromagnéticos y la existencia de las ondas electromagnéticas. En 1873, Heinrich Hertz (Alemania, 1857-1894) probó experimentalmente la transmisión de estas ondas. Este fue el nacimiento de las telecomunicaciones. Guglielmo Marconi (Italia, 1874-1937) logró la primera transmisión de ondas de radio en 1901. A partir de ese momento, las ramas de estudio y aprovechamiento de esta forma de energía se abrieron en una infinidad de posibilidades: telefonía, telefonía móvil, transmisión satelital, etcétera.

Con los primeros descubrimientos de materiales radiactivos, se empieza a estudiar la energía proveniente de esas radiaciones y las formas de poder utilizarla. En 1942, el físico Enrico Fermi (Italia, 1901-1954) puso en funcionamiento el primer reactor nuclear. Actualmente, la gran potencia de las centrales nucleoeléctricas las convierte en una de las fuentes más potentes para la obtención de energía eléctrica.

Hoy, los estudios científicos se desarrollan en distintas ramas, y muchas de ellas están ligadas a la energía y a su utilización.



Calder Hall, Cumbria, Inglaterra, la primera central nuclear del mundo.



Central hidroeléctrica en la provincia de Neuquén.



Primer automóvil de Cugnot.

Relaciones actuales e históricas entre la ciencia y la tecnología



George Gamow explicó el efecto túnel.

Cerca de 1930, la Mecánica Cuántica estaba en pleno desarrollo y, gracias a ella, los científicos podían entender e interpretar una gran cantidad de fenómenos y de efectos que la Física clásica no lograba explicar. Entre ellos, el efecto túnel: el pasaje de una partícula (un electrón) a través de una barrera de potencial, aun cuando su energía no era la suficiente para atravesarla. Basados en este efecto, a principios de la década de 1980, investigadores de IBM en Zurich desarrollaron el primer microscopio de efecto túnel y, por primera vez, obtuvieron una resolución atómica, es decir que lograron ver objetos cuyo tamaño era del orden de 10^{-10} m.

En julio de 1945, el gerente de los laboratorios Bell Telephone de Estados Unidos firmó la autorización para iniciar un programa de investigación sobre nuevas tecnologías, con la finalidad de obtener nuevos y mejores componentes para los sistemas de comunicación de la empresa AT&T. Y así fue como, el 23 de diciembre de 1947, John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Shockley les mostraron el primer transistor a los ejecutivos del laboratorio. El transistor era un dispositivo que podía emplearse como amplificador, oscilador, y también servía para otros propósitos. Este descubrimiento permitió abrir las investigaciones sobre los semiconductores y así comenzó una nueva etapa en la Física del estado sólido.

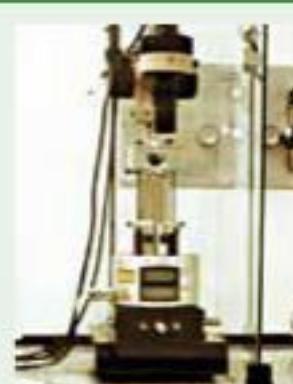
Estos son solo dos ejemplos, de los tantos que se pueden encontrar, en los que un estudio científico (el efecto túnel) permite el desarrollo de una nueva tecnología (la microscopía por efecto túnel), o en el que un avance tecnológico (el transistor) deviene en una investigación científica (el estudio de semiconductores).

A lo largo de la historia, la relación entre la ciencia y la tecnología ha sido muy estrecha y muchas veces es difícil poder diferenciarlas. Cualquier avance tecnológico siempre se ha apoyado en estudios científicos, del mismo modo que la ciencia necesita de la tecnología para obtener nuevos descubrimientos. El trabajo de los científicos, lejos de ser una tarea aislada o desvinculada de la realidad, siempre ha surgido de necesidades o inquietudes militares, económicas o técnicas de las sociedades de cada época y, a su vez, las investigaciones de los científicos son la base de la tecnología, la que también fortalece y mejora las investigaciones científicas.

Al ofrecer información concreta acerca de la estructura atómica y molecular de los sólidos, la microscopía de efecto túnel se aplica en el campo de la Física, la Química, la Biología y la tecnología, abriendo nuevas posibilidades de estudio dentro de cada una de estas ciencias y permitiendo así desarrollar nuevos modelos más acordes a los sistemas reales.

Efecto túnel

El comportamiento de un cuerpo macroscópico, como una pelota, y uno microscópico, como una partícula alfa formada por dos protones y dos neutrones, son bastante diferentes. Si se quiere arrojar una pelota por arriba de una pared, se le debe suministrar una energía cinética que sea igual o mayor a la energía potencial en la parte superior de la pared. Es decir que si no le damos suficiente velocidad, no pasa. En un núcleo atómico, una partícula alfa posee una energía menor que la potencial de la "pared" que la rodea. Sin embargo, algunas partículas pasan al otro lado, como si hubiese un "túnel" en la pared.



Microscopio de efecto túnel.

Las nuevas investigaciones sobre semiconductores luego se aplicaron a la microtecnología y a los circuitos integrados. Radios, televisores, computadoras, teléfonos fijos y móviles, reproductores de audio y video, impresoras, y aparatos de diagnóstico y tratamiento médico, es decir, toda la electrónica y la informática que utilizamos, no habrían sido posibles sin el descubrimiento del transistor y los estudios científicos que se hicieron a partir de él.

La interacción constante entre descubrimientos, desarrollos teóricos y experimentales, y aplicaciones es lo que refuerza la investigación básica y constituye la base de la tecnología. De esta forma, la sociedad en general se ve beneficiada con estos avances científicos y tecnológicos, que facilitan la vida diaria y las comunicaciones.

Proyecto CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares)

La futura puesta en servicio del reactor prototipo CAREM25 es una de las principales apuestas de la Comisión Nacional de Energía Atómica, que permitirá a la Argentina tener en operación la primera central nuclear de potencia íntegramente diseñada y construida en el país. Este tipo de reactores tiene una gran proyección para el abastecimiento eléctrico de zonas alejadas de los grandes centros urbanos o polos fabriles con alto consumo de energía y ofrece también otras prestaciones, como la desalinización o la provisión de vapor para diversos usos industriales.

El primer prototipo CAREM será emplazado en la localidad de Lima, provincia de Buenos Aires, donde ya se encuentran en avance las obras de infraestructura, incluido el edificio que contendrá el reactor que generará una potencia de 25 megavatios eléctricos.

Desde el centro atómico Bariloche, un grupo de aproximadamente 70 personas –entre profesionales, técnicos y administrativos- está trabajando activamente en el proyecto, básicamente en tres equipos. Uno de ellos se ocupa del diseño del recipiente de presión y sus internos, sistemas de recarga de combustible y otros sistemas auxiliares. El segundo grupo tiene a cargo el desarrollo de la ingeniería del sistema de instrumentación y control y de variables críticas del reactor. El tercero se ocupa del área de robótica para aplicaciones nucleares en el ámbito del proyecto CAREM. En particular se desarrollan aplicaciones para actividades de mantenimiento, reparación e inspección de componentes nucleares. El proyecto CAREM le permite reafirmar a la Argentina su capacidad para el desarrollo y puesta en marcha de centrales nucleares y perfilarse como uno de los líderes mundiales en el segmento de reactores de baja y media potencia.

Las centrales CAREM prevén que, al menos el 70% de sus insumos, componentes y servicios vinculados sea provisto por empresas nacionales calificadas bajo los estándares internacionales de calidad supervisados por la CNEA. De esta forma, el proyecto CAREM25 será también un dinamizador del sector industrial-tecnológico de punta en nuestro país.

Nota del diario *Clarín* del 7 de septiembre de 2008 (adaptación)



Maqueta del proyecto CAREM25.



Transistores.



Primer transistor fabricado por J. Bardeen, W. Brattain y W. Shockley.

a

1. El desarrollo y la construcción del reactor nuclear CAREM por parte de la Comisión Nacional de Energía Atómica, ¿es un hecho científico o tecnológico?
2. Identifiquen en el texto, en qué aspectos la tecnología ayuda y aporta para la construcción del reactor.
3. ¿De qué manera piensan que la ciencia, en este caso, es la base del desarrollo tecnológico?
4. Hay un interrogante popular que dice: "¿Qué fue primero, el huevo o la gallina?" ¿Se puede aplicar en la ciencia y tecnología actuales? Justifiquen su respuesta.

Actividades finales

1. Calculen la energía consumida en sus casas durante un día a partir de la información que tienen de las potencias de los electrodomésticos y estimando el tiempo de uso diario de cada uno de ellos. Luego calculen la potencia media.
2. Calculen la potencia eléctrica de sus casas y la potencia por el consumo de gas para un mismo período. Comparen ambos resultados y escriban una conclusión.
3. Se necesita mantener calefaccionada una habitación durante toda la noche. Se cuenta con una estufa a gas, cuya potencia es de 2.000 kcal/h, y una eléctrica, de 1.500 W. Decidan cuál de las dos resulta más económica.
4. a. Hagan un recuento de las lámparas que hay en sus casas y de la potencia de cada una. Calculen la potencia total si todas estuvieran encendidas simultáneamente.
b. Estimen el tiempo que está encendida cada lámpara durante un día y calculen la energía consumida durante ese tiempo.
c. Si se cambiaron todas las lámparas incandescentes que hay por lámparas de bajo consumo de 15 W cada una, ¿cuál sería el ahorro energético en un día? ¿Cuánto dinero se ahorraría?
5. El poder calorífico de la nafta es de 32.000 kJ/l.
a. Con los datos de la tabla de la página 28, calculen en cuánto tiempo una moto, un auto chico y uno grande consumen un litro.
b. ¿Cuánta de esa energía se utiliza en el movimiento del auto?
6. Busquen en los paquetes de distintos alimentos (un alfajor, una barrita de cereal, un chocolate, fideos, leche, etc.), la cantidad de energía que aporta cada uno. Luego, calculen durante cuánto tiempo podría estar funcionando un televisor con la cantidad de energía que brinda cada uno de ellos. Comparen el consumo del cuerpo humano (y la cantidad de energía que aportan los alimentos) con el de los artefactos eléctricos.
7. Una bomba eleva 200 kg de agua por minuto a un tanque ubicado a 10 metros de altura. ¿Cuál es la potencia desarrollada por el motor de dicha bomba?
8. En la etiqueta de un chocolate de 200 g se indica que su valor calorífico es de 89 kcal o 374 kJ por cada 100 g. Si se pudiera utilizar la energía de una barra de ese chocolate para mantener encendida una lámpara de bajo consumo de 15 watt, ¿durante cuánto tiempo estaría prendida?
9. Investiguen en su pueblo o ciudad cuál es la potencia instalada y cuánto fue el consumo o demanda de base en los distintos meses del último año. Con estos datos, analicen las posibilidades de recurrir o no a cortes del suministro eléctrico en su región.

10. En la siguiente tabla se muestra el consumo de energía eléctrica mensual en los años 2006, 2008 y 2010 en todo el país, medidos en GW.

	Año		
	2006	2008	2010
Ene	15,83	17,88	19,37
Feb	16,75	17,93	19,33
Mar	16,33	17,69	18,40
Abr	15,89	17,12	16,93
May	16,87	18,67	18,22
Jun	17,03	19,12	18,77
Jul	17,39	18,38	20,39
Ago	17,30	18,07	20,74
Sept	17,09	17,61	19,34
Oct	17,25	16,65	17,21
Nov	17,23	28,44	18,35
Dic	17,32	17,57	20,20

- a. ¿De cuánto es el incremento porcentual del consumo?
b. ¿Cuáles son los meses en los que el consumo es mayor? ¿Cuáles son los meses en los que la demanda es menor? Propongan posibles causas para estas diferencias.
c. En el mes de diciembre de 2010 se produjo una gran cantidad de cortes del suministro de la energía eléctrica, ¿cuál puede ser una posible causa de estos cortes?

11. La Secretaría de Energía propone, a través del sitio de Internet del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), acciones para mejorar el uso de la energía en viviendas, escuelas, oficinas, etc. La dirección es: <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2842>

En grupos, elaboren una encuesta para evaluar si se hace un uso racional y eficiente de la energía. Cada grupo se ocupará de un ámbito diferente: viviendas, escuelas, oficinas, sector público.

- a. Escriban 10 preguntas ayudándose con la página web. Las respuestas deben ser de opción múltiple y deben optar por palabras como: siempre, casi siempre, a veces, nunca, para luego poder analizar los resultados.
- b. Realicen la encuesta a un gran número de personas del sector que les tocó.
- c. Analicen los resultados. Pueden ayudarse con tablas, plantillas de cálculo y gráficos estadísticos.
- d. Elaboren las conclusiones realizando una proyección que especifique qué hábitos son necesarios modificar.
- e. Armen una campaña gráfica de concientización para su escuela usando carteles, así como un logotipo y un lema.

La energía mecánica y el trabajo

3

Contenidos

- > Leyes de Newton
- > Trabajo mecánico
- > Energía cinética y energía potencial gravitatoria
- > Teorema del trabajo y energía cinética
- > Energía potencial elástica
- > Conservación de la energía mecánica
- > Fuerzas conservativas y no conservativas

En la mecánica se estudia cómo se mueven los cuerpos y por qué lo hacen de determinada manera. La explicación acerca de las causas de los movimientos las dio Isaac Newton en el siglo xvii, pero también es posible estudiar los movimientos a partir de conceptos ligados a la energía. Desde el punto de vista mecánico, es posible analizarlos a partir de las propiedades y transformaciones de la energía cinética y la potencial. Hay situaciones en las que la suma de la energía cinética y potencial de un cuerpo, esto es su energía mecánica, se puede considerar constante. Por ejemplo, si se deja caer una moneda desde un metro de altura, la fricción con el aire en ese corto trayecto es despreciable, y durante la caída van variando las energías cinética y potencial de la moneda de manera que su suma se mantiene constante. Durante la caída, la moneda no gana ni pierde energía. En otras situaciones, la energía mecánica de un sistema varía. Cuando una persona está sobre una bicicleta detenida no tiene energía mecánica de movimiento. Si la persona comienza a pedalear adquiere energía mecánica a partir de su energía química.

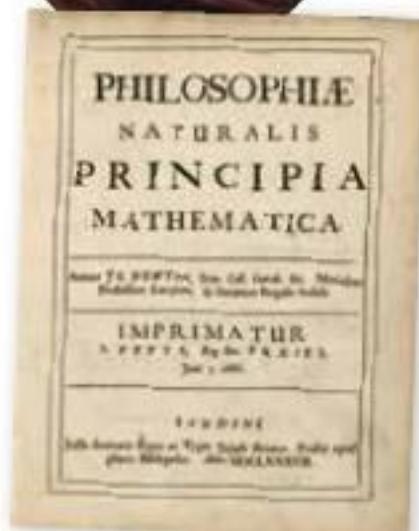
EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudian las leyes de Newton y las propiedades de la energía mecánica. Además, teniendo en cuenta que una bicicleta es un sistema simple y conocido para aplicar estas propiedades se propone una actividad basada en este vehículo.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC3





Isaac Newton y la portada de su libro *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, el cual revolucionó y unificó la Mecánica.

Las leyes de Newton

En 1687, Isaac Newton publicó *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, obra en la que unificó las leyes mecánicas del universo mediante un conjunto de principios físicos que rigen los movimientos en la Tierra y que son los mismos que explican el movimiento de todos los cuerpos celestes.

Apoyándose en la Ley de Inercia de Descartes y en los aportes de Galileo, Newton propuso la Ley de Gravitación Universal, así como las tres leyes del movimiento. Con estas últimas se pudieron explicar, por ejemplo, las leyes de Kepler, que describen el movimiento planetario y que no tenían fundamentación teórica en esa época. Newton logra, además, comprender el problema del movimiento de los cuerpos, que tanto había experimentado Galileo, mediante la relación entre la **fuerza** y el **cambio de velocidad**.

En *La evolución de la Física* (1938) de A. Einstein y L. Infeld, se puede leer:

"En el desarrollo ulterior de la ciencia, ambos conceptos se ampliaron y generalizaron. Por eso, debemos examinarlos más detenidamente. ¿Qué es una fuerza? Intuitivamente, sentimos qué es lo que se quiere significar con este término. El concepto se originó en el esfuerzo, sensación muscular que acompaña a cada uno de los actos de empujar, arrastrar o arrojar. Pero, su generalización va mucho más allá de estos sencillos ejemplos. Se puede pensar en una fuerza aun sin imaginarnos un caballo tirando de un carro. Hablamos de la fuerza de atracción entre la Tierra y el Sol, entre la Tierra y la Luna, y de las fuerzas que producen las mareas. Se habla de la fuerza con que la Tierra nos obliga, como a todos los objetos que nos rodean, a permanecer dentro de su esfera de influencia, y de la fuerza con que el viento produce las olas del mar o mueve las ramas de los árboles. Donde quiera que observemos un cambio de velocidad, debemos hacer responsable de ello a una fuerza exterior, en el sentido general de la palabra. Al respecto, escribe Newton en sus *Principia*:

Una fuerza exterior es una acción que se ejerce sobre un cuerpo con el objeto de modificar su estado, ya de reposo, ya de movimiento rectilíneo y uniforme. La fuerza consiste únicamente en su acción y no permanece en el cuerpo cuando deja de actuar aquella. Pues un cuerpo se mantiene en cualquier nuevo estado que adquiera, gracias a su vis inertiae (inercia) únicamente. Las fuerzas pueden ser de origen muy distinto, tales como percusión, presión o fuerza centrífuga".

Newton y las leyes de Kepler



Johannes Kepler.

Hacia comienzos del siglo xvii el astrónomo alemán Johannes Kepler enunció tres leyes que describían el movimiento planetario. Llegó a estas leyes a partir de las observaciones de su maestro, el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), sin una fundamentación teórica. La teoría desarrollada por Newton le dio un fundamento científico a las leyes de Kepler.

Estas leyes son:

1. Las órbitas de los planetas son elípticas y el Sol se encuentra en uno de los focos.
2. El segmento imaginario que une el Sol con cada planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los tiempos que tardan los planetas en dar una vuelta completa a su órbita son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol.

1. Discutan en grupos el concepto de fuerza y escriban algunas de las ideas que surgieron en la discusión.
2. Busquen datos históricos de las ideas sobre el movimiento que existían antes de Newton.



Fragmentos de los *Principia Mathematica* (1687)

Por lo general, cuando estudiamos algún tema de Física, lo hacemos leyendo libros que interpretan y simplifican lo que explicaron los científicos que desarrollaron originalmente ese conocimiento. A continuación, se transcriben traducciones de lo expresado por el propio Newton sobre las leyes de movimiento. La traducción es de E. García de Zúñiga, hecha en Buenos Aires, en 1943.

Primera Ley

"Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y en línea recta, salvo en cuanto mude su estado obligado por fuerzas exteriores."

Los proyectiles perseveran en su movimiento, salvo cuando son retardados por la resistencia del aire o por la fuerza de la gravedad que los impele hacia abajo. Un trompo cuyas partes coherentes son perpetuamente desviadas del movimiento rectilíneo, no cesa de girar sino en cuanto es retardado por el aire. Sin embargo, los cuerpos mayores de los planetas y cometas conservan por más tiempo sus movimientos progresivos y circulares, que se efectúan en espacios menos resistentes".

Segunda Ley

"El cambio del movimiento es proporcional a la fuerza motriz imprimida y se efectúa según la línea recta en dirección de la cual se imprime dicha fuerza."

Si alguna fuerza imprime un movimiento cualquiera, la fuerza doble, triple, etc., generará doble o triple movimiento, ya sea que esas fuerzas se apliquen simultáneamente o graduada y sucesivamente".

Tercera Ley

"A toda acción se opone una reacción contraria e igual, es decir que las acciones entre dos cuerpos son siempre iguales entre sí y dirigidas en sentido contrario."

Todo cuerpo que oprime o atrae otro hacia sí es, a su vez, oprimido o atraído. Si alguien oprime una piedra con el dedo, también su dedo es oprimido por la piedra. Si un caballo tira de una piedra atada por una cuerda, también (por decirlo así) es atraído igualmente el caballo hacia la piedra, pues la cuerda, tensa en todos sus puntos con el mismo esfuerzo, tirará del caballo hacia la piedra, lo mismo que de la piedra hacia el caballo, e impedirá en tanto el progreso o el avance de uno de ellos, en cuanto promoverá el avance del otro.

Si algún cuerpo choca con otro, mudará el movimiento de este con su fuerza, del mismo modo que, a su vez, en el movimiento propio sufrirá mutación en sentido contrario del otro. A estas acciones son iguales los cambios, no de las velocidades, sino de los movimientos, siempre que se trate de cuerpos que no sufren otro impedimento exterior".



La fuerza que el hombre hace sobre el caballo es de igual magnitud que la que el caballo hace sobre el hombre.

Las leyes de Newton y el descubrimiento de Neptuno



Neptuno.

En el año 1781 se descubrió el planeta Urano. Pero se observó que su órbita no coincidía exactamente con lo previsto por la Ley de Gravitación Universal y las leyes de Newton.

Hacia 1845, dos astrónomos, el inglés John Couch Adams y el francés Urbain Le Verrier, casi simultáneamente y en forma independiente, atribuyeron la aparente anomalía en la órbita de Urano a la presencia de otro planeta hasta entonces desconocido. Calcularon, a partir de la teoría de Newton, dónde debía estar este planeta y pidieron a varios observatorios que trataran de ubicarlo dándoles su ubicación precisa. En 1846, en solo media hora de observación, el astrónomo alemán Johann Galle ubicó al nuevo planeta: Neptuno.



Urano.

Aplicaciones de las leyes de Newton

Primera Ley de Newton o Principio de Inercia

Si un borrador de madera se coloca sobre el piso y se ejerce una fuerza para empujarlo sobre esta superficie, seguramente este cuerpo se detenga luego de recorrer cierta distancia pero, ¿por qué se detiene?

Aristóteles sostendía que solo el estado de reposo es perdurable, por lo cual, para que un cuerpo se mueva es necesario aplicar constantemente una fuerza.

Sin embargo, Newton establece en su Primera Ley: "Todo cuerpo continuará en su estado de reposo o movimiento uniforme (con velocidad constante), en línea recta, a menos que sea forzado a cambiar ese estado por fuerzas ejercidas sobre él".

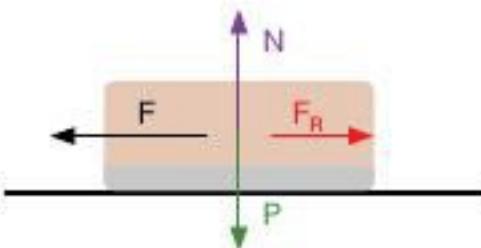
Desde este punto de vista, en el ejemplo del borrador, se puede afirmar que este cuerpo se vio "forzado" a detenerse por la fuerza de rozamiento que actúa en el sistema borrador-piso en sentido opuesto a la dirección del movimiento. Si la superficie del borrador fuera lisa y el piso muy pulido o encerado, el borrador seguiría en movimiento con velocidad constante, mientras no actúe sobre él una fuerza externa que cambie su estado de movimiento.

Un ejemplo bastante claro sobre la inercia es el que se da al viajar en un auto, colectivo, bicicleta, etc., cuando se produce una frenada. Si describimos lo ocurrido, visto desde el piso, los cuerpos, incluido el nuestro, tienden a seguir hacia adelante en la dirección del movimiento.

Caso contrario ocurre si un vehículo detenido arranca bruscamente. Al observar lo que sucede desde afuera del vehículo, los cuerpos en él tienden a mantenerse en reposo.

La **inercia** es la resistencia que manifiestan los cuerpos a los cambios en su estado de movimiento o reposo, es decir, la resistencia a ser acelerados.

La Ley de Inercia es válida para los llamados **sistemas iniciales**, es decir que es aplicable para todas las situaciones descriptas, desde cuerpos en reposo hasta cuerpos en movimiento rectilíneo con rapidez constante respecto de los cuerpos en reposo.

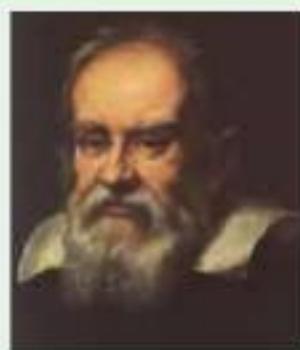


Sobre este cuerpo actúan las siguientes fuerzas: el peso del borrador (P), la fuerza normal que ejerce el piso sobre el bloque para sostenerlo (N), la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo para ponerlo en movimiento (F), y la fuerza de rozamiento que se origina por la interacción entre el piso y el cuerpo (F_R).



Al frenar la bicicleta, el chico tiende a seguir en movimiento con su velocidad anterior.

Las investigaciones de Galileo Galilei



Galileo Galilei.

En 1634, Galileo Galilei escribió su libro *Discorsi e dimostrazioni mathematiche in tomo a due nuove scienze attenenti a la meccanica*, en el cual expone sus investigaciones realizadas sobre el movimiento, a partir de sus diseños experimentales sobre la caída libre de los cuerpos, el movimiento de los cuerpos sobre planos inclinados, el movimiento de los proyectiles, etc. Galileo concluyó que si no hubiera rozamiento, los cuerpos continuarían con movimiento recto y rapidez constante. Fue Newton quien pudo desarrollar y exponer completamente estas ideas.

a

1. Busquen información acerca de los experimentos históricos sobre el movimiento de los cuerpos realizados por Galileo.
2. Realicen algún diseño experimental en el cual recreen aquellos que estudió y realizó Galileo.

Segunda Ley de Newton o Principio de Masa

El estado de movimiento de un cuerpo cambia si se ejerce una fuerza neta sobre él. Así, se produce una variación en su velocidad y el cuerpo se acelera en el sentido de la fuerza.

La aceleración que adquiere un cuerpo depende de la fuerza aplicada sobre él. Cuanto mayor es la intensidad de la fuerza aplicada, mayor es la aceleración.

La aceleración del cuerpo también depende de su masa ya que, por ejemplo, si se ejerce la misma fuerza sobre un borrador y sobre un banco del aula, se puede observar que en el cuerpo de menor masa, en este caso el borrador, se logra una mayor aceleración.

Se formaliza la Segunda Ley de Newton de la siguiente manera:

La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él y de igual dirección y sentido. La constante de proporcionalidad entre ambas es la masa del cuerpo.

Esta idea se expresa matemáticamente como:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Un ejemplo de aplicación de la Segunda Ley de Newton

Se ejerce una fuerza de 30 N para mover una caja de 15 kg sobre la superficie horizontal del piso. Se quiere obtener la aceleración de la caja despreciando la fuerza de rozamiento.

Y, además, si la caja se encontraba detenida inicialmente, se quiere calcular la distancia que recorre en 5 segundos y la rapidez que tiene en ese instante, considerando que la fuerza actúa constantemente.

De la expresión matemática de la Segunda Ley de Newton se puede calcular directamente el módulo de la aceleración del cuerpo:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{30 \text{ N}}{15 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$$

Como la fuerza es constante, produce una aceleración constante y el cuerpo describe un movimiento rectilíneo llamado uniformemente variado, cuya ecuación horaria es la siguiente:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$$

donde x es la posición del cuerpo, x_0 es su posición inicial, v_0 es su velocidad inicial, a es la aceleración constante y Δt es el intervalo de tiempo considerado.

Tomando como referencia la posición de salida del cuerpo y teniendo en cuenta que se encontraba detenido antes de aplicar la fuerza, tenemos los valores iniciales:

$$x_0 = 0 \quad y \quad v_0 = 0$$

Entonces, la posición de la caja a los 5 segundos se calcula:

$$x(5 \text{ s}) = 0 + 0 \cdot 5 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ m/s}^2 \cdot (5 \text{ s})^2 = 25 \text{ m}$$

Finalmente, la rapidez que tiene la caja en ese instante se calcula, para este movimiento, de la siguiente manera:

$$v(t) = v_0 + a \cdot \Delta t$$

donde v es la velocidad en el tiempo t .

Luego:

$$v(5 \text{ s}) = 0 + 2 \text{ m/s}^2 \cdot 5 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$$

Aceleración

La aceleración es la magnitud vectorial que aporta información sobre el cambio de velocidad en un intervalo de tiempo.

La aceleración media se expresa matemáticamente así:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

donde $\Delta \vec{V}$ es el cambio experimentado por la velocidad (como magnitud vectorial) y Δt es el intervalo de tiempo en el que se produjo la variación.

En el SI (Sistema Internacional de Unidades), la aceleración se mide en m/s^2 .

a

1. Sin efectuar cálculos, resuelvan los siguientes problemas:

a. Si en el problema del ejemplo, la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo aumentara al doble su intensidad, ¿cambiaría la aceleración de la caja?, ¿cuál sería su valor?

b. Si, en cambio, se mantiene la fuerza constante, pero la masa de la caja aumenta al doble, ¿cuál sería el valor de su aceleración?

c. Si se considera la fuerza de rozamiento entre la caja y el piso, ¿cambiaría la fuerza neta sobre la caja?

d. Si la caja cayera libremente, sin considerar el rozamiento del aire, ¿cuál sería la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo? Realicen un diagrama o esquema gráfico.

2. Una bicicleta y su ciclista tienen una masa total de 80 kg y se mueven con una rapidez de 36 km/h. El ciclista frena y en 5 segundos se detiene. Calculen la fuerza neta que actúa sobre el sistema.

Tercera Ley de Newton o Principio de Interacción

Una fuerza es el resultado de interacciones entre cuerpos o sistemas de cuerpos. Según Newton, si dos cuerpos interactúan uno con el otro, entonces ejercen fuerzas entre sí. Por ejemplo, si una persona ejerce una fuerza sobre la pared, la pared también ejerce una fuerza de igual intensidad, pero de sentido contrario, sobre la persona.

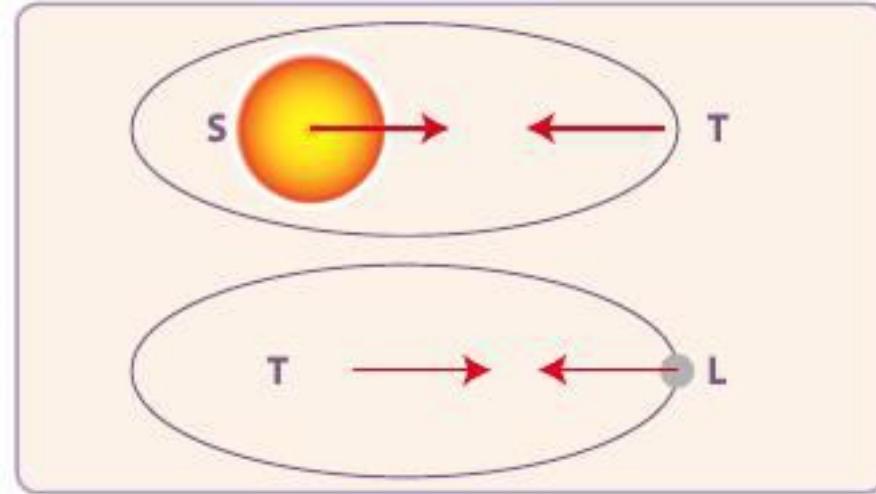
Hay muchas situaciones donde se puede estudiar la presencia de los pares de fuerzas, conocidas tradicionalmente con el nombre de **acción y reacción**. En realidad no son distinguibles, es decir que no se puede saber, ni tendría sentido hacerlo, cuál es la acción y cuál es la reacción, ya que aparecen simultáneamente en los cuerpos que interactúan. Por ejemplo, un barco a remo funciona mediante la fuerza que ejerce el remero sobre el agua empujándola hacia atrás, mientras que el agua reacciona con una fuerza igual pero de sentido contrario provocando el movimiento del barco hacia adelante. Otro ejemplo: la Tierra atrae a la Luna con una fuerza de carácter gravitatorio, pero también la Luna atrae a la Tierra con una fuerza de igual naturaleza e intensidad, pero de sentido contrario.

Esta ley se puede formalizar de la siguiente manera:

Un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, entonces el cuerpo B también ejerce una fuerza sobre el cuerpo A de igual magnitud e igual dirección, pero en sentido contrario a la otra.

Es importante observar que las fuerzas actúan de a pares y siempre sobre cuerpos diferentes; por esta razón, muchas veces esta ley se la conoce como Principio de Interacción o Principio de Acción y Reacción.

Las fuerzas sobre cada uno de los cuerpos que interactúan cumplen con el principio de acción y reacción.



Al producirse la patada, las aceleraciones de la pelota y del jugador son diferentes debido a la diferencia entre sus masas.

Si un jugador de fútbol patea la pelota, se puede considerar, en forma simplificada, una interacción entre dos cuerpos: la pelota y el jugador, de manera tal que ambos ejercen una fuerza de igual intensidad, pero de sentido contrario. Cabe preguntarse: ¿por qué el jugador no retrocede con la misma rapidez con que sale disparada la pelota? Como las fuerzas no están aplicadas en el mismo cuerpo, producen aceleraciones diferentes que se pueden calcular según la Segunda Ley de Newton, mediante la expresión $a = \frac{F}{m}$. Hay que tener en cuenta la masa de los cuerpos si se quiere analizar las variaciones de las velocidades que manifiestan los cuerpos.

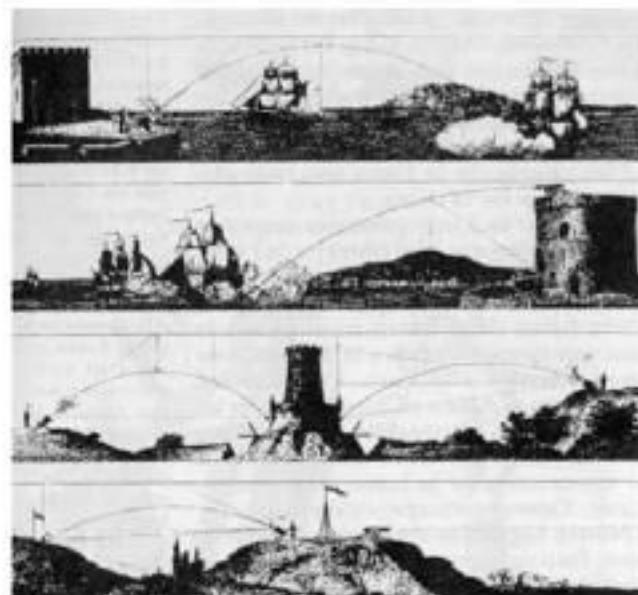


1. Si la Tierra ejerce una fuerza gravitatoria sobre una piedra que cae libremente, esta se acelera hacia el centro de la Tierra. ¿La Tierra también se acelera hacia la piedra? Expliquen esta situación e identifiquen las fuerzas que actúan en el sistema considerado.
2. Si la aceleración de un cuerpo es cero, ¿significa que no hay fuerzas actuando sobre el cuerpo? Discutan esta pregunta y den ejemplos.
3. Utilizando las leyes de Newton, describan las fuerzas que actúan en un auto que se desplaza por una ruta. Si es necesario, realicen estimaciones de magnitudes y elaboren un texto explicativo.

Newton y el movimiento de los satélites

En la actualidad, es habitual escuchar noticias sobre el lanzamiento de satélites artificiales, cohetes o naves al espacio con distintas finalidades como, por ejemplo, estudiar las condiciones meteorológicas del planeta o facilitar las comunicaciones satelitales. Sin embargo, el lanzamiento de un satélite tiene antecedentes históricos, fundamentalmente en los estudios realizados por Kepler sobre el movimiento de los planetas, así como en los realizados por Galileo sobre el movimiento de los proyectiles.

Johannes Kepler (1571-1630) fue un astrónomo alemán que logró por primera vez llegar a las leyes que expresan matemáticamente el movimiento de los planetas, mientras que Galileo observó que hay un movimiento combinado en la trayectoria de una bala de un cañón compuesto por un movimiento rectilíneo y otro vertical descendente, lo que da como resultado una trayectoria curva.



Los primeros estudios sobre el movimiento de los proyectiles estaban relacionados con la artillería.

Newton avanzó sobre los métodos experimentales utilizados por Galileo y demostró que el movimiento curvo de un satélite, considerado como un proyectil, se puede resolver mediante dos movimientos rectilíneos simples regidos por las leyes de la Mecánica. Newton no se limitó a los resultados de las actividades experimentales que obedecían, hasta la época de Galileo, a la intuición y a la sistemática observación de los hechos, sino que demostró que estos movimientos obedecían a las leyes de la Mecánica buscando las explicaciones en la "causa" física de la fuerza de gravedad que se observaba en la interacción entre los cuerpos. Así, afirmaba en su libro *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*:

"El que los planetas puedan ser retenidos en sus órbitas es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada, por la presión de su propio peso, se ve forzada a abandonar la trayectoria rectilínea [...] viéndose obligada a describir una línea curva en el aire, y merced a este camino torcido se ve finalmente llevada al suelo. Y cuanto mayor sea la velocidad con que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra. Podemos suponer, por tanto, que la velocidad se incrementa de tal modo que describe un arco de (muchas) millas antes de llegar a la tierra, hasta que finalmente, excediendo los límites de la tierra, pasará totalmente sin tocarla".

Velocidad de escape

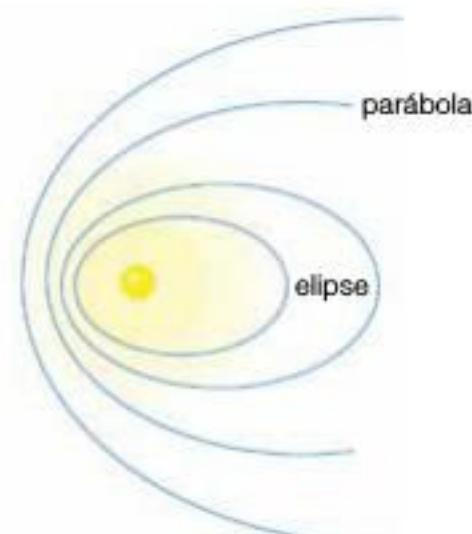
Se llama así al mínimo valor de velocidad necesario para que un cuerpo escape de la atracción gravitatoria que ejerce un planeta, estrella o satélite natural.

Esta velocidad depende de la masa del planeta o satélite desde donde parte el vehículo y de la distancia al centro de este.

La velocidad de escape desde la superficie de la Tierra es de 11,2 km/s, y la velocidad de escape desde la superficie lunar es de 2,4 km/s.



Al lanzar un cuerpo con suficiente velocidad, entrará en órbita alrededor de la Tierra debido a su caída permanente.



Los cuerpos lanzados al espacio describen trayectorias circulares, parabólicas o elípticas. Para alejarse de la Tierra, deben vencer la fuerza de atracción gravitatoria.

Trabajo mecánico



El trabajo realizado, al aplicar la fuerza F_y y desplazar el canasto, mide la energía transmitida.

Cuando una persona desea viajar en una tradicional bicicleta de paseo, es necesario que realice fuerza sobre los pedales. El movimiento de rotación de los pedales acciona un sistema de transmisión formado por ruedas dentadas y una cadena que hacen posible su movimiento. En este sistema, formado por la bicicleta y la persona, se produce una **transferencia de energía** que permite su funcionamiento debido a la acción de la fuerza ejercida por la persona sobre los pedales de la bicicleta.

Si bien la palabra "trabajo" en el lenguaje cotidiano parece asociarse al esfuerzo humano, ya sea físico o mental, en el lenguaje científico se utiliza el concepto de **trabajo mecánico** para hacer referencia a la transmisión de energía de un sistema a otro mediante la acción de fuerzas.

Al ejercer fuerza sobre los pedales de la bicicleta y accionar sus piezas, esta se pone en movimiento y logra desplazarse cierta distancia; en este sentido, se puede decir que la fuerza ejercida por la persona realiza un trabajo mecánico. La bicicleta manifiesta cambios y transformaciones: cambia su velocidad, acelera, se desplaza, frena, se detiene, etc. Es decir, se producen variaciones en la energía de este sistema. Asimismo, la acción de las ruedas sobre el piso produce una reacción que impulsa la bicicleta.

Como se indicó en el capítulo 1, cuando un cuerpo le transfiere energía a otro mediante la acción de fuerzas que producen desplazamientos o deformaciones, el valor de la energía transferida se calcula mediante el trabajo mecánico. Si la fuerza que produce el intercambio es paralela al desplazamiento, el trabajo se calcula de la siguiente forma:

$$W = F \cdot \Delta x$$

donde W es el trabajo, es decir, la energía transferida por el cuerpo que ejerce la fuerza F produciendo un desplazamiento Δx .

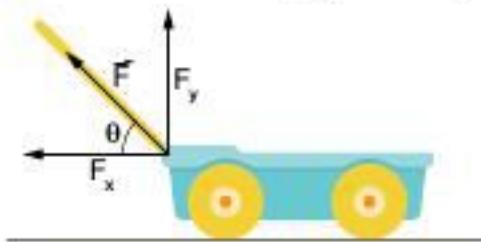
Si, en cambio, la fuerza ejercida forma un ángulo con la dirección del desplazamiento, se utiliza la siguiente expresión matemática, en la cual se considera el ángulo θ formado por las direcciones de la fuerza y del desplazamiento.

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos \theta$$

De esta fórmula, se concluye que el trabajo es nulo si la fuerza se ejerce en forma perpendicular a la dirección del desplazamiento ya que, desde el punto de vista matemático, el coseno de 90° es cero y eso significa, físicamente, que un cuerpo que ejerce una fuerza perpendicular al desplazamiento no intercambia energía.



Solo la componente F_x de la fuerza F impulsa al carrito modificando su energía. La componente F_y no aporta energía y su trabajo vale cero.



1. Hay muchas situaciones cotidianas en las cuales se realiza trabajo mecánico, como cuando se empuja el carrito del supermercado, cuando se tira de una soga atada a un cuerpo para desplazarlo, cuando se ejerce fuerza sobre una cortadora de césped, etcétera.
 - a. Busquen más ejemplos y analicen el trabajo realizado en cada caso.
 - b. Discutan en grupos qué ocurre si varía la fuerza aplicada o el ángulo con el que se la aplica.

El trabajo mecánico se mide en joule (J) en el SI (Sistema Internacional de Unidades). Se realiza un trabajo mecánico de 1 J cuando una fuerza de 1 N, ejercida sobre un cuerpo, lo desplaza 1 m en la misma dirección.

Si la fuerza se ejerce en el mismo sentido que el desplazamiento, el trabajo de la fuerza es positivo; en cambio, el trabajo de la fuerza es negativo cuando se ejerce en sentido contrario al del desplazamiento, por ejemplo, cuando se aplica una fuerza para frenar un cuerpo en movimiento. Si el trabajo realizado por la fuerza sobre el cuerpo es positivo, esto implica que se entrega energía al cuerpo; en cambio, si el trabajo es negativo, el cuerpo cede parte de su energía al sistema que ejerce la fuerza.

Un ejemplo de trabajo mecánico

Una mujer arrastra un baúl tirando de una soga atada a él. La masa total del baúl es de 3 kg, la mujer ejerce una fuerza F de 50 N y la soga forma un ángulo de 30° con la horizontal. Se quiere calcular el trabajo mecánico total sobre el baúl al desplazarlo 4 m sobre una superficie horizontal.



El trabajo realizado por la fuerza F sobre el baúl es:

$$W_F = F \cdot \Delta x \cdot \cos \theta$$

Luego:

$$W_F = 50 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} \cdot \cos 30^\circ = 173,2 \text{ J}$$

Esto implica que la mujer le entrega al baúl una energía equivalente al trabajo mecánico realizado de 173,2 J.

En este sistema, también actúan la fuerza peso del baúl y la fuerza normal ejercida por el suelo sobre el baúl; por lo tanto, también se podría calcular el trabajo realizado por estas fuerzas. Conociendo la masa de un cuerpo, su peso puede calcularse multiplicando su valor por la aceleración de la gravedad cuyo valor es $9,8 \text{ m/s}^2$, es decir: $P = m \cdot g$.

El trabajo realizado por la fuerza peso P es:

$$W_P = P \cdot \Delta x \cdot \cos \theta$$

Reemplazando el peso en función de la masa y la aceleración de la gravedad, resulta:

$$W_P = 3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 4 \text{ m} \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

porque el coseno de 90° es cero.

Como el baúl está en equilibrio en la dirección vertical, el módulo de la fuerza peso coincide con el de la fuerza normal. También se puede ver que, por ser la fuerza normal perpendicular al desplazamiento, el trabajo de esta también es nulo.

El trabajo mecánico total W_T sobre este sistema, si el rozamiento fuese despreciable, sería:

$$W_T = W_F + W_P + W_N = 173,2 \text{ J}$$

Como veremos en la página 54, también se podrá calcular la energía entregada por el cuerpo al piso debido a la presencia de la fuerza de rozamiento, si esta no se desprecia.

a)

1. Analicen el trabajo mecánico en los siguientes casos:

- a. Levantar un libro de 1 kg desde el piso hasta un estante que se encuentra a una altura de 3 m y dejarlo sobre él.
- b. Caminar con una valija de 8 kg y desplazarla 5 m sobre una superficie horizontal con rapidez constante.
- c. Ejercer fuerza sobre una pared con los brazos y las manos.

2. Un empleado de una empresa de fletes quiere subir una caja de 15 kg por un plano inclinado en la parte trasera de su camioneta. El plano forma un ángulo de 40° con la horizontal y el empleado ejerce una fuerza de 90 N para desplazar el cuerpo 2 m. Calculen el trabajo realizado por la persona sobre la caja, si la fuerza es paralela a la superficie del plano.

Energía cinética y energía potencial gravitatoria

La energía que transfiere un ciclista a su vehículo durante un paseo puede analizarse desde diferentes aspectos. El ciclista puede variar o controlar de alguna manera la velocidad de la bicicleta a través de la fuerza que ejerce sobre los pedales; puede acelerar o desacelerar el sistema. Esta variación en la velocidad se manifiesta en un cambio en la energía cinética del sistema ciclista-bicicleta.

Se denomina **energía cinética** a la energía que tienen todos los cuerpos en movimiento.

Si durante el paseo, el ciclista sube una barranca o una montaña, entregará energía para ascender. Cuando el sistema se encuentra a cierta altura, tiene una energía denominada energía potencial gravitatoria.

La **energía potencial gravitatoria** es la energía del cuerpo a determinada altura respecto de un nivel de referencia como, por ejemplo, la superficie de la Tierra.

Por supuesto, cuando la bicicleta está a cierta altura y en movimiento, tiene ambas formas de energía: potencial gravitatoria, debido a la altura, y cinética, debido a su velocidad.

Energía cinética

Un vehículo en movimiento, un cuerpo que cae desde cierta altura, una persona que camina o corre, la Tierra girando alrededor del Sol, las partículas atómicas como los electrones moviéndose en sus niveles de energía y todos los cuerpos que se mueven tienen energía cinética. La cantidad de energía cinética que tiene un cuerpo depende de su masa y de la rapidez con que se mueve respecto de un sistema de referencia desde el cual se efectúan las mediciones.

La energía cinética de traslación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

donde m es la masa del cuerpo y v es la velocidad con la que se traslada.

Cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, como por ejemplo una calesita, todas sus partes, excepto el propio eje, están en movimiento, por lo que tienen energía cinética. La energía cinética que tiene un cuerpo debido a su rotación alrededor de un eje se llama **energía cinética de rotación**.

Los cuerpos rígidos en movimiento, como por ejemplo la rueda de un auto que se mueve, tienen una energía cinética total que es la suma de la energía cinética de traslación y la energía cinética de rotación. Es decir que la rueda tiene energía cinética por tener la misma velocidad que el auto al trasladarse pero, además, cada parte de la rueda se mueve girando alrededor de su eje.

Un ejemplo de cálculo de la energía cinética

Supongamos que el sistema formado por un ciclista y su bicicleta de paseo tiene una masa de 72 kg y que se mueven con una rapidez de 20 km/h. Se quiere calcular la energía cinética del sistema.

Para expresar los 20 km/h en metros por segundo, se procede a reemplazar cada kilómetro por 1000 metros y la hora por su equivalente de 3600 segundos.

$$20 \text{ km/h} = 20 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5,5 \text{ m/s}$$

Entonces, la energía cinética se calcula:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{72 \text{ kg} \cdot (5,5 \text{ m/s})^2}{2} = 1089 \text{ J}$$

a

1. Un triciclo a pedales para niños tiene una masa de 5 kg, aproximadamente. Si un niño se sube para dar un paseo y se mueve con una rapidez de 1 km/h, ¿cuál es la energía cinética del sistema triciclo-niño? Sugerencia: estimen la masa del niño.

Teorema del trabajo y la energía cinética

Cuando actúan varias fuerzas sobre un cuerpo, su comportamiento se puede describir desde dos puntos de vista distintos.

Por una parte, el sistema de fuerzas que actúan sobre él produce una aceleración. Si esa aceleración no es nula, el cuerpo cambia su velocidad. El sistema de fuerzas aplicado es equivalente a una única fuerza, llamada **fuerza resultante**, que provocaría sobre el cuerpo la misma aceleración que provoca el sistema. La fuerza resultante se calcula matemáticamente como la suma (vectorial) de todas las fuerzas del sistema y, como antes dijimos, podría reemplazarlas con el mismo efecto.

La otra descripción de lo que le ocurre al cuerpo bajo la acción de un sistema de fuerzas es energética. Cada fuerza que realiza un trabajo implica un intercambio de energía entre el cuerpo y los otros que interactúan con él. Como la fuerza resultante puede reemplazar a las demás con igual efecto, su trabajo representa el intercambio de energía entre el cuerpo y los otros. Luego, el trabajo neto, que se puede calcular mediante el trabajo de la fuerza resultante, es la cantidad de energía intercambiada por el cuerpo con los otros.

La fuerza resultante sobre un cuerpo hace que este se acelere; por lo tanto, esta fuerza neta realiza trabajo mecánico mientras actúa sobre el cuerpo que varía su energía cinética. El cambio de la energía cinética del cuerpo es igual al trabajo realizado sobre él por la fuerza neta. Esta relación entre el trabajo mecánico y la energía cinética es conocida como el **teorema del trabajo y la energía cinética**, y se puede expresar simbólicamente de la siguiente forma:

$$W_R = \Delta E_C \quad \text{o bien} \quad W_R = E_C - E_{C_0}$$

donde W_R es el trabajo mecánico de la fuerza resultante o neta, E_C es la energía cinética final y E_{C_0} es la energía cinética inicial.

Si el trabajo mecánico de la fuerza resultante es positivo, entonces se produce un incremento en la energía cinética. Por ejemplo, cuando una persona ejerce una fuerza para cambiar de lugar una mesa en la misma dirección del movimiento. El trabajo mecánico de la fuerza resultante es negativo cuando disminuye la energía cinética del cuerpo. Como cuando un arquero de fútbol ataja la pelota en movimiento y la detiene en sus manos, la fuerza neta resultante sobre la pelota tiene dirección opuesta al movimiento. Por eso, se dice que el arquero realiza un trabajo negativo sobre la pelota, mientras que la energía cinética de esta disminuye hasta cero en el momento en que se detiene en las manos del arquero.

Vis viva

Gottfried Wilhelm Leibniz (Alemania, 1646-1716) fue un filósofo y matemático alemán que encontró que $m \cdot v^2$ era una medida importante en el movimiento de los cuerpos y la llamó *fuerza viva* o *vis viva*. Thomas Young (Inglaterra, 1773-1829), a comienzos del siglo XIX, llamó a $m \cdot v^2$ *energía* entendiendo que "el trabajo requerido para hacer cualquier movimiento es proporcional a la energía que se obtiene". Para más detalles pueden leer la página 60.



Gottfried Wilhelm Leibniz.



Thomas Young.

Un ejemplo del teorema del trabajo y la energía cinética

Una bicicleta de 12 kg de masa y un ciclista de 70 kg se desplazan sobre una superficie horizontal con una rapidez de 15 km/h. Se quiere calcular la energía cinética del sistema bicicleta-ciclista, así como averiguar el trabajo mecánico que se debe realizar para frenar la bicicleta hasta alcanzar una rapidez de 10 km/h.

Cambiando de unidades como en la página anterior, llegamos a que la velocidad de 15 km/h corresponde a 4,2 m/s y la velocidad de 10 km/h es igual a 2,8 m/s.

Entonces la energía cinética inicial se calcula:

$$E_{C_0} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{82 \text{ kg} \cdot (4,2 \text{ m/s})^2}{2} = 732,24 \text{ J}$$

Como $W_R = E_C - E_{C_0}$ entonces:

$$W_R = \frac{82 \text{ kg} \cdot (2,8 \text{ m/s})^2}{2} - 732,24 \text{ J} = 321,44 \text{ J} - 732,24 \text{ J} = -410,80 \text{ J}$$

Es decir que el sistema ciclista-bicicleta tiene una energía cinética inicial de 732,24 J y para frenar la bicicleta hasta 10 km/h se necesita un trabajo de 410,8 J.



La interacción gravitatoria entre la Tierra y un cuerpo permite asignarle energía potencial a este.

Campo gravitatorio

Un cuerpo que se encuentra en las proximidades de la Tierra experimenta una fuerza de atracción gravitatoria hacia el centro del planeta. Esto se puede explicar a partir del concepto de **campo gravitatorio** que, para el caso particular de la Tierra, se denomina **campo gravitatorio terrestre**.

Así como un imán modifica de alguna manera el espacio que lo rodea, un cuerpo, con una determinada masa, afecta y modifica las propiedades físicas del espacio que lo rodea, generando a su alrededor un campo gravitacional. Si se conoce la intensidad del campo gravitatorio en un punto, es posible calcular la fuerza de carácter gravitatorio que actúa sobre un cuerpo colocado en dicho punto.

Energía potencial gravitatoria

Se denomina **energía potencial gravitatoria** a la energía que tiene un cuerpo que se encuentra en un campo gravitatorio, en una determinada posición respecto de un sistema de referencia, para el cual se asigna el valor cero; por ejemplo, si el campo gravitatorio es el de la Tierra, se le puede asignar el valor cero a la superficie terrestre.

Es importante aclarar que puede elegirse cualquier referencia conveniente para estudiar un hecho, esto dependerá de las características del problema.

La energía potencial gravitatoria está almacenada en un sistema de cuerpos que interactúan entre sí, es decir que siempre se hace referencia a un sistema en estudio. Aun cuando habitualmente se calcula la energía potencial de un cuerpo, en realidad, corresponde al sistema de por lo menos dos cuerpos que interactúan mediante fuerzas gravitatorias. Por ejemplo, una maceta en un balcón de un departamento ubicado en el cuarto piso, respecto de la superficie terrestre, tiene energía potencial gravitatoria ya que tanto la maceta como la Tierra ejercen fuerzas entre sí. Si la maceta cae libremente, el peso de este cuerpo realiza trabajo mecánico que se pone en evidencia, por ejemplo, si rompe las baldosas del piso y también en el incremento de su energía cinética.

La energía potencial gravitatoria que tiene un cuerpo dependerá de la altura a la que se encuentra ubicado respecto de la referencia y de su masa.

La energía potencial gravitatoria puede expresarse como:

$$E_{PG} = m \cdot g \cdot h$$

donde m es la masa del cuerpo, g es la aceleración de la gravedad y h es la altura respecto de la referencia elegida.

Si se desea elevar un cuerpo a determinada altura con velocidad constante, se debe realizar trabajo mecánico contra la gravedad terrestre. Este puede calcularse así: $W = F \cdot h$, pero como el módulo de F es igual al del peso, $m \cdot g$, entonces:

$$W = m \cdot g \cdot h$$

donde m es la masa del cuerpo, g es la aceleración de la gravedad y h es la altura a la que se quiere elevar el cuerpo.

Con lo cual se puede decir que el trabajo mecánico realizado sobre el cuerpo, para elevarlo a una altura h , es igual a la energía potencial gravitatoria que posee ese cuerpo a esa altura.

La energía entregada por el sistema que elevó el cuerpo no se pierde, sino que se transforma en energía potencial gravitatoria.

Un ejemplo del cálculo de la energía potencial gravitatoria

Se eleva una maceta de 2 kg desde el piso hasta un estante de una repisa que se encuentra a 2,5 m. Se quiere calcular la energía potencial gravitatoria de la maceta respecto del piso y respecto de la cabeza de la persona, que tiene una estatura de 1,70 m.

Para eso:

$$E_{PG} = m \cdot g \cdot h = 2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 49 \text{ J} \text{ respecto del piso.}$$

$$E_{PG} = m \cdot g \cdot h = 2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8 \text{ m} = 15,68 \text{ J} \text{ respecto de la cabeza de la persona.}$$



1. Averigüen la energía potencial que tiene un cuerpo de 1 kg respecto del piso cuando se lo eleva a 3 m de altura en las siguientes situaciones:

- Se levanta verticalmente el cuerpo.
- Se lo empuja por un plano inclinado que forma un ángulo de 30° y tiene una altura de 3 m.
- Se lo sube por una escalera de 3 m de altura.

Energía potencial elástica

Algunos cuerpos pueden cambiar su forma cuando sobre ellos se ejerce una fuerza y pueden recuperarla cuando la fuerza deja de actuar, como sucede con los resortes, los elásticos y las banditas de goma. Esta propiedad de los materiales se conoce como **elasticidad**.

Dentro de ciertos límites, hay muchos cuerpos que se comportan en forma elástica, desde una pelota de goma hasta una viga metálica. Por razones de simplicidad, haremos acá solo el estudio de la energía de un resorte deformado en la dirección de su eje. Es decir que la deformación implica que se ha comprimido o que se ha estirado, manteniendo su forma cilíndrica.

La **fuerza elástica** realiza un trabajo mecánico cuando logra transferir energía, por ejemplo, del resorte a un cuerpo unido a él, desplazándolo una cierta distancia.

Robert Hooke (1635-1703) encontró la relación entre la fuerza elástica y la deformación de un resorte. El módulo de esta fuerza resulta proporcional a la deformación. Esto se puede expresar matemáticamente como:

$$F_e = k \cdot \Delta x$$

donde Δx representa la elongación o compresión que sufre el resorte y k es la constante elástica que depende de las características del resorte y se mide en N/m u otras unidades de fuerza y longitud como, por ejemplo, N/cm.

La constante elástica indica lo que llamamos un resorte duro o uno blando, y depende de su construcción. Si un resorte tiene una constante elástica de 10 N/cm, ejercerá una fuerza elástica de 10 N cuando se lo deforme 1 cm.

Un resorte tiene energía potencial elástica cuando está deformado y la puede transferir a un cuerpo unido a él.

La **energía potencial elástica** (E_{PE}) de un resorte de constante k que puede estirarse o comprimirse una determinada longitud Δx se define de la siguiente forma:

$$E_{PE} = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}$$

Un resorte tendrá la misma energía potencial elástica si se estira o se comprime la misma longitud Δx . Cuanto mayor es el valor de la constante elástica, mayor es la cantidad de energía que tiene siempre que la elongación sea la misma.

Un ejemplo del cálculo de la energía potencial elástica

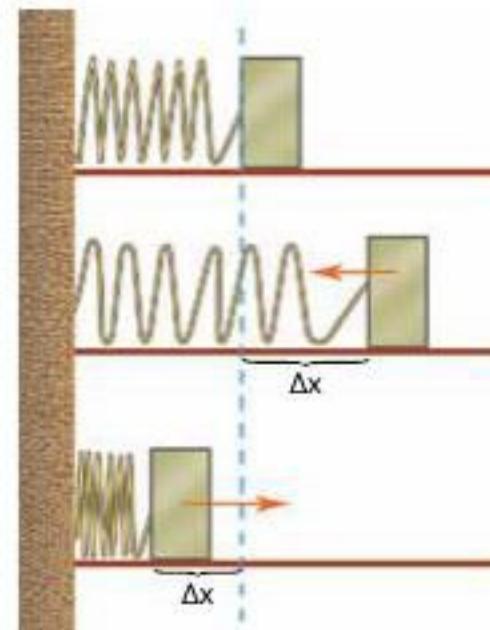
En la figura del lateral se observa que un cuerpo se encuentra apoyado sobre un resorte que no está ni estirado ni comprimido en la posición A. Luego, se ejerce una fuerza que comprime el resorte 4 cm hasta la posición B, en la que se logra un estado de equilibrio cuando la fuerza tiene un valor de 20 N. Se quiere calcular la energía potencial elástica del resorte en esta última posición.

Como en B el sistema está en equilibrio, la fuerza elástica también vale 20 N. Como el módulo de la fuerza elástica se escribe $F_e = k \cdot \Delta x$, es posible determinar la constante elástica del resorte de la siguiente manera:

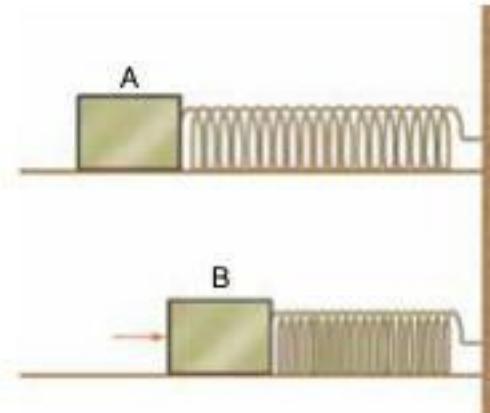
$$k = \frac{F_e}{\Delta x} = \frac{20 \text{ N}}{0,04 \text{ m}} = 500 \text{ N/m}$$

Ahora, teniendo la constante elástica del resorte, se puede calcular su energía potencial elástica en esa posición:

$$E_{PE} = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2} = \frac{500 \text{ N/m} \cdot (0,04 \text{ m})^2}{2} = 0,4 \text{ J}$$



El resorte entrega energía al cuerpo unido a él cuando el primero se mueve. Este intercambio de energía se calcula a través del trabajo que realiza la fuerza elástica.



Conservación de la energía mecánica

Se denomina **energía mecánica** de un cuerpo, o sistema de cuerpos, a la suma de su energía cinética, su energía potencial gravitatoria y su energía potencial elástica. Es decir que:

$$E_M = E_C + E_{PG} + E_{PE}$$

Las fuerzas no conservativas



Al descender sin pedalear, la energía potencial del sistema ciclista-bicicleta se va transformando en cinética, pero parte de ella se disipa por rozamiento.

En lo alto de la ladera de una montaña, un sistema ciclista-bicicleta tiene energía potencial gravitatoria respecto de la superficie terrestre. Si está detenido antes de emprender el paseo, su energía cinética es cero, ya que no está en movimiento. Si comienza el descenso sin pedalear, se producen en el sistema transformaciones de energía: la energía potencial gravitatoria se transforma en energía cinética y también en energía que se disipa por el rozamiento con el suelo y el aire. A medida que el ciclista desciende, la energía potencial gravitatoria disminuye hasta ser cero cuando llega al nivel del suelo, mientras que la energía cinética aumenta hasta el descenso completo, donde toma su valor máximo. Sin embargo, la energía mecánica que inicialmente tenía este sistema no se mantiene constante, ya que la bicicleta se va frenando debido al rozamiento con el suelo y el aire, es decir que se produce una disminución de la energía del sistema que se libera al medio exterior en forma de calor.

Si la energía mecánica de un sistema no se mantiene constante, es debido a que en este sistema actúan **fuerzas no conservativas**, como es, por ejemplo, la fuerza de rozamiento que disipa parte de la energía total al medio exterior. Lo mismo ocurre con las fuerzas de origen muscular, que al trabajar sobre un cuerpo también modifican, por lo general, su energía mecánica. Por ejemplo, para empujar un carro, el trabajo ejercido por la fuerza muscular produce variación en la energía mecánica de este.

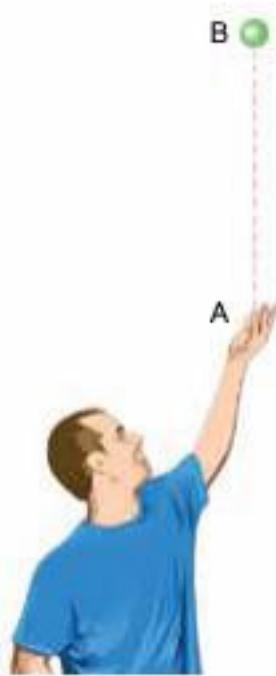
Las fuerzas conservativas

Cuando se arroja un cuerpo verticalmente hacia arriba y despreciamos el rozamiento con el aire, se produce una disminución de la energía cinética y un aumento de la energía potencial a medida que el cuerpo asciende, pero la suma de estas energías es siempre la misma, independientemente de la trayectoria que realiza el cuerpo.

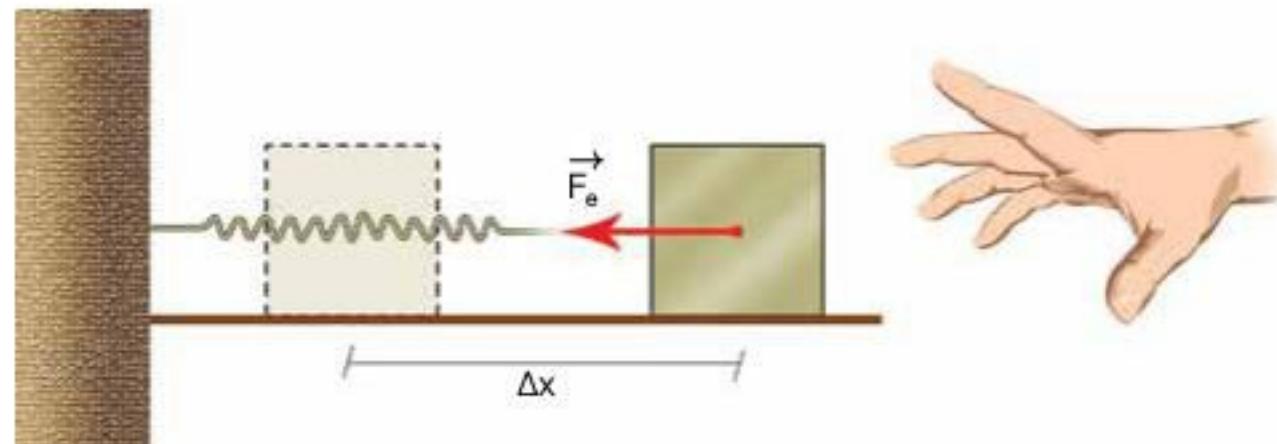
Si la energía mecánica de un sistema constante es debida a la presencia de **fuerzas conservativas** como, por ejemplo, la fuerza gravitatoria o la fuerza elástica, el trabajo que realizan estas fuerzas depende de las posiciones inicial y final del cuerpo, pero no del camino o trayectoria que describe para llegar de un punto al otro.

Análisis de la aplicación de una fuerza conservativa: la fuerza elástica

Un cuerpo se encuentra unido a un resorte de constante k , que está comprimido una cierta distancia Δx respecto de su posición de equilibrio, por lo tanto, tiene almacenada energía potencial elástica $E_{PE} = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}$.



Al ser arrojado hacia arriba, el cuerpo en el punto A tiene energía cinética máxima que va disminuyendo a medida que asciende, transformándose en energía potencial, que será máxima cuando alcance el punto B.



¿Qué ocurre cuando se descomprime el resorte? La energía potencial elástica se transforma en energía cinética, ya que el cuerpo se mueve y varía su velocidad. Si despreciamos el rozamiento, podemos afirmar que el sistema conserva su energía mecánica.

Cuando el sistema pasa por la posición de equilibrio del resorte, toda la energía potencial elástica se ha transformado en energía cinética y cuando llega a detenerse del otro lado, la energía cinética se ha transformado en energía potencial elástica.

La variación de la energía cinética es igual al trabajo realizado por la fuerza elástica para transferir energía al cuerpo. Como la energía mecánica total del cuerpo se conserva, se puede afirmar que la fuerza elástica es una fuerza conservativa.

Otro caso de conservación de energía mecánica: el péndulo

En el movimiento oscilatorio armónico de un péndulo, también se verifica la conservación de la energía mecánica cuando se desprecia el rozamiento.

Se dice que un movimiento es periódico si se repite cada cierto lapso de tiempo, denominado **periodo**. El movimiento de un péndulo es periódico y también es oscilatorio, ya que el cuerpo, apartado de su posición de equilibrio, pasa sucesivamente por esa posición, alejándose distancias iguales a ambos lados.

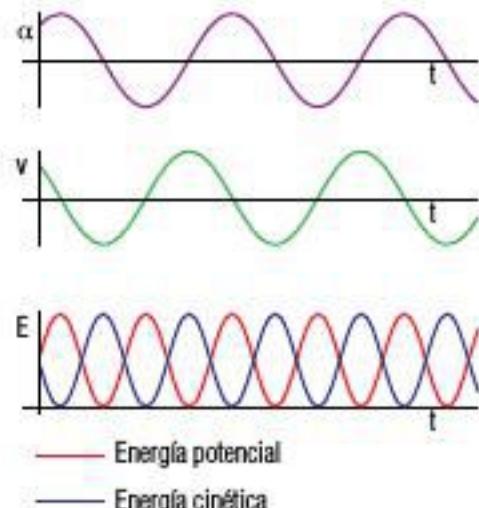
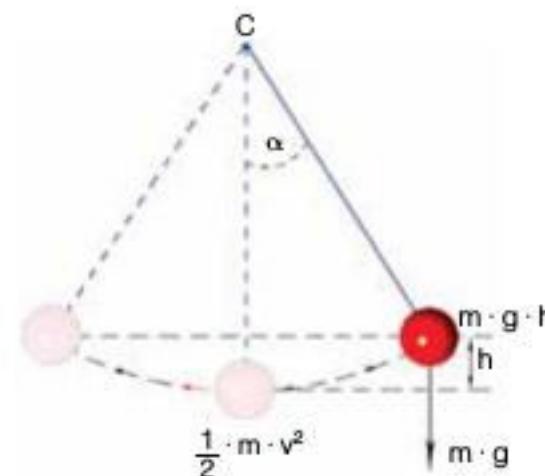
Habitualmente, se elige como referencia la posición de equilibrio de la masa pendular.

Cuando se inicia el movimiento, la masa es apartada de su posición de reposo y adquiere una energía potencial gravitatoria inicial por tener más altura respecto del equilibrio, que se transforma en energía cinética a medida que la masa se mueve siguiendo su trayectoria. Cuando, estando en movimiento, alcanza la posición de equilibrio, la energía potencial gravitatoria es cero y la energía cinética es máxima.

Si se desprecia el rozamiento, la suma de la energía cinética y la energía potencial es constante, es decir que se conserva la energía mecánica del sistema.

Un péndulo que oscila libremente, es decir sin rozamiento, alcanza siempre la misma altura, ya que la tensión del hilo no realiza trabajo por ser perpendicular a la dirección del movimiento en cada punto. Además, el peso del cuerpo no produce variaciones en la energía mecánica del sistema por tratarse de una fuerza conservativa.

Si se considera el rozamiento del péndulo con el aire, es decir, en los sistemas no ideales sino reales, las oscilaciones de la masa pendular se van amortiguando, o sea, van disminuyendo con el tiempo hasta detenerse. En este caso, el péndulo describe un movimiento armónico amortiguado y la energía mecánica no se conserva.



Las gráficas muestran la variación de la posición, de la velocidad y de las energías cinética, en azul, y potencial gravitatoria, en rojo.

Las funciones armónicas se modelizan mediante las funciones seno y coseno, que dependen del tiempo.

Actividades con la computadora



1. ¿Cuáles son las variables que intervienen en el movimiento pendular? ¿De qué depende el período de oscilación de un péndulo?

2. Se puede analizar el movimiento de un péndulo mediante el uso de un simulador:

Ingresen en: phet.colorado.edu/en/simulation/pendulum-lab.

Hagan clic en "run now" y aparecerá una pantalla con un péndulo y a la derecha un cuadro en el que se pueden modificar: la longitud del péndulo (*length*), su masa (*mass*), si tiene rozamiento (*friction*) o no. También se puede seleccionar: si se lo quiere observar oscilar en tiempo real o más lentamente, en qué planeta oscila y qué variables se quieren observar (velocidad, aceleración, energía). En un cuadro más pequeño, a la izquierda, se da la orden de comienzo del reloj (*start*). Con el *mouse* se aparta el péndulo y este comienza a oscilar.

3. ¿Cuáles son las variables con las cuales pueden trabajar? ¿Cómo modifican las otras variables? Por ejemplo, fijar la masa y analizar la variación del período al modificar la longitud. Luego, analizar cómo influyen la masa, la aceleración de la gravedad, el planeta y la energía, al agregar rozamiento.

4. Realicen una ponencia oral explicando las leyes del péndulo y la conservación de la energía mecánica de este sistema según lo analizado en esta simulación.



Julius Robert Mayer.



Portada del libro de Mayer: *Equivalente mecánico del calor*, en el que propone el Principio de Conservación de la Energía.

Principio de Conservación de la Energía Mecánica

Cuando los cuerpos o sistemas de cuerpos interactúan, se producen transformaciones y transferencias de energía. Un cuerpo puede ceder parte de su energía a otro y el otro cuerpo ganarla, pero la cantidad total del sistema considerado se mantiene constante, es decir, solo intercambian energía entre ellos pero no se pierde la cantidad total del sistema.

El Principio de Conservación de la Energía es muy importante en los fenómenos, no solo de la Física, sino de las ciencias naturales en general.

Julius Robert Mayer (1814-1878), médico y físico alemán, propuso que las distintas formas de energía "son cuantitativamente indestructibles y cualitativamente convertibles". Todas las manifestaciones de la energía son transformables unas en otras, y la energía, como en un todo, se conserva en un sistema cerrado.

El Principio de Conservación de la Energía Mecánica afirma que "la energía mecánica de un sistema aislado en el que solo actúan fuerzas conservativas o en el que las no conservativas no realizan trabajo, permanece constante".

Se define un sistema aislado como aquel que no intercambia ni materia ni energía con el medio exterior, ni con ningún otro cuerpo.

Para el análisis de muchos hechos o situaciones, se descarta el rozamiento por considerarlo despreciable, a los efectos de la modelización del problema. Es así que, a veces, se consideran irrelevantes las cantidades de energía que se disipan como, por ejemplo, el calor por efectos de la fuerza de rozamiento.

El enunciado de este principio puede escribirse matemáticamente de la siguiente forma:

$$E_{M_0} = E_{M_f} \quad \text{o bien} \quad E_{C_0} + E_{PG_0} + E_{PE_0} = E_{C_f} + E_{PG_f} + E_{PE_f}$$

donde E_{M_0} es la energía mecánica inicial, es decir, la suma de la energía cinética inicial E_{C_0} , la energía potencial gravitatoria inicial E_{PG_0} y la energía potencial elástica inicial E_{PE_0} , y E_{M_f} es la energía mecánica final, es decir, la suma de la energía cinética final E_{C_f} , la energía potencial gravitatoria final E_{PG_f} y la energía potencial elástica final E_{PE_f} .

Un ejemplo del Principio de Conservación de la Energía Mecánica

Una pelota de 400 g cae libremente desde una altura de 20 m respecto del suelo. Depreciando el rozamiento con el aire, se quiere calcular la energía mecánica de este cuerpo antes de empezar a caer y cuando llega al suelo, y la velocidad que alcanza la pelota cuando llega al suelo.

La energía mecánica antes de empezar a caer es: $E_{M_0} = E_{C_0} + E_{PG_0}$. Entonces:

$$E_{M_0} = 0 \text{ J} + m \cdot g \cdot h = 0 \text{ J} + 0,4 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 20 \text{ m} = 78,4 \text{ J}$$

La energía mecánica, una vez que la pelota llegó al suelo es: $E_{M_f} = E_{C_f} + E_{PG_f}$. Luego:

$$E_{M_f} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \text{ kg} \cdot v^2 + 0 \text{ J} = 0,2 \text{ kg} \cdot v^2$$

En la caída de un cuerpo, actúa la fuerza gravitatoria, que es conservativa; por lo tanto, la energía mecánica total del sistema se conserva:

$$E_{M_0} = E_{M_f} \quad \text{es decir: } 78,4 \text{ J} = 0,2 \text{ kg} \cdot v^2$$

De donde se puede calcular la velocidad con la que llega al suelo:

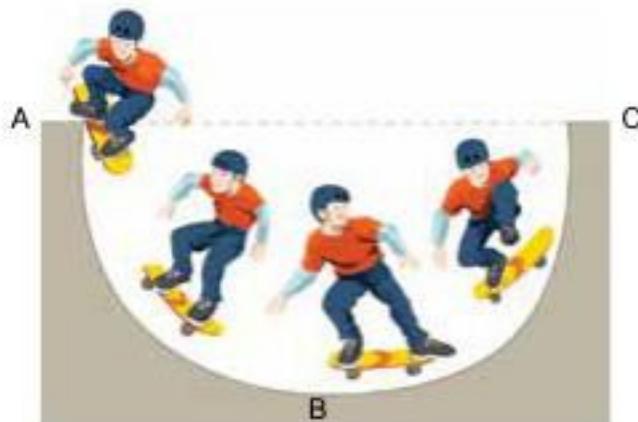
$$v^2 = \frac{78,4 \text{ J}}{0,2 \text{ kg}} = 392 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad \text{entonces: } v = 19,80 \text{ m/s}$$

La energía mecánica en la pista de patinetas y en la montaña rusa

En algunas plazas, parques y calles de algunas ciudades se suelen ver grupos de jóvenes que patinan con sus patinetas, un medio de locomoción y entretenimiento que consiste en una tabla con ruedas que permite deslizarse parado encima de ella y hacer algunas piruetas.

Si en esta situación se quiere realizar un estudio energético, es necesario definir el sistema que se considerará y el sistema de referencia, los que pueden ser, por ejemplo, el patinador junto con su patineta y la pista de patinaje o la Tierra.

En el siguiente dibujo se puede observar a un joven junto con su patineta que se mueven desde la posición A hasta la posición C.



En el punto A, antes de moverse, la energía potencial gravitatoria del joven y su patineta es máxima, mientras que su energía cinética es nula. Cuando comienza a descender por la rampa, la energía potencial comienza a disminuir, pero aumenta su energía cinética. En el punto B, su energía cinética será máxima y podrá ascender hasta el punto C cediendo energía cinética a medida que asciende en altura, pero ganando energía potencial gravitatoria.

Si descartamos la fricción con la pista y el rozamiento con el aire, la energía mecánica del sistema se conserva, ya que las interacciones se dan en ausencia de fuerzas no conservativas.

Algo similar ocurre si estudiamos la energía mecánica en las montañas rusas de los parques de diversiones, donde los carritos que llevan a las personas se sueltan desde alguna altura máxima y pasan por distintas posiciones.

Supongan que el carrito se suelta desde una altura de 40 m y que inicialmente estaba detenido. Se quiere calcular la velocidad del carrito en la posición más baja, es decir, en el nivel del piso, así como la altura a la que se encontraba cuando la velocidad del carrito era la mitad de la anterior. Luego, se quiere hacer un estudio energético sobre la conservación de la energía mecánica de este sistema si se descarta el rozamiento.

Actividades con la computadora



Patinar en patineta o *skate* puede resultar divertido si se practica con cuidado y en lugares adaptados para ese fin.



Los carros de una montaña rusa parten del punto más alto de la trayectoria, donde su energía potencial gravitatoria es máxima.

1. Busquen la simulación que está en el sitio web: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park> y trabajen en grupos. Hay que hacer clic en "run now" y aparecerá la pantalla del patinador. Selecciónen la indicación de energía en función de la posición (*energy vs. position*). Busquen a un patinador y activen el simulador dejando caer al patinador desde un extremo de la pista. Indiquen a qué altura se encontraba respecto de la Tierra.
2. Calculen la energía potencial gravitatoria en la altura máxima y la energía cinética en la altura mínima. Se observan estos valores en el gráfico. Se puede hacer mover al patinador paso a paso para observar lo que va ocurriendo con la energía.
3. Realicen un estudio de la energía cinética de este sistema y registren sus resultados.
4. Analicen qué variables aparecen en el simulador y qué cambios provocan en el estudio energético de este sistema.
5. Escriban un breve texto explicativo para luego debatir con los demás compañeros y con el profesor.

Trabajo de las fuerzas no conservativas

Las fuerzas musculares son no conservativas

Supongamos que en un supermercado hay un carrito vacío con una masa de 10 kg, detenido junto con otros. Una persona lo toma y lo empuja, por lo que adquiere una velocidad de 1,5 m/s. ¿Qué pasó con la energía mecánica del carrito? Inicialmente, respecto del piso, era cero, ya que estaba detenido. Al moverse, incrementó su energía cinética cuyo valor era: $E_C = 10 \text{ kg} \cdot (1,5 \text{ m/s})^2 = 11,25 \text{ J}$. La acción de las fuerzas musculares, no conservativas, modificaron la energía mecánica del carrito.



El trabajo de las fuerzas no conservativas, como la fuerza de rozamiento o las ejercidas por una persona u animal, provoca que la energía mecánica del sistema no permanezca constante. Por ejemplo, cuando hay trabajo de las fuerzas de rozamiento, se producen disipaciones de energía en forma de calor. Si bien la energía mecánica no se conserva, la energía no se destruye, sino que se utiliza precisamente para realizar un trabajo en contra de las fuerzas de rozamiento. Por la relación entre el trabajo y la energía cinética, se sabe que el trabajo de la fuerza resultante es igual a la variación de la energía cinética del cuerpo. Pero, cuando se habla del trabajo de la fuerza resultante, se debe considerar el trabajo realizado por todas las fuerzas, sean conservativas o no.

Matemáticamente, se expresa de esta forma:

$$W_R = \Delta E_C \quad \text{es decir: } W_C + W_{NC} = \Delta E_C \quad (1)$$

El trabajo de las fuerzas conservativas es igual a la variación de energía potencial provocada, pero cambiada de signo. Esto se observa, por ejemplo, cuando un cuerpo sube aumentando su energía potencial gravitatoria, donde el peso, que tiene sentido hacia abajo, hace un trabajo negativo. También se observa cuando se comprime un resorte y aumenta su energía potencial elástica, donde la fuerza elástica, que apunta hacia la posición de equilibrio, hace trabajo negativo. Esto se puede resumir de la siguiente manera:

$$W_C = -\Delta E_P$$

Y reemplazando en la expresión (1), obtenemos:

$$-\Delta E_P + W_{NC} = \Delta E_C \quad \text{luego: } W_{NC} = \Delta E_C + \Delta E_P$$

Es decir que la suma de las variaciones de la energía cinética y la energía potencial, que es la variación de la energía mecánica, es el trabajo de las fuerzas no conservativas.

$$W_{NC} = \Delta E_M$$

En consecuencia, la variación de la energía mecánica de un sistema es igual al trabajo realizado por las fuerzas no conservativas.

Un ejemplo del trabajo de las fuerzas no conservativas

Una caja de 600 g de masa se mueve sobre el piso con una velocidad de 5 m/s. Se quiere calcular su variación de energía desde que tiene esa velocidad hasta que se detiene, y la fuerza de rozamiento que actúa sobre la caja si recorre 10 m antes de detenerse.

Si se toma el nivel del piso como referencia para el cálculo de la energía potencial gravitatoria, la caja tiene energía potencial cero en todo el desplazamiento, luego $\Delta E_M = \Delta E_C$.

$$\Delta E_M = \Delta E_C = E_C - E_{C_0} = \frac{1}{2} m \cdot (v^2 - v_0^2) = \frac{1}{2} \cdot 0,6 \text{ kg} \cdot [(0 \text{ m/s})^2 - (5 \text{ m/s})^2] = -7,5 \text{ J}$$

Es decir que el cuerpo experimentó una variación de su energía mecánica de -7,5 J.

El plano es horizontal, mientras que el peso y la normal del plano son perpendiculares a la dirección del movimiento, entonces la única fuerza que realiza trabajo es la fuerza de rozamiento. Por lo tanto, el trabajo que esta realiza, al ser no conservativa, es igual a la variación de la energía mecánica del sistema. Por otro lado, el ángulo considerado es de 180°, ya que la fuerza de rozamiento se opone al sentido del movimiento. Luego:

$$W_{NC} = \Delta E_M \quad \text{es decir: } F_R \cdot 10 \text{ m} \cdot \cos 180^\circ = -7,5 \text{ J}$$

$$F_R = \frac{-7,5 \text{ J}}{10 \text{ m} \cdot \cos 180^\circ} = 0,75 \text{ N}$$

Por lo que resulta que la fuerza de rozamiento es de 0,75 N.

Comunicación científica

Recreación de un experimento histórico usando las nuevas tecnologías de la información y la comunicación

La recreación de algunos experimentos históricos, como los realizados por Galileo sobre la caída de los cuerpos, puede ser interesante para discutir ideas y poner a prueba hipótesis como, por ejemplo, la influencia del peso en la velocidad de caída de los cuerpos.

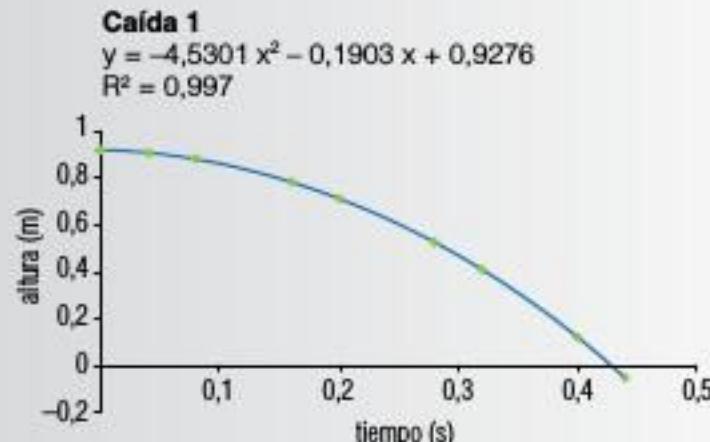
Nos preguntamos: ¿influye el peso en la velocidad de caída de los cuerpos? Aristóteles sostenía: "Dados dos cuerpos dotados de peso y del mismo tamaño, con 'más liviano' o 'relativamente liviano' nos referimos a aquel que es superado por el otro en la velocidad de su movimiento natural hacia abajo". (Lombardi, O.; 2000)

Varios siglos después, Galileo, siguiendo la opinión de otros grandes pensadores de la modernidad, cuestionó con firmeza estas hipótesis aristotélicas, que habían perdurado por cerca de 2000 años. Así se desprende de los fragmentos del libro de Galileo: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, publicado en 1638, en el que, a través de su personaje Salviati, expone sus ideas de la siguiente manera: "Dudo grandemente que Aristóteles haya comprobado por el experimento, si es verdad que dos piedras, siendo una de ellas diez veces más pesada que la otra, al dejarlas caer en el mismo instante desde una altura de cien codos, diferirían en velocidad de tal manera, que cuando la más pesada hubiese llegado a tierra, la otra no habría recorrido en su caída más de diez codos...".

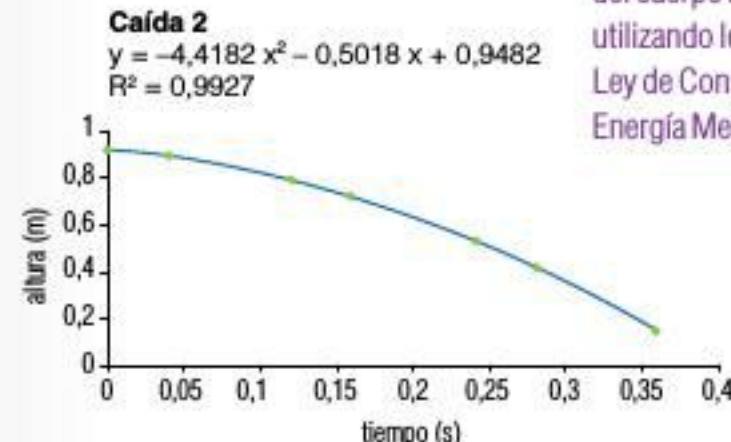
Para comprobar estas ideas, se puede realizar el siguiente diseño experimental.

Se filman, con una cámara digital de uso no profesional, las caídas de dos objetos pequeños de igual forma, para minimizar los efectos del roce con el aire en las caídas. Se pueden utilizar dos tapitas de gaseosa de plástico, una de ellas vacía y la otra rellena con varias monedas para modificar en forma significativa su peso. Se incorpora en la filmación una escala con cuadriculas para tomar las referencias de posición. En cualquier computadora, los programas de procesamiento de imágenes de uso habitual permiten analizar, cuadro por cuadro, los videos y también incorporar la variable temporal del fenómeno estudiado. Los datos obtenidos se pueden procesar con la planilla de cálculo de Excel para encontrar experimentalmente las ecuaciones horarias de este movimiento y analizar el valor de la aceleración de la gravedad obtenido.

La Ley de Conservación de la Energía Mecánica permite el análisis de la velocidad y de la posición de un cuerpo en caída libre, y las transformaciones de energía que se producen, despreciando el rozamiento o las disipaciones de energía que pudieran darse.



Caída libre de la tapita sin carga de monedas.



Caída libre de la tapita con carga de monedas.

El experimento de Galileo en la torre de Pisa

Hacia 1610, Galileo hizo una demostración sobre su teoría de la caída de los cuerpos. Dejó caer desde la parte superior de la torre de Pisa, que estaba y está inclinada, esferas de igual radio pero de pesos diferentes. Pese a la influencia del rozamiento que hizo que no todas cayesen en igual tiempo, pudo mostrar que el tiempo de caída no dependía del peso, tal como afirmaban las teorías de Aristóteles.



a

1. Calculen la velocidad de caída del cuerpo al llegar al suelo utilizando los conceptos de la Ley de Conservación de la Energía Mecánica.

Interacción gravitatoria



Newton propuso que el mismo tipo de interacción que se ejerce entre la Tierra y la Luna, se produce entre cualquier par de cuerpos.

Todo cuerpo que se deja en libertad en las cercanías de la superficie de la Tierra experimenta una aceleración hacia el centro de la Tierra que se denomina **aceleración de la gravedad terrestre** (g) y cuyo valor, en el nivel del mar, es $9,8 \text{ m/s}^2$, aproximadamente.

Independientemente del peso del cuerpo, su aceleración g será constante. Esto implica que el peso de un cuerpo, que es $P = m \cdot g$, es proporcional a su masa. Cuanto mayor sea la masa del cuerpo, mayor será su peso, pero g se mantiene constante.

Según cuenta una leyenda, Newton observó la caída de una manzana y se preguntó si la fuerza entre la manzana y la Tierra sería la misma que mantenía la Luna girando alrededor de nuestro planeta. Así dedujo la Ley de Gravitación Universal que dice que, dado que el peso es proporcional a la masa del cuerpo, la interacción gravitatoria entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 , separados a una distancia r , es:

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

donde F_G es la fuerza de atracción gravitatoria que experimentan los dos cuerpos entre sí y G es la constante de gravitación universal: $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. Esta constante fue luego verificada por Henry Cavendish (1731-1810), que fue un físico y químico británico que midió, con una balanza de péndulo de torsión de mucha sensibilidad, la interacción gravitatoria entre pequeñas esferas de plomo.

Si bien el problema original de Newton apuntaba a una ley física que justificara el movimiento planetario, él la extendió a todos los cuerpos. Lo que hoy resulta evidente, no lo era en esa época, cuando Newton propuso que la Física para explicar el movimiento de los planetas era la misma que la usada para explicar la caída de una manzana o, aún más, para describir la atracción gravitatoria entre dos cuerpos cualesquiera.

Cavendish tuvo que diseñar un sistema de mucha precisión para medir fuerzas gravitatorias porque, a menos que uno de los cuerpos sea un planeta, estas fuerzas son muy débiles. Por ejemplo, supongamos que dos personas de 60 kg y 70 kg de masa se encuentran a 0,5 m de distancia y se quiere averiguar cuál es la fuerza de atracción gravitatoria que actúa sobre ambos. Según la Ley de Gravitación Universal, esa fuerza vale:

$$F_G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \cdot \frac{60 \text{ kg} \cdot 70 \text{ kg}}{(0,5 \text{ m})^2} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

Esta fuerza, de alrededor de una diezmilésima de gramo, es prácticamente indetectable. En cambio, cuando las masas involucradas son de planetas o satélites, las fuerzas son tan importantes que justifican sus movimientos. Para aplicar esta ley a los planetas o a los satélites como la Luna, se puede considerar su masa concentrada en su centro, ya que las grandes distancias entre ellos hacen que, en escala, estas masas sean prácticamente puntuales. Si en una hoja se representara, a escala, la distancia de 150 millones de kilómetros que hay entre la Tierra y el Sol, y sus radios de 6.300 km para la Tierra y 70.000 km para el Sol, estos dos cuerpos celestes serían puntos.

¿Cómo caerían los cuerpos en otros planetas?

La aceleración de la gravedad en cualquier cuerpo celeste depende de su tamaño y su masa.

Un cuerpo que se deja caer en la Tierra desde 50 metros de altura tarda aproximadamente 3,2 segundos en llegar al suelo. Si se dejara caer en Mercurio, donde la gravedad es de $3,63 \text{ m/s}^2$, tardaría 5,2 segundos; mientras que en un gran planeta como Neptuno, donde la gravedad es de $25,9 \text{ m/s}^2$, la caída demoraría solo 2 segundos.

La Luna es el satélite de nuestro planeta, y el valor de la aceleración de la gravedad en su superficie es de $1,62 \text{ m/s}^2$, por lo que una caída desde 50 metros de altura tardaría 7,8 segundos.

La **fuerza gravitatoria** que actúa sobre un cuerpo de masa m situado sobre la superficie de un planeta (esféricamente simétrico), de radio R y masa m_p , que se puede considerar concentrada en su centro, se puede escribir así:

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot m_p}{R^2}$$

Por las leyes de Newton, podemos decir que la fuerza que actúa sobre el cuerpo produce una aceleración y que ambas magnitudes están relacionadas a partir del Principio de Masa: $F = m \cdot a$. La aceleración de los cuerpos sería la de la gravedad g del planeta; entonces, $F = m \cdot g$. Es decir que un cuerpo dejado en libertad, bajo la acción de la fuerza gravitatoria, tendría una aceleración que se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} m \cdot g &= G \cdot \frac{m \cdot m_p}{R^2} \\ g &= G \cdot \frac{m_p}{R^2} \end{aligned}$$

Es decir que la aceleración de la gravedad en cada planeta depende de su masa y de su radio. Para el caso del planeta Tierra, todos los cuerpos, en las proximidades de su superficie, se aceleran con $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Pero la expresión anterior también permite calcular la aceleración de la gravedad en otros planetas o cuerpos celestes.

Energía potencial

El análisis de la energía potencial permite estudiar el comportamiento de muchos fenómenos como, por ejemplo, la interacción entre dos cuerpos celestes con la misma fuerza de atracción gravitatoria.

La expresión $E_{PG} = m \cdot g \cdot h$, que utilizamos en las páginas anteriores, solo es válida cerca de la superficie terrestre o la de algún planeta, es decir que solo se verifica en las regiones donde g es aproximadamente constante.

Como se ve en esta misma página, la expresión matemática de g depende de la distancia al centro del planeta. Por ejemplo, en el caso de la Tierra, si el radio terrestre es de aproximadamente 6300 km, un punto que se encuentre a 2 km de altura, es decir, a 6302 km, no tendrá un valor de g muy diferente; pero si el punto está a 20000 km, la variación será notoria. ¿Cómo se calcula, entonces, la energía potencial de un cuerpo en regiones donde g no se puede considerar constante?

Dados dos cuerpos de masa m y M , separados a una distancia r , se puede decir que este sistema tiene asociada una energía potencial gravitatoria. Para calcular esa energía, se supone a uno de los cuerpos como referencia y se calcula el trabajo que realiza la fuerza de atracción gravitatoria entre ambos, cuando el segundo cuerpo se traslada desde un lugar infinitamente alejado, hasta que ambos se encuentran a una distancia r . Como hemos visto, la energía potencial es igual a ese trabajo cambiado de signo. Como la fuerza gravitatoria es de atracción, su trabajo, al acercar a los cuerpos, resulta positivo y, por lo tanto, la energía potencial resulta negativa. Se demuestra que se puede expresar de la siguiente forma:

$$E_{PG} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$$

Cometas



Si consideramos una partícula m que se encuentra a una distancia muy grande de otra partícula M y se lanza hacia esta con una velocidad de acercamiento v , a medida que m se acerca a M , su energía potencial disminuye (se hace más negativa), mientras que la energía cinética aumenta hasta alcanzar su valor máximo en la mínima distancia de separación. Esta situación corresponde a trayectorias hiperbólicas, como las que describen algunos cometas al acercarse al Sol.



1. Calculen la aceleración de la gravedad en la superficie del Sol. Busquen los datos que consideren necesarios para hacerlo.

Experimentos y exploraciones

La mecánica y el automóvil



Los cinturones de seguridad y los airbags disminuyen los riesgos para los pasajeros ante bruscos cambios de velocidad.



El túnel de viento permite visualizar y medir el efecto del aire sobre la carrocería en movimiento.



Los ensayos de choques programados mejoran la seguridad de los vehículos.

A las personas que reparan automóviles se los llama mecánicos. En realidad, tanto desde el punto de vista científico como el tecnológico, un automóvil moderno basa su funcionamiento en conocimientos que exceden la mecánica. En el diseño, construcción y reparación de un automóvil intervienen no solo la mecánica sino también la termodinámica, el electromagnetismo, la electrónica, la hidráulica, etcétera. Sin embargo, la finalidad última es mecánica: el automóvil sirve para viajar, es decir para moverse.

Desde el punto de vista estrictamente mecánico, es decir a partir de los conceptos desarrollados en este capítulo sobre las leyes de Newton y la energía mecánica, se pueden justificar algunas de las innovaciones que se han ido incorporando al diseño de los automóviles.

En lo referente a medidas de seguridad para los pasajeros, la incorporación de cinturones de seguridad, airbags y apoyacabezas tienden a impedir tanto los golpes debido a las aceleraciones bruscas producidas en un choque como la situación de ser despedidos del vehículo en un vuelco.

Por otra parte, el uso de nuevos materiales y el mejoramiento en el diseño de las piezas mecánicas del automóvil han aumentado su rendimiento.

Cuando se produce un choque, una buena parte de la energía cinética perdida por el vehículo al detenerse bruscamente se traduce en la deformación de la carrocería, con el consecuente peligro para los pasajeros. El ensayo de choques durante el diseño permite adecuar el modelo de manera que la mayor parte de la deformación se dé en partes que no afecten a las personas que viajan.

Otro avance mecánico para mejorar el rendimiento energético está relacionado con el diseño aerodinámico de las carrocerías. A partir de modelos computacionales y ensayos en túnel de viento se diseñan las carrocerías de manera que reduzcan las pérdidas de energía por frotamiento con el aire durante el movimiento.

Cada vez que un automóvil disminuye su velocidad o frena, transforma su energía cinética en otras formas de energía no útiles, como las que producen el calentamiento de los frenos o los neumáticos.

Actualmente, se están comercializando "automóviles híbridos" que tienen un motor de combustión interna y uno eléctrico. Muchos de estos modelos tienen además "frenos regenerativos", que permiten cargar las baterías con la energía mecánica "perdida" durante las frenadas.

a>

1. Busquen en Internet información sobre las características de los automóviles híbridos en general y en particular de aquellos que cuentan con frenos regenerativos.

Pueden consultar las siguientes páginas web:

http://autos.terra.com/noticias/como_funciona_un_vehiculo_hibrido/aut473

<http://www.motorpasion.com/espaciotoyota/frenada-regenerativa-convirtiendo-en-electricidad-lo-que-antes-se-perdia-en-calor>

- a. Describan una secuencia de las transformaciones de energía que se producen en uno de estos vehículos cuando recorren algunos kilómetros en una zona donde deben detenerse en los semáforos.

Actividades sobre la Física de la bicicleta

En algunas ciudades del mundo, el uso de la bicicleta es muy común y cada vez se suman más los proyectos a favor de su implementación, como ocurre en varios lugares de nuestro país. Las razones y argumentaciones a favor del uso de las bicicletas son muchas: podría ser una solución para evitar los problemas de tránsito en distancias cortas, es un medio de transporte "limpio" en tanto puede reducir la contaminación ambiental producida por la liberación de gases, como el dióxido de carbono por parte de los motores de combustión interna que utilizan automóviles y otros vehículos. Desde la Física se puede hacer un análisis de la bicicleta como un sistema mecánico. Por ejemplo, a partir de las leyes de Newton o un análisis energético estudiando no solo las transformaciones que se producen en su energía mecánica, sino también las transformaciones en otras formas de energía.

La energía mecánica de una bicicleta no solo se puede utilizar en el transporte de personas o cosas. Existen múltiples adaptaciones para transformar la energía mecánica de la bicicleta con otras finalidades.

Por ejemplo, hasta no hace muchos años se podían ver en algunas calles "afiladores", es decir, personas que ofrecían sus servicios para afilar cuchillos, tijeras, etcétera. Por lo general, tenían una adaptación en sus bicicletas de manera que mediante los pedales transferían energía a la piedra de afilar. Las chispas durante la operación mostraban, además, la transformación de la energía mecánica calentando el metal que se desprendía.



1. Elaboren un texto explicativo sencillo sobre el funcionamiento de una bicicleta en términos físicos. Para esto busquen datos sobre los sistemas mecánicos que la forman.

2. Analicen el siguiente diagrama de fuerzas que actúan en la bicicleta y discutan si son correctas las fuerzas consideradas.



a. ¿Quién ejerce cada una de las fuerzas consideradas?

b. Teniendo en cuenta las leyes de Newton, ¿cuál o cuáles son las fuerzas que impulsan la bicicleta hacia adelante? ¿Quién las ejerce?

3. Realicen un análisis energético de la bicicleta teniendo en cuenta el Principio de Conservación de la Energía Mecánica. Si es necesario, estimen valores de las variables que considerarán en este estudio, por ejemplo la masa de la bicicleta, la del ciclista, la rapidez con que se mueve, etcétera. Se sugiere describir previamente el sistema de referencia considerado y las condiciones necesarias sobre las variables a estudiar.

4. Ingresen a la siguiente página web y lean la información.

<http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta>

a. Escriban las ideas principales de los textos "Capacidad energética del ser humano" y "Redescubriendo la energía de los pedales".

b. Selecciónen dos de los ejemplos desarrollados en la página y hagan un análisis de las transformaciones energéticas para su funcionamiento.



En muchas ciudades se han establecido bicisendas para facilitar el uso de este medio de transporte.



Como se describe en la página 194, mediante una dinamo, también es posible generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica de la bicicleta.

Historia de la Física

Mecánica medieval

Los relatos de la evolución de la Mecánica, en particular, y de la Física, en general, suelen saltar la Edad Media. Esto también ocurre con otras ciencias. Sin embargo, ha habido algunos interesantes desarrollos en esa época.

Jean Buridan (1300-1358), que fue rector de la Universidad de París, propuso una teoría sobre el movimiento de los cuerpos llamada "teoría de ímpetus". Podríamos explicarla a través del siguiente ejemplo: al arrojar una piedra, la mano le comunica una cierta cantidad de **ímpetu** que le permite moverse; en su movimiento, roza con el aire, lo que le hace perder parte de ese ímpetu; la gravedad aporta su ímpetu hacia abajo y termina haciendo caer a la piedra.

El ímpetu de Buridan está relacionado con lo que hoy llamamos en Física **cantidad de movimiento**.

as

1. Discutan en grupos el concepto físico del término *vis viva* de Leibniz y resuman las conclusiones de este científico.
2. ¿Cuáles son los aportes de Carnot con la diferenciación de la *vis viva latente*? Busquen más información sobre este concepto histórico.
3. Analicen el concepto de trabajo introducido por Thomas Young y su relación con la energía.

Algo más sobre la *vis viva*

(Fuente: "Energía" - Colección Life - Mitchell Wilson.mht. Adaptación)

En el siglo xvii, hombres como René Descartes, Isaac Newton y Gottfried Wilhelm Leibniz, procuraron clasificar la idea de la fuerza que hoy llamamos "empujar" o "tirar". Habiendo observado que la fuerza actuaba sobre los objetos poniéndolos en movimiento, intentaron definirla en términos de la cantidad de movimiento que producía. Se enfrentaron con las siguientes preguntas: ¿cómo podría medirse el efecto de una fuerza? ¿Cómo podrían compararse los efectos de dos fuerzas diferentes?

Leibniz, al buscar una manera de medir las fuerzas, estudió los experimentos de Galileo, que había observado que todos los cuerpos caían a la misma velocidad, cualquiera que fuera su tamaño o su peso, si eran arrojados desde alturas iguales. No obstante, Leibniz se dio cuenta de que un objeto que pesase una tonelada haría mucho más daño al alcanzar el suelo que uno que pesase una onza, aun cuando los dos llegasen al mismo tiempo. Ahí había una manera de medir la fuerza. Se trataba de encontrar una manera de medir la magnitud del impacto que el objeto producía. "Es perfectamente evidente", decía Leibniz, "que el impacto depende de dos cosas: de cuánto pesa el objeto y desde qué altura cae". Luego observó que la altura de la caída no era importante, sino la velocidad a la que caía el objeto, la cual estaba directamente relacionada con la altura: cuanto mayor era la altura de la caída, tanto mayor era la velocidad. Así, Leibniz modificó su fórmula afirmando que la medida de la fuerza dependía del peso del objeto y de la velocidad que tenía. Luego le dio un nombre al impacto: *vis viva*, que quiere decir "fuerza viva". Era la cualidad que poseía un objeto para dañar a otro objeto. La fórmula que utilizó para medir la *vis viva* es la misma que los físicos modernos utilizan hoy para medir la energía cinética, la energía del movimiento. Lo que Leibniz había hecho era elaborar una descripción matemática de la energía cinética.

Una vieja ley enmendada

La Ley de Conservación de la Energía fue formulada a fines de la década de 1840, y afirma que la energía del universo no puede ser ni creada ni destruida. En el curso de los últimos 100 años, su aplicación al estudio de la energía cinética ha sido ampliada hasta cubrir todas las demás formas en que la energía se manifiesta. Solo en años recientes, al descubrirse que la materia podía ser transformada en energía, y la energía en materia, ha sido preciso enmendar esta ley. Pero, para las formas de la energía ordinaria, sigue siendo tan precisa y aplicable hoy como lo era en el siglo xvii.

Hacia principios del siglo xix, cuando hacía más de 100 años que el concepto de *vis viva* había sido aceptado, Nicolas Carnot observó que un peso situado en una posición elevada posee energía por estar en una situación tal que puede caer y crear así energía cinética. En 1803 llamó a esa capacidad *vis viva latente*, precursora de la energía potencial.

Cuatro años más tarde, la palabra *energía* entró por primera vez en el vocabulario técnico de la ciencia. En griego significaba "trabajo" y fue propuesta por Thomas Young para designar muchos de los fenómenos que inicialmente se atribuyeron a la *vis viva*. Young fue un notable médico y físico inglés que a los 19 años comenzó el estudio de la Medicina y a los 28 fue nombrado profesor de Filosofía Natural de la Royal Institution de Londres. Ha sido descripto como "uno de los hombres de más clara visión que haya jamás existido". Una de sus ideas, que permaneció ignorada durante décadas, fue su aguda definición de la energía como capacidad para efectuar un trabajo, la cual se encuentra en el centro de cualquier comprensión de la energía.

Actividades finales

1. Es habitual recibir noticias o presenciar accidentes de autos que circulan en las calles de las ciudades. Lean el siguiente párrafo extraído de la noticia publicada el 29 de mayo de 2011 por el diario *Campana Noticias* en la página: www.campananoticias.com.ar/noticia_amp.php?id=4596.

"Como consecuencia del fuerte impacto, la moto quedó debajo del auto y el joven, identificado como Pablo... de 18 años, salió despedido, por lo que sufrió politraumatismos en su cuerpo que motivaron su traslado al Hospital Municipal San José. En tanto que el conductor del vehículo, Jorge..., resultó ileso".

Escriban un texto explicativo breve, en términos físicos y apoyándose en las leyes de Newton, en el cual se expongan las posibles causas de la expulsión del joven de su moto.

2. Expliquen por qué la Tierra atrae una manzana con una fuerza que es de igual intensidad que la que ejerce la manzana sobre la Tierra.

3. Describan una situación en la cual una fuerza que se ejerce sobre un cuerpo no realice trabajo mecánico sobre dicho cuerpo.

4. Una persona de 60 kg asciende por una escalera a una altura de 5 m. ¿Cuál es la variación de la energía potencial de la persona desde la base de la escalera hasta alcanzar los 5 m de altura?



5. Un bloque de 5 kg se encuentra inicialmente en reposo sobre una superficie horizontal. Considerando que se ejerce una fuerza de 10 N sobre él con dirección horizontal y despreciando el rozamiento, calculen la velocidad y la aceleración del bloque cuando se desplaza 3 m.

6. Un cuerpo de 0,6 kg cuelga en reposo de un resorte de masa despreciable, que se estira 0,2 m respecto de su posición de equilibrio sin carga.

- a. Realicen un esquema gráfico que represente la situación.
b. Hallen la constante elástica del resorte.
c. Calculen la fuerza elástica aplicada sobre el cuerpo y la fuerza neta sobre dicho cuerpo.
d. Calculen la velocidad que tendrá el cuerpo al pasar por la posición de equilibrio si se lo suelta desde esa posición.

7. Una niña de 20 kg se desliza por un tobogán irregularmente curvo de 4 m de altura.

- a. Considerando que la niña inicialmente se encuentra en reposo y despreciando el rozamiento, calculen la velocidad de la niña cuando llega a la parte inferior del tobogán.
b. Si la niña hubiera caído libremente desde esa misma altura, ¿cuál sería su velocidad al llegar al suelo?
c. Si se considera la fuerza de rozamiento, ¿podrían estimar la energía disipada?



8. Un ciclista se aproxima a la ladera de una montaña con una rapidez de 8,5 m/s. La masa total del sistema formado por la bicicleta y el ciclista es de 85 kg.

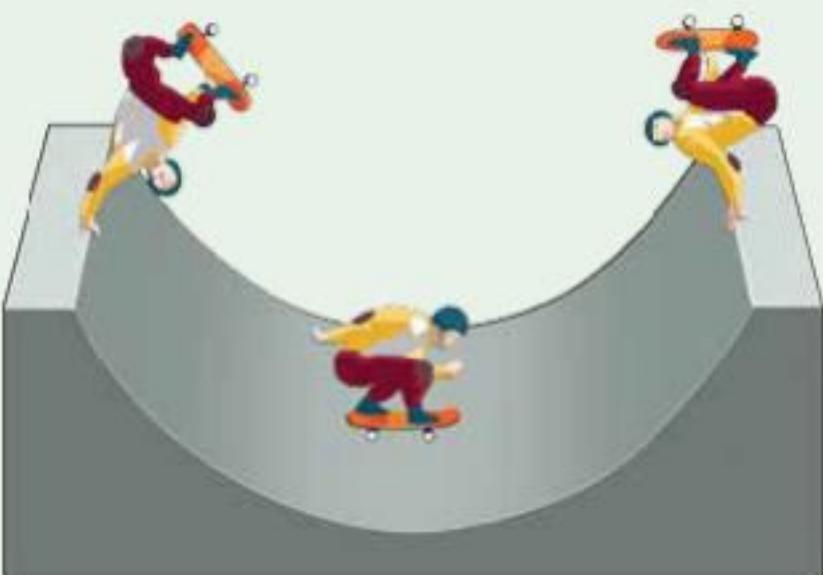
- a. Calculen la energía cinética de la bicicleta y el ciclista.
b. Considerando que el ciclista deja de pedalear cuando comienza a subir por la ladera de la montaña y que se desprecia la pérdida de energía por rozamiento, calculen la altura que alcanzará la bicicleta hasta detenerse.

9. Una pelota de masa m cae libremente desde una altura h respecto del suelo. Expliquen la conservación de la energía mecánica de la pelota si se desprecia el rozamiento con el aire y encuentren la expresión matemática para hallar la velocidad cuando llega al suelo.

- 10.** Un esquiador de 70 kg de masa está inicialmente en reposo en la parte superior de una pendiente nevada, a 20 m de altura respecto del suelo. Luego de descender la pendiente, el esquiador encuentra, en el pie de la pendiente, una superficie horizontal donde no se empuja y la fuerza de rozamiento total es de 120 N. Calculen la distancia que recorre sobre esa superficie hasta detenerse.

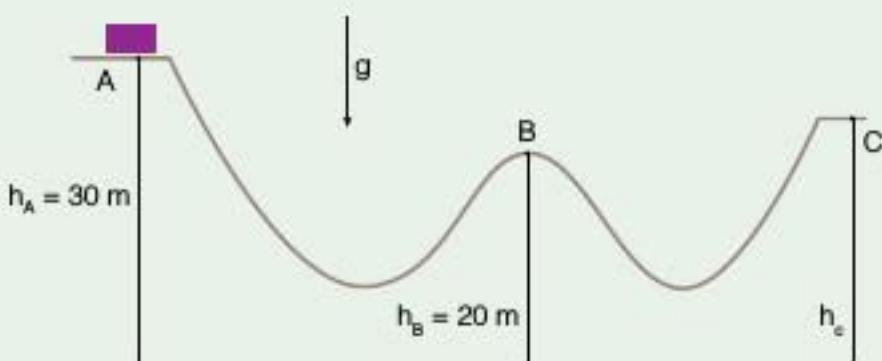


- 11. a.** Expliquen, en términos del Principio de Conservación de la Energía Mecánica, las transformaciones de energía que se producen en una pista de patinetas.
b. La velocidad en la parte inferior, ¿depende de la forma de la pista?
c. Si el patinador parte del lado izquierdo, ¿qué ocurre si el borde superior derecho es mucho más bajo que el izquierdo?, ¿y si fuese mucho más alto?



- 12.** Preparen, utilizando el programa PowerPoint, una presentación oral del tema "Energía mecánica" a modo de cierre de los contenidos estudiados en este capítulo.

- 13.** Un carrito de 70 kg de masa se suelta desde el punto A, en lo alto de una montaña rusa de 30 m de altura, como se muestra en la figura. Si despreciamos el rozamiento:
a. ¿Qué rapidez tiene el carrito cuando pasa por el punto B situado a 20 m del suelo?
b. ¿A qué altura se encuentra en el punto C si su velocidad en ese punto es de 10 m/s?
c. Si el punto C fuese el final del recorrido, ¿qué restricciones existirían en cuanto a su altura máxima?



- 14.** Una pelota de 0,5 kg de masa se lanza verticalmente hacia arriba y alcanza una altura máxima de 10 m.
a. Calculen con qué velocidad inicial fue lanzada la pelota, si no se considera el rozamiento con el aire.
b. ¿Qué velocidad tenía la pelota a los 5 m de altura? Consideren tanto el ascenso como el descenso.
c. ¿Cómo se modificarían las respuestas anteriores si la masa de la pelota hubiese sido de 0,7 kg?
d. Si la pelota se lanzara hacia arriba con la velocidad calculada en a., pero se considera que el rozamiento con el aire le hace perder el 15% de su energía mecánica, ¿cuál sería la altura máxima alcanzada?

- 15.** Se deja caer un cuerpo de 2 kg de masa sobre un resorte vertical desde una altura de 0,5 m tomada desde la parte superior del resorte. Si se puede despreciar el rozamiento y la constante elástica del resorte es 2400 N/m, calculen el máximo acortamiento del resorte.

- 16. a.** Ingresen al sitio web: www.youtube.com/watch?v=XvCoCxpbwAM&feature=related y vean el video titulado: "Conservación de la energía. Galileo".
b. Describan el diseño experimental que se muestra en el video recreando los experimentos realizados por Galileo y luego elaboren un texto explicativo utilizando los conceptos físicos que allí se exponen.

Calor

4



Contenidos

- > Temperatura
- > Escalas termométricas
- > Termómetros
- > Dilatación
- > Calor
- > Calorimetría
- > Transmisión del calor
- > Radiación
- > Efecto invernadero

Muchas veces se dice "tenemos calor", "hace frío", "entra frío por la ventana", y otras expresiones que forman parte del lenguaje cotidiano. Sin embargo, en el lenguaje científico es necesario precisar el significado de cada uno de estos conceptos.

Los cuerpos no tienen calor ni frío, sino que tienen altas o bajas temperaturas. Todos los cuerpos tienen energía interna que pueden transferir y transformar en otras formas de energía. Se denomina calor a la transferencia de energía que se produce entre cuerpos debido a la diferencia entre sus temperaturas.

La importancia de los conceptos principales que se tratarán en este capítulo, temperatura y calor, excede el campo de la Física. La temperatura de los cuerpos es una variable utilizada entre otras muchas aplicaciones en Meteorología, Medicina, preservación de alimentos y en múltiples procesos industriales.

El calor, como se verá en los próximos capítulos, es uno de los conceptos principales de la termodinámica que permite, entre otras muchas cosas, explicar el funcionamiento de los motores de combustión interna que utilizan la mayor parte de los automóviles.

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudian los conceptos de temperatura y calor. Además, se describen las escalas termométricas y los distintos tipos de termómetros. También se explican y ejemplifican los cambios de estado de la materia y las formas de transmisión del calor.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC4



Capítulo 1

Para la mejor comprensión de este capítulo, tendrán que tener estudiados los conceptos de sistema físico, variable de estado y equilibrio, desarrollados en el capítulo 1.



El termómetro marca su propia temperatura, que es la misma que la del cuerpo cuando ambos llegan al equilibrio térmico.

Temperatura

Supongamos que se necesita comparar el estado térmico de dos cuerpos, por ejemplo, determinar cuál de los dos está "más caliente". Por muchas razones, el sentido del tacto no siempre nos puede ayudar. Si los tocamos, podemos quemarnos o las sensaciones no nos permiten diferenciarlos térmicamente. Por supuesto que lo que hay que hacer es medir la temperatura de ambos, el de mayor temperatura está "más caliente".

La temperatura es uno de los parámetros o variables que caracteriza el estado de un sistema, como también lo pueden ser la presión, la conductividad eléctrica, etcétera. Estas variables de estado posibilitan la descripción del sistema en determinado momento de control y/o estudio, caracterizan las propiedades de dicho sistema y facilitan el estudio de su comportamiento.

La medición de la temperatura de un cuerpo o sistema de cuerpos presenta particular importancia en muchos aspectos de la vida diaria. Se mide la temperatura corporal para determinar si hay problemas de salud; se mide la temperatura del aire, que es un indicador importante del clima; se mide la temperatura de los alimentos y de los medicamentos para su almacenamiento y transporte, etcétera.

Principio Cero de la Termodinámica

Cuando varía la temperatura de un cuerpo, se modifican otras variables de su estado, por ejemplo, el cuerpo se dilata y cambia así su volumen, pero cuando la temperatura permanece constante, estas variables no se modifican.

Supongamos que se ponen en contacto tres cuerpos A, B y T. Al principio, las variables que dependen de la temperatura de cada uno de ellos se modifican. Esto se puede interpretar, como se vio en el capítulo 1, como consecuencia del intercambio de energía entre ellos que hace que algunos se calienten y otros se enfrien. Después de un tiempo, puede ocurrir que se llegue a un estado de equilibrio y que las variables ya no se modifiquen. Podemos decir que los tres cuerpos están a igual temperatura, y si el cuerpo T es un termómetro sabremos las temperaturas de los otros dos.

Por ejemplo, para calibrar un termómetro (T), se lo coloca en contacto con hielo en estado de fusión (A) y cuando se estabiliza, es decir que los dos objetos llegan a un equilibrio térmico, se marca en el termómetro "cero grados". Así, si en un día de invierno el termómetro T está en contacto con el aire (B) y se estabiliza en la marca anterior, significará que el termómetro y el aire tendrán igual temperatura y, por lo tanto, el aire en ese momento tendrá una temperatura de cero grados, igual a la del hielo en situación de fusión cuyo estado térmico permitió la calibración del termómetro.

Así, cuando nos colocamos un termómetro en la axila para medir la temperatura corporal, pasa energía en forma de calor desde nuestro cuerpo al termómetro hasta lograr el equilibrio térmico: nuestra piel y el termómetro tienen, en ese caso, la misma temperatura y, mirando lo que marca el termómetro, sabremos cuánto vale.

El llamado Principio Cero de la Termodinámica, que explica lo anterior, dice que si dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, entonces están en equilibrio térmico entre sí. Es decir que están todos a igual temperatura.

Temperatura y cantidad de materia

La temperatura no depende de la cantidad de materia. Esto significa que no forma parte de las llamadas propiedades extensivas, sino de las propiedades intensivas, es decir, las que no cambian de acuerdo con la cantidad de materia que forme el sistema considerado.

Esto significa, por ejemplo, que la temperatura de ebullición de 100 litros de agua a presión normal es la misma que la de 1 litro de agua en las mismas condiciones.

Algo más sobre el equilibrio térmico

Como se indicó, cuando dos cuerpos que se encuentran a distintas temperaturas se ponen en contacto térmico, se produce un intercambio de energía en forma de calor, siempre desde el cuerpo que está a mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura. En los fenómenos espontáneos, este proceso continúa hasta que los cuerpos alcanzan el **equilibrio térmico**, es decir, cuando equiparan sus temperaturas.

Por ejemplo, si en un día fresco, de aproximadamente 15 °C, se prepara una taza de café a 60 °C y, por olvido, se la deja en la cocina sin beber, es habitual decir, luego de un tiempo, "el café se enfrió". Si bien esta frase se entiende en lenguaje cotidiano, la explicación física en un lenguaje científico permite comprender qué sucedió. Considerando el sistema formado por la taza de café y el aire que la rodea, se puede decir que la taza con el café se encuentra a mayor temperatura que el aire, por lo cual este transfiere energía en forma de calor al aire. Este fenómeno se da hasta que los dos sistemas alcanzan el equilibrio térmico y, entonces, cesa el proceso de transferencia de energía.

El sentido en el que se produce la transferencia de energía en forma de calor solo depende de las temperaturas de los cuerpos que intervienen en el intercambio. Por ejemplo, si se calienta un alfiler hasta ponerlo al rojo, tendrá menor energía interna que la que tiene una taza de agua caliente, pero como el alfiler tiene mayor temperatura que el agua caliente, al ponerse en contacto, transferirá energía en forma de calor al agua.



El sistema formado por el café y la taza cede energía en forma de calor al aire hasta que su temperatura es igual a la temperatura exterior, es decir, hasta alcanzar el equilibrio térmico.



Si se coloca un recipiente con agua caliente dentro de otro con agua fría, aislados del exterior, después de un tiempo, sus temperaturas se igualarán.

La temperatura y la estructura de la materia

La composición atómica o molecular de los sistemas materiales está relacionada con sus propiedades macroscópicas, tanto físicas como químicas. En ese sentido, es posible relacionar la temperatura con los distintos tipos de movimientos que tienen las partículas que constituyen un sistema. La relación más sencilla se da en los sistemas gaseosos, cuyo comportamiento puede ser descripto a partir de la llamada **Teoría Cinético-molecular**. Según este modelo, los gases están formados por moléculas en permanente movimiento que interactúan entre sí y con el recipiente que las contiene. Debido a las interacciones, las moléculas de un gas tienen velocidades diferentes y, por lo tanto, energías cinéticas distintas y entonces la temperatura es proporcional al valor medio de estas energías cinéticas. Este modelo se ajusta con lo que se puede suponer intuitivamente: cuando un gas eleva su temperatura, sus moléculas se mueven más rápido.

a>

1. Hagan una lista, lo más completa posible, en la que registren qué procesos de la vida diaria y qué actividades industriales requieren la medición de la temperatura.



Anders Celsius.



William Thomson o Lord Kelvin.

Escalas termométricas

Para medir la temperatura, se utilizan termómetros que pueden tener distintas escalas para asignarle un valor a cada estado térmico. Las escalas más comunes le asignan valores numéricos a dos estados térmicos que se pueden reproducir para calibrar un termómetro. Estos estados se denominan puntos fijos.

La **escala Celsius**, que usamos en nuestro país, fue creada por el astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744) y toma como punto fijo inferior, es decir como valor cero, a la temperatura de fusión del hielo a presión normal, y como punto fijo superior, a la temperatura de ebullición del agua a presión normal, considerándola de 100 °C. Entre estos dos puntos, se toman 100 partes iguales llamadas grados; es decir que cada unidad corresponde a un grado Celsius. Esta es la escala termométrica más usual.

Sin embargo, existe otra escala muy utilizada en otros países, como en Estados Unidos de América, y es la llamada **escala Fahrenheit**, que lleva el nombre del físico alemán Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736). En esta escala, se asigna el punto fijo inferior a la temperatura de fusión de una solución de cloruro de amonio en agua y corresponde al 0 °F, mientras que el punto fijo superior corresponde a la temperatura de ebullición del agua, a la cual se le asignó el valor 212 °F. La temperatura de fusión del hielo en esta escala corresponde a 32 °F. Es decir que en esta escala el intervalo entre la temperatura de fusión del hielo y la de la ebullición del agua queda dividido en 180 partes iguales entre 32 °F y 212 °F.

El Sistema Internacional de Medidas utiliza la **escala Kelvin**, que lleva su nombre en honor a William Thomson o Lord Kelvin (1824-1907). En todos los trabajos científicos, las temperaturas se indican en esta escala. Esta escala se define a partir de consideraciones energéticas bastante complejas pero, desde el punto de vista operativo, es muy simple. El valor 0 K, también llamado **cero absoluto**, corresponde a la mínima temperatura posible, es decir, al estado térmico más bajo que podría alcanzar la materia. En esta escala, las unidades tienen la misma dimensión que las unidades en la escala Celsius, por lo cual, una variación de temperatura de 10 K es lo mismo que una variación de 10 °C. Teniendo en cuenta como base la escala Celsius, se le asigna 273,15 K a la temperatura de fusión del hielo, que es de 0 °C, y 373,15 K a la temperatura de ebullición del agua, que es de 100 °C. Luego, el cero absoluto o 0 K corresponde a -273,15 °C.

Conversión de una escala a otra

Se pueden establecer las siguientes relaciones entre la escala Celsius y la escala Fahrenheit:

$$\frac{T_C}{100 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{(T_F - 32 \text{ } ^\circ\text{F})}{180 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

Y de esta relación se llega a:

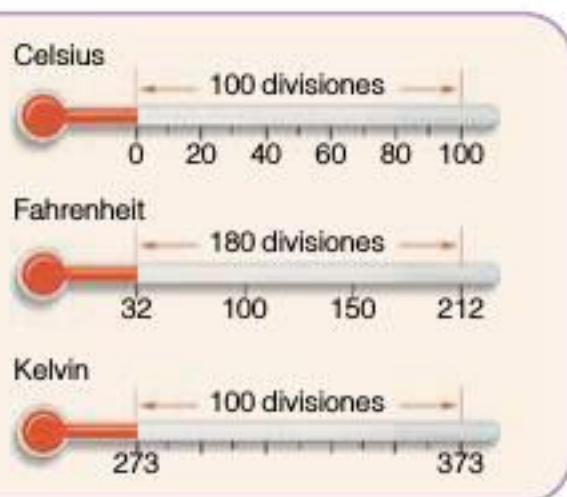
$$T_C = \frac{5 \text{ } ^\circ\text{C}}{9 \text{ } ^\circ\text{F}} \cdot (T_F - 32 \text{ } ^\circ\text{F}) \quad \text{y} \quad T_F = 32 \text{ } ^\circ\text{F} + \frac{9 \text{ } ^\circ\text{F}}{5 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot T_C$$

donde T_C es la temperatura medida en la escala Celsius y T_F es la temperatura medida en la escala Fahrenheit.

La conversión entre la escala Celsius y la escala Kelvin está dada por la siguiente relación:

$$T_K = 273,15 \text{ } ^\circ\text{C} + T_C$$

donde T_K es la temperatura en escala Kelvin.



Comparación entre valores de las escalas Celsius, Fahrenheit y Kelvin.

Ejemplos de aplicación de escalas termométricas

Veamos un primer ejemplo. En un diario de Estados Unidos, el *New York Times*, se lee el pronóstico del día que anuncia una temperatura máxima de 68 °F. Nos preguntamos si se trata de un día caluroso.

Teniendo en cuenta las conversiones de escalas, se calculan las temperaturas correspondientes en la escala Celsius de la siguiente manera:

$$T_C = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C} \cdot (68^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}) = 20^{\circ}\text{C}$$

Luego, $T_C = 20^{\circ}\text{C}$ y se puede decir que es una temperatura agradable y no de un día caluroso, con lo cual 68 °F podría corresponder a la temperatura de un día de primavera o de otoño.

Veamos otro ejemplo. La temperatura normal de un perro adulto varía entre los 37,5 °C y los 39,2 °C, es decir que es mayor que la temperatura normal del cuerpo humano, considerada en 37 °C. Queremos saber a cuántos grados Fahrenheit corresponde la temperatura máxima del perro sin que llegue a estar enfermo.

Usando la fórmula de la página anterior:

$$T_F = 32^{\circ}\text{F} + \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} \cdot 39,2^{\circ}\text{C} = 102,6^{\circ}\text{F}$$

Entonces $T_F = 102,6^{\circ}\text{F}$.

Un tercer ejemplo. En Ushuaia, en el extremo sur de nuestro país, se han registrado este último invierno temperaturas muy bajas, de alrededor de -18°C . Queremos saber cuál es el valor de esta temperatura en la escala Fahrenheit.

Utilizando las fórmulas anteriores:

$$T_F = 32^{\circ}\text{F} + \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} \cdot (-18^{\circ}\text{C}) = -0,4^{\circ}\text{F}$$

Entonces, la temperatura en la escala Fahrenheit es de $-0,4^{\circ}\text{F}$.



La temperatura normal de un perro adulto es mayor que la de un ser humano, varía entre los 37,5 °C y los 39,2 °C.

EL TIEMPO EN NUEVA YORK

Pronóstico				
 Sábado 53 °F 47 °F	 Domingo 61 °F 47 °F	 Lunes 54 °F 49 °F	 Martes 60 °F 48 °F	 Miércoles 59 °F 52 °F

Pronóstico del tiempo en la ciudad de Nueva York.

a

1. ¿Tiene fiebre un perro si el termómetro marca 105,6 °F?
2. Estimen la temperatura de una ducha agradable y conviertan este valor en escala Fahrenheit.
3. ¿A cuántos grados Kelvin corresponden 50 °C?
4. ¿Hay un límite para las altas temperaturas? Mencionen ejemplos de sistemas materiales que tengan altas temperaturas.
5. ¿Hay un límite para las bajas temperaturas? Busquen información y elaboren un pequeño texto explicativo.

Termómetros

Hay muchos tipos de termómetros según el uso que se les quiera dar, y su funcionamiento depende de distintas variables termométricas.

Termómetros clínicos

Estos termómetros son muy utilizados en la vida cotidiana, no solo por los profesionales de la salud, sino también en los hogares para controlar la temperatura de los integrantes de la familia ante síntomas de enfermedad como, por ejemplo, una gripe.

Los termómetros más utilizados son los de mercurio. Se trata de un tubo de vidrio que contiene mercurio, que es un metal en estado líquido y que tiene la propiedad de dilatarse fácilmente ante un aumento de temperatura. En estos termómetros, denominados clínicos, un estrangulamiento del vidrio cerca del depósito de mercurio impide que la columna descienda cuando baja la temperatura. De esta manera, queda registrada la máxima temperatura medida y para hacer descender la columna de mercurio hay que sacudir el instrumento. Están graduados en una escala que va desde los 35,5 °C hasta los 42 °C, con una división de unidades de 0,1 °C.

Los adelantos tecnológicos y la toxicidad del mercurio en caso de la ruptura del termómetro han provocado que sean cada vez más comunes los termómetros digitales, que funcionan a partir de la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura en sistemas llamados termistores, y los termómetros infrarrojos, que miden la radiación emitida, por ejemplo, por el oído.

Termocuplas

Con estos instrumentos se mide el voltaje generado en la unión de dos metales diferentes, el cual varía al cambiar la temperatura. El sistema tiene dos uniones metálicas: una es usada como sensor de la temperatura y la otra se mantiene como una temperatura de referencia. Este termómetro es muy exacto y se puede utilizar para muchas aplicaciones donde otros resultan limitados. Los metales pueden ser aleaciones de níquel-cromo, níquel-aluminio o hierro-cobre, que permiten medir temperaturas que van desde -150 °C hasta 1500 °C, aproximadamente.

Termómetros de resistencia o termorresistores

Son instrumentos que están formados por una resistencia eléctrica que varía su valor al cambiar la temperatura a la que son expuestos. Son sistemas de mucha sensibilidad y de buena precisión que se utilizan para mediciones industriales y se denominan sensores.

Los termorresistores de platino se utilizan para mediciones de temperatura comprendidas en un rango aproximado de -250 °C a 800 °C. Por otro lado, los termorresistores de níquel alcanzan un rango menor, de entre -60 °C y 180 °C.

Pirómetros ópticos

Son dispositivos que miden la temperatura de un cuerpo sin estar en contacto con él. Su funcionamiento se basa en la comparación del color de la luz emitida por la fuente de calor con una fuente de referencia, como la del filamento de una lámpara eléctrica. Se utilizan para medir temperaturas superiores a los 600 °C, por ejemplo, la de la fundición de metales como el acero, así como para determinar la temperatura de gases.

Termorresistores.



Termómetros clínicos.



Termocuplas.

Sensación térmica

Muchas veces, las personas manifiestan su sensación frente a las altas o bajas temperaturas con frases como las siguientes: "Hoy siento más frío que el que hace" o "siento más calor hoy que ayer, aunque haya hecho la misma temperatura los dos días".

En principio, podríamos llamar **sensación térmica** a la temperatura detectada por la piel de una persona frente a las condiciones del clima. Existen varios parámetros meteorológicos que influyen en esa sensación, como la velocidad del viento, la humedad o el vapor de agua que hay en el aire. En días de baja temperatura y de velocidad elevada del viento, una persona puede sentir mayor sensación de "frío". Caso contrario ocurre en los días de elevada temperatura y alto porcentaje de humedad, que puede provocar una sensación térmica elevada, superior a la temperatura del aire.

El servicio meteorológico suele anunciar diariamente las condiciones climáticas de un día en particular y un pronóstico de algunos días siguientes. Estos anuncios incluyen: temperatura, presión, humedad, presencia de vientos y la sensación térmica.

¿Cómo se estima la sensación térmica si, aparentemente, es una sensación personal? La sensación térmica está relacionada con la transferencia de energía entre la piel y el aire que la rodea. Debido a la diferencia de temperatura entre ambos, se producen intercambios de energía. La rapidez con que se producen depende de otros parámetros, además de la temperatura exterior, como la velocidad del viento. Por ejemplo, si la temperatura es baja y hay viento, aumenta la disipación de energía del cuerpo hacia el exterior, lo que provoca una sensación de menor temperatura que la que se mide en el aire.

A partir de estas estimaciones, se han generado tablas que utilizan los servicios meteorológicos para dar los valores de sensación térmica. Por ejemplo, si en una mañana de invierno la temperatura es de 0 °C y no hay vientos, se puede experimentar menos "frío" que teniendo la misma temperatura pero con vientos de 40 km/h. En este caso, la sensación térmica será equivalente a -15 °C.

Tablas de sensación térmica

Existen algunas tablas de consulta sobre sensaciones térmicas según diferentes formas de obtener estos valores.

Paul Siple hizo algunos cálculos durante un trabajo realizado en la Antártida y que aportó, en 1970, al Servicio Meteorológico Nacional. Les sugerimos consultar la página web de este servicio: www.smn.gov.ar.

Velocidad del viento		Tabla de la temperatura equivalente de enfriamiento por efecto del viento																																
Nudos	km/h	Temperatura (°C)																																
Calma	Calma	10	7,5	5	2,5	0	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-22,5	-25	-27,5	-30	-32,5	-35	-37,5	-40	-45	-47,5	-50	-55								
Sensación térmica por efecto de enfriamiento del viento																																		
3-6	8	7,5	5	2,5	0	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-22,5	-25	-27,5	-30	-32,5	-35	-37,5	-40	-45	-47,5	-50	-52,5	-55								
7-10	16	5	2,5	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-37,5	-40	-45	-47,5	-50	-52,5	-55	-60	-62,5	-65	-67,5								
11-15	24	2,5	0	-5	-7,5	-10	-12,5	-17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-37,5	-42,5	-45	-47,5	-52,5	-55	-57,5	-60	-65	-67,5	-72,5	-75	-77,5								
16-19	32	0	-2,5	-7,5	-10	-12,5	-17,5	-22,5	-22,5	-25	-30	-35	-37,5	-42,5	-47,5	-50	-52,5	-57,5	-60	-65	-67,5	-70	-72,5	-77,5	-80	-85								
20-23	40	0	-5	-7,5	-10	-15	-17,5	-22,5	-25	-30	-32,5	-37,5	-40	-45	-47,5	-52,5	-55	-60	-62,5	-67,5	-70	-75	-77,5	-82,5	-85	-90								
24-28	48	-2,5	-5	-10	-12,5	-17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-40	-42,5	-47,5	-50	-55	-57,5	-62,5	-67,5	-72,5	-75	-77,5	-80	-85	-90	-95								
29-32	56	-2,5	-7,5	-10	-12,5	-17,5	-20	-25	-30	-32,5	-37,5	-42,5	-45	-50	-52,5	-57,5	-60	-65	-67,5	-72,5	-75	-80	-82,5	-87,5	-90	-95								
33-36	64	-2,5	-7,5	-10	-15	-20	-22,5	-27,5	-30	-35	-37,5	-42,5	-45	-50	-55	-60	-62,5	-65	-70	-75	-77,5	-82,5	-85	-90	-92,5	-97,5								
Vientos superiores a los 64 km/h producen un pequeño efecto adicional	Peligroso					Muy peligroso					Extremadamente peligroso																							
	Las partes del cuerpo expuestas al viento pueden congelarse en 1 minuto.															Las partes del cuerpo expuestas al viento pueden congelarse en 30 segundos.																		
Peligro de congelamiento del cuerpo humano expuesto al viento sin la apropiada vestimenta																																		

Tabla para calcular la sensación térmica, teniendo en cuenta la velocidad del viento, según el Servicio Meteorológico Nacional.



Cuando el agua calienta el aire dentro de la jeringa, éste se dilata y empuja el émbolo hacia afuera.

a

1. El agua tiene un comportamiento diferente a otros líquidos que, habitualmente, se dilatan al aumentar la temperatura. Cuando su temperatura aumenta desde 0 °C hasta 4 °C, se contrae, y, por arriba de los 4 °C, comienza a dilatarse hasta llegar al punto de ebullición.

a. Busquen información de este comportamiento del agua y expliquen qué implica este fenómeno en los ecosistemas acuáticos. Pueden consultar las siguientes páginas web:
<http://es.slideshare.net/Arletthex3/dilatacion-anomala-del-agua>
<http://sindifisica2.blogspot.com.ar/2011/09/la-dilatacion-anomala-del-agua.html>

b. Discutan en grupos las características de esta dilatación anómala del agua.

Dilatación

Uno de los fenómenos más notables relacionados con el cambio o variación de la temperatura es la **dilatación**. En general, cuando se eleva la temperatura de un cuerpo, este incrementa sus dimensiones, es decir, se produce un aumento en su volumen y, en el caso de disminuir su temperatura, sufre una contracción o reducción del volumen.

En los materiales sólidos, los cambios de volumen no suelen ser muy notorios si las variaciones de temperatura no son muy amplias. Sin embargo, algunos ejemplos cotidianos muestran el comportamiento de algunos materiales frente a las altas o bajas temperaturas.

Los puentes, las calles asfaltadas y otras estructuras se construyen de manera tal que se deja alguna separación, también llamadas juntas de dilatación, que son espacios libres que evitan la ruptura de estas construcciones en caso de producirse una expansión térmica en días de altas temperaturas. También, en las vías del tren u otras estructuras metálicas, se dejan juntas de dilatación para evitar que sufran deformaciones.

En igualdad de condiciones, los líquidos se dilatan más que los sólidos. Por ejemplo, si se eleva la temperatura de un cubo de 1 dm³ de hierro sólido en 50 °C, este se dilata 1,8 cm³; en cambio, si se toma 1 dm³ de mercurio, metal que se encuentra en estado líquido en condiciones atmosféricas normales, y se eleva su temperatura también en 50 °C, su dilatación es de 9 cm³, cinco veces más que la del hierro sólido.

Los gases ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene, por lo que su dilatación está limitada y no depende solo de la variación de la temperatura. Si se eleva la temperatura del aire contenido en una botella cerrada, su volumen no cambia, pero aumenta su presión. En cambio, si se permite que el gas se expanda a presión exterior constante, su dilatación, en iguales condiciones, es superior a la de los sólidos y los líquidos. Por ejemplo, si se coloca una jeringa con aire en un vaso con agua a alta temperatura, se observará cómo el émbolo de la jeringa asciende debido a la dilatación o al aumento de volumen del aire encerrado en este sistema.

Los vidrios comunes no soportan los cambios bruscos de temperatura, ya que se pueden romper. Al colocar agua hirviendo en un recipiente de vidrio que no sea adecuado, este se puede partir. Hay determinados tipos de vidrios, como los que se utilizan para los materiales de laboratorio, que soportan las altas temperaturas mejor que los vidrios comunes. Algunos de estos vidrios especiales poseen una dilatación tres veces menor que los comunes, por eso se utilizan para fabricar recipientes que puedan colocarse en el horno de las cocinas y en los hornos de microondas.



En rieles y rutas, se dejan juntas de dilatación para permitir la deformación de los materiales a altas temperaturas, sin que se produzcan rupturas.

Dilatación lineal de los cuerpos

Como venimos diciendo, no todos los materiales modifican su volumen de igual modo ante la variación de su temperatura. Materiales diferentes pueden sufrir distintas dilataciones ante un mismo cambio de temperatura. La dilatación que experimenta un cuerpo depende de su volumen, de su composición química y de la variación experimentada por la temperatura.

Se determina que si se somete un cuerpo a diferentes variaciones de temperatura, las modificaciones experimentadas por su volumen son proporcionales a las variaciones de temperatura. Por ejemplo, supongamos que al aumentar la temperatura de un cuerpo en $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, su volumen aumenta en 2 cm^3 ; luego, si el aumento de temperatura es el triple, es decir de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, entonces el aumento en su volumen también será el triple, es decir, de 6 cm^3 .

Se determina también que, si se compara la dilatación experimentada por dos cuerpos del mismo material, pero de volúmenes iniciales diferentes, ante la misma variación de temperatura, se puede determinar que la dilatación es proporcional al volumen inicial. Por ejemplo, si al aumentar su temperatura en $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, un bloque de 1 dm^3 de hierro aumenta su volumen en $1,8\text{ cm}^3$, entonces uno de 4 dm^3 , ante la misma variación de temperatura, se dilatará 4 veces más, es decir, $7,2\text{ cm}^3$.

Estas afirmaciones se pueden expresar en forma matemática de la siguiente manera:

$$\Delta V = V_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

donde ΔV es la variación del volumen que se produce debido a la dilatación, V_0 es el volumen inicial antes de la dilatación, α es el coeficiente de dilatación cúbica o volumétrica propio del material, que se obtiene de tablas específicas, y ΔT es la variación de la temperatura que sufre el cuerpo.

Muchas veces, una de las dimensiones de un cuerpo prevalece sobre las demás. Por ejemplo, en una vía de hierro o en un cable metálico, es más importante averiguar cuánto varía la longitud debido a la dilatación, que la variación de su volumen. Esto se conoce como **dilatación lineal de los cuerpos** y la expresión matemática utilizada es parecida a la anterior:

$$\Delta L = L_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

donde ΔL es la variación de la longitud debida a la dilatación, L_0 es la longitud inicial del cuerpo antes de la dilatación, β es el coeficiente de dilatación lineal, que se encuentra en tablas específicas, y ΔT es la variación de la temperatura que sufre el cuerpo.

Para cada material, el coeficiente de dilatación cúbica es el triple que el coeficiente de dilatación lineal, es decir:

$$\alpha = 3 \cdot \beta$$

Veamos algún ejemplo de este cálculo. Supongamos que tenemos un alambre de hierro de 10 m de longitud, cuyo coeficiente lineal es $\beta = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, que sufre un aumento de temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y queremos saber cuál es dicho aumento final de la dilatación.

Como $\Delta L = L_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$, luego:

$$\begin{aligned}\Delta L &= 10\text{ m} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 20\text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta L &= 2,4 \cdot 10^{-3}\text{ m}\end{aligned}$$

Resulta así que ΔL es $0,0024\text{ m}$, es decir, $2,4\text{ mm}$.

Si, en cambio, se quisiera calcular la dilatación total, es decir el volumen de una esfera de hierro de 1000 cm^3 que aumenta su temperatura en $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, hay que tener en cuenta que $\alpha = 3 \cdot \beta$, es decir que en el caso del hierro: $\alpha = 3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 3,6 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Por lo tanto, la dilatación producida en la esfera de hierro es:

$$\Delta V = 1000\text{ cm}^3 \cdot 3,6 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,72\text{ cm}^3$$

Material	$\beta (\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})$
Acero	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Aluminio	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Concreto	$0,7 \cdot 10^{-5}$ a $1,2 \cdot 10^{-5}$
Cuarzo	$0,04 \cdot 10^{-5}$
Hielo	$5,1 \cdot 10^{-5}$
Hierro	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Invar	$0,04 \cdot 10^{-5}$
Latón	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Oro	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Plata	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Plomo	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Vidrio	$0,4 \cdot 10^{-5}$ a $0,9 \cdot 10^{-5}$
Zinc	$2,6 \cdot 10^{-5}$

Tabla de coeficientes de dilatación lineal.

Calor



Benjamin Thompson, conde de Rumford.

Evolución histórica del concepto de calor

Las ideas y las expresiones cotidianas de las personas sobre el calor se manifiestan muchas veces con conceptos científicamente erróneos aunque muy cercanos a las ideas que se manejaron a lo largo de la historia.

Se habla del calor como una sustancia o entidad que puede pasar de un cuerpo a otro, de un lugar a otro cuando, por ejemplo, se dice: "Cerrá la ventana, así no se va el calor".

La revisión histórica sobre el concepto de calor, entre mediados del siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX, permite comprender dos posturas dominantes de esa época: el calor concebido como un fluido material llamado **calórico**, o como una forma de movimiento de las propias partículas de las que están hechos los cuerpos.

El físico francés Sadi Carnot (1796-1832), en una publicación de 1824, dice:

"En las máquinas de vapor, la potencia motriz se debe a un restablecimiento del equilibrio del calórico: esto tiene lugar no solo en las máquinas de vapor, sino también en toda máquina de combustión, es decir, en toda máquina donde el calor es el motor. [...] Para calentar cualquier sustancia, hace falta un cuerpo más caliente que ella; para enfriarla, es menester un cuerpo frío. Necesariamente, se toma calórico al primero de estos cuerpos para transmitirlo al segundo por medio de la sustancia intermedia. Vale decir, se restablece o, por lo menos, se trata de restablecer el equilibrio calórico".

Sin embargo, la teoría del calórico soportó críticas cuando se puso en duda la existencia del fluido material, a partir de los trabajos realizados en 1798 por Benjamin Thompson (1753-1814), también conocido como el conde de Rumford. Thompson leyó en la Royal Society de Inglaterra, en enero de 1798, un trabajo que decía: "[...] me llamó la atención la notable cantidad de calor que en breve tiempo adquiere un cañón de bronce al taladrarlo". Esta observación le permitió concebir "la posibilidad de formarnos conjeturas razonables acerca de la existencia o no existencia de un fluido ígneo".

Luego de cuidadosos experimentos en los que generó calor por rozamiento, empleando un taladro romo contra el fondo macizo de un cañón de bronce aislado térmicamente del ambiente, Thompson observó que el calor producido por la fricción durante el fresado llegaba a hacer hervir una masa considerable de agua. Su conclusión fue la siguiente: "Apenas si es necesario agregar que no puede ser una sustancia material nada que pueda ser suministrado sin límite por cuerpos aislados o sistemas de cuerpos; y me parece extremadamente difícil, si no imposible, concebir alguna idea de una cosa capaz de ser excitada o comunicada, en la manera en que el calor fue excitado y comunicado en estos experimentos, excepto si es movimiento".

Como se ha dicho en páginas anteriores, hoy se llama **calor** a la transferencia de energía que se produce siempre que dos cuerpos se encuentren a distintas temperaturas y se pongan en contacto térmico. La posición de Thompson, en la que se puede asociar su idea de movimiento al actual concepto de energía, cuestionó la idea anterior del calor como un fluido que entraba en un cuerpo y lo calentaba.

Generar calor por rozamiento de forma permanente

En uno de sus escritos de 1792, Thompson afirmaba: "Si la existencia del calórico fuese un hecho irrefutable, debería ser absolutamente imposible que un cuerpo comunicase esa sustancia de manera continua a varios otros cuerpos que lo rodean, sin que esa sustancia se agotase gradualmente. Una esponja llena de agua y colgada de un hilo en el medio de un cuarto, comunica su humedad al aire, es cierto, pero pronto el agua se evapora y la esponja no puede entregar más humedad". En cambio, como hizo Thompson con la perforación de cañones, si se taladra una madera, se genera energía interna que calienta los cuerpos interviniéntes tanto tiempo como funcione el taladro.



Calorimetría

Se llama **calorimetría** a las mediciones y los cálculos de energía en forma de calor que intercambian los sistemas de cuerpos.

Por ejemplo, es posible calcular la cantidad de energía en forma de calor que absorbe o cede un cuerpo cuando se produce en él una variación de temperatura. En este intercambio, la cantidad de calor depende de la masa del cuerpo, de la variación de la temperatura y de su composición química. Los distintos materiales absorben energía en forma de calor de manera diferente.

Este fenómeno es bastante notable con los alimentos. Por ejemplo, si se colocan iguales cantidades de papa y de carne en el horno al mismo tiempo, se observa que las papas tardan más tiempo en llegar a la temperatura de equilibrio. Esto significa que diferentes sustancias requieren distintas cantidades de energía para alcanzar una misma temperatura. Por esta razón se dice que la papa y la carne tienen distinto calor específico.

El **calor específico** de una sustancia se define como la cantidad de calor requerida para variar su temperatura en una unidad por cada unidad de masa.

Por ejemplo, el calor específico del agua es de $4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$, es decir que 1 g de agua eleva su temperatura en 1°C cuando recibe 4,18 J de energía.

Para medir las cantidades de energía intercambiada en forma de calor, se ha definido una unidad llamada **caloría**, que equivale a 4,18 J. Esta unidad fue históricamente definida a partir del calor específico del agua, por lo que, utilizando esta unidad, el calor específico del agua es $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, es decir que 1 g de agua intercambia 1 cal para variar su temperatura en 1°C .

También se utiliza la kilocaloría (kcal), que es equivalente a 1000 cal.

Si el intercambio de energía en forma de calor por parte de un cuerpo produce una variación en su temperatura, se encuentra que hay una proporcionalidad directa entre la energía intercambiada y dicha variación.

Si, por ejemplo, un cuerpo aumenta su temperatura en 10°C al recibir 300 calorías, aumentará 30°C , el triple, al recibir el triple de calorías: 900.

La otra variable para considerar, en estos cálculos de calor intercambiado, es la masa del cuerpo. Nuevamente, habrá que comparar qué ocurre con dos cuerpos de diferentes masas, del mismo material a los que se les provoque una variación de temperatura igual. En ese caso, la cantidad de energía intercambiada resulta proporcional a la masa de los materiales.

Por ejemplo, para elevar en 10°C la temperatura de un cubo de aluminio de 100 g de masa, se le deben suministrar 440 cal. Otro cubo, también de aluminio pero del doble de masa, 200 g, requerirá 880 cal, el doble, para elevar su temperatura también en 10°C .

Resumiendo lo anterior:

- ▶ Para producir la misma variación de temperatura en varios cuerpos de la misma sustancia, se requiere que intercambien energía en forma de calor en valores proporcionales a sus respectivas masas.

- ▶ Al intercambiar energía en forma de calor, un cuerpo sufre variaciones de temperatura que son proporcionales a los valores de la energía intercambiada, en tanto no cambie su estado de agregación.

- ▶ Si varios cuerpos de igual masa, pero composiciones químicas diferentes, intercambian energía en forma de calor, se observa que las cantidades de energía para que se produzca la misma variación de temperatura en todos ellos son diferentes.

Es decir que la cantidad de energía para lograr una variación igual de temperatura en dos cuerpos depende de su composición, cuando las otras variables son iguales en ambos cuerpos.



Diferentes sustancias requieren distintas cantidades de energía para alcanzar una misma temperatura.

Sustancia pura	Calor específico (cal/g · °C)
Aceite	0,45
Agua	1
Alcohol	0,67
Aluminio	0,22
Bronce	0,092
Cobre	0,09
Hielo	0,54
Hierro	0,11
Vapor de agua	0,49

Tabla de calores específicos de algunas sustancias puras.

Ecuación calorimétrica

Las relaciones anteriores se pueden sintetizar en la siguiente expresión matemática:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

donde Q es la cantidad de energía intercambiada en forma de calor, m es la masa del cuerpo, c es el calor específico de la sustancia o material y ΔT es la variación de temperatura experimentada por el cuerpo.

Si la variación de temperatura $\Delta T = T - T_0$ es positiva, significa que el cuerpo aumentó su temperatura, por lo cual se considera Q con signo positivo e indica que absorbió calor. En cambio, si la variación de temperatura es negativa, el cuerpo disminuye su temperatura y el signo Q es negativo, indicando que cedió calor.

Consideremos el siguiente ejemplo. La temperatura de un cuerpo de hierro de 400 g asciende de 20 °C a 50 °C y queremos saber qué cantidad de calor absorbió el cuerpo.

Como $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, se tiene que:

$$Q = 400 \text{ g} \cdot 0,11 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C} = 1.320 \text{ cal}$$

Recordemos que 1 cal = 4,18 J, o bien que 1 J = 0,24 cal. Por lo tanto, $Q = 5.517,6 \text{ J}$, que es la energía que absorbe el cuerpo de hierro al experimentar esa variación de temperatura.

Veamos un segundo ejemplo. Queremos averiguar cuál es la variación de temperatura que experimenta un trozo de aluminio de 500 g si recibe una cantidad de energía en forma de calor de 10 kcal.

Como $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, se puede despejar ΔT de esta expresión y queda:

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

Luego:

$$\Delta T = \frac{10.000 \text{ cal}}{500 \text{ g} \cdot 0,22 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}} = 90,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Al recibir 10 kcal, es decir 10.000 cal, el trozo de aluminio aumenta su temperatura en 90,9 °C.

Conservación de la energía

Cuando se produce la transferencia de energía entre dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, se cumple el Principio de Conservación de la Energía, que establece, en este caso, que:

Si dos cuerpos intercambian energía en forma de calor, entonces la cantidad recibida por uno de ellos es igual a la cantidad cedida por el otro.

Si denominamos Q_1 y Q_2 a las cantidades de energía intercambiadas entre dos cuerpos 1 y 2, se deberá dar entonces que $Q_1 = -Q_2$. Los signos indican que uno de ellos entrega energía y el otro la recibe. Esto puede escribirse como: $Q_1 + Q_2 = 0$.

Cuando los dos cuerpos que se ponen en contacto alcanzan el equilibrio térmico, la expresión anterior se puede escribir:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_f - T_1) + m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2) = 0$$

donde m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos, c_1 y c_2 son los calores específicos, T_1 es la temperatura del cuerpo 1, T_2 es la temperatura del cuerpo 2 y T_f es la temperatura alcanzada por ambos al llegar al equilibrio térmico.

Calorímetro

Un **calorímetro** es un recipiente térmicamente aislado del exterior de tal manera que, durante su utilización, que por lo general es breve, se pueda suponer que de él no ingresa ni sale energía en forma de calor.

Un ejemplo de estos sistemas podría ser un termo. Si, por ejemplo, se coloca agua fría dentro de un termo, luego se agrega agua caliente y se lo cierra durante 5 minutos, se puede suponer, razonablemente, que el agua caliente le cedió calor al agua fría pero, en ese tiempo, no ingresó ni salió calor del termo.

El Principio de Conservación de la Energía indica entonces que si se colocan cuerpos dentro de un calorímetro, la suma de las cantidades de calor intercambiadas entre ellos debe dar cero. Algunos absorben y otros ceden. Los calorímetros tienen un termómetro con el que se puede determinar la temperatura en su interior y un agitador para lograr que el líquido contenido tenga una temperatura uniforme. Se los utiliza, por ejemplo, para calcular el calor específico de un material.

Por ejemplo, si se coloca en un calorímetro un recipiente que contiene 150 g de agua a 20 °C y un trozo de metal de 50 g de masa a 100 °C, después de un tiempo, el termómetro del calorímetro no modifica su lectura de 25,3 °C, por lo que se puede suponer que se llegó a un estado de equilibrio térmico. Veamos cómo se puede calcular el calor específico del metal y luego identificar cuál es en la tabla de los calores específicos.

El calor cedido por el metal es igual al absorbido por el agua, ya que suponemos que el calorímetro está térmicamente aislado. Es decir que $Q_{\text{agua}} + Q_{\text{metal}} = 0$, que se puede escribir:

$$m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T_f - T_1) + m_{\text{metal}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (T_f - T_2) = 0$$

donde T_1 es la temperatura inicial del agua, que es de 20 °C, T_2 es la del metal, 100 °C, y T_f es la temperatura de equilibrio, 25,3 °C. Reemplazando obtenemos:

$$150 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (25,3 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) + 50 \text{ g} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (25,3 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0$$

$$795 \text{ cal} = c_{\text{metal}} \cdot 3.735 \text{ g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{metal}} = \frac{795 \text{ cal}}{3.735 \text{ g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,213 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$



Calorímetro.

El valor 0,213 cal/g·°C es muy cercano al valor 0,22 cal/g·°C que, en la tabla, corresponde al aluminio.

La diferencia entre los dos valores puede deberse tanto a indeterminaciones en las mediciones efectuadas, como a las impurezas que podría tener el trozo metálico.

a

- Tomar una ducha rápida de 5 a 7 minutos requiere aproximadamente 125 kg de agua. ¿Qué cantidad de energía en forma de calor se requiere para calentar en 20 °C esta cantidad de agua para tomar la ducha?
- Estímen la temperatura final de una mezcla de 100 g de agua a 20 °C y 100 g de agua a 40 °C. Justifiquen sus hipótesis y propongan un diseño experimental para comprobar sus ideas.

Equivalente en agua de un calorímetro

Los calorímetros también intercambian energía en forma de calor durante su uso. Para simplificar las operaciones se calcula un valor para cada calorímetro denominado "equivalente en agua". El equivalente en agua de un calorímetro es una masa de agua que absorbe o cede la misma cantidad de energía que el calorímetro ante iguales variaciones de temperatura. Por ejemplo, si el equivalente en agua del calorímetro del ejemplo anterior es de 20 g, entonces se toma que inicialmente hay 170 g de agua, 150 g que se colocaron y el calorímetro que equivale térmicamente a otros 20 g de agua.

Cambios de estado



Cuando se cuelga ropa mojada para secarla, el agua en estado líquido pasa al estado gaseoso con la temperatura del ambiente. Este proceso se denomina "evaporación" y es el responsable del ciclo hidrológico que se trata en la página 79.

La materia puede presentarse en diferentes **estados de agregación**. Por lo general, se indica que su estado puede ser sólido, líquido o gaseoso. En un análisis más riguroso se pueden considerar otras formas de clasificación que incluye, por ejemplo, el estado en el que se encuentra la materia en el Sol, que se denomina plasma.

La temperatura y la presión son las variables fundamentales para que se produzca el cambio de un estado a otro en un mismo sistema material. Estos sistemas, de acuerdo con su estructura interna, cambian de estado para determinados valores de presión y temperatura cuando intercambian energía con el exterior. Por ejemplo, el agua en estado sólido, el hielo, comenzará a fundirse si se le entrega energía cuando se encuentra a 0 °C y a presión atmosférica normal, es decir, 1013 hPa.

En el siguiente esquema gráfico se muestran las posibles transformaciones de un estado a otro.



En el caso de los estados líquido y gaseoso, es posible dar una interpretación de los cambios de estado a partir del modelo cinético molecular descripto brevemente en la página 65.

Según este modelo, en el estado líquido, la movilidad de las moléculas hace que algunas puedan escapar por la superficie. Esta forma de cambio de estado se denomina **evaporación** y puede darse a cualquier temperatura. El aumento de la temperatura en el estado líquido produce una mayor velocidad en el desplazamiento de las moléculas y, para determinado valor, se produce el pasaje al estado de vapor en toda la masa líquida, lo que se denomina **ebullición**: el líquido comienza a hervir. Cada sustancia tiene su propia temperatura o punto de ebullición que se mantiene estable mientras se produce el cambio de estado a una determinada presión.

En el caso del agua, este fenómeno ocurre a la temperatura de 100 °C en condiciones normales de presión. La presión atmosférica disminuye con la altura, por lo cual es posible hervir agua a menos de 100 °C. Por ejemplo, en la cima del monte Everest, que es la montaña más alta respecto del nivel del mar, se podría hervir agua a 70 °C.

A todo este proceso se lo llama **vaporización** y responde a transformaciones de energía que permiten que la masa líquida se convierta en vapor.

El cambio de estado de un gas a líquido se denomina **licuación**. Se puede decir que es el proceso contrario a la vaporización. El vapor de agua cede energía al enfriarse y esto provoca una disminución del movimiento de las moléculas, con lo cual tienden a unirse. Esta liberación de energía por licuación se usa, por ejemplo, en los sistemas de calefacción con vapor, como el caso de una caldera.



En general, en condiciones normales de presión, al entregar energía a un sólido se produce un aumento de temperatura y este sistema material puede cambiar su estado.

Calor de fusión y calor latente de vaporización

En los cambios de estado se producen intercambios de energía entre el sistema material considerado y el medio que lo rodea. En algunos casos, el sistema absorbe calor y, en otros, cede energía al medio. Un sistema material absorbe calor cuando se produce la fusión, la vaporización o la volatilización. En cambio, un sistema entrega energía al medio exterior en la solidificación, en la licuación o en la sublimación. Por ejemplo, el hielo, a presión normal y a 0 °C, necesita recibir energía para fundirse; en cambio, el agua líquida a 0 °C debe ceder calor para solidificarse.

Cada sistema material tiene que intercambiar una determinada cantidad de calor por unidad de masa para cambiar de estado sin modificar su temperatura. Esta cantidad de calor se denomina **calor latente**.

Aun para la misma sustancia, los valores de los calores latentes difieren según el cambio de estado producido. Por esta razón, se les agrega el nombre del cambio de estado, como calor latente de fusión o calor de fusión, calor latente de vaporización, etcétera.

Matemáticamente, la energía en forma de calor que intercambia un sistema solo para cambiar su estado, sin modificar su temperatura, se puede expresar de la siguiente forma:

$$Q = l \cdot m$$

donde l es el calor latente, Q es la cantidad de calor y m es la masa del sistema material.

El calor latente de fusión del hielo es de 80 cal/g, esto significa que cada gramo de hielo a 0 °C absorbe 80 cal para pasar de ser 1 g de agua sólida a ser 1 g de agua líquida, también a 0 °C. De la misma manera, al ceder 80 cal, cada gramo de agua líquida se transforma en hielo sin modificar su temperatura.

Se denomina **calor latente de vaporización** a la energía intercambiada por unidad de masa para que se produzca este cambio de estado. Por ejemplo, cada gramo de agua líquida a 100 °C y a presión normal absorbe 540 cal para transformarse en 1 g de vapor de agua a la misma temperatura. Es decir que el calor latente de vaporización del agua es de 540 cal/g.

Veamos un ejemplo. Se quiere calcular la cantidad de calor necesaria para fundir 1 kg de plata que se encuentra a 960,5 °C, que es su temperatura de fusión a presión normal, como se puede ver en la tabla.

También, de esa tabla se obtiene el dato del calor de fusión de la plata $l_{Ag} = 26$ cal/g. Como $Q = l \cdot m$, entonces $Q = 26 \text{ cal/g} \cdot 1000 \text{ g}$. Luego $Q = 26000 \text{ cal} = 26 \text{ kcal}$.

Esto significa que 1 kg de plata a 960,5 °C tiene que absorber 26 kcal para transformarse en 1 kg de plata en estado líquido a la misma temperatura. De igual modo, 1 kg de plata en estado líquido debe ceder al medio 26 kcal para transformarse en 1 kg de plata en estado sólido. La cantidad de calor que absorbe la plata para fundirse se indica $Q = 26 \text{ kcal}$ y la cantidad de calor cedida para solidificarse es $Q = -26 \text{ kcal}$.

Calor latente de vaporización

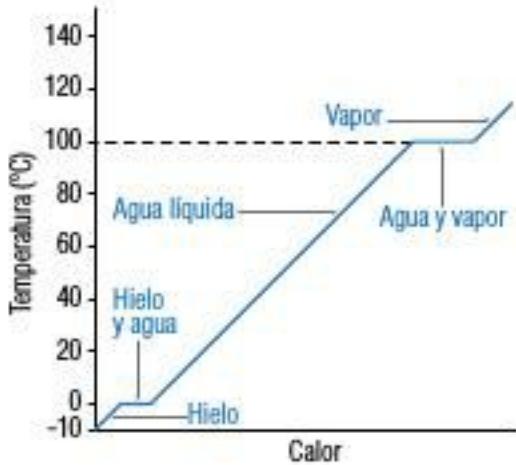
En un día de presión normal, el agua hierve a 100 °C. La energía proveniente de la combustión del gas se utiliza para provocar la vaporización, la temperatura del agua no varía.

Al salir el chorro de vapor a la atmósfera más fría pierde energía y se condensa. Lo que se observa salir de la pava no es vapor, son pequeñas gotas de agua líquida.



Sustancia	Temperatura de fusión (°C)	Calor de fusión (cal/g)	Temperatura de ebullición (°C)	Calor de vaporización (cal/g)
Hidrógeno	-259,1	13,9	-262,7	106,7
Oxígeno	-218,4	3,3	-183,0	51
Agua	0,0	80	100,0	540
Mercurio	-38,9	2,8	359,9	69,7
Plomo	327,4	5,9	1620	-
Plata	960,5	26	1950	552
Cobre	1038,0	48,9	2595	1145
Hierro	1535	63,7	3200	1500
Tungsteno	3390	45,7	5900	460

Tabla de calor de fusión y calor de vaporización. Los valores de las temperaturas de cambio de estado están considerados a presión normal.



Representación gráfica de la variación de temperatura en un sistema de agua que pasa del estado de hielo a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ al de vapor.

Un ejemplo del intercambio de calor en un cambio de estado

Si se coloca un cubito de hielo en un recipiente con agua y se consideran nada más que los intercambios que se dan entre el hielo y el agua, si el recipiente es un termo, ocurre que el agua líquida cede calor al hielo y así disminuye su temperatura; el hielo eleva su temperatura y luego se funde; el agua líquida, que resulta de la fusión, aumenta su temperatura.

Supongamos que tenemos 300 g de agua líquida dentro de un termo a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y agregamos un cubo de hielo de 30 g que tiene una temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Inicialmente, el agua líquida cede calor al hielo, que se encuentra a menor temperatura, hasta llevarlo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor en el que comenzará la fusión. Teniendo en cuenta que el calor específico del hielo es $0,5\text{ cal/g}\cdot\text{°C}$, la cantidad de calor requerida es:

$$Q_1 = m_{\text{hielo}} \cdot c_{\text{hielo}} \cdot \Delta T = 30\text{ g} \cdot 0,5\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot [0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-10\text{ }^{\circ}\text{C})] = 150\text{ cal}$$

Como el hielo aumentó su temperatura para llegar a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la energía fue aportada por el agua líquida, entonces esta disminuye su temperatura, que será:

$$Q_1 = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T \quad \text{es decir: } -150\text{ cal} = 300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_1 - 20\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Entonces: } T_1 = \frac{-150\text{ cal}}{300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C}} + 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El sistema está formado por 300 g de agua líquida a $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 30 g de hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ahora se calcula la energía que requiere el hielo para fundirse. Aquí se necesita conocer el calor de fusión del hielo, que es de 80 cal/g . El calor absorbido por el hielo es $Q = l \cdot m$, entonces se puede escribir que $Q_2 = l_{\text{hielo}} \cdot m_{\text{hielo}}$. Luego $Q_2 = 80\text{ cal/g} \cdot 30\text{ g} = 2400\text{ cal}$. El agua líquida otra vez cede energía y disminuye su temperatura, que será:

$$Q_2 = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T \quad \text{es decir: } -2.400\text{ cal} = 300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_2 - 19,5\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Entonces: } T_2 = \frac{-2.400\text{ cal}}{300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C}} + 19,5\text{ }^{\circ}\text{C} = 11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El sistema ahora está formado por 300 g de agua líquida a $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los 30 g de agua líquida proveniente de la fusión del hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la última etapa de este proceso, se produce un equilibrio térmico y la energía absorbida por los 30 g de agua a menor temperatura es suministrada por los 300 g de agua a mayor temperatura. Si Q_3 es el calor absorbido por los 30 g de agua y T_3 es la temperatura final de equilibrio del sistema, tenemos que:

$$Q_3 = 30\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_3 - 0\text{ }^{\circ}\text{C})$$

La energía Q_4 dada por los 300 g de agua al pasar de $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a T_3 se calcula:

$$Q_4 = 300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_3 - 11,5\text{ }^{\circ}\text{C})$$

Como se indica en la página 74, la suma de las cantidades de calor intercambiadas solo por dos cuerpos es cero. En este caso: $Q_3 + Q_4 = 0$. Reemplazando y despejando T_3 :

$$30\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_3 - 0\text{ }^{\circ}\text{C}) + 300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (T_3 - 11,5\text{ }^{\circ}\text{C}) = 0$$

$$(30\text{ cal}/\text{°C} + 300\text{ cal}/\text{°C}) \cdot T_3 = 3.450\text{ cal} \quad \text{entonces: } T_3 = 10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El agua que se encuentra a mayor temperatura cede calor a la que está a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que ambas están a $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, en equilibrio térmico. El calor cedido Q_4 es:

$$Q_4 = 300\text{ g} \cdot 1\text{ cal/g}\cdot\text{°C} \cdot (10,4\text{ }^{\circ}\text{C} - 11,5\text{ }^{\circ}\text{C}) = -330\text{ cal}$$

Al finalizar el proceso, el sistema queda formado por 330 g de agua a $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cantidad total de calor cedida por el agua líquida inicial para pasar de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ es:

$$Q = -150\text{ cal} - 2.400\text{ cal} - 330\text{ cal} = -2.880\text{ cal}$$

El ciclo del agua

Un ejemplo de los cambios de estado que se producen en la naturaleza es el llamado **ciclo hidrológico o ciclo del agua**.



Esquema de las diversas etapas del ciclo del agua.

Parte de la energía solar que recibe la Tierra se utiliza para el proceso de evaporación del agua, que se da fundamentalmente en la superficie de los mares y, en menor medida, en los ríos y los lagos. El agua se evapora continuamente y pasa de estado líquido a gaseoso.

Al tener menor densidad que el aire, el vapor de agua asciende y así disminuye su temperatura, lo que provoca que se condense y se formen pequeñas gotitas de agua que se agrupan para formar nubes. Cuando un gran número de gotas se unen, pueden precipitar en forma de lluvia. De esta forma, el agua en estado líquido vuelve a la Tierra y el fenómeno continúa, por lo que se dice que cumple un ciclo hidrológico.

Parte del agua que llega a la Tierra será aprovechada por los seres vivos de muy diversas maneras, desde la necesidad de su uso para la supervivencia básica, hasta la producción de alimentos o la generación de energía eléctrica. Otra parte del agua se escurre por la tierra hasta llegar a un río o a un lago, fenómeno que se denomina **escorrentía**. El agua que se filtra por el suelo forma también capas de agua subterránea en un proceso que se llama **percolación**. Estos fenómenos son muy importantes para la vida de los ecosistemas aeroterrestres, y para la formación de nutrientes para las plantas y de otros elementos esenciales para muchos seres vivos.

Es importante señalar que, si bien este ciclo se repite, el agua es un recurso que no es inagotable, ya que hay un importante nivel de contaminación del agua potable, es decir, del agua en condiciones de ser utilizada para el consumo de los seres humanos. El agua cubre el 70% de nuestro planeta, pero solo el 2,5% es dulce y potable y, además, en la actualidad, más de 2000 millones de habitantes de países en desarrollo no tienen acceso a este recurso.

Nieve, granizo y nieblas

La nieve y el granizo se forman cuando se solidifican las gotas de agua líquida por las bajas temperaturas. También el rocío y la escarcha se deben a la condensación o solidificación del agua por las diferencias de temperatura entre el día y la noche. La niebla se produce debido a la condensación del aire húmedo, es decir, con la elevada presencia de partículas de agua líquida. Las diminutas partículas de agua en suspensión quedan en el aire y se presentan generalmente como una gran nube al nivel del suelo.



Nieve en la ciudad de Bariloche, provincia de Río Negro.

El ciclo del carbono

Además de suministrar energía para el ciclo del agua, la radiación proveniente del Sol también está relacionada con otro de los ciclos que ocurren en la naturaleza, el ciclo del carbono.

La energía solar motoriza, en los vegetales que tienen clorofila, el proceso de fotosíntesis mediante el cual se genera materia orgánica a partir del dióxido de carbono contenido en el aire que, posteriormente, es restituido durante la respiración.

Transmisión del calor

Supongamos que queremos analizar cómo se enfria el café caliente dejado en una taza sobre la mesa. Parte de la energía es transmitida en forma de calor a la taza, al plato y a la mesa sobre la que están apoyados. Esta forma de transmisión de calor, a través de materiales, se denomina **conducción**. El café también transmite energía en forma de calor al aire pero, además del proceso de conducción, el aire, al calentarse, asciende, y se producen corrientes en él. Esta forma de transmisión del calor, típica de los fluidos, se llama **convección**. Si miráramos el café con un aparato llamado visor nocturno o sacáramos una foto con la tecnología adecuada, se observaría que el cuerpo caliente emite energía en forma no visible y esto se denomina transmisión por **radiación**.

En la mayor parte de las situaciones, la transmisión de calor se produce simultáneamente por estas tres formas. Algunas veces, una de ellas es mucho más importante que las otras. Para simplificar su estudio, vamos a analizar cada una de las formas de transmisión del calor por separado.

Conducción

Al acercar una cuchara de aluminio a una hornalla encendida, se puede advertir que el calor se transmite desde el extremo de la cuchara en contacto con la hornalla hasta el otro extremo. Este fenómeno se denomina **conducción** y es una forma de transmisión de energía desde las zonas de un cuerpo que se encuentran a mayor temperatura hacia zonas a menor temperatura, sin que esto implique ningún desplazamiento de materia.

No todos los materiales transmiten el calor de igual forma y esto depende de su naturaleza y estructura interna o composición. Por ejemplo, los metales son buenos **conductores** del calor respecto de otros materiales, los llamados **aislantes**, que no son tan buenos conductores como, por ejemplo, la madera, el telgopor, el corcho, el vidrio, la lana, etc. Por esta razón, los utensilios de cocina tienen mangos de madera o de plástico, para reducir la transferencia de calor y, de este modo, no sufrir daños de quemaduras cuando se cocina.

La **conductividad térmica** es una medida de la capacidad que tienen los materiales para conducir el calor. Así, por ejemplo, la madera es un buen aislante aun cuando está encendida. Aunque su temperatura sea alta, y debido a su baja conductividad térmica, la madera conduce relativamente poco calor y el proceso de transferencia es lento. Caso contrario ocurre con los metales que, al tocarlos con la mano, los sentimos más "frios", comparados con otro material que tocamos al mismo tiempo, como por ejemplo una alfombra. Esto sucede porque los metales son buenos conductores del calor y el proceso de transferencia de energía entre el metal y la mano es más rápido que en los materiales aislantes.

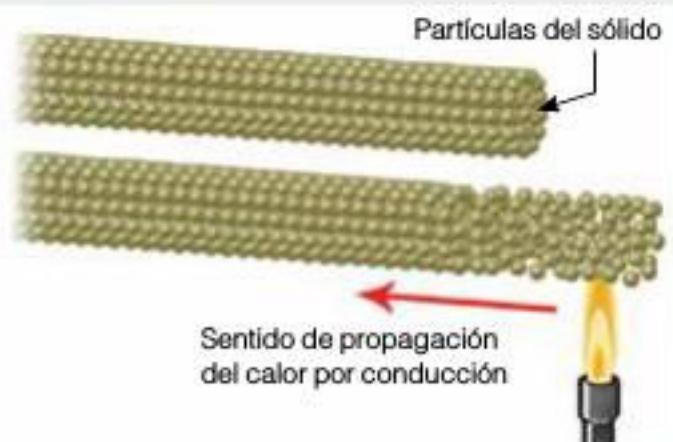
En general, los líquidos y los gases son malos conductores del calor. El aire no es un buen conductor del calor, por lo cual los materiales porosos, que tienen espacios pequeños que contienen aire, son buenos aislantes, como el caso del telgopor.



En algunas ceremonias, los participantes caminan sobre brasas encendidas. Esto es posible debido a la baja conductividad térmica de la madera. Si caminaran sobre una lámina de metal a la misma temperatura, sufrirían graves quemaduras.

Partículas y conducción

Desde un modelo de partículas, la transmisión del calor por conducción se puede explicar de la siguiente manera: al aumentar la temperatura, las partículas del sólido se mueven con mayor energía cinética y la van transfiriendo a las partículas cercanas a las zonas que están a menor temperatura.



Para comparar la conductividad térmica de los materiales, se define un **coeficiente de conductividad térmica** designado con la letra k . Este coeficiente tiene valores altos para los buenos conductores y bajo para los aislantes. Para muchas sustancias, su valor figura en tablas que se pueden buscar en Internet.

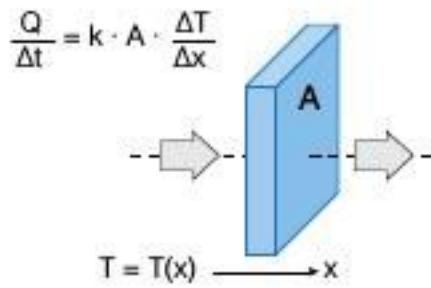
Por ejemplo, los valores para el aluminio y para el telgopor son:

$$k_{Al} = 205 \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{y} \quad k_{telgopor} = 0,03 \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

El cálculo de la energía que se transfiere por conducción, desde zonas de mayor temperatura hacia otras de menor temperatura, no es sencillo. Sin embargo, es posible efectuar algunos cálculos teniendo en cuenta algunas simplificaciones como tomar situaciones en las que la transferencia de energía por conducción se produce totalmente en una sola dirección. Por ejemplo, se puede calcular la energía que se transfiere a través de una pared o de un vidrio, desde la cara que tiene mayor temperatura hacia la cara de menor temperatura. Otro aspecto que hay que tener en cuenta para facilitar los primeros cálculos es la consideración de que la temperatura de cada punto no cambia al pasar el tiempo. Esto significa que si se coloca, por ejemplo, el extremo de una barra en un horno y se ponen termómetros en distintos puntos de la barra, deben estabilizarse luego de un tiempo. Es decir, al comienzo del proceso se registrará un aumento progresivo de la temperatura pero, una vez que transcurra un cierto tiempo, estos valores, diferentes entre sí, se mantendrán estables. Esto se conoce como régimen estacionario. En estas condiciones, es posible calcular la cantidad de calor que se transmite por unidad de tiempo mediante la siguiente expresión matemática, que se conoce como **Ley de Fourier**:

$$\frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

donde $\frac{Q}{\Delta t}$ es la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo, es decir, la potencia transmitida; k es el coeficiente de conductividad térmica, que depende de material; A es la superficie perpendicular a la dirección de propagación, y $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ es la variación de la temperatura entre las caras dividida por el espesor, tomando la variación de temperatura ΔT como la diferencia entre la temperatura más alta y la menor.



La expresión de la Ley de Fourier se puede aplicar cuando la conducción se produce en una dirección.

a

Veamos un ejemplo. Supongamos que queremos calcular la potencia transmitida por conducción por metro cuadrado, a través de una ventana de vidrio de 10 mm de espesor en una casa, en un día en el que la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del vidrio es de 15°C , sabiendo que el coeficiente de conductividad térmica del vidrio común es de $1,04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

Aplicando la fórmula de la Ley de Fourier, obtenemos:

$$\frac{Q}{\Delta t} = 1,04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot \frac{15^\circ\text{C}}{0,01 \text{ m}} = 1.560 \text{ W}$$

La cantidad de energía por unidad de tiempo es una medida de la potencia, por esta razón, su unidad es W (watt), que es lo mismo que decir que la energía que se transfiere equivale a 1.560 J por segundo.

1. Calculen la cantidad de calor por hora y por metro cuadrado que se transmite por conducción a través de una frazada que cubre a una persona que se encuentra en una habitación a 10°C , si el espesor de la frazada es de 1 cm y su coeficiente de conductividad térmico es $8 \cdot 10^{-5} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$. Para poder hacerlo, estimen la variación de la temperatura entre la superficie exterior e interior de la frazada.



Al calentar el líquido, se producen corrientes convectivas que terminan calentando todo su volumen.

Convección

En los líquidos y en los gases, el calor se transmite mayoritariamente por convección, ya que son malos conductores. En este proceso se forman corrientes convectivas en el fluido debido a los cambios de densidad que sufre.

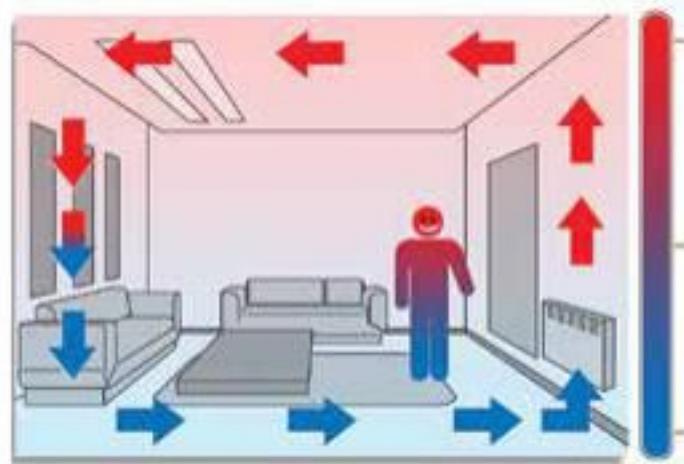
Por ejemplo, si se coloca agua en un recipiente transparente para hacer un té en hebras y se lo coloca sobre la llama, se podrá observar que, a medida que el agua se calienta, se genera un movimiento ascendente en la masa del agua que es detectado visualmente por el movimiento del té. Estas son las llamadas **corrientes convectivas**.

El agua a mayor temperatura disminuye su densidad y comienza a ascender a la vez que se desplaza hacia abajo el agua que se encuentra a menor temperatura. El calentamiento de toda la masa de agua se da por la circulación del fluido. Rápidamente, se observa el ascenso de la temperatura del agua en la parte superior del recipiente si se coloca un termómetro en su superficie. En cambio, si se coloca el termómetro en la parte inferior del recipiente, no se registrarán marcados cambios de temperatura debido a que el agua es un mal conductor del calor. Puede ocurrir que el agua de la parte superior llegue a hervir, mientras que el agua en la parte inferior no llegue a 100 °C.

El aire caliente también asciende y este fenómeno se evidencia fácilmente cuando se coloca una estufa en una habitación. La masa de aire que se encuentra en las cercanías de la estufa aumenta su temperatura y esto provoca una disminución de la densidad del aire, por lo cual, asciende. Se genera un movimiento ascendente y descendente de la masa de aire, es decir que se producen corrientes convectivas con un permanente desplazamiento de la materia.

Las corrientes convectivas se forman naturalmente en la atmósfera y son aprovechadas por las aves, por ejemplo, que ahorran energía y evitan esfuerzos al volar o al mantenerse planeando sobre estas corrientes que las elevan.

También algunos deportes en el aire, como el ala delta, utilizan las corrientes convectivas para elevarse y mantenerse en vuelo.



Corrientes convectivas en una habitación.



Las aves aprovechan las corrientes convectivas para mantenerse en vuelo.



Los planeadores y los ala delta no utilizan motores, usan las corrientes convectivas del aire.

Calentando el agua para el mate

Cuando se coloca, por ejemplo, un recipiente metálico con agua en contacto con el fuego de una hornalla, se producen los dos fenómenos: conducción y convección. La superficie del cuerpo en contacto con el fuego transmite calor por conducción, a la vez que también se forman las corrientes convectivas por las diferentes temperaturas de la masa de agua en las cercanías de la parte inferior del recipiente y la masa de agua en la parte superior.

Radiación

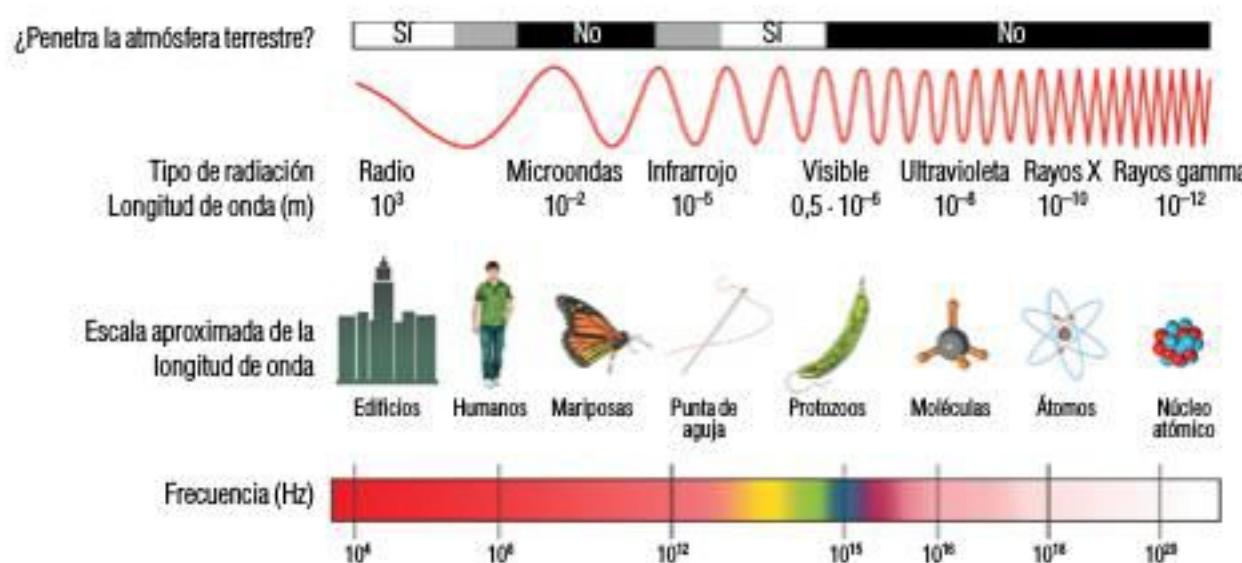
La mayor parte de la energía que llega a la Tierra es la que proviene del Sol y lo hace mediante ondas electromagnéticas. Esta forma de transferencia de energía se denomina **radiación**. Esta no es solo una forma más de transmisión del calor, sino que es una manera de intercambio de energía más general a través de ondas electromagnéticas como, por ejemplo, las que transmite una antena.

Como se indicó en el capítulo 1, las formas de intercambio de energía entre cuerpos o sistemas de cuerpos se dan por **calor** siempre que estén en contacto cuerpos que se encuentren a diferentes temperaturas; también por **trabajo**, cuando los cuerpos intercambian energía por la presencia de fuerzas, y por **radiación**, mediante ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas pueden propagarse en un medio transparente, como es el caso de un vidrio, que puede ser atravesado por la luz la que, a su vez, también puede propagarse en el vacío al igual que las ondas del Sol a través del espacio exterior.

Según su naturaleza, se identifican en el llamado espectro electromagnético, en el que se encuentran las radiaciones gamma, los rayos X, la ultravioleta, la luz visible, el infrarrojo, las microondas, las ondas de radio, etcétera.

Las ondas se caracterizan e identifican por la **longitud de onda**, λ , y por la **frecuencia**, f , que es una medida del número de oscilaciones completas por unidad de tiempo. Su unidad de medida es el hertz (Hz) que equivale a una oscilación por segundo. Por ejemplo, una onda luminosa tiene una frecuencia del orden de 10^{14} Hz, esto es que los campos eléctrico y magnético que la forman oscilan 10^{14} (un uno seguido de 14 ceros!) veces por segundo.



Todos los cuerpos emiten radiaciones. Las que se identifican como radiaciones térmicas son las cercanas al infrarrojo, que se pueden detectar con aparatos especiales. Las radiaciones emitidas por las personas y los animales pueden ser detectadas con aparatos que tienen sensores o sistemas de visión nocturna, que detectan las radiaciones que no son captadas por el ojo humano.

Cuando un cuerpo recibe radiación, generalmente absorbe una parte y refleja la otra. Este fenómeno depende del tipo del material, del tipo de superficie y de alguna característica de la onda, como su frecuencia. Así, los cuerpos oscuros absorben más radiación que los claros y una superficie pulida refleja mejor la radiación que una opaca.

La frecuencia y la longitud de onda

Como hemos visto, la frecuencia indica las veces que oscila el campo eléctrico o magnético, por segundo, en un punto alcanzado por una onda electromagnética. Otra forma de caracterizarla es la longitud de onda, que se indica con la letra griega lambda (λ) y que es una distancia entre puntos alcanzados por la onda, como se puede ver en el gráfico de la página 211 del capítulo 10. Estos dos valores están relacionados por la expresión $v = f \cdot \lambda$, donde v es la velocidad de la onda. Es decir que las ondas de alta frecuencia tienen bajas longitudes de onda y viceversa: las de baja frecuencia, altas longitudes de onda, ya que la velocidad de la onda es constante para cada medio. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas viajan en el vacío con una velocidad de $3 \cdot 10^8$ m/s, que se indica con la letra c y es la llamada velocidad de la luz. Si $f \cdot \lambda = 3 \cdot 10^8$ m/s, al aumentar la longitud de onda, tiene que disminuir la frecuencia para que la velocidad permanezca constante, y viceversa: al aumentar la frecuencia tiene que disminuir la longitud de onda.



La radiación solar llega a la Tierra a través de ondas electromagnéticas. Una parte de ella es absorbida por la Tierra y su atmósfera mediante distintos procesos, y otra parte es reflejada o reemitida al espacio exterior.

Actividades experimentales



¿Es el agua un buen conductor térmico?

Materiales

Tubo de ensayo. Trocitos de hielo. Una moneda. Agua. Mechero o calentador.

Procedimiento

1. Coloquen en el tubo de ensayo los trocitos de hielo cubiertos por la moneda.
2. Agreguen un poco de agua.
3. Acerquen la parte superior del tubo al mechero o calentador.

Resuelvan las siguientes consignas.

- a. ¿Qué ocurre cuando el agua hierva?
- b. Describan este fenómeno en términos físicos.



Corrientes convectivas en líquidos

Materiales

Agua. Recipiente. Trocitos de tiza de color o yerba mate. Mechero o calentador.

Procedimiento

1. Coloquen agua en el recipiente.
2. Agreguen trocitos de tiza de color o un poco de yerba mate.
3. Coloquen el recipiente al fuego hasta que hierva el agua.

Resuelvan las siguientes consignas.

- a. ¿Qué ocurre cuando el agua hierva?
- b. Describan este fenómeno en términos físicos.

Transmisión de energía por radiación



Materiales

Dos latitas de gaseosa vacías. Un poco de agua. Pintura o cartulina negra. Mechero o calentador. Termómetro.

Procedimiento

1. Tomen una de las latas y píntenla de negro o fórrénla con la cartulina negra.
2. Anoten la temperatura inicial del agua.
3. Coloquen la misma cantidad de agua en las dos latas.
4. Pongan a calentar las dos latas a igual distancia del fuego.
5. Controlen la temperatura del agua en cada lata cada 10 minutos.

Resuelvan las siguientes consignas.

- a. ¿Coinciden los registros de temperatura de ambas latas? ¿Por qué? Justifiquen su respuesta.

Ley de Stefan-Boltzmann

Se llama **cuerpo negro** a un cuerpo capaz de absorber toda la radiación que le llega. Cuando un cuerpo es un buen absorbente de la radiación, también es un buen emisor. Como el cuerpo negro es el mejor absorbente, cuando se analiza su emisión de radiación, también es el mejor emisor. Por esa razón, se lo toma como referencia para definir un coeficiente que caracterice los cuerpos en cuanto a sus posibilidades de radiación.

La relación entre la radiación que efectivamente emite un cuerpo y la que emitiría un cuerpo negro en las mismas condiciones se expresa mediante un coeficiente de emisión que se simboliza con la letra e y que se puede expresar de la siguiente forma:

$$e = \frac{\text{Radiación emitida por un cuerpo}}{\text{Radiación emitida por un cuerpo negro}}$$

Para un cuerpo negro, e es igual a 1.

Y si, por ejemplo, un cuerpo tiene un coeficiente de emisión $e = 0,3$, esto significa que emite el 30% de la radiación de un cuerpo negro a esa temperatura.

El hecho de que un cuerpo emita radiación no solo depende de su superficie, sino también de su temperatura. La temperatura también influye en las frecuencias de la radiación emitida. En general, los cuerpos que se encuentran a altas temperaturas emiten ondas de alta frecuencia y de corta longitud de onda. Las brasas del carbón, el filamento de una lámpara, la vela de una estufa eléctrica y el Sol emiten radiación infrarroja, además de luz visible.

La **Ley de Stefan-Boltzmann** permite calcular la radiación emitida por un cuerpo y establece que la energía radiante de un cuerpo, por unidad de superficie y unidad de tiempo, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Esta ley se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \cdot e \cdot S \cdot T^4$$

donde $\frac{Q}{\Delta t}$ es la potencia de la radiación emitida por el cuerpo, σ es la constante característica de esta ley, que vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, e es el coeficiente de emisión del cuerpo, S es la superficie que emite radiación y T es la temperatura expresada en grados Kelvin.

Veamos un ejemplo. A partir de las medidas de radiación solar recibidas en la Tierra, se puede saber que la superficie del Sol emite energía radiante a un ritmo de 6.240 W/cm^2 . Suponiendo que el Sol se comporta como un cuerpo negro, queremos calcular la temperatura de la superficie de esta estrella.

Entonces, usando la fórmula de la Ley de Stefan-Boltzmann, si llamamos ξ a la energía radiante emitida por unidad de tiempo y área, es decir $\xi = \frac{Q}{\Delta t \cdot S}$, y sabiendo que el coeficiente de emisión de un cuerpo negro es 1, se tiene:

$$\xi = \sigma \cdot e \cdot T^4$$

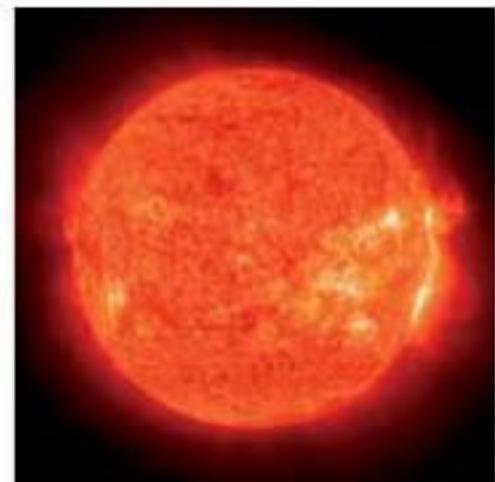
Según se indicó, la energía emitida por el Sol, por unidad de tiempo y superficie, es: $\xi = 6.240 \text{ W/cm}^2$. Y, como cada metro cuadrado tiene 10^4 cm^2 , su valor se puede escribir como: $\xi = 6.240 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$. Así resulta que:

$$6.240 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 1 \cdot T^4$$

Despejando T , se obtiene que la temperatura de la superficie del Sol es de 5.760 K , es decir, aproximadamente, 6.000 K .



El filamento de una lámpara emite radiación infrarroja, además de luz visible.



La superficie del Sol emite energía radiante a un ritmo de 6.240 W/cm^2 .

Coeficiente de transmisión total

Un cuerpo que se encuentra a una temperatura diferente respecto de la de su entorno o medio exterior intercambia energía, de manera tal que podemos decir que si está a mayor temperatura, se "enfría" al transmitir energía en forma de calor a su alrededor. De igual manera, un cuerpo a baja temperatura se "calienta" cuando enfriá al medio en el que se encuentra. La rapidez de este proceso dependerá de la temperatura del cuerpo respecto de la de su entorno. Por ejemplo, el cambio de temperatura de un pastel de papa, recién sacado del horno, será mayor si se lo coloca en la heladera que sobre la mesa de la cocina con la intención de dejarlo enfriar.

La rapidez del intercambio de calor, ya sea por conducción, por convección o por radiación, es proporcional a la diferencia de temperatura ΔT entre el cuerpo y sus alrededores. Como hemos visto, por lo general, el intercambio de calor por parte de un cuerpo con el medio exterior, se realiza simultáneamente por las tres formas mencionadas de transmisión, por lo que es posible, para cada caso particular, expresar ese intercambio de energía en función de la diferencia de temperatura. La expresión que permite este cálculo es:

$$\frac{Q}{\Delta t \cdot S} = K \cdot \Delta T$$

donde $\frac{Q}{\Delta t \cdot S}$ es la cantidad de energía transmitida por unidad de tiempo y superficie, ΔT es la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el medio exterior, y con K se denota al coeficiente de transmisión total. Por lo general, a este coeficiente hay que calcularlo para cada situación, pues depende de diversas características: de la superficie del cuerpo, de su forma, del fluido que lo rodea, de su temperatura, etcétera.

Por ejemplo, si el radiador de una máquina térmica tiene un coeficiente de transmisión total $K = 400 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}}$, su temperatura de funcionamiento es de $400 {}^\circ\text{C}$ y el medio exterior con el que intercambia calor está a $30 {}^\circ\text{C}$, entonces este transmitirá:

$$\frac{Q}{\Delta t \cdot S} = 400 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot (400 {}^\circ\text{C} - 30 {}^\circ\text{C}) = 148.000 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$$

Cada metro cuadrado de radiador transmitirá calor a través de todas sus formas, es decir por conducción, convección y radiación, a razón de 148.000 joule por segundo.



Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947) fue el precursor de la teoría cuántica y fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1918.

Ley de Planck

Hacia fines del siglo XIX, la explicación de la radiación emitida por un cuerpo negro fue un problema crucial para la Física. Hasta ese entonces, se sabía que la intensidad de dicha radiación aumentaba con la longitud de onda hasta un valor máximo. La longitud de onda en la que se produce el máximo de emisión viene dada por la Ley de Wien, y la potencia total emitida por unidad de área fue enunciada por Stefan-Boltzmann.

El 19 de octubre de 1900, Max Planck presentó en la Sociedad de Física de Berlín un artículo en el que logró explicitar una nueva ley de distribución que, hasta la fecha, ha resistido todos los hechos experimentales.

Planck estudiaba que la emisión de la radiación electromagnética se producía en pequeñas unidades de energía, llamadas **cuantos**. Avanzando en el desarrollo de esta teoría, descubrió una constante de naturaleza universal que hoy se conoce como la constante de Planck. La **Ley de Planck** establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por la constante universal. Se trata de una ley fundamental que presenta la cuantificación de la energía y que da paso a un nuevo paradigma científico: la teoría cuántica.

Efecto invernadero

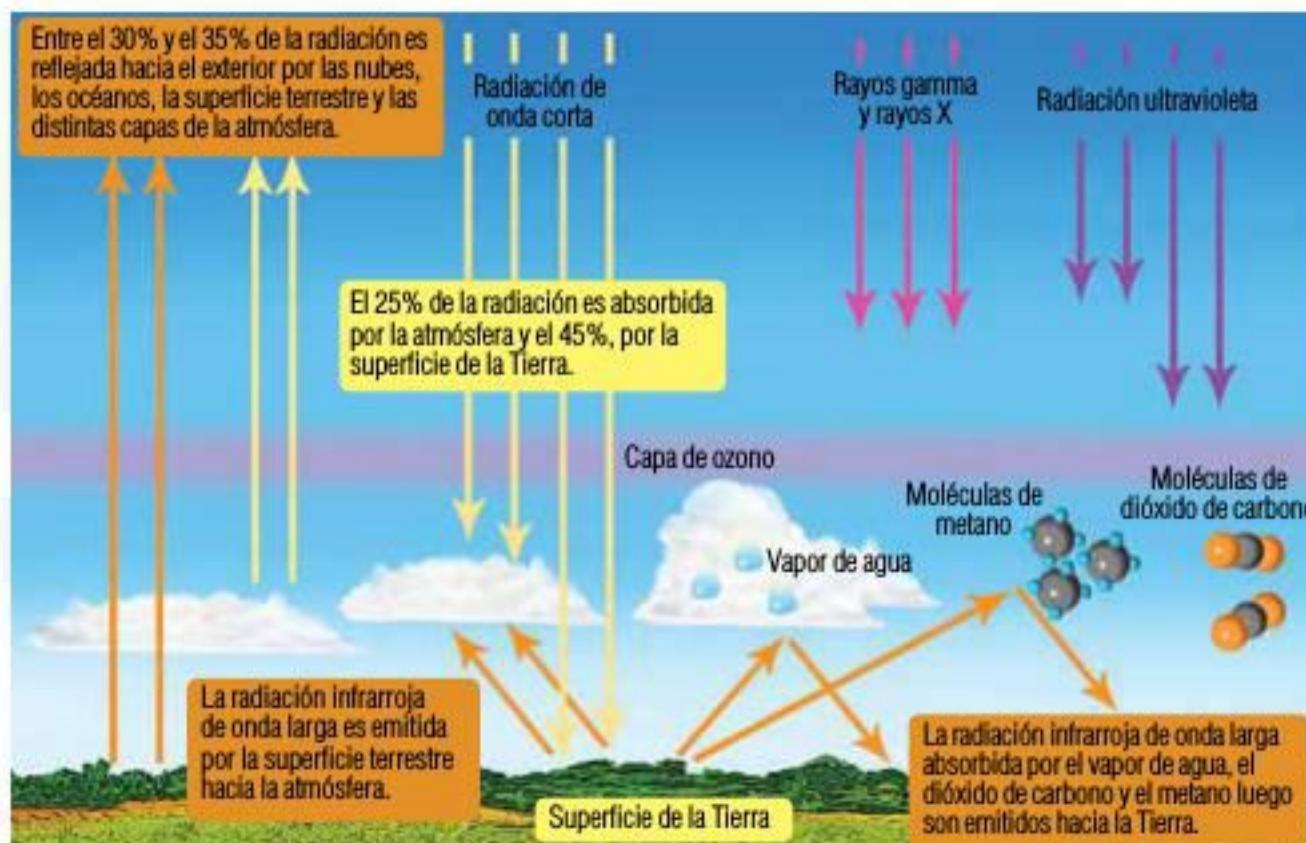
El Sol emite radiaciones como las ultravioletas, las infrarrojas, la luz visible, etc., que son ondas de alta frecuencia debido a las altas temperaturas de este cuerpo celeste. La atmósfera deja pasar estas radiaciones en mayor o en menor medida, sobre todo la luz visible, y así llegan a la superficie de la Tierra. Una parte es absorbida, pero otra se refleja.

La Tierra también irradia parte de su energía, sobre todo radiación infrarroja de menor frecuencia y mayor longitud de onda que la radiación solar. Algunos gases de la atmósfera, principalmente el dióxido de carbono y el vapor de agua, la absorben en gran parte y vuelven a emitirla. Al quedar retenidas en la atmósfera, estas radiaciones producen un efecto que, a escala planetaria, es muy similar al de un invernadero, por lo cual recibe el nombre de **efecto invernadero**. Estos se construyen con vidrios que, de manera similar a la atmósfera, son transparentes a la luz visible e infrarroja, que se absorben en el interior del lugar. Pero la radiación que emite el piso del invernadero y las plantas no puede atravesar el vidrio, ya que es opaco a la radiación terrestre; por lo tanto, se eleva la temperatura interior del lugar manteniendo la ambientación adecuada para el cultivo de plantas.

El efecto invernadero es la principal causa del **calentamiento global** que sufre el planeta, una de las problemáticas ambientales que atenta contra el equilibrio natural y el balance energético de la Tierra.

Los gases responsables de este efecto son principalmente el dióxido de carbono y el metano. Estos gases, junto con otros, han existido desde los orígenes de la Tierra, pero su presencia en la atmósfera ha aumentado desde la Revolución Industrial debido al uso de combustibles fósiles. La gran dependencia de un modelo energético basado en el carbón, en el gas y en el petróleo provoca alteraciones en el clima y efectos negativos para la vida en el planeta. Las emisiones de gases aumentan alrededor del 0,4% cada año y seguirán haciéndolo si no modificamos nuestro abastecimiento energético.

Casi el 60% de la energía que utilizamos en nuestro país proviene de combustibles fósiles, y esto también ocurre, en general, en muchos otros países; por lo cual, existen compromisos asumidos a nivel mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para minimizar los impactos negativos sobre el planeta. Las inundaciones, las sequías, los huracanes, la fusión de los casquetes polares, la desaparición de ríos y de lagunas, la desertización, etc., son algunas de las consecuencias del efecto invernadero que sufre actualmente el planeta.



El efecto invernadero.



Muchas actividades industriales producen grandes cantidades de dióxido de carbono.



Los invernaderos retienen parte de las radiaciones solares para mantener la temperatura en su interior.

Noticias sobre el efecto invernadero

Presentaron el primer proyecto en el país de captura de dióxido de carbono

Argentina ya tiene un lugar entre los primeros 20 desarrollos mundiales de captura de dióxido de carbono por forestación. Esta iniciativa se encuentra en Ituzaingó, al noreste de Corrientes, y es la primera que se implementa en el país bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU.

Se trata de un predio de 3.400 hectáreas, bautizado como Proyecto Santo Domingo, cuyos beneficios son la eliminación del dióxido de carbono de la atmósfera de acuerdo con los lineamientos del Protocolo de Kyoto y la generación de productos forestales sustentables: madera.

Desde 2007, en Santo Domingo se desarrolla este proyecto privado de forestación con especies nativas y exóticas, más áreas que, por sus características ecológicas, se destinan a reserva y protección. Dos años después de su nacimiento, ya habían sido plantados más de tres millones de árboles en algo así como el 70% del área total.

La intención de plantar especies exóticas —como pinos, de un valor comercial no muy elevado, pero sí de gran crecimiento—, junto a las nativas de la zona, radica en que



Predios de Ituzaingó, al noreste de Corrientes, Argentina, destinado al cultivo de plantas para reducir la emisión de dióxido de carbono.

aún hay lugares no aptos para el crecimiento de las variedades originarias y, entonces, es necesaria una suerte de ayuda en la generación inicial del bosque.

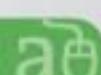
Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo, el protocolo de Kyoto (compromiso para bajar un 5% en 2012 por debajo de los niveles de 1990) prevé un mecanismo que permite a los países industrializados invertir

en proyectos de desarrollo sostenibles de países en desarrollo, como en este caso hizo Novartis en la Argentina.

Así, se generan créditos comerciales de derechos de emisión para quienes implementen estos proyectos. Estos créditos se llaman bonos de carbono o bonos verdes y premian el uso industrial de tecnologías limpias que ayuden a frenar el proceso de calentamiento global del planeta.

Fuente: Clarin.com en www.clarin.com/sociedad/Presentaron-proyecto-captura-dioxido-carbono_0_595740653.html.

Actividades con la computadora



- Lean la noticia y discutan esta problemática ambiental en grupos, señalando las causas y las consecuencias del efecto invernadero.
- Busquen en Internet los acuerdos y compromisos que se asumieron en el Protocolo de Kyoto, así como en otras convenciones internacionales sobre el cambio climático. Pueden consultar en la siguiente página web:
http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php

Actividades finales

1. Una habitación ha permanecido cerrada varias horas. Sobre el piso alfombrado hay varios objetos: un cenicero de metal, una caja de madera para guardar libros, ropa de abrigo. También se encuentra un perro que duerme acurrucado.
 - a. Comparen las temperaturas de todos los objetos y cuerpos mencionados y justifiquen sus respuestas.
 - b. ¿Por qué el perro duerme acurrucado? También lo hacen así algunas personas en días de bajas temperaturas. ¿Influye esta posición del cuerpo en la transmisión del calor?
2. Estimen y expresen las siguientes temperaturas en grados Celsius y Fahrenheit:
 - a. La temperatura ambiente.
 - b. La temperatura en el interior de una heladera.
 - c. La temperatura de ebullición del alcohol.
3. Investiguen por qué no se utiliza el agua como sustancia para construir termómetros si resulta más común y más barata que otras sustancias que se utilizan para su fabricación.
4. Si la temperatura del aire es de 70 °F, ¿se trata de un día caluroso?
5. ¿Existen temperaturas por debajo del cero absoluto o cero Kelvin? ¿Qué significa esta temperatura?
6. ¿Cuál es la variación de la longitud de las vías de acero de un ferrocarril de 500 km si en un día de verano la variación de la temperatura entre la mañana y la noche es de 20 °C?
7. Un camión tanque que transportaba nafta estacionó durante algunas horas al Sol en un día de verano. El camión, cuando estacionó, contenía 25.000 litros de nafta que se encontraban a 20 °C. Después de varias horas la temperatura aumentó a 35 °C. Sabiendo que el coeficiente de dilatación cúbica de la nafta es $950 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calculen el volumen de la nafta a esta última temperatura.
8. Si dos recipientes de igual masa, uno de cobre y otro de aluminio, a temperatura ambiente, se colocan en un horno durante un mismo tiempo, ¿cuál de los dos alcanzará primero una temperatura de 180 °C? ¿Por qué?
9. ¿Cuál es la justificación física de soplar el café caliente para enfriarlo?
10. Al mismo tiempo se sacan de la heladera una latita de aluminio que contiene gaseosa y un recipiente de plástico con comida. ¿Por qué, al tomarlos entre las manos, la lata se siente más fría que el recipiente de plástico?



11. En algunas casas que se construyen en lugares expuestos a bajas temperaturas, se utilizan dos vidrios para las ventanas con algunos centímetros de separación. ¿Cuál es la explicación física de esta construcción de ventanas?
12. Se suele decir que las frazadas dan calor. ¿Es correcta esta expresión? Justifiquen su respuesta.
13. ¿Por qué las personas prefieren ropa oscura en invierno y clara en verano?
14. Expliquen, a partir de consideraciones físicas, por qué un termo sirve para conservar en su interior tanto líquidos calientes como líquidos fríos.

- 15.** Lean el siguiente texto escrito por J. Black (1728-1799) tratando de dilucidar los conceptos de calor y de temperatura.

"Con el uso de este instrumento hemos aprendido que, si se toman mil, o más, diferentes clases de materia, como metales, piedras, sales, maderas, plumas, lana, agua y una variedad de otros fluidos, aunque estén todos inicialmente a diferentes calores, colocados juntos en una misma habitación sin fuego y donde no entra el Sol, el calor pasará del más caliente de estos cuerpos al más frío, en el transcurso de unas horas o tal vez de un día, al final del cual, si se les aplica sucesivamente un termómetro, indicará en todos ellos exactamente el mismo grado".

Fuente: Einstein e Infield, *La evolución de la Física*, 1993, Biblioteca Salvat.

Describan la experiencia a la que se refiere Black utilizando los términos temperatura y calor según su concepción actual.

- 16.** El diccionario de la Real Academia Española define de la siguiente manera a la temperatura:

"Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el Kelvin (K)".

Desde el punto de vista científico, buena parte de esta definición es incorrecta. Indiquen cuál es el error cometido y qué parte de esta definición es correcta.

- 17.** ¿Qué cantidad de calor absorbe un cuerpo de cobre cuya masa es de 60 g cuando su temperatura varía de 20 °C a 80 °C?

- 18.** Calculen el calor específico de una sustancia si se sabe que para calentar 2.000 g de ella de 10 °C a 80 °C fueron necesarias 12 kcal.

- 19.** Se mezclan 50 gramos de agua a 30 °C con 25 gramos de agua a 20 °C en un recipiente aislado. ¿Qué temperatura final de equilibrio tiene la mezcla?

- 20.** Se colocan dentro de un horno de microondas dos vasos del mismo material y se lo hace funcionar durante un minuto. Comparen las temperaturas finales justificando sus respuestas desde el punto de vista de la teoría desarrollada en este capítulo para las siguientes situaciones:

- Uno de los vasos contiene inicialmente 100 gramos de agua a 20 °C, y el otro, 200 gramos de agua, también a 20 °C.
- Uno de los vasos contiene inicialmente 100 gramos de agua a 20 °C, y el otro, 100 gramos de leche, también a 20 °C.

- 21.** ¿Qué cantidad de calor es necesario para fundir un bloque de hielo de 20 kg que, inicialmente, se encuentra a -10 °C?

- 22.** Se llena un vaso con líquido hasta el borde y luego se aumenta la temperatura del sistema. ¿Qué ocurrirá en cada uno de los siguientes casos?

- Si el coeficiente de dilatación cúbica del material del vaso es mayor que el del líquido.
- Si el coeficiente de dilatación cúbica del material del vaso es menor que el del líquido.
- Si el coeficiente de dilatación cúbica del material del vaso es igual que el del líquido.

- 23. a.** Calculen la energía emitida por segundo, en forma de radiación térmica, por un cuerpo negro de 1 m² a 400 K.

- b.** Luego realicen los cálculos con una temperatura de 4.000 K y comparen los resultados obtenidos.

- 24.** Ingresen a las páginas web: www.educapplus.org/play-324-Transmisión-del-calor-por-conducción.html y www.educapplus.org/play-320-Transmisión-del-calor-por-convección.html.

Son simuladores sobre transmisión del calor por conducción y por convección, respectivamente.

- Utilizando el simulador de transmisión del calor por conducción, interpreten la secuencia de lo que le va ocurriendo a cada uno de los cuatro elementos que se van calentando.
- Utilizando el simulador de transmisión del calor por convección, describan por qué se producen las corrientes convectivas en el aire y en el agua.

- 25.** Ingresen a las páginas web: www.educapplus.org/play-243-Calorimetría.html y www.educapplus.org/play-261-Curva-de-calentamiento-del-agua.html.

Son simuladores sobre calorimetría y curvas de calentamiento del agua, respectivamente.

- Utilizando el simulador de calorimetría, seleccionen alguna de las sustancias y determinen su calor específico. Conviene reiterar la operación para usar otros valores de las masas y las temperaturas para poder así verificar el valor hallado.
- Utilizando el simulador de la curva de calentamiento del agua, describan lo que está ocurriendo con el agua en cada uno de los tramos representados por la curva.

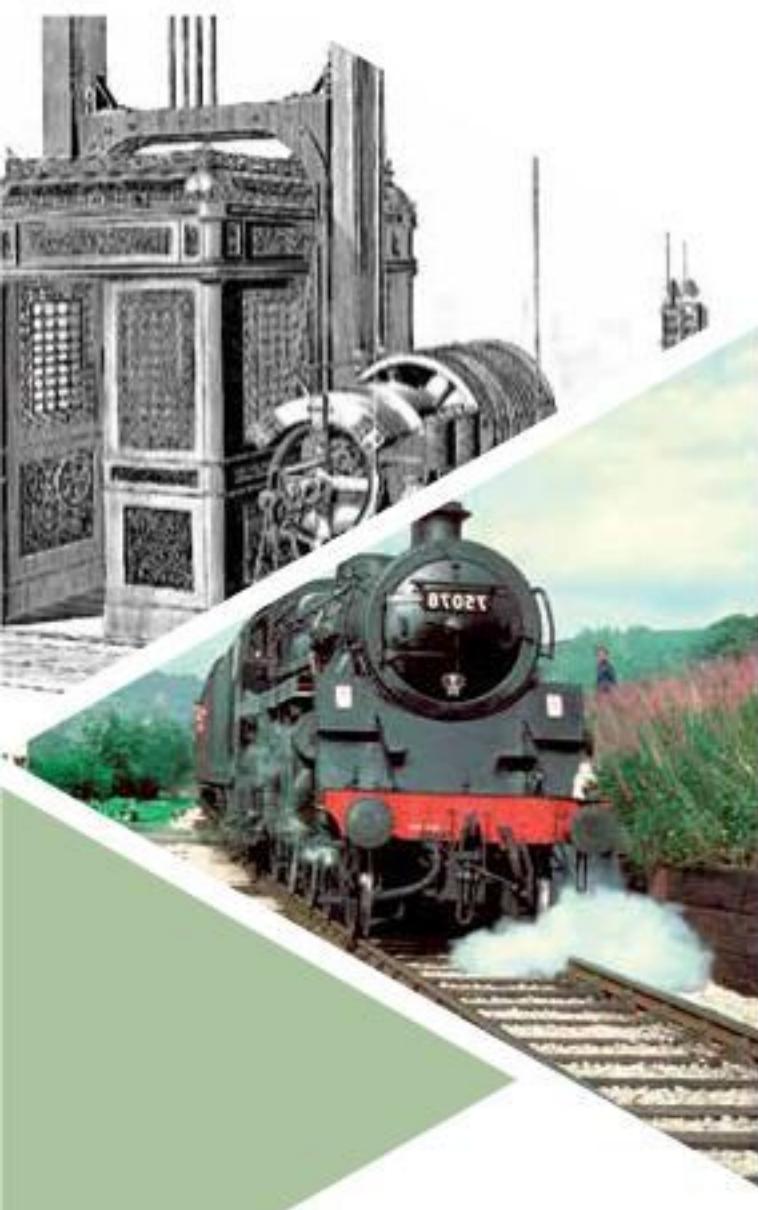
- 26.** Los recipientes en los que se suele transportar agua durante las salidas de campamento (cantimploras) están cubiertos exteriormente por una tela que debe ser mojada antes de salir de excursión. ¿Cuál es el sentido de esa operación?

Primer Principio de la Termodinámica

5

Contenidos

- > Trabajo termodinámico
- > Intercambio de calor
- > Primer Principio de la Termodinámica
- > Aplicaciones a gases ideales
- > Otras aplicaciones



▶ Supongamos que para anotar el puntaje de un partido de truco entre dos amigos se colocan sobre la mesa 60 porotos. Como cada uno puede llegar, a lo sumo, a 30 puntos, esa cantidad alcanza. Si en cualquier momento del partido se suman los porotos que tiene cada jugador y los que no se usaron, la cantidad total de porotos sobre la mesa dará siempre 60. Si al contarlos hay solo 59 porotos, es porque alguno se habrá caído; es decir que habrá salido del "sistema" mesa y, si en otra oportunidad, los contamos y hay 62, sabremos que es porque alguien habrá agregado dos porotos al "sistema".

Esta analogía entre lo que pasa con un conjunto de objetos en un sistema y lo que le ocurre a la energía, fue ideada, pero no para un partido de truco, por el físico norteamericano Richard Feynman, Premio Nobel de Física, en 1965.

El Primer Principio de la Termodinámica indica que se ha desarrollado una magnitud, la energía, que tiene, entre otras propiedades, la de la conservación. Esta propiedad indica que si un sistema permanece cerrado, la cantidad de energía interna es constante (como los 60 porotos), y si entra o sale energía, su energía interna cambiará en el valor del intercambio (hay 59 porotos si sale alguno, y 62 si entran dos).

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudia el Primer Principio de la Termodinámica. También se proponen ejercicios de aplicación del Primer Principio de la Termodinámica y se detallan otras aplicaciones de este Principio a las evoluciones de los gases ideales.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC5



Termodinámica: de un juguete griego a una central nuclear

La máquina de Herón

Si bien la fabricación de una máquina de Herón es muy simple, hay que tomar muchas precauciones por el peligro que implica el uso del vapor. En los modelos que se pueden desarrollar en un laboratorio escolar, se reemplaza la esfera por una lata cilíndrica colgada de tal manera que pueda girar, con las dos salidas de vapor mediante tubos que pueden ser pajitas. En algunos casos, para evitar el uso de vapor, se coloca en su interior agua y hielo seco. Se pueden ver múltiples grabaciones de estos sistemas en Youtube. Por ejemplo, en la página web: <https://www.youtube.com/watch?v=tHMDokofhX0>



Ilustración de la máquina desarrollada por Herón.

Movimientos similares a los que puede tener la tapa de una pava con agua hirviendo, colocada sobre una hornalla encendida, deben haber sido observados desde épocas muy remotas.

Esta idea que, muy simplificada, pudo haber sido "el calor ejerce fuerzas", persistió en el nombre que aún se le da a la rama de la Física que estudia fenómenos como ese.

Sobre la etimología de la palabra "termodinámica", la Real Academia Española dice que deriva de "termo", que significa calor, y de "dinámica", que es una palabra relacionada con los efectos de las fuerzas cuando ejercen movimiento.

Para la Física, en cambio, la idea es mucho más amplia: la Termodinámica, que comenzó históricamente estudiando precisamente las relaciones entre el calor y la energía mecánica, hoy es un capítulo de la Física mucho más general y analiza todo lo que tiene que ver con la energía.

La primera máquina de vapor

Existen algunos relatos del uso del vapor para generar fuerzas desde hace unos 2300 años.

Aunque no hay certeza de que realmente haya ocurrido, es creíble el relato de que el general cartaginés Aníbal, al cruzar los montes Pirineos para atacar Roma con un ejército que incluía 38 elefantes, se abría paso destruyendo las grandes rocas mediante vapor el que, al dilatarlas, producía fuerzas que las rompían.

El mecánico griego Herón de Alejandría, que vivió hacia el siglo II a. C., relata cómo los sacerdotes egipcios usaban la acción del vapor para abrir las puertas de uno de sus templos simulando acciones mágicas.

El mismo Herón diseñó su eolípila, que fue la primera máquina de vapor de la que se tiene registro. Esta máquina consta de una esfera cerrada que puede girar alrededor de un eje. Se coloca agua dentro de esta y se le agregan dos pequeños caños en forma de L, como se ve en la imagen de la izquierda. Al calentar el agua y hervir, sale el vapor y hace girar la esfera.

Se podría haber extraído trabajo desde el eje, pero hasta donde se sabe, solo se usó como curiosidad o juguete. En los siguientes siglos se desarrollaron investigaciones sobre otros campos de la Física que hoy llamamos: Mecánica, Óptica y Magnetismo, pero nada sobre Termodinámica. Un historiador dijo: "Un mundo de esclavos no requería el poder del vapor y durante diecisésis siglos la idea del alejandrino pasaría al olvido".

Termodinámica en el antiguo Egipto

Según relata Herón, los sacerdotes egipcios encendían fuego en una hornalla exterior al templo calentando el aire, el cual ejercía presión sobre un recipiente con agua que se encontraba bajo el suelo del templo. Eso producía un derrame de agua sobre un balde, también oculto, que accionaba una polea que abría "mágicamente" las puertas del templo.



El juguete griego se convierte en una máquina térmica

Durante muchos siglos, el carbón fue el combustible más eficiente para calefaccionar. Además de las dificultades que implicaban su ubicación, explotación y traslado, su extracción era muy compleja debido a las habituales inundaciones de las minas provocadas por las napas de agua subterráneas. El agua se extraía mediante bombas, muchas veces accionadas por caballos, y resultaba muy difícil utilizar este método cuando las minas eran muy profundas. Así fue cómo se comenzaron a desarrollar máquinas de vapor que pudieran accionar estas bombas de desagote. La primera que se patentó fue la del mecánico inglés Thomas Newcomen, en el año 1712.

Hacia el año 1763, llegó una máquina de Newcomen al taller del mecánico escocés James Watt para su reparación. Este observó su muy bajo rendimiento y le aportó importantes mejoras, que patentó. Las máquinas de vapor de Watt introdujeron un aporte fundamental a la difusión de este tipo de sistemas. No solo se utilizaron para el desagote de minas, sino que revolucionaron la industria textil al fabricarse telares accionados por máquinas de vapor.

El desarrollo de las máquinas de vapor tuvo también una influencia fundamental en la Revolución Industrial, producida en Europa en esa época. La mayor eficiencia y menor tamaño de las máquinas térmicas desarrolladas por Watt permitieron aplicarlas en los vehículos de transporte. Desde mediados del siglo XVIII, hubo varios intentos para desarrollar barcos de vapor, y, en 1812, fue creada la locomotora de vapor por George Stephenson.



Máquina de Newcomen. Aun con su bajo rendimiento, se utilizó entre 1712 y 1770, aproximadamente.



Máquina de Watt.
Introdujo importantes mejoras en la
máquina de Newcomen, que permitieron
su utilización en múltiples tareas.

Locomotora de vapor desarrollada
por Stephenson en 1829. Podía viajar
a 49 km/h, lo que constitúa una alta
velocidad para la época.



Las máquinas térmicas de hoy y la Termodinámica

Si ampliamos la definición inicial de máquina térmica —aceptando que son aquellas cuyo mecanismo consiste en transformar la energía con alguna finalidad práctica mediante calor y trabajo—, entonces podremos observar que la vida moderna está colmada de ellas. Son máquinas térmicas, por ejemplo, los motores de combustión que utilizan la mayor parte de los automóviles, camiones, tractores, barcos y aviones. Asimismo, es un chorro de vapor, calentado por transformaciones de fisión nuclear, el que hace girar las turbinas del generador eléctrico de la central de Atucha I, tal como en la máquina de Herón, hacia girar a la esfera el chorro de vapor producido en su interior.

La Termodinámica estudia las leyes que explican el funcionamiento de estas máquinas térmicas y de muchos otros fenómenos relacionados con la energía.

El trabajo y la variación de energía interna

Cuando se dice que una máquina térmica intercambia calor y trabajo al funcionar, generalmente se piensa en ejemplos como el motor de un auto, pero la idea es más amplia. Incluso el organismo humano funciona de esa manera, por lo que le cabe, desde este punto de vista, la denominación de máquina térmica.

No solo las máquinas térmicas intercambian energía en forma de calor y trabajo: calentar agua para el mate o empujar el carrito de un supermercado también son procesos de intercambio de energía.

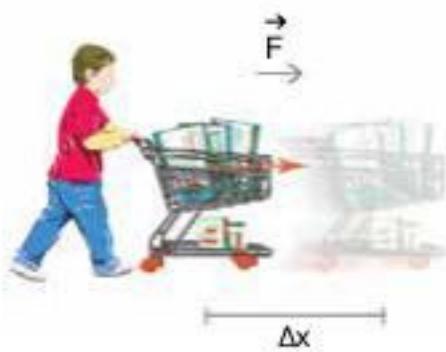
Los sistemas que se analizan pueden intercambiar energía mediante transmisión de calor y trabajo. Es común en Física que, cuando algún proceso depende de más de una causa, se las trate de a una por vez y recién luego se traten todas simultáneamente.

En la Termodinámica, los sistemas que se analizan pueden intercambiar energía mediante transmisión de calor y trabajo. Así, se comenzará por analizar cómo se comporta el sistema cuando el intercambio de energía se da solo mediante trabajo, luego se hará lo mismo con el intercambio de calor y, por último, se tratarán ambos intercambios simultáneamente, con lo que se arriba así al llamado Primer Principio de la Termodinámica.

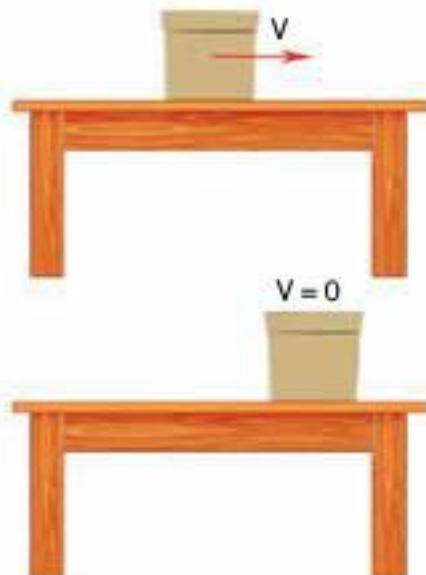
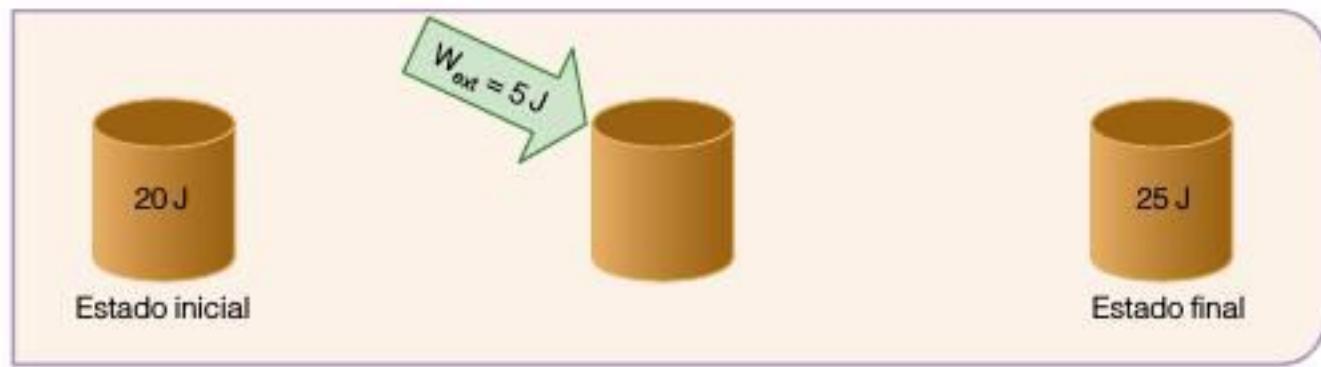
El trabajo exterior

La definición precisa del sistema a analizar es siempre muy importante en la Física y es fundamental en la Termodinámica. Hay un conjunto de cuerpos cuyo comportamiento físico se pretende estudiar: el sistema. Todo el resto de los cuerpos que interactúan con el sistema de diversas maneras constituyen su medio exterior.

Si un sistema cualquiera solo intercambia energía con el exterior mediante trabajo, la variación de su energía interna se puede medir mediante ese trabajo. Por ejemplo, si un sistema tiene 20 J de energía interna y el exterior realiza sobre él un trabajo de 5 J, su energía interna aumentará a 25 J, ya que el trabajo es, precisamente, una magnitud que permite calcular el intercambio de energía por la acción de fuerzas. También puede ocurrir que el sistema de 20 J de energía interna realice sobre el exterior un trabajo de 8 J, en cuyo caso, su energía interna disminuirá a 12 J.



El trabajo exterior es igual, en este caso, al aumento de la energía cinética del carrito.



El trabajo de la fuerza de rozamiento, negativo, es igual a la pérdida de energía cinética de la caja.

La energía cinética de un carrito detenido es 0 J. Si se aplica sobre él una fuerza constante de 50 N de módulo, como se indica en la figura, y lo acelera a lo largo de 2 metros, el trabajo recibido por el sistema "carrito" es:

$$W_{\text{ext}} = 50 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 100 \text{ J}$$

La energía cinética del carrito habrá aumentado en 100 J.

Al empujar una caja sobre una mesa, se observa que, después de recorrer una corta distancia, se detiene debido al rozamiento. Si el sistema "caja" tiene inicialmente una energía cinética de, por ejemplo, 0,5 J y el rozamiento con la mesa produce una fuerza constante de 1 N, después de recorrer 0,5 m, se detiene ya que:

$$W_{\text{ext}} = -1 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} = -0,5 \text{ J}$$

El sistema tenía 0,5 J de energía y lo perdió por el rozamiento.

En las máquinas térmicas, el sistema que intercambia trabajo y calor suele ser un vapor o una mezcla de gases encerrado dentro de un cilindro limitado por un pistón móvil, como ocurre, por ejemplo, en el motor de un auto.

En una primera aproximación, se puede suponer que el comportamiento de estos sistemas es el que tienen los gases. Por eso, en estos casos, el trabajo se puede calcular a partir de su presión y de la variación de su volumen.

Si se comprime el gas encerrado en un cilindro, como se indica en la figura de la derecha, y se lo deja hasta que vuelva a estabilizarse bajo la acción de la presión atmosférica exterior, se producirá un aumento de su volumen. El sistema "gas" recibe un trabajo negativo de la atmósfera que, de alguna manera, se opone a su expansión.

$$W_{\text{ext}} = -F \cdot \Delta x$$

donde F es la fuerza ejercida sobre el gas debido a la presión exterior y Δx es el desplazamiento del pistón.

La atmósfera, en este caso, ejerce sobre el émbolo una fuerza que se puede calcular a partir del valor de la presión.

$$F = p \cdot S$$

donde p es el valor de la presión y S es el área de la superficie sobre la que actúa la fuerza F .

De esta manera, el trabajo queda expresado:

$$W_{\text{ext}} = -p \cdot S \cdot \Delta x$$

El producto $S \cdot \Delta x$ es la variación del volumen del sistema:

$$S \cdot \Delta x = \Delta V$$

Por lo que el trabajo que intercambia este sistema se puede expresar como:

$$W_{\text{ext}} = -p \cdot \Delta V$$

Por ejemplo, si el gas se expande un día de presión atmosférica normal, es decir, de 101300 Pa, variando su volumen en un litro, es decir $0,001 \text{ m}^3$, entonces el trabajo sobre él sería:

$$W_{\text{ext}} = -101.300 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3 = -101,3 \text{ J}$$

El trabajo termodinámico

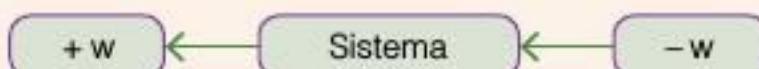
En Termodinámica se realizan los estudios energéticos desde el sistema. Es decir que, ante un problema, lo primero que se hace es definir cuál es el sistema sobre el que se van a analizar los intercambios de energía.

En ese sentido, el trabajo termodinámico se refiere al trabajo entregado o recibido por el sistema, que puede ser igual y opuesto, o no, al realizado por el medio exterior.

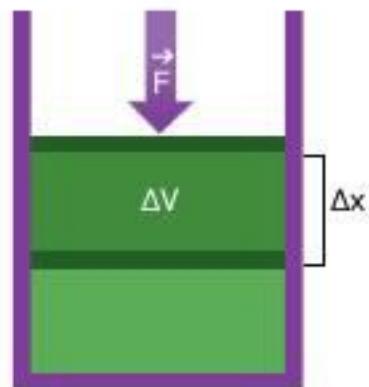
Si en el ejemplo de la figura anterior, la expansión se hiciese de tal manera que la presión interior fuese constante, entonces el trabajo termodinámico sería:

$$W = p \cdot \Delta V$$

Cuando un sistema se expande, entrega trabajo al exterior y eso se considera positivo. Cuando el sistema disminuye su volumen porque recibe trabajo desde el exterior, su trabajo se considera negativo.



Convención de signos para el trabajo termodinámico.



El trabajo que realiza la atmósfera sobre el gas se puede calcular a partir de la presión y la variación experimentada por el volumen.

Presión

El efecto que produce una fuerza ejercida sobre una superficie depende del valor de la fuerza, de su dirección y del valor del área de la superficie sobre la que se aplica.

La presión tiene en cuenta este hecho y, sobre una superficie, se calcula como:

$$p = \frac{F}{S}$$

donde F es la fuerza perpendicular a una superficie y S es el área de esta.

Esta magnitud resulta particularmente útil cuando se trata de la acción de fluidos (gases o líquidos) sobre los recipientes que los limitan, y se mide en pascal (Pa). Esta unidad se define así:

$$\text{Pa} = \frac{\text{newton}}{\text{m}^2}$$

Luego:

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Como el pascal es una unidad relativamente pequeña, se suelen utilizar múltiplos de este, como el hectopascal (hPa) y el kilopascal (kPa).

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kPa} = 1.000 \text{ Pa}$$

Intercambio de calor de un sistema



Al calentar el gas en el interior de una garrafa, varía su temperatura y su presión. La muy escasa dilatación del metal hace que se pueda aceptar que todo el calor recibido incrementa su energía interna y no entrega energía al medio en forma de trabajo.

Para recordar lo que le ocurre a un sistema al intercambiar calor, se continúa con la idea de estudiar las formas de intercambiar energía de a una por vez. Si un sistema intercambia energía con el exterior solo en forma de calor, se producirá una variación en su energía interna del mismo valor que el calor recibido o cedido.

Por ejemplo, se puede estudiar, energéticamente como sistema, al gas encerrado en una garrafa que quedó expuesta al Sol. Su volumen permanece prácticamente constante, por lo que no entrega ni recibe energía mediante trabajo. Todo el calor recibido, que provoca un aumento en su temperatura, incrementa su energía interna.

El calor específico del gas es del orden de 3.000 J/kg·°C. Si una garrafa con 10 kg de gas se deja expuesta al Sol y su temperatura pasa de 15 °C a 25 °C, resulta posible calcular cuánta energía recibió en forma de calor y, por lo tanto, en cuánto incrementó su energía interna.

Como se indicó en el capítulo 4:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

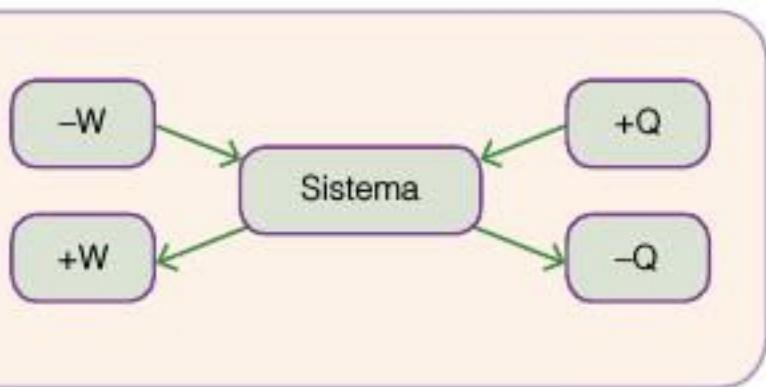
En este caso:

$$Q = 3.000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 10 \text{ kg} \cdot (25 \text{ °C} - 15 \text{ °C}) = 300.000 \text{ J}$$

El sistema recibió 300.000 J en forma de calor y, como no realizó ningún trabajo, incrementó su energía interna en ese valor.

Por supuesto, si un sistema como el anterior solo cede calor, entonces su energía interna disminuye en el valor de la energía cedida. Si el gas de la garrafa se enfriá por la noche 10 °C, disminuirá su energía interna en 300.000 J, que pasarán al medio exterior en forma de calor cedido.

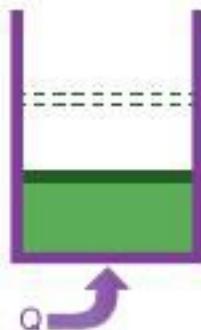
La convención de signos que se utiliza para indicar si el sistema en estudio cede energía en forma de calor o la recibe, es el siguiente: si el sistema recibe calor se lo considera positivo; en cambio, si lo cede, se toma como negativo. En el esquema de la izquierda se resume la convención de signos utilizada para el intercambio de energía, tanto en forma de calor como de trabajo. El balance de la energía que ingresa y egresa de un sistema permite calcular en cuánto se modificó su energía interna.



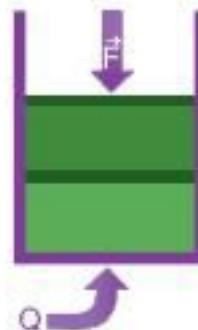
Convención de signos del calor y del trabajo.

✓a

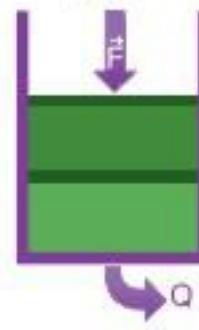
1. Calculen, en cada caso, la variación experimentada por la energía interna del gas encerrado en un cilindro que tiene en su parte superior un émbolo con el que se lo puede expandir o comprimir.



- a. El gas recibe del exterior 50.000 J en forma de calor y se expande entregando un trabajo de 30.000 J.



- b. El gas recibe del exterior 40.000 J en forma de calor y se comprime recibiendo un trabajo de 20.000 J.



- c. El gas se comprime mediante un trabajo de 30.000 J y entrega al exterior 30.000 J en forma de calor.

Historia de la Física

Historia del Primer Principio de la Termodinámica

La historia del Primer Principio de la Termodinámica es, en gran parte, la de la energía. A mediados del siglo xix se intentaba conocer las relaciones entre "fuerzas", como se llamaba a lo que hoy denominamos energía, provenientes de sistemas mecánicos, térmicos, eléctricos y químicos. Esto se relacionaba con el rendimiento de las máquinas térmicas.

Hacia 1840, la teoría del calórico —que afirmaba que el calor era una sustancia que pasaba de un cuerpo a otro cuando se los calentaba o enfriaba—, había quedado sin fundamento debido a la demostración experimental de que un cuerpo no modificaba su peso al intercambiar calor. A esto se sumaron los trabajos de Benjamin Thompson, en los que analizaba el calor producido al taladrar metales para hacer cañones.

Sin embargo, aún no había una teoría que relacionara el calor y los procesos mecánicos. Lo que sí había era una teoría desarrollada por el joven ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832) quien, en 1824, explicó el funcionamiento de las máquinas térmicas a partir de la teoría del calórico. Lo notable de su propuesta fue que, pese a que partía de una teoría incorrecta, llegaba a conclusiones que aún hoy siguen vigentes.

Mayer y la primera síntesis

En 1840, se conocían las vinculaciones entre lo que hoy llamamos fenómenos mecánicos, térmicos y eléctricos, pero no existía una teoría que las unificara.

El médico alemán Julius Robert Mayer (1814-1879) desarrolló sus ideas en soledad y envió los resultados de sus investigaciones a una importante revista científica de la época, pero no fueron publicados. Durante muchos años sus méritos científicos no fueron reconocidos, lo que solo ocurrió al final de su vida.

Mayer reconoció por primera vez la conservación de la energía. Llamando "fuerza" a la energía, afirmaba que esta pasa de una forma a otra, pero se conserva. Incluso, describía cómo medir la equivalencia entre el calor y el trabajo. En 1843 escribió: "No hay, en realidad, sino una sola y única fuerza. En cambios eternos circula a través de la naturaleza muerta y viviente. Ningún proceso es concebible sin cambio de sus formas".

Para valorar la importancia de lo expresado por Mayer, se puede comparar su afirmación con la que, en 1971, hiciera Richard Feynman, Premio Nobel de Física por sus trabajos en Física nuclear: "Hay un hecho, o si se prefiere, una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta ley, es exacta hasta donde sabemos. La ley se llama conservación de la energía. Establece que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurren en la naturaleza".

Comunicar la ciencia

Si un supuesto descubrimiento científico no se comunica convenientemente, de hecho, no existe. En realidad, solo pasa a formar parte del saber científico cuando es reconocido por la comunidad científica de esa época.

Al parecer Mayer era muy consciente de eso. Pese a ser un médico de una pequeña ciudad alemana, envió su trabajo sobre conservación de la energía a una prestigiosa revista científica en 1840, pero no fue publicado.

En 1845 insistió, enviando el escrito a otra revista, que lo publicó, pero su escasa difusión hizo que su mérito no fuese reconocido. Hay que tener en cuenta que, en esa época, enviar nuevamente un artículo a una revista implicaba escribirlo todo a mano otra vez.

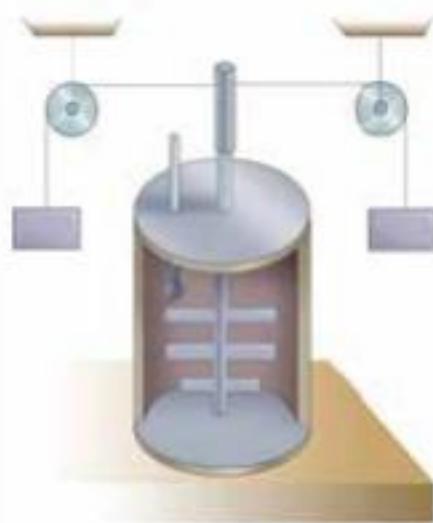


Sadi Carnot, un precursor de la Termodinámica.



Julius Robert Mayer, el primero en proponer la conservación de la energía.

Historia de la Física



Aparato utilizado para realizar la experiencia de Joule.

Joule y el aporte experimental

Mayer había desarrollado su propuesta sin realizar experimentos. En cambio, el industrial cervecero inglés James P. Joule (1818-1881), desconociendo los trabajos de Mayer, que aún no se habían publicado, llegó a iguales conclusiones mediante variados experimentos relacionados con la transferencia de energía. Joule fue un gran experimentador y logró medir la equivalencia entre el calor y el trabajo.

En uno de sus experimentos más conocidos, utilizó un sistema como el que se muestra en la ilustración de la izquierda. Las pesas, al caer, hacen girar las paletas que se encuentran en el interior del recipiente aislado y lleno de agua. El valor de las pesas y la distancia de caída permiten medir el trabajo entregado. La variación de la temperatura, medida con un termómetro, permite calcular la cantidad de calor equivalente. Joule calculó lo que se llamó equivalente mecánico del calor que, en unidades actuales, indica que una caloría equivale a 4,18 joule de trabajo mecánico.

En un escrito de 1849, decía: "La experimentación nos ha permitido dar respuestas satisfactorias a estas preguntas, porque nos ha hecho ver que, dondequiera que en apariencia se destruye la fuerza viva, se produce un equivalente que, con el tiempo, puede tornar a convertirse en fuerza viva. Dicho equivalente es el calor". Cabe recordar que Joule todavía utilizaba la palabra "fuerza viva" para referirse a la energía mecánica.

Antes y después de la experiencia descripta, Joule realizó muchos experimentos relacionados con esta equivalencia, incluyendo además transformaciones de lo que hoy llamaríamos energía eléctrica en calor.



Armand Helmholtz.

Helmholtz y el Primer Principio de la Termodinámica

Aunque Mayer y Joule, uno con sus ideas y el otro con sus experimentos, habían expresado lo que hoy llamamos el Principio de Conservación de la Energía, fue el médico alemán Armand Helmholtz (1821-1894) quien, en 1847, le dio a este Principio su formulación matemática. A partir de su convencimiento de la conservación de la energía en todos los campos de la Física, dedujo las leyes matemáticas que deberían cumplir ciertas transformaciones y luego verificó experimentalmente sus predicciones.

Los trabajos de Helmholtz muestran muy claramente varias de las características de una investigación en Física: generaliza el campo de investigación en lugar de limitarlo a casos particulares, expresa sus conclusiones en el lenguaje habitual de la Física: el matemático, y verifica mediante experimentos cada una de sus propuestas.

Como se verá a continuación, el Primer Principio de la Termodinámica, relacionado con la conservación de la energía, se expresa desde entonces mediante una formulación matemática, como otras leyes de la Física.

Simulando la experiencia de Joule



1. Ingresen en la página de Internet de uso libre:
www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm
y lean la descripción de la experiencia de Joule y la posibilidad de reproducirla mediante un simulador.
2. Utilizando el simulador, realicen las siguientes actividades:
 - a. Coloquen 100 g de agua en el recipiente y fijen el valor de la pesa en 50 kg. Luego, realicen 3 caídas de la pesa desde tres alturas distintas. Calculen, para cada una, el equivalente mecánico del calor.
 - b. Repitan lo realizado en a, modificando tanto la masa de agua como el valor de la pesa.
 - c. Comparen los valores obtenidos. ¿Cuál sería el valor del equivalente mecánico del calor que surgiría de estas experiencias?

Sistemas termodinámicos

Al aceptar el Principio de Conservación de la Energía, el Primer Principio de la Termodinámica trata de lo que le ocurre a la energía interna de un sistema debido a los intercambios que realiza con el exterior en forma de calor y trabajo. Así, por ejemplo, si un sistema recibe 600 J y cede al medio 200 J, su energía interna se incrementa en 400 J. A partir de esta idea, al encarar un problema de Termodinámica, resulta imprescindible definir muy bien cuál es el sistema en estudio. Para exemplificar esto, se analizará una misma situación definiendo el sistema en estudio de tres maneras diferentes. La situación es la siguiente: en una casa rodante o *trailer* se quiere calentar agua para el mate; se coloca el agua en un termo y se introduce en él un calentador de inmersión conectado, mediante un enchufe, a la batería.

■ Sistema nº 1: el agua colocada en el termo. Este sistema recibe energía en forma de calor desde el calentador, que es parte del medio exterior, y aumenta su energía interna, lo que se puede detectar por el aumento de su temperatura. Utilizando un termo de buena calidad se puede considerar que no hay pérdida de calor. Si se admiten las pérdidas de calor en el termo, entonces la variación de la energía interna será igual a la diferencia entre el calor entregado por el calentador y el transmitido al exterior a través de las paredes del termo.

■ Sistema nº 2: el termo, con todo lo que contiene (agua y calentador). El sistema recibe trabajo eléctrico a través de la corriente, lo que incrementa su energía interna. Nuevamente, si el termo tiene pérdidas notorias de calor, habrá que descontarlas de ese incremento.

■ Sistema nº 3: el termo, con todo lo que contiene, más los cables de conexión y la batería. Si se puede suponer que las pérdidas en los cables y en el termo son despreciables, este sistema no variará su energía interna, ya que la energía química de la batería se irá transformando en energía interna del agua. Como todo ocurre en el interior del sistema, su energía interna no se modificará. Si se admiten las pérdidas, disminuirá el valor de la energía interna.



El sistema es solo el agua.

El sistema es el agua, el calentador y el termo.

El sistema es el agua, el calentador, el termo, los cables y la batería.

Sistemas cerrados y sistemas aislados

Tal como se vio en el capítulo 1, es posible clasificar los sistemas de acuerdo con el tipo de límites que tengan.

De esa manera, se denomina **sistema cerrado** a aquel que no intercambia materia con el medio exterior. Por ejemplo, un sistema cerrado podría ser el gas dentro de un tubo fluorescente conectado a la red eléctrica.

Se llama **sistema aislado** a aquel que no intercambia ni materia ni energía con el exterior. Un ejemplo de sistema aislado puede ser el agua contenida en un termo cerrado, si consideramos que el termo no tiene pérdida de calor. Entonces, para que un sistema sea aislado, no debe intercambiar materia ni calor ni trabajo con el exterior. Los sistemas que no intercambian calor con el exterior se llaman **adiabáticos**. Los sistemas que no reciben ni entregan trabajo deben ser rígidos, es decir, que no pueden deformarse, variando así su volumen.

Variación de la energía interna

El intercambio de energía por parte de un sistema con el medio exterior provoca variaciones en su energía interna, ya sea que el sistema interactúe mediante procesos de calor o de trabajo. Cabría preguntarse si, además del balance entre la energía que entra y sale del sistema, se le puede dar otra interpretación a la energía interna.

Todo sistema está compuesto por materia que se puede describir desde algún modelo de partículas, es decir, a partir de los átomos, moléculas o estructuras elementales que la forman. Si se acepta que el sistema está constituido por partículas elementales, su energía interna es la suma de las energías de cada una de ellas. Estas partículas se pueden mover en un gas u oscilar en un sólido. En ambos casos, tienen energía cinética porque se están moviendo. Además, las partículas tienen energía potencial debido a sus posiciones relativas, es decir que cada una puede ser atraída o repelida eléctricamente por otras, como el caso de la energía potencial gravitatoria de los cuerpos, debida a la atracción terrestre.

Desde este modelo, la energía interna es, entonces, la suma de las energías cinética y potencial de las partículas que constituyen el sistema. Por supuesto que no es posible calcular esa suma de miles de millones de partículas, y, por ello, no se puede calcular la energía interna de un sistema en un estado cualquiera. Por ejemplo, no se podría calcular la energía interna de 2 kg de agua a 30 °C. Lo que se puede calcular es cuánta energía interna gana o pierde el sistema, cuando intercambia energía con el medio exterior.

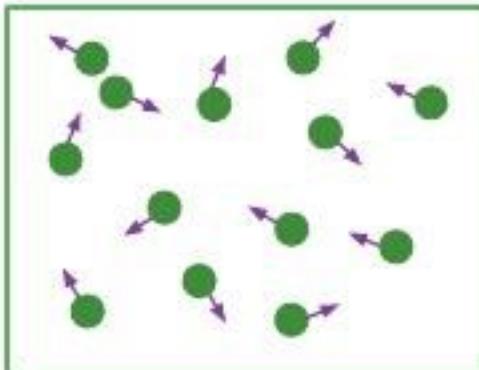
La energía interna se designa con la letra U. Si un sistema se encuentra en un estado que podemos llamar 1 y recibe del exterior 1.000 J, con lo que pasa entonces a un estado 2, se puede calcular que su energía interna aumentó en 1000 J, pero no se puede calcular los valores de las energías internas en los estados 1 y 2.

Esto es equivalente a que tengamos una alcancía cerrada, con cierta cantidad de dinero que desconocemos y, sin embargo, si sabemos que si agregamos \$100, habrá una variación de ese valor y que la alcancía tendrá \$100 más, aunque no sepamos cuánto había antes, ni cuánto hay después de agregarlos.

La variación de la energía interna entre los estados 1 y 2 se expresa así:

$$U_2 - U_1 = \Delta U$$

que se lee de la siguiente manera: la energía interna del sistema en el estado 2 menos la energía interna de ese mismo sistema en el estado 1 es igual a la variación de la energía interna entre esos dos estados del sistema.



La energía interna de un gas ideal solo depende de su temperatura.

Un caso sencillo para analizar la variación de energía interna es el de un sistema constituido por un gas. Existen modelos de partículas para estudiar los gases. Según estos modelos, los gases ideales están formados por moléculas en movimiento muy separadas entre sí. Esta gran separación hace que no haya que considerar la energía potencial, por lo que la energía interna de un gas es la suma de las energías cinéticas de sus moléculas.

La temperatura absoluta de un gas está relacionada con la energía cinética media de sus moléculas, es decir que al aumentar la temperatura, las moléculas se moverán más rápido. Como consecuencia de esto, en un gas ideal, la variación de energía interna solo depende de la variación de la temperatura absoluta.

Primer Principio de la Termodinámica

El Primer Principio de la Termodinámica expresa que la energía intercambiada por un sistema es igual a la variación de su energía interna.

Utilizando la convención de signos indicada en la página 96, la expresión matemática de este Principio es:

$$Q - W = \Delta U$$

donde Q es el calor total intercambiado, W es el trabajo recibido o cedido por el sistema y ΔU es la variación de energía interna experimentada.

Si se trata de un sistema aislado, es decir que no intercambia calor ni trabajo con el medio exterior, entonces su energía interna permanece constante, no varía. O sea que en un sistema aislado: $\Delta U = 0$.

Por ejemplo, si se calienta el aire contenido en el interior de un globo entregándole 6.000 J en forma de calor y, al expandirse, realiza sobre el exterior un trabajo de 1.000 J, el cálculo de su variación de energía interna sería: $Q = 6.000 \text{ J}$, positivo por ser entregado del exterior al sistema, $W = 1.000 \text{ J}$, positivo por haber sido realizado por el sistema al exterior. Aplicando la expresión del Primer Principio y la convención de signos:

$$\Delta U = 6.000 \text{ J} - 1.000 \text{ J}$$

$$\Delta U = 5.000 \text{ J}$$

La energía interna solo depende del estado del sistema

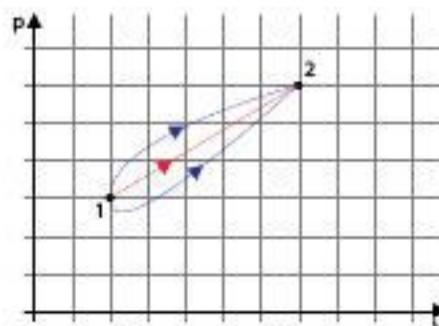
Supongamos que se toma 1 kg de agua a una temperatura de 20 °C en un estado que llamaremos 1 y se la calienta de tres maneras diferentes hasta alcanzar los 25 °C, que denominamos estado 2, y esas tres maneras son:

- 1. Se coloca el recipiente que contiene el agua en estado 1 en una hornalla encendida hasta que llegue al estado 2.
- 2. Se coloca el agua en estado 1 en un termo y con una batidora se le entrega trabajo hasta que llegue al estado 2.
- 3. Se coloca el agua en estado 1 en un recipiente en una heladera para que su temperatura baje hasta 10 °C y luego se le coloca un calentador eléctrico hasta que el agua llegue al estado 2.

En los tres casos, la variación de la energía interna del agua será la misma.

La variación de energía interna entre dos estados de un sistema solo depende del estado inicial y del estado final del proceso, sin importar cómo evolucione de uno a otro.

Otro ejemplo de esto es que un sistema constituido por una masa de gas se puede caracterizar solo por su presión y su volumen. Es posible representar cada estado de este sistema por un punto en un gráfico cuyos ejes representen la presión y el volumen del gas, respectivamente.



La variación de la energía interna entre los estados 1 y 2 es independiente de la evolución que se dio para pasar de uno al otro.

Si ese sistema gaseoso pasa de un estado al otro de diferentes maneras, como en el ejemplo del agua, entonces las cantidades de calor intercambiadas y los trabajos realizados en cada caso serán diferentes, pero la variación de energía interna entre ambos estados será siempre la misma, porque solo depende de esos dos estados.

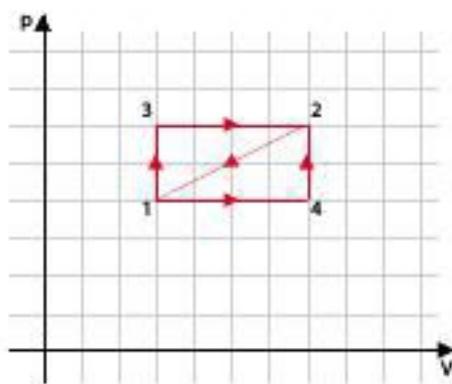
✓a

1. Analicen, desde el punto de vista del Primer Principio de la Termodinámica, las siguientes situaciones que pueden ocurrir en el interior de una heladera en funcionamiento.

a. Tomando como sistema el agua de uno de los compartimentos de una cubetera, ¿cuáles son los signos del intercambio de calor y trabajo realizados por este sistema desde que se introduce en la heladera hasta que se forma el hielo?

b. Se coloca una lata llena de aire y herméticamente cerrada. Durante el proceso de enfriamiento, ¿cuánto vale el trabajo intercambiado por el aire del interior de la lata? ¿Qué ocurre con su energía interna? ¿Qué relación existe entre la energía interna y el calor intercambiado al enfriarse?

Ejercicios de aplicación del Primer Principio de la Termodinámica



Un sistema se lleva desde el estado 1 al estado 2 mediante la evolución 1-3-2 indicada en el gráfico de la izquierda. Durante dicha evolución, el sistema recibe una cantidad de calor de 80 J y realiza un trabajo de 30 J. ¿Cuánto calor intercambiará el sistema al pasar del estado 1 al 2 por el camino 1-4-2 si realiza un trabajo de 10 J?

Para resolver este ejercicio, se necesita conocer la variación de energía interna entre los estados final e inicial de la evolución del sistema, es decir:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

Para hacerlo se toman los datos de la evolución 1-3-2. En esa evolución, el sistema recibe 80 J en forma de calor que, según la convención de signos utilizada, resulta positivo. También resulta positivo el trabajo de 30 J, ya que lo realiza el sistema. Por lo tanto, la expresión del Primer Principio es, en este caso:

$$Q - W = \Delta U \text{ es decir: } 80 \text{ J} - 30 \text{ J} = U_2 - U_1 \text{ entonces: } U_2 - U_1 = 50 \text{ J}$$

Como la variación de la energía interna entre dos estados no depende de la evolución, entonces este valor se puede utilizar para responder a la pregunta del ejercicio.

En la evolución 1-4-2, el trabajo, positivo, vale 10 J. Aplicando el Primer Principio y usando que $U_2 - U_1 = 50 \text{ J}$:

$$Q - W = U_2 - U_1 \text{ es decir: } Q - 10 \text{ J} = 50 \text{ J} \text{ entonces: } Q = 50 \text{ J} + 10 \text{ J} = 60 \text{ J}$$

Por lo tanto, el calor absorbido por el sistema en la evolución 1-4-2 es de 60 J.

En la situación del ejercicio anterior, el sistema vuelve del estado 2 al estado 1 mediante una evolución indicada como la diagonal del rectángulo. En esa evolución, el sistema recibe trabajo por valor de 20 J. ¿Cuánto calor intercambia el sistema en esta evolución?

En esta evolución, el estado inicial es el 2 y el estado final es el 1.

Utilizando la variación de energía interna del ejercicio anterior:

$$U_2 - U_1 = 50 \text{ J}$$

Podemos cambiar el signo en ambos términos de la expresión sin alterar la igualdad:

$$-U_2 + U_1 = -50 \text{ J} \text{ es decir: } U_1 - U_2 = -50 \text{ J}$$

Esto es razonable ya que indica que si un sistema gana 50 J de energía al pasar de un estado 1 a un estado 2, entonces pierde la misma cantidad de energía al pasar del estado 2 al estado 1.

En esta evolución, como el sistema recibe trabajo, según la convención resulta negativo:

$$W = -20 \text{ J}$$

El Primer Principio se expresa en este caso:

$$Q - W = U_1 - U_2 \text{ es decir: } Q - (-20 \text{ J}) = -50 \text{ J} \text{ entonces: } Q = -70 \text{ J}$$

En esta expresión, el signo indica que en esa evolución el sistema entrega 70 J en forma de calor.



- Calculen la variación de energía interna para este sistema cuando realiza la evolución completa, es decir: 1-3-2-4-1.

Gases ideales

Si bien el Primer Principio de la Termodinámica es una ley general que se puede aplicar al intercambio de energía de cualquier sistema, resulta particularmente sencillo cuando se lo aplica a los sistemas gaseosos.

A bajas presiones y altas temperaturas, los gases tienen un comportamiento bastante simple. Este comportamiento fue analizado históricamente desde dos puntos de vista distintos pero cuyos resultados coincidieron.

En 1738, el físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782) propuso un modelo para el tratamiento de los gases suponiendo que estaban constituidos por partículas en movimiento. Refiriéndose al gas que presiona sobre un pistón, dice: "Supongamos que la cavidad contenga pequeños corpúsculos, los cuales son agitados de aquí para allá con rápido movimiento...". A partir de esa idea se estructuró posteriormente una teoría, la Teoría Cinética de los Gases, que pudo explicar, por ejemplo, que la temperatura de un gas está relacionada con la energía cinética media de sus moléculas y que, como se vio anteriormente, su energía interna solo depende de la temperatura absoluta.

Por otra parte, en forma experimental, físicos de los siglos XVII y XVIII llegaron a las leyes de comportamiento de los gases ideales.

Leyes de los gases ideales

Para indicar el estado de una masa de gas en equilibrio, se debe conocer su volumen, presión y temperatura. Las leyes de los gases ideales describen las evoluciones gaseosas cuando alguna de esas variables permanece constante.

La ley que describe una evolución a temperatura constante, llamada **isotérmica**, fue enunciada en 1661 por el físico inglés Robert Boyle (1627-1691).

Las leyes que describen las evoluciones a presión constante, llamadas **isobáricas**, y las que lo hacen a volumen constante, **isocóricas**, fueron propuestas hacia 1802 por los franceses Jacques Charles (1746-1823) y Joseph Gay Lussac (1778-1850).

Evolución a temperatura constante

Si se coloca una masa de gas en un cilindro con émbolo, como se indica en la ilustración de la derecha, y se modifica su volumen, por ejemplo, expandiéndolo muy lentamente de tal manera que su temperatura se mantenga constante, se observa una disminución en la presión.

La relación entre las presiones y los volúmenes de esta masa, mientras evolucione a temperatura constante, es de proporcionalidad inversa. Es decir que, para los estados 1 y 2, se puede escribir:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

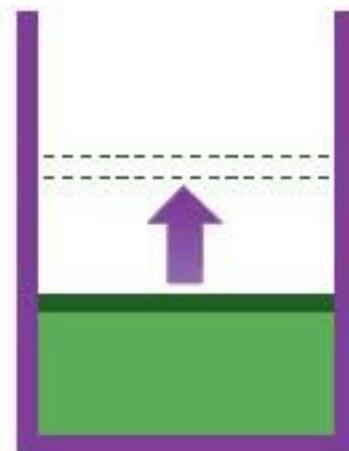
Generalizando para cualquier volumen y su respectiva presión en una evolución isotérmica:

$$p \cdot V = K_1$$

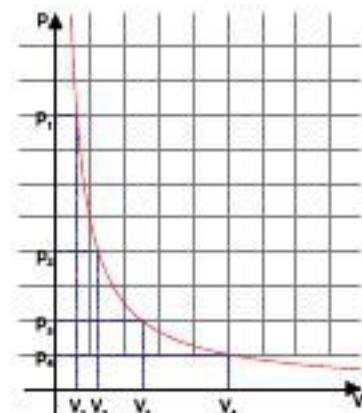
donde la constante K_1 depende de la masa del gas y de su temperatura, es decir, de lo que se mantuvo constante durante la evolución.

La Ley de Boyle se puede enunciar de la siguiente manera:

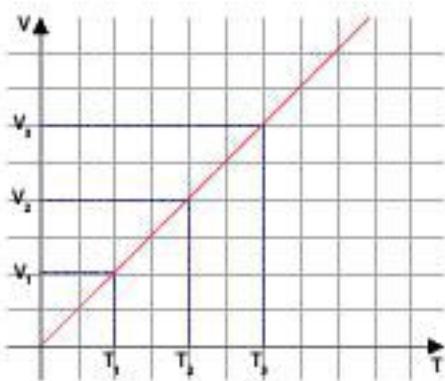
En una evolución a temperatura constante de una masa de gas ideal, los volúmenes son inversamente proporcionales a sus presiones respectivas.



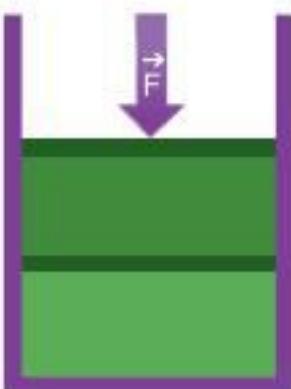
Representación de la evolución isotérmica de un gas ideal.



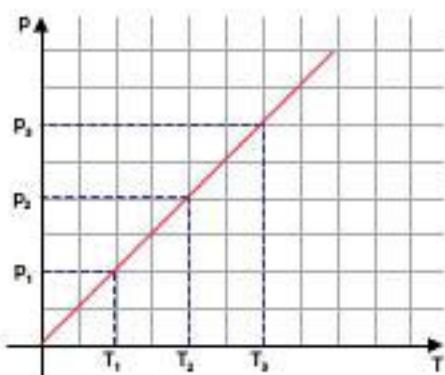
Si se expande un gas a temperatura constante, los volúmenes y las presiones están relacionados según la Ley de Boyle.



Representación de una evolución isobárica.



En una evolución isobárica, el gas se comprime a presión constante.



Representación de una evolución isocórica.

Evolución a presión constante

Para producir la evolución a presión constante, se puede colocar una masa de gas dentro de un cilindro y comprimirlo mediante una fuerza constante de tal manera que en cada posición se igualen la presión exterior con la interior. Al efectuar esta operación, varía la temperatura del gas.

La relación entre los volúmenes y las temperaturas absolutas de esta masa, si evoluciona a presión constante, es de proporcionalidad directa. Es decir que, para los estados 1 y 2, se puede escribir:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Generalizando para cualquier volumen y su respectiva temperatura en una evolución isobárica:

$$\frac{V}{T} = K_2$$

donde la constante K_2 depende de la masa y de la presión del gas, es decir, de lo que se mantuvo constante durante la evolución.

La Ley de Charles y Gay Lussac se puede enunciar de la siguiente manera:

En una evolución a presión constante de una masa de gas ideal, los volúmenes son directamente proporcionales a las temperaturas absolutas.

Evolución a volumen constante

Al encerrar una masa de gas en un recipiente rígido y calentarlo o enfriarlo, su volumen se mantendrá constante ya que es el del recipiente, pero variarán su presión y su temperatura.

La relación entre las presiones y las temperaturas absolutas de esta masa, si evoluciona a volumen constante, es de proporcionalidad directa. Es decir que, para los estados 1 y 2, se puede escribir:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Generalizando para cualquier presión y su respectiva temperatura en una evolución isocórica:

$$\frac{P}{T} = K_3$$

donde la constante K_3 depende de la masa del gas y de su volumen, es decir, de lo que se mantuvo constante durante el proceso.

La ley se puede enunciar de la siguiente manera:

En una evolución a volumen constante de una masa de gas ideal, las presiones son directamente proporcionales a las temperaturas absolutas.

Ecuación de estado de los gases ideales

La ecuación general de estado de los gases ideales resume, en una sola expresión, las tres leyes.

La masa gaseosa que constituye el sistema en estudio se expresa generalmente a partir de su número de moles y de las temperaturas, que son siempre absolutas.

La ecuación general para cualquier estado de n cantidad de moles de gas ideal es:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde R es una constante que en el sistema internacional de medidas vale:

$$R = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

1. Calculen el volumen que ocupan 3 moles de un gas ideal que se encuentran sometidos a la presión atmosférica normal (101300 Pa) y a una temperatura de 27 °C.

a

Intercambio de energía en los gases ideales: calor y trabajo

Como cualquier sistema, cuando un gas ideal evoluciona de un estado a otro, es decir, se expande, se comprime, varía su temperatura, etc., intercambia energía con el medio exterior mediante trabajo y calor.

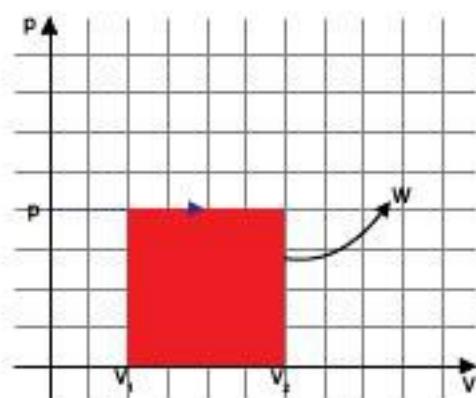
Cálculo del trabajo en forma gráfica

En la página 95 se determinó que, si un gas ideal evoluciona manteniendo constante su presión, el cálculo del trabajo se puede hacer a partir de la presión y de la variación del volumen según la fórmula: $W = p \cdot \Delta V$.

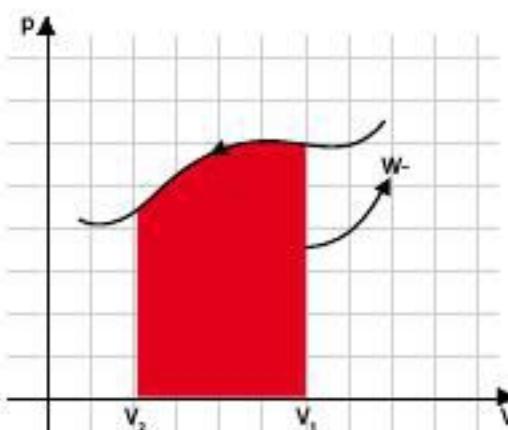
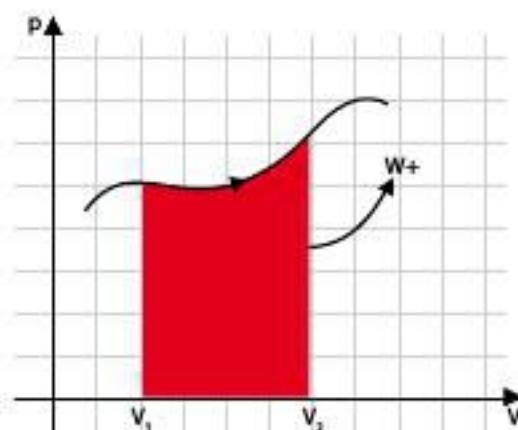
Si se representa una evolución de este tipo en un gráfico cuyos ejes son la presión y el volumen, el resultado es un segmento paralelo al eje de volúmenes ya que la presión del gas es constante, como se observa en el gráfico de la derecha.

Desde el punto de vista geométrico, el área del rectángulo encerrado por la evolución es el resultado de la multiplicación entre el valor de la presión de la evolución, que es la altura del rectángulo, y la variación del volumen, que es la base. Y, como el resultado de esa multiplicación es el trabajo realizado, su valor es proporcional al área debajo de la gráfica.

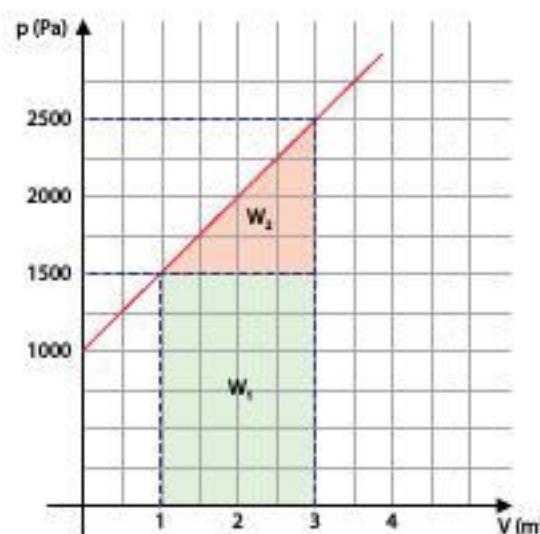
Aun cuando la evolución no sea a presión constante, es posible representar el trabajo en la evolución de un gas ideal mediante el área de la superficie encerrada debajo de la gráfica respectiva. Si se trata de una expansión, es decir que el volumen final es mayor al inicial, entonces el trabajo realizado por el sistema se considera positivo, en tanto que si es una compresión, se lo considera negativo.



El área encerrada debajo de la recta representa el trabajo entregado por el sistema.



El área encerrada bajo la gráfica representa un trabajo positivo en la expansión y negativo en la compresión.



Por ejemplo, en el gráfico de la derecha se representa la evolución de un gas ideal desde un volumen de 1 m^3 a uno de 3 m^3 , de tal manera que su presión varía linealmente respecto de su volumen. El trabajo realizado por este sistema se puede calcular como la suma de las áreas del rectángulo inferior y del triángulo superior expresados según las escalas respectivas. El rectángulo tiene por base 2 m^3 y su altura es 1.500 Pa , entonces el área de ese rectángulo, que representa el valor del trabajo, es:

$$W_1 = 1.500 \text{ Pa} \cdot 2 \text{ m}^3 = 3.000 \text{ J}$$

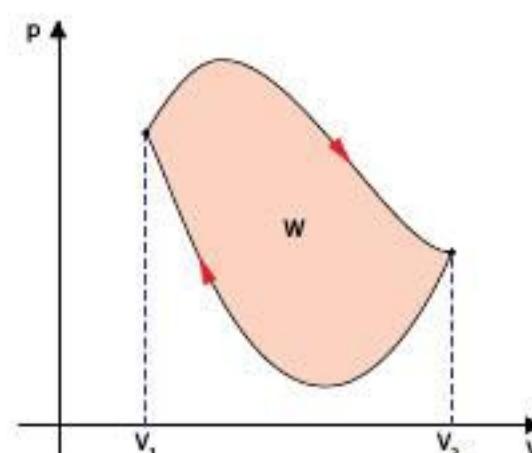
El triángulo superior tiene por base 2 m^3 y su altura es 1.000 Pa , entonces:

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ m}^3 \cdot 1.000 \text{ Pa} = 1.000 \text{ J}$$

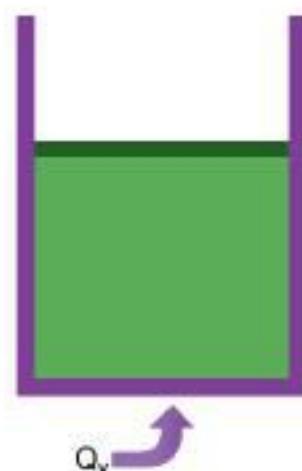
El trabajo total representado por el área encerrada debajo de la recta entre los estados final e inicial vale:

$$W_1 + W_2 = 4.000 \text{ J}$$

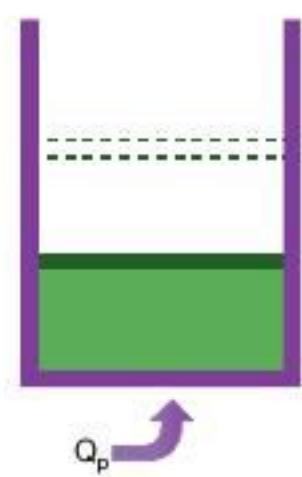
En el último gráfico del lateral se representa una **evolución cerrada**: el sistema evoluciona desde el estado 1 hasta el 2 y luego vuelve al estado 1. Esta evolución se denomina **ciclo**. En la expansión 1-2, el trabajo positivo queda representado debajo de su gráfica. En la compresión 2-1, el trabajo negativo queda también representado por su gráfica. Al restar ambas áreas, el trabajo intercambiado por el sistema en un ciclo quedará representado por el área encerrada entre las gráficas de este.



El área encerrada por el ciclo representa el trabajo realizado.



El sistema gaseoso aumenta su temperatura a volumen constante y, por lo tanto, no realiza trabajo.



El sistema gaseoso evoluciona a presión constante aumentando su temperatura y realizando trabajo.

Calores específicos de un gas

En principio, para calcular el calor intercambiado por un sistema gaseoso que varía su temperatura, se procede de la misma manera que con los sistemas sólidos y líquidos.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

donde m es la masa de gas, ΔT es la variación de su temperatura y c es su calor específico.

Desde la época en que Mayer propuso por primera vez la equivalencia del intercambio de calor o de trabajo, se conocía un fenómeno que actualmente se podría enunciar así: "Para que la temperatura de una masa de gas aumente un cierto valor, se necesitan cantidades diferentes de calor que mantengan o bien constante su volumen, o bien constante su presión". Es decir que el calor específico de un gas que evoluciona a presión constante es diferente al del mismo gas que evoluciona a volumen constante. Si se analizan ambos procesos, se puede explicar el porqué de esta diferencia.

En la figura de arriba, se muestra un cilindro cerrado con una masa de gas en su interior. Si el sistema se calienta, el gas aumentará su temperatura en ΔT sin variar su volumen, es decir, sin trabajar.

En la figura de abajo, se muestra un cilindro con un émbolo superior que se puede mover. En su interior se encuentra la misma masa de gas que la del primer cilindro y se calienta hasta que se produce la misma variación de temperatura ΔT . En este caso, la evolución se realiza de tal manera que la presión en el interior del gas permanezca constante. El gas, en esta evolución, aumenta su temperatura y, al expandirse, además entrega trabajo al exterior.

Como las variaciones de temperatura fueron las mismas, en ambos casos el gas tuvo idénticos aumentos en su energía interna.

En el primer caso, el calor Q_v , entregado a volumen constante, solo se usa para aumentar la temperatura y, por lo tanto, la energía interna; mientras que en el segundo caso, el calor Q_p , entregado a presión constante, se utiliza para producir el mismo aumento de temperatura, pero también se produce trabajo, ya que el volumen aumenta, por lo que Q_p tiene que ser mayor que Q_v .

Por lo tanto, como

$$Q_p = c_p \cdot m \cdot \Delta T \quad y \quad Q_v = c_v \cdot m \cdot \Delta T$$

sus calores específicos deben ser diferentes, razón por la cual existe, para los gases, un calor específico a presión constante, c_p , que es mayor a su calor específico a volumen constante, c_v .

Por ejemplo, para el oxígeno: $c_p = 0,92 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$ y $c_v = 0,67 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$.

Se puede calcular la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura desde 300 K hasta 320 K de 100 g de oxígeno, en un caso a volumen constante y, en el otro, a presión constante.

$$Q_v = 0,67 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}} \cdot 100 \text{ g} \cdot (320 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 1.340 \text{ J}$$

Es decir que se requieren 1.340 J solo para aumentar la temperatura, ya que al ser su volumen constante, no realiza trabajo.

$$Q_p = 0,92 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}} \cdot 100 \text{ g} \cdot (320 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 1.840 \text{ J}$$

Luego se requieren 1.840 J para elevar la temperatura y, además, realizar un trabajo, por ejemplo, subir el émbolo del cilindro.

Si se comparan ambos resultados, se observa que de los 1.840 J que se entregan al sistema en el segundo caso, 1.340 J se utilizan solo para variar su energía interna, que depende de la variación de la temperatura, y los restantes 500 J se utilizan para el trabajo de expansión.

Calor específico molar

Muchas veces la cantidad de gas se expresa en moles en lugar de dar su masa en gramos o kilogramos. En esos casos se calculan los calores específicos de los gases como cantidad de calor requerida para variar en un grado la temperatura de un mol, y se denominan calores específicos molares.

Por ejemplo, para el oxígeno:

$$C_p = 29,05 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

$$C_v = 20,75 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

Aplicaciones del Primer Principio de la Termodinámica a las evoluciones de los gases ideales

Cuando un sistema constituido por un gas ideal intercambia energía con el medio exterior, los valores del trabajo y del calor, así como su variación de energía interna, se pueden calcular a partir de las modificaciones experimentadas por las variables que lo caracterizan: presión, volumen y temperatura.

La expresión del Primer Principio de la Termodinámica:

$$Q - W = \Delta U$$

se simplifica cuando estos sistemas gaseosos evolucionan manteniendo constante alguna de sus variables de estado o cuando no intercambian calor con el medio exterior.

Evoluciones a volumen constante

Cuando se requiere el uso práctico de un sistema gaseoso, se lo contiene en algún recipiente, generalmente, rígido. Por ejemplo, eso ocurre con el oxígeno que se utiliza con finalidades médicas en un hospital.

Si el tubo se coloca en algún ambiente que hace variar su temperatura, por ejemplo, al Sol o cerca de una estufa, el gas recibe energía, pero no varía su volumen.

Si el sistema no varía su volumen, no intercambia energía en forma de trabajo. Desde el punto de vista gráfico, se puede observar que el área encerrada, y que representa el trabajo, es nula. Es decir que en esta evolución, $W = 0$.

Por lo tanto, la expresión del Primer Principio de la Termodinámica es:

$$Q = \Delta U$$

Es decir que el calor intercambiado es igual a la variación de la energía interna, lo que significa que si el sistema no intercambia energía en forma de trabajo, todo el calor que se le entrega aumentará su energía interna y, si el sistema cede calor, se producirá una pérdida de su energía interna.

El calor intercambiado, en una evolución a volumen constante, se calcula:

$$Q = c_v \cdot m \cdot \Delta T$$

Por lo tanto, la variación de la energía interna, en este caso, se calcula de la misma manera, ya que $Q = \Delta U$.

Por ejemplo, supongamos que un tambor de nitrógeno contiene 30 kg de ese gas, se encuentra a una temperatura ambiente de 20 °C y se lo deja expuesto al Sol, con lo que aumenta su temperatura hasta 36 °C, y se quiere saber cuánto varió su energía interna.

El calor específico, a volumen constante, del nitrógeno es $c_v = 750 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Este dato se busca en una tabla que, por ejemplo, se puede encontrar en Internet.

En Termodinámica las temperaturas se miden siempre en Kelvin, aun cuando su variación sea la misma que en grados Celsius. Haciendo la conversión, el sistema evoluciona desde una temperatura de 293 K, que equivale a 20 °C, hasta 309 K, que son 36 °C.

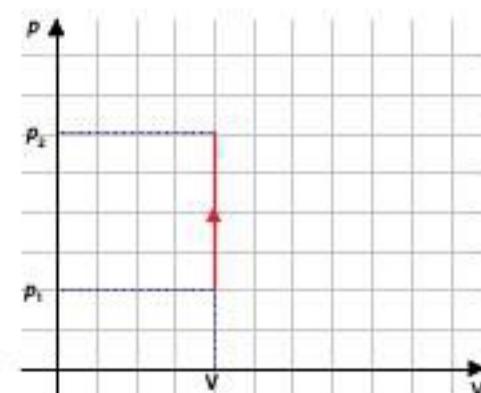
El nitrógeno que se encuentra en el tambor recibe del exterior en forma de calor:

$$Q = 750 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 30 \text{ kg} \cdot (309 \text{ K} - 293 \text{ K}) = 360.000 \text{ J}$$

Por lo tanto, su energía interna se incrementó en 360.000 J.



El oxígeno, como otros gases, se almacena en tubos rígidos.



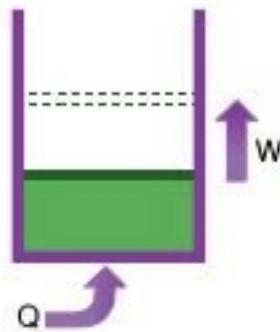
Como el gráfico es vertical, el área bajo la curva es nula y, por lo tanto, también lo es el trabajo.

Evoluciones a presión constante

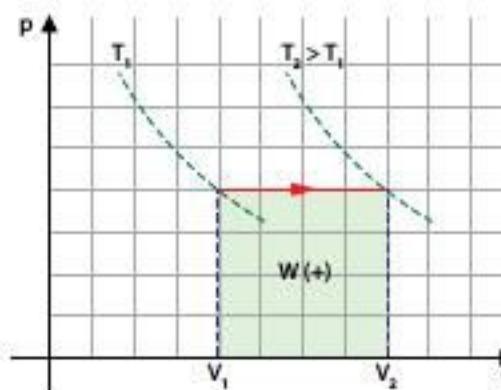
Se puede analizar la evolución de un sistema constituido por una masa de gas ideal de tal manera que su presión se mantenga constante durante su evolución.

Supongamos que se eleva el émbolo del cilindro de la figura de la izquierda, cuidando que la presión del gas que se encuentra en su interior se mantenga constante y sea la misma en todos sus puntos. Cuando el gas se expande a presión constante, es decir cuando aumenta su volumen, según las leyes de los gases ideales, también aumenta en forma proporcional su temperatura. Para ello, el sistema recibe calor del exterior y entrega energía en forma de trabajo.

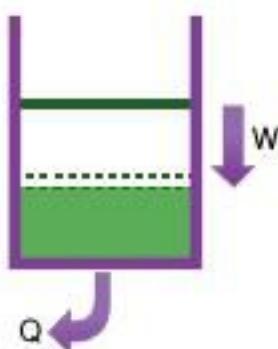
En el siguiente gráfico se puede observar que el trabajo, representado por el área debajo de la gráfica, es positivo, y que al aumentar la temperatura de ese gas ideal, su energía interna también aumenta.



El sistema aumenta su volumen a presión constante entregando energía en forma de trabajo y recibiendo calor del exterior.

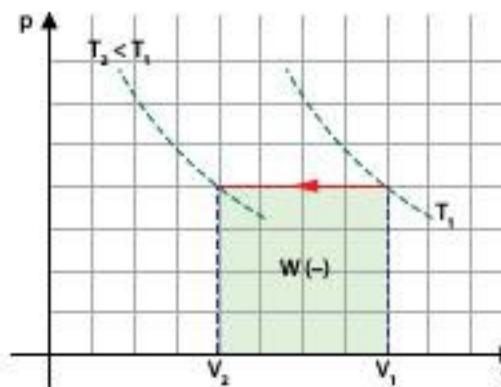


Al aumentar el volumen a presión constante, el sistema gaseoso aumenta su temperatura y, por lo tanto, su energía interna.



El sistema se comprime a presión constante recibiendo energía en forma de trabajo y entregando calor al exterior.

Si el gas se comprime a presión constante, es decir si disminuye su volumen, el sistema cede energía en forma de calor al exterior y recibe trabajo. Entonces, al disminuir su temperatura, también disminuye su energía interna.



Cuando el sistema gaseoso se comprime, disminuyendo su volumen a presión constante, también disminuye su temperatura y, por lo tanto, su energía interna.

El Primer Principio de la Termodinámica relaciona la energía intercambiada por el sistema y la variación de su energía interna, y está representado por: $Q - W = \Delta U$. Para determinar la variación de energía interna hay que calcular por separado el intercambio de energía en forma de calor y el intercambio de trabajo para esta evolución isobárica. Como se expresó en la página 95, para este tipo de evoluciones, el trabajo se calcula mediante la expresión: $W = p \cdot \Delta V$, que, además, está representado por el área encerrada por las evoluciones de los dos gráficos anteriores. En esta expresión, p es la presión que se mantiene constante durante la evolución y ΔV es la variación de volumen. Si el volumen final es mayor que el inicial, entonces ΔV es positivo y el trabajo también es positivo; en cambio, si el sistema se comprime, ΔV y el trabajo son negativos.

La cantidad de calor intercambiada se calcula como $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$, donde c_p es el calor específico a presión constante y ΔT es la variación de la temperatura. Y si la cantidad de gas se expresa en moles, entonces: $Q = C_p \cdot n \cdot \Delta T$, donde C_p es el calor específico molar a presión constante y n es el número de moles. Por lo tanto, la variación en la energía interna es: $\Delta U = c_p \cdot m \cdot \Delta T - p \cdot \Delta V$, si el dato es la masa o: $\Delta U = C_p \cdot n \cdot \Delta T - p \cdot \Delta V$, si el dato es el número de moles.

Como ejemplo del cálculo de los intercambios de energía producidos en una evolución isobárica, se analizará la siguiente: 50 moles de nitrógeno, cuyo $C_p = 20,75 \frac{J}{mol \cdot K}$, evolucionan a la presión constante de 500.000 Pa (aproximadamente 5 veces la presión atmosférica) desde una temperatura de 17 °C hasta 57 °C. Se calculará la energía intercambiada en forma de calor y trabajo, así como la variación de su energía interna.

Para realizar los cálculos en Termodinámica, hay que pasar las temperaturas expresadas en grados Celsius a Kelvin: $T_1 = 290\text{ K}$ y $T_2 = 330\text{ K}$.

Para el cálculo del trabajo se requiere conocer los volúmenes inicial y final de la evolución, ya que: $W = p \cdot (V_2 - V_1)$. Ambos volúmenes se pueden calcular a partir de la ecuación general de estado de los gases ideales:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{es decir: } V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \quad \text{donde: } R = 8,3 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Entonces:

$$V_1 = \frac{50 \text{ mol} \cdot R}{500.000 \text{ Pa}} \cdot 290 \text{ K} = 0,24 \text{ m}^3 \quad \text{y} \quad V_2 = \frac{50 \text{ mol} \cdot R}{500.000 \text{ Pa}} \cdot 330 \text{ K} = 0,27 \text{ m}^3$$

El trabajo entregado por el gas en esta evolución vale:

$$W = p \cdot (V_2 - V_1) \quad \text{es decir: } W = 500.000 \text{ Pa} \cdot (0,27 \text{ m}^3 - 0,24 \text{ m}^3) = 15.000 \text{ J}$$

El calor recibido por el sistema se calcula a partir de la expresión:

$$Q = C_p \cdot n \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\text{En este caso: } Q = 20,75 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 50 \text{ mol} \cdot (330 \text{ K} - 290 \text{ K}) = 41.500 \text{ J}$$

El cálculo de la variación de la energía interna se efectúa a partir de la expresión del Primer Principio de la Termodinámica:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\text{En este caso: } \Delta U = 41.500 \text{ J} - 15.000 \text{ J} = 26.500 \text{ J}$$

Es decir que cuando 50 moles de nitrógeno evolucionan desde una temperatura de 17 °C a una de 57 °C a una presión constante de 500.000 Pa, reciben del medio exterior 41.500 J en forma de calor, entregan al medio 15.000 J en forma de trabajo y, por lo tanto, aumentan su energía interna en 26.500 J.

Evoluciones a temperatura constante

Las evoluciones de un sistema a temperatura constante se denominan isotérmicas. Como se indicó anteriormente, la energía interna de un gas ideal solo depende de su temperatura absoluta. Si un gas ideal evoluciona a temperatura constante, no cambia su energía interna. Es decir que en una evolución isotérmica: $\Delta U = 0$.

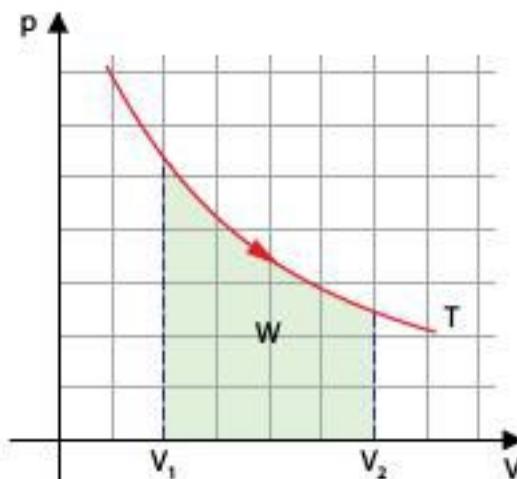
Por lo tanto, la energía que intercambia como calor con el medio debe tener el mismo valor que la energía que intercambia como trabajo. Matemáticamente, esto es:

$$\Delta U = Q - W \quad \text{y si: } \Delta U = 0 \quad \text{entonces: } 0 = Q - W \quad \text{es decir: } Q = W$$

Pese a mantener su temperatura constante, un sistema que evoluciona isotérmicamente intercambia calor para compensar la energía intercambiada por trabajo al variar su volumen. Es decir que, por ejemplo, si un sistema gaseoso encerrado en un cilindro empuja un émbolo expandiéndose isotérmicamente y realizando un trabajo de 1.000 J, tiene que recibir calor por el mismo valor, porque así su energía interna no se modifica.

En los gráficos presión-volumen, una evolución isotérmica queda representada por una curva, una hipérbola.

En el gráfico de la derecha se puede observar que el trabajo realizado en una evolución isotérmica, representado por el área debajo de la gráfica, no se puede calcular fácilmente como figura geométrica.



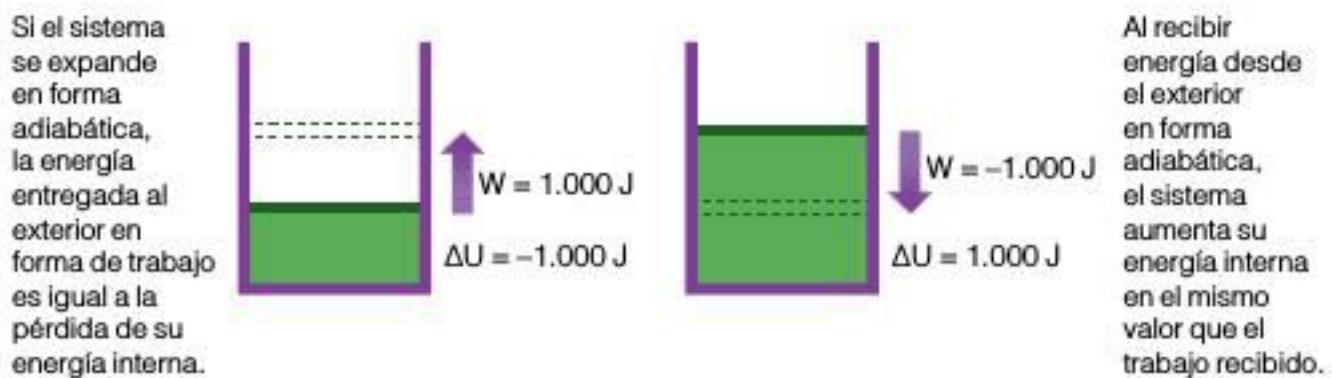
En una evolución isotérmica, con temperatura constante T , el trabajo representado por el área debajo de la curva que representa la temperatura tiene una forma de cálculo matemáticamente complicada.

Evoluciones adiabáticas

Una transformación adiabática es aquella en la que el sistema pasa de un estado a otro sin intercambiar energía en forma de calor con el medio exterior. En la práctica, hay dos maneras de acercarse a este tipo de evoluciones. Una de ellas resultaría del intercambio de energía en forma de trabajo por parte de un sistema, por ejemplo, un gas encerrado en un recipiente que no permita el intercambio de calor con el exterior. La otra posibilidad es producir la transformación de una forma tan rápida que, en ese pequeño lapso de tiempo, el sistema no llegue a intercambiar calor con el exterior. En cualquier caso, si el sistema no intercambia calor, el trabajo que realice o reciba modificará su energía interna.

Si, por ejemplo, el sistema realiza un trabajo sobre el medio exterior de 1.000 J en forma adiabática, su energía interna disminuirá en ese valor. En términos energéticos, no recibe nada, entrega 1.000 J, por lo tanto su energía interna baja 1.000 J.

Por el contrario, si el sistema recibe del exterior un trabajo de 1.000 J, su energía interna aumenta en ese valor.



Este balance energético, desde el punto de vista del Primer Principio de la Termodinámica, se expresa así:

$$Q - W = \Delta U \quad \text{y, como en este caso: } Q = 0 \quad \text{entonces: } \Delta U = -W$$

Esta expresión indica lo dicho anteriormente: si el sistema realiza trabajo, que por convención se considera positivo, entonces su energía interna disminuye, y si el sistema recibe trabajo, que por convención se considera negativo, entonces su energía interna aumenta.

En el ejemplo anterior, si el sistema realiza un trabajo de 1.000 J, $\Delta U = -1.000$ J. Es decir que pierde 1.000 J de energía interna. Si, en cambio, el sistema recibe un trabajo de 1.000 J, entonces $\Delta U = -(-1.000)$ J, por lo que $\Delta U = 1.000$ J. Es decir que gana 1.000 J de energía interna.

Algunos ejemplos de procesos adiabáticos

Si bien sería muy difícil realizar una evolución absolutamente adiabática, existen procesos muy rápidos que se acercan bastante.

Un ejemplo de esto es la combustión en los motores diésel de algunos autos y camiones. En estos motores, una mezcla de gasoil y aire entra en los cilindros y, en una de sus etapas, un pistón produce una muy rápida compresión de la mezcla. En esta evolución, que se puede considerar adiabática por la rapidez con que se produce, el trabajo entregado a la mezcla se convierte en un aumento de su energía interna que se manifiesta en un gran aumento de la temperatura, lo que produce su explosión. Cuando la mezcla explota, su energía se convierte, en parte, en la energía mecánica que moverá el vehículo.

Otro ejemplo es el proceso por el cual el ser humano pudo haber logrado hacer fuego por primera vez, que consiste en frotar rápidamente dos ramas secas. El trabajo, entregado rápidamente al sistema formado por las ramas, se convierte básicamente en un aumento de la energía interna, con lo que aumenta la temperatura y las ramas pueden entrar en combustión. El mismo trabajo hecho lentamente no daría resultado porque disiparía buena parte de la energía que recibe en forma de calor al medio exterior y no aumentaría su temperatura lo suficiente como para encenderse.



Aún hoy, entre las indicaciones para hacer fuego en campamentos o en situaciones extremas, se mantiene la de proceder a una rápida fricción entre ramas en contacto con un medio combustible como hojas o ramas secas.

Termodinámica y atmósfera

La atmósfera terrestre se puede estudiar como un sistema termodinámico. Obviamente es un sistema muy complejo que recibe energía, radiación solar desde el espacio exterior y radiación terrestre desde la superficie del planeta. Sus procesos internos son complejos y cambiantes. Con el aporte de datos tomados durante largos períodos de muy diversas maneras, ya sea desde estaciones meteorológicas terrestres o con instrumentos colocados en globos o satélites artificiales, y con la utilización de modernas computadoras, se han desarrollado modelos termodinámicos de la atmósfera que ayudan a comprenderla mejor.

Algunos de estos modelos están relacionados con modelos meteorológicos que permiten predecir el tiempo en cada lugar con cierta anticipación.

Los fenómenos meteorológicos ocurren en una capa de la atmósfera terrestre llamada troposfera y que tiene unos 11 km de altura.

En la **troposfera** la temperatura va descendiendo a medida que se asciende. Por eso, en lo alto de una montaña, la temperatura es menor que en su base. También, los pilotos de aviación suelen informar que la temperatura exterior a 10.000 m de altura puede ser, por ejemplo, de 30 °C bajo cero, es decir, -30 °C.

Una pregunta que nos podríamos hacer al respecto es: si al ascender nos vamos acercando al Sol, ¿por qué disminuye la temperatura del aire?

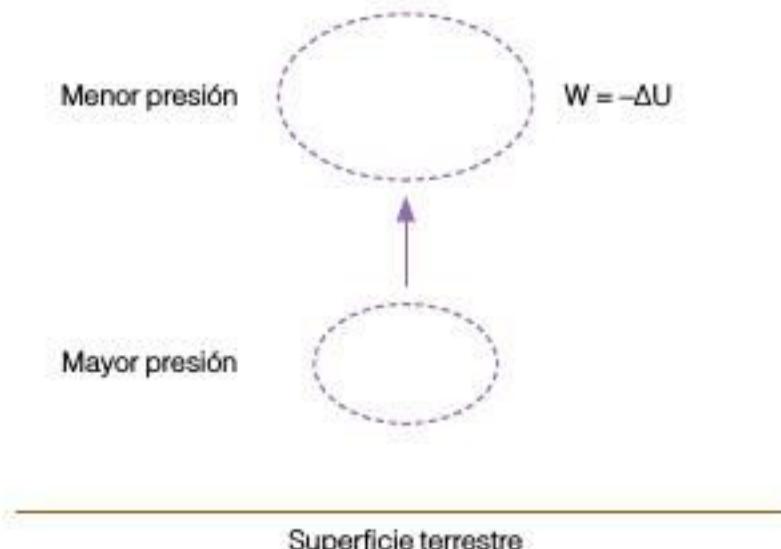
Existe una primera respuesta obvia para darse cuenta de que la distancia al Sol no tiene que ver con esta situación y es que el Sol está a 150 millones de kilómetros de la Tierra, por lo que 10 km de acercamiento son totalmente irrelevantes.

La explicación es termodinámica y tiene que ver con las evoluciones adiabáticas. El calentamiento del aire que se encuentra en la troposfera es provocado por la radiación de la Tierra. Esa es, precisamente, la energía que produce el llamado efecto invernadero.

El aire que se encuentra cerca de la Tierra se calienta por convección y por radiación terrestre. Al calentarse, baja su densidad y asciende.

Por otra parte, la presión atmosférica en un punto depende de su "profundidad" en la atmósfera: es mayor en la superficie terrestre y disminuye a medida que aumenta la altura. Entonces, el aire, que se calienta por convección y asciende, se encuentra con presiones cada vez menores y, por lo tanto, se expande.

Para entender mejor esta situación, se puede pensar a la masa de aire cerca de la superficie como si estuviera encerrada en un globo ficticio. Un globo mantiene su volumen cuando las presiones interior y exterior son iguales. Si aumenta la presión exterior, el globo se achica, y si disminuye, se agranda. Así, el globo imaginario, que limita al sistema aire que estamos analizando, sube y, al encontrarse con menos presión, se expande, entregando trabajo al medio exterior. Como el aire es un mal conductor del calor, este proceso es prácticamente adiabático y, al trabajar, disminuye su energía interna y, por lo tanto, su temperatura.



El sistema constituido por una masa de aire asciende y, al expandirse por la disminución de la presión, realiza una evolución adiabática que produce la disminución de su temperatura.

Pronóstico extendido para Buenos Aires			
	Domingo 18 Llovizna	7° 2°	UV 2.3
	Lunes 19 Lluvia	6° 2°	UV 2.6
	Martes 20 Nublado parcial	7° -1°	UV 2.7
	Miércoles 21 Nublado parcial	7° -1°	UV 2.4
	Jueves 22 Despejado	10° -1°	UV 2.1
	Viernes 23 Despejado	10° 0°	UV 2.2
	Sábado 24 Nublado parcial	10° 2°	UV 0.0

Los datos aportados por las estaciones meteorológicas y los satélites artificiales son procesados a partir de los modelos atmosféricos para pronosticar tanto el tiempo en los próximos días como posibles variaciones climáticas en lapsos mayores.

Experimentos y exploraciones

Simular evoluciones de gases ideales

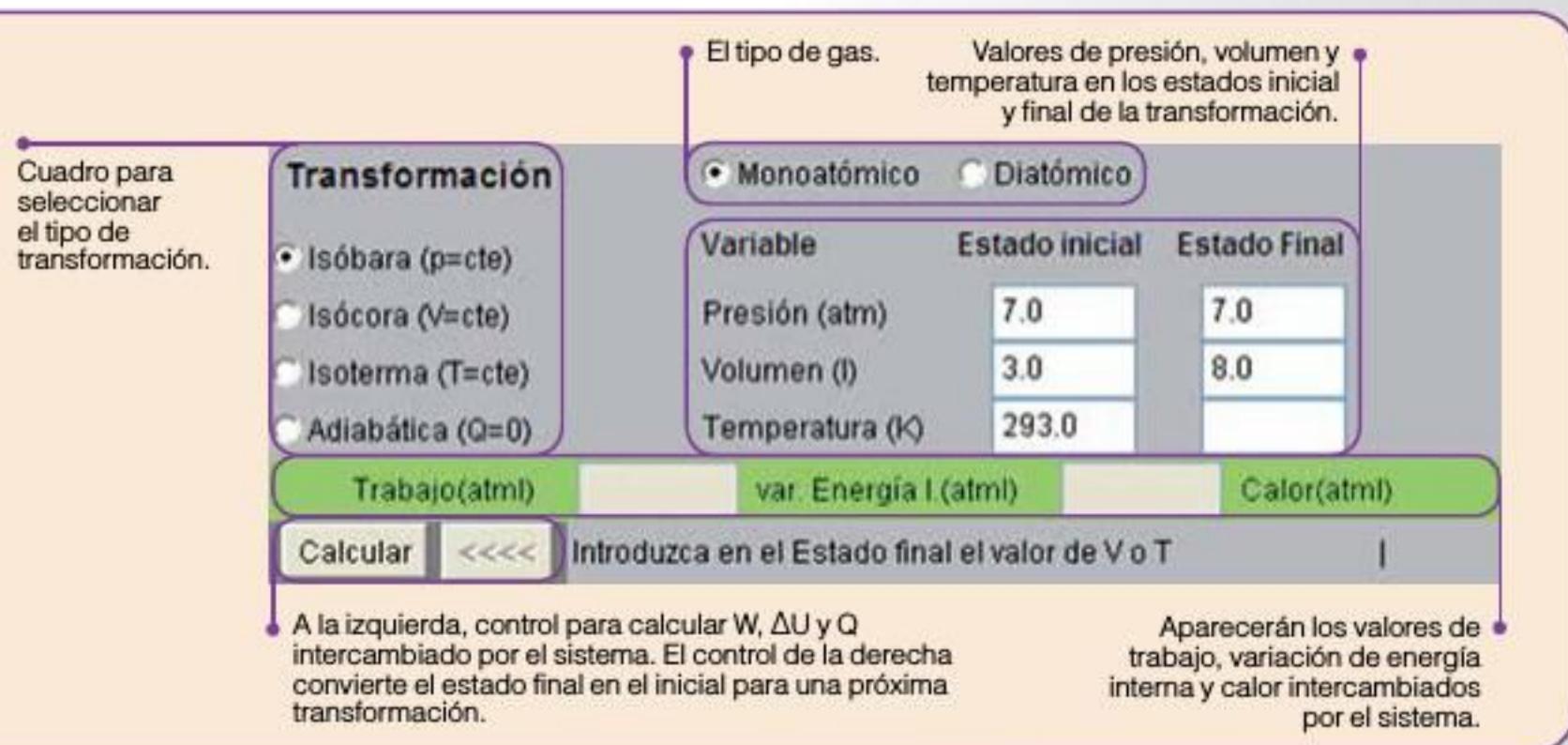
En las siguientes actividades se utilizará un simulador para la representación de las transformaciones de un gas ideal, en un gráfico presión-volumen.

Un **simulador** es un programa de computadora que permite variar los valores de algunos parámetros y observar cómo se modifican otros a partir de esos cambios. No se trata de una situación real, sino de una representación de un fenómeno físico.

El simulador que usaremos se encuentra en la página "Física con ordenador" de Ángel Franco García y se puede encontrar en: www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/estadistica.htm

Una vez que hayan entrado en dicha página, hagan clic sucesivamente en: Termodinámica, Transformaciones termodinámicas y Cálculo del trabajo, calor y variación de energía interna de una transformación.

Luego bajen en la página hasta hallar la siguiente figura.



Pantalla del simulador de transformaciones de gases ideales.

Cuando comienza la simulación, además de la representación en el gráfico presión-volumen, se observa un cilindro, con un pistón móvil que está en contacto con un foco de calor, que contiene un gas. El movimiento del pistón indica si el gas se expande o se comprime, y una flecha de color amarillo indica cuando el sistema absorbe calor del foco, o bien, lo cede a este.

A medida que se recorre la sucesión de estados de equilibrio, entre el estado inicial y el estado final del sistema, puede verse cómo se mueve el pistón, cómo el sistema produce trabajo y cómo cambia su energía interna.

Cómo utilizar la simulación

Para resolver la siguiente actividad, primero deben responder las preguntas, justificando sus respuestas a partir del Primer Principio de la Termodinámica. Luego, utilizarán el simulador para verificar el acierto o no de las respuestas que elaboraron. En caso de que las respuestas no coincidan, se analizarán las justificaciones dadas para determinar cuál fue el razonamiento utilizado que no resultó adecuado.

1. Transformación del estado A al estado B

Determinen el estado inicial (estado A) de un sistema constituido por un gas monoatómico fijando los valores de presión, temperatura y volumen. El gas realiza una transformación a presión constante desde un volumen v_A hasta un volumen v_B .

- Representen dicha transformación en un gráfico presión-volumen.
- ¿Cómo varían la temperatura y el volumen del gas?
- ¿El gas absorbe calor o lo cede? ¿Qué trabajo realiza?
- ¿Aumenta la energía interna o disminuye?
- Para utilizar la simulación, fijen un valor de v_B diferente de v_A y presionen CALCULAR. Confeccionen una tabla que informe los valores de presión (en atm), de volumen (en l) y de temperatura del gas (en K) dados por el programa en los estados A, B, C y D.
- ¿Qué relación hay entre los tamaños de las barras representadas en la esquina superior derecha? ¿Qué significa físicamente?
- Describan una situación real en la que un gas evolucione de esta manera.

2. Transformación del estado B al estado C

A partir del estado final del sistema en la evolución anterior (estado B), el gas realiza una transformación adiabática hasta que alcanza la temperatura $T_A = T_C$ (estado C).

- Completen el gráfico presión-volumen que realizaron con la variación de la presión del gas en esta nueva transformación.
- Considerando que la transformación corresponde a un gas encerrado en un cilindro, describan cómo varían la presión y el volumen del gas.
- ¿El gas absorbe calor o lo cede? ¿Qué trabajo realiza?
- ¿Aumenta la energía interna o disminuye?
- Para utilizar la simulación, presionen <<<< y luego indiquen el tipo de transformación que quieren realizar. Fijen los valores necesarios y completen la tabla con los valores dados por el programa para presión, volumen y temperatura.
- Describan una situación real en la que un gas evolucione de esta manera.

3. Transformación del estado C al estado D

A partir del estado alcanzado en la transformación anterior (estado C), el gas realiza una transformación isotérmica hasta alcanzar el volumen del estado inicial, v_A (estado D).

- Representen, en el gráfico presión-volumen que ya realizaron, cómo varía la presión del gas en esta nueva transformación.
- Considerando que la transformación corresponde a un gas encerrado en un cilindro, describan cómo varían la presión y el volumen del gas.
- Comparen los valores de presión, volumen y temperatura inicial (estado A) con los del estado final de esta transformación (estado D). ¿Qué significa físicamente?
- ¿El gas absorbe calor o lo cede? ¿Qué trabajo realiza?
- ¿Aumenta la energía interna o disminuye?
- Describan una situación real en la que un gas evolucione de esta manera.

4. Transformación en el ciclo completo

Considerando las tres transformaciones sucesivas realizadas por el gas, es decir, considerando el ciclo completo, respondan las siguientes preguntas.

- ¿El gas absorbe calor o lo cede? ¿Qué trabajo realiza?
- ¿La energía interna aumenta o disminuye?

Ciencia y lenguaje

"Habla para que yo te conozca".
Sócrates (470 a.C., 399 a.C.). Filósofo griego.

En el acto comunicativo se ponen "en común" las ideas que se acuerdan a partir del **lenguaje**, que aporta significado a los pensamientos sobre los hechos de la realidad. Las ciencias utilizan un lenguaje propio con características que se distinguen del lenguaje cotidiano, lo que permite el acto comunicativo en el contexto científico.

En las clases de Física, es necesario hablar y escribir con un **lenguaje científico escolar**, que se construirá a partir de la palabra de todos sus integrantes, quienes describen, explican, justifican y argumentan sobre situaciones en el contexto escolar.

Las descripciones

Describir significa producir enunciados que establezcan cualidades, propiedades y características de objetos, hechos, fenómenos y procesos. No implica simplemente observar, sino desarrollar otros mecanismos cognitivos más complejos como:

- ▶ identificar el objeto que se quiere describir,
- ▶ establecer semejanzas y diferencias con objetos o hechos de la misma categoría,
- ▶ caracterizar las propiedades esenciales de lo observado.

Las descripciones pueden ser simples o complejas, concretas o abstractas, presenciales o no presenciales, pero si son correctas, deben permitirle al receptor una adecuada representación de lo que se desea comunicar.

En una descripción podemos encontrar respuestas a las preguntas: ¿cómo es?, ¿cómo está formado?, ¿para qué se utiliza?, ¿a qué se parece?, ¿qué se percibe?

Las explicaciones

Explicar significa aportar información sobre un problema, las causas de un fenómeno o de un hecho, tratando de dar una visión objetiva vinculada a la concepción científica y estableciendo relaciones causales.

Se pueden formular explicaciones acudiendo al conocimiento cotidiano, pero una explicación científica requiere que las nuevas ideas se articulen con las ya conocidas y se vinculen con los **modelos teóricos** científicos.

Se dan explicaciones en conferencias, libros, charlas de expertos, y también en las clases al responder preguntas como: ¿por qué ocurre esto?, ¿cómo sucede esto?



1. Lean el siguiente texto y analicen si se responden algunos de los cuestionamientos anteriores.
"La turbina de vapor funcionaba de la misma manera que el molino de viento. El vapor a alta presión choca contra las paletas de la turbina y las hace girar, de la misma manera que el viento sopla sobre las aspas del molino de viento. La turbina contiene un sistema de hélices fijas unidas a la pared interior, que dirige el vapor hacia las cuchillas giratorias.

A medida que el vapor se expande, impulsa las hélices, al tiempo que desciende la presión y la temperatura. La turbina posee tres sectores con juegos separados de rejillas que funcionan a alta, media y baja presión de vapor. De esta manera, la mayor cantidad de energía térmica se transforma en fuerza motriz". De *Cómo funcionan las cosas*, de David Macaulay.

2. Señalen los verbos e indiquen en qué tiempo se conjugan.

3. Discutan si el texto presenta adjetivos calificativos, conectores aditivos, datos temporales, espaciales, ejemplos.

Actividades finales

1. Una barra metálica se coloca al fuego durante un minuto. En ese lapso recibe 10.000 J en forma de calor, cede 2.500 J al aire que la rodea como radiación, y realiza un trabajo de 500 J al dilatarse. ¿Cuánto vale la variación de su energía interna en este proceso?
2. Se llena una botella con agua de la canilla, se la cierra con un corcho y se la coloca en un *freezer*. Al cabo de un tiempo, se observa que el agua se congeló y desplazó el corcho.
 - a. Tomando como sistema a la masa de agua, indiquen qué ocurrió con el intercambio de energía mediante los mecanismos de calor y trabajo, y con su energía interna.
 - b. ¿Cómo variarían las respuestas anteriores si se tomara como sistema la botella, con el agua y el corcho?
3. Propongan una forma de elevar la temperatura de un cuerpo sin suministrarle energía en forma de calor. Justifiquenlo utilizando el Primer Principio de la Termodinámica.
4. ¿Es la siguiente afirmación coherente con el Primer Principio de la Termodinámica? "Al hacer un licuado de frutas, sin hielo, el sistema dentro del vaso de la licuadora eleva su temperatura". Justifiquen sus respuestas.
5. Al preparar una pizza, se coloca salsa de tomate y trozos de queso sobre el disco de masa y luego se la coloca en el horno. Analicen, explicando cada situación, lo que ocurre con la energía intercambiada en forma de trabajo y calor, y lo que ocurre con la variación de la energía interna durante la cocción en cada uno de los siguientes sistemas:
 - a. el horno con la pizza en su interior,
 - b. la pizza,
 - c. el queso que se funde.
6. ¿Cómo se puede explicar, desde el Primer Principio de la Termodinámica, que al frotar las manos rápidamente estas se calienten?
7. ¿Cómo se puede explicar que al comprimir un gas ideal en forma isotérmica ceda calor y no se enfrie?
8. Se toman dos clavos idénticos a una temperatura ambiente de 18 °C y se lleva su temperatura a 85 °C de la siguiente manera: a uno de ellos se lo coloca en un recipiente con agua que se calienta al fuego hasta alcanzar los 85 °C, mientras que al otro se lo martilla hasta que alcanza la misma temperatura.
 - a. ¿De qué manera intercambia energía con el medio exterior cada uno de los clavos?
 - b. ¿En cuál de los dos casos la variación de energía interna es mayor?
9. Según el diccionario de la Real Academia Española, el significado de yesca es: "Materia muy seca, comúnmente de trapo quemado, cardo u hongos secos, y preparada de suerte que cualquier chispa prenda en ella". Hace varios siglos se construían encendedores con yesca. En un modelo de estos encendedores, la yesca se colocaba en el fondo de un pequeño tubo que tenía en su parte superior un pistón (similar a un inflador). Al comprimir el aire rápidamente, bajando el émbolo, la yesca se encendía. En otro modelo de encendedor con yesca, se la encendía golpeando o frotando rápidamente dos piedras que, al formar chispas, producían fuego. Contesten a partir del Primer Principio de la Termodinámica:
 - a. ¿Por qué en el primer modelo la rápida compresión produce la ignición de la yesca?
 - b. ¿En qué consisten las chispas que se forman en el segundo modelo? ¿Cómo se puede explicar, a partir del Primer Principio de la Termodinámica que, al frotar rápidamente dos piedras, se desprendan chispas?
10. Una garrafa contiene un gas a 15 °C y se la expone a la radiación solar, la cual eleva su temperatura al entregarle 12000 J en forma de calor.
 - a. ¿Cuánto valen el trabajo y la variación de energía interna del sistema formado por el gas en este proceso?
 - b. Al ponerse el Sol, la temperatura del gas vuelve a los 15 °C. ¿Cuánto valen el trabajo, la energía intercambiada por calor y la variación de energía interna del gas en este enfriamiento?
11. Supongamos que el aire que se encuentra en el interior de un inflador de gomas de bicicleta es un sistema de gas ideal y que, tapando el orificio de salida, se comprima muy lentamente manteniendo constante su temperatura (evolución isotérmica), entregándole 1.000 J en forma de trabajo.
 - a. Calculen la energía intercambiada por el sistema con el exterior en forma de calor.
 - b. ¿La energía es absorbida o cedida al medio exterior?
12. ¿Cómo se justifica desde el Primer Principio de la Termodinámica, que el calor específico de un gas a presión constante es mayor que el de ese mismo gas a volumen constante?
13. Si un sistema constituido por un gas ideal evoluciona a volumen constante aumentando su presión, ¿qué se puede afirmar sobre los valores y signos del trabajo y el calor intercambiados por el sistema, y qué de la variación de su energía interna?
14. Si un sistema constituido por un gas ideal evoluciona a temperatura constante aumentando su presión, ¿qué se puede afirmar sobre los valores y signos del trabajo y el calor intercambiados por el sistema, y qué de la variación de su energía interna?

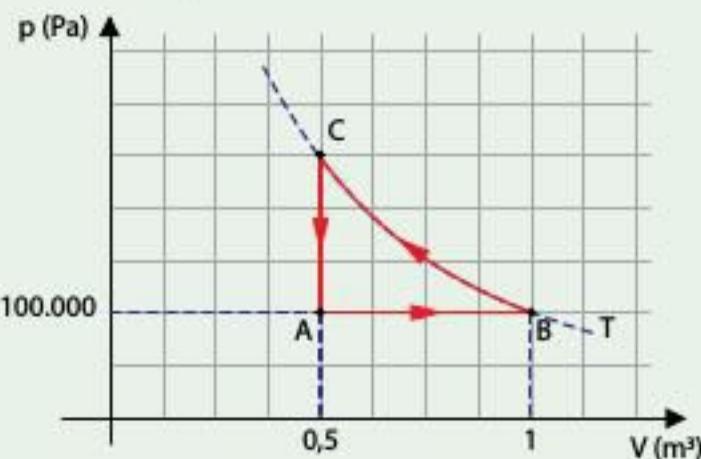
15. Un sistema constituido por una masa de gas ideal evoluciona a volumen constante desde un estado A, donde la presión es de 100.000 Pa y la temperatura es de 300 K, hasta un estado B, donde la presión es de 200.000 Pa y la temperatura es de 400 K. Durante esta evolución, el sistema absorbe 8.000 J en forma de calor. A partir del estado B, el gas se expande a una temperatura constante de 400 K hasta volver a la presión inicial de 100.000 Pa, que es el estado C.

- Tracen gráficos presión-volumen para ambas evoluciones.
- Calcúlen la variación de energía interna entre C y A.

16. En tres de las oraciones del siguiente párrafo hay errores. Encuentren dichos errores y corríjanlos para que la redacción sea coherente desde el punto de vista de la Termodinámica. "Energía interna:

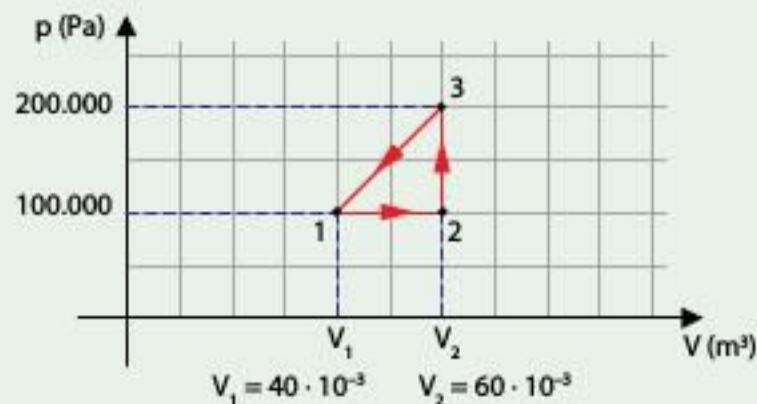
Los sistemas materiales se pueden considerar formados por gran cantidad de partículas que poseen cierta energía relacionada con sus movimientos y posiciones. La suma de todas las energías de todas las partículas que integran un sistema se denomina energía interna del sistema. La energía interna no depende del estado de cada sistema, sino de la evolución que llevó al sistema a ese estado. Se pueden analizar las variaciones de energía del sistema, al pasar de una situación o estado inicial, a otra situación o estado final. Su cálculo se puede efectuar a partir de la energía intercambiada por el sistema mediante los mecanismos de calor y trabajo. Por ejemplo, si un sistema evoluciona absorbiendo energía en forma de calor por valor de 1.000 J y realiza sobre el medio exterior un trabajo de 500 J, aumentó su energía interna en 1.500 J. Cuando el sistema está constituido por un gas ideal, la variación de energía interna solo depende de la variación de su temperatura expresada en grados Celsius".

17. Observen el gráfico. Un sistema formado por una masa de gas ideal evoluciona, a presión constante, de un estado A con presión de 100.000 Pa y volumen de $0,5 \text{ m}^3$, a un estado B, con volumen de 1 m^3 , recibiendo 80.000 J en forma de calor. Luego alcanza un estado C de forma isotérmica, y finalmente el estado A, a volumen constante.



Calcúlen las variaciones de energía interna experimentadas por el sistema en cada una de las tres evoluciones.

18. Observen el gráfico. Un sistema constituido por un gas ideal evoluciona, a presión constante, desde un estado 1, donde el volumen es $40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ y la presión es de 100.000 Pa, a un estado 2, cuyo volumen es $60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Luego evoluciona a volumen constante a un estado 3, con presión de 200.000 Pa, y cierra el ciclo mediante la evolución 3-1.



Calcúlen, a partir del gráfico, el trabajo realizado en cada una de las evoluciones y el trabajo en todo el ciclo.

19. a. Lean el texto identificando los problemas que se tratan. "[...] Ahora bien, en el mundo real, operan siempre fuerzas exteriores sobre los objetos en movimiento, y la energía cinética da la sensación de que desaparece. Una pelota que rueda por el suelo pierde velocidad y se para. Una canica bota varias veces y luego se detiene. Y los meteoritos cruzan por el aire y son detenidos por la Tierra.

¿Qué ocurre con la energía cinética en todos estos casos? Parte de ella, pero no toda, puede convertirse en trabajo. En efecto, la canica que rebota o la pelota que rueda puede que no realicen ningún trabajo y, aun así, su energía cinética desaparece. [...]

[...] El interés de Joule giraba en torno al problema de la conexión entre la energía y el calor y, seguramente, no desconocía la idea de Rumford de que el calor era una forma de movimiento. Según este, el calor consistía en el rápido movimiento de partículas diminutas de materia. De ser así, pensó Joule, la energía cinética no desaparecía para nada. El movimiento de una pelota al rodar producía rozamiento contra el suelo; el rozamiento producía calor; por consiguiente, el movimiento de la pelota al rodar se convertía lentamente en el movimiento de millones y millones de partículas: las partículas de la pelota y las del suelo sobre el que rodaba.

El calor sería entonces otra forma de energía en movimiento, pensó Joule".

De *Grandes ideas de la Ciencia*, de Isaac Asimov.

b. Señalen verbos, tiempos de conjugación, conectores causales, consecutivos o condicionales, ejemplos y analogías.

c. Elaboren un texto descriptivo y otro explicativo sobre algunos de los contenidos presentados en este capítulo.

d. Busquen ejemplos de textos descriptivos y explicativos, y discutan, en grupos, sus características.

Segundo Principio de la Termodinámica

6

Contenidos

- > Segundo Principio de la Termodinámica
- > Degradación de la energía
- > Máquinas térmicas y frigoríficas
- > Preservación de la energía. Huella ecológica



Además de sus propiedades de conservación descriptas en el Primer Principio de la Termodinámica, la energía tiene otros comportamientos que permiten comprender mejor, no solo cómo se producen muchos fenómenos naturales, sino también el avance en el desarrollo de los motores de autos, barcos, aviones y equipos de refrigeración. Los comportamientos que llevaron al enunciado del Segundo Principio de la Termodinámica explican, por ejemplo, la degradación de la energía. La energía se degrada en diversos procesos que implican su uso, lo que significa que su calidad se vuelve menos eficiente. Por ejemplo, cuando parte de la energía química que tiene la nafta de un auto calienta los gases que salen por el caño de escape, la energía de estos es menos útil que la misma cantidad en la nafta. El proceso es parecido al que ocurre con el agua de la canilla cuando la usamos para lavarnos las manos. Antes de lavarnos, era útil para beber, después sigue siendo la misma cantidad que antes, pero ya no es tan apta para el consumo directo.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC6



EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudia el Segundo Principio de la Termodinámica. Se analiza la degradación de la energía y la entropía en un sistema. También se reflexiona sobre el desarrollo sustentable de la energía.

Los procesos que no ocurren

Aunque parezca insólito, vamos a analizar tres ejemplos de procesos que podrían ocurrir y no ocurren.

1. Supongamos que sobre una mesa hay un almohadón que tiene, respecto del piso, una energía potencial de 10 J. Se cae, y esos 10 J se reparten en energía interna del propio almohadón, del piso y del aire que los rodeaba en el momento del choque. Aunque, seguramente, de forma imperceptible los tres se habrán calentado algo y el almohadón se habrá deformado.

Ahora pensemos el proceso al revés: el almohadón en el piso, el propio piso y el aire se enfrián un poco y le suministran 10 J al almohadón que salta arriba de la mesa donde su energía potencial es de 10 J. Este proceso cumpliría con el Principio de Conservación de la Energía, pero no ocurre.

Si nos mostraran una película de la caída y luego, sin decir nada, la pasaran al revés, nos daríamos cuenta de que el almohadón no sube solo, aunque ese suceso cumpla con la conservación de la energía. Hará falta otro principio para explicar en qué sentido ocurren las cosas.

2. Ponemos agua de la canilla en un termo, por ejemplo a 20 °C y le colocamos un cubito de hielo. Al rato el agua está más fría, por ejemplo a 15 °C y parte del cubito se derritió. Supongamos que el agua líquida le entregó 200 cal al cubito en este proceso.

¿Puede ocurrir el proceso inverso? Es decir, el agua líquida que formaba el cubito entrega 200 cal y vuelve a su estado inicial mientras que el agua se calienta, debido al calor que le entregó el cubito, desde los 15 °C a 20 °C. Esto no ocurre, pero si ocurriera, no estaría violando el Principio de Conservación de la Energía.

3. Cuando un cuerpo como una masa de agua, entrega energía en forma de calor, disminuye su temperatura. Si la masa es muy grande, una pequeña cantidad de energía entregada no modifica significativamente la temperatura. Por ejemplo, si un barco o aun muchos, tomaran energía en forma de calor del mar, no deberían provocar una modificación apreciable en una masa de agua tan grande, como es toda el agua de ese mar. Extraer energía del mar para impulsar el motor de un barco implica no gastar en combustible. Los autos y los camiones podrían sacar su energía del "mar de aire" donde estamos sumergidos. ¿Por qué nadie lo propuso?

En realidad, hubo inventores en otras épocas que idearon cosas parecidas, llamados móviles perpetuos, pero todos fracasaron. La energía no funciona así. Aunque se conserve no es posible hacer trabajar un motor sacando calor solo del agua, del aire o de cualquier fuente única de energía. Nuevamente aparece la necesidad de un nuevo principio que explique estas cosas.



Si el auto pudiese tomar energía solo de la atmósfera, se habrían desarrollado motores que no requirieran combustible.

Los ejemplos anteriores demuestran algunas de las limitaciones que se manifiestan en la naturaleza en cuanto a la conservación de la energía. Es decir que el Primer Principio de la Termodinámica no basta para explicar ciertos procesos. Si bien es cierto que, en un sistema aislado, la energía se conserva, dentro de ese sistema los pasajes de energía entre sus partes no ocurren en cualquier sentido.

En algunos casos, partes de un sistema evolucionan espontáneamente en algún sentido, pero si lo que se desea es que se haga en sentido opuesto, hay que aportar energía desde afuera. Eso es lo que ocurre con las transferencias de energía en forma de calor, que se da espontáneamente desde los cuerpos de mayor temperatura a los más fríos, pero no lo hace al revés. Si se coloca una taza de café a 50 °C sobre una mesa, un día de 20 °C de temperatura, después de un tiempo, el café también estará a 20 °C, al haber pasado energía en forma de calor espontáneamente desde el café a la atmósfera.

Cuando se coloca un alimento que está a temperatura ambiente dentro de una heladera que tiene en su interior una temperatura de 5 °C, el alimento le entrega energía en forma de calor al aire interior de la heladera. Para que esta mantenga su temperatura de 5 °C, habrá que extraer calor desde su interior hacia el exterior, que tiene una temperatura mayor. Ese proceso no es espontáneo. Si el motor de la heladera no agrega energía, no se producirá el proceso, la heladera no enfriará y la temperatura de su interior llegará a ser igual a la temperatura ambiente.

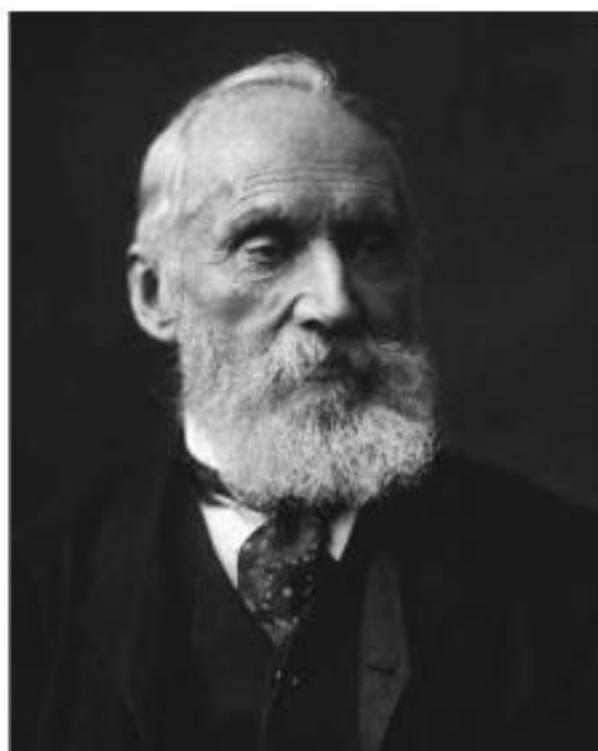
Otra de las limitaciones en el uso de la energía se fue detectando desde la construcción de las primeras máquinas de vapor. Para que funcionaran, es decir, para que pudieran extraer energía mecánica, debían funcionar entre dos temperaturas diferentes, por ejemplo, la de la caldera y la de la atmósfera.

Ya en 1824, un brillante ingeniero francés, Sadi Carnot, que adhería a la teoría del calórico, es decir que pensaba al calor no como una forma de transferencia de energía, sino como un fluido que pasaba desde los cuerpos más calientes a los más fríos, escribió:

"Dondequier que exista una diferencia de temperatura, dondequier que pueda restablecerse el equilibrio del calórico, puede producirse también potencia motriz".

La Física comenzó a buscar un fundamento teórico a estas situaciones y, finalmente, estableció que la explicación de los procesos termodinámicos requería dos principios y no uno solo.

A mediados del siglo xix, surgieron las dos formas de enunciar este Segundo Principio de la Termodinámica. Una de ellas fue propuesta, en 1851, por el británico William Thompson (1824-1907), también llamado Lord Kelvin, y la otra la propuso, en 1854, el físico alemán Rudolf Clausius (1822-1888).



Lord Kelvin (izquierda) y Rudolf Clausius (derecha) enunciaron el Segundo Principio de la Termodinámica.

Lord Kelvin y Rudolf Clausius

Rudolf Clausius enunció el Segundo Principio de la Termodinámica en su trabajo "Sobre la fuerza motriz del calor", que fue presentado a la Academia de Ciencias de Berlín cuando contaba solo 26 años.

Clausius fue un brillante físico teórico. Como dato curioso, fue voluntario en la Guerra Franco prusiana en el servicio sanitario y resultó condecorado por los dos gobiernos que estaban enfrentados.

William Thompson fue un físico escocés, profesor desde los 22 años y durante más de 50 años en la Universidad de Glasgow. Propuso otro enunciado equivalente y distinto del Segundo Principio de la Termodinámica. Al serle otorgado el título de Lord, eligió el nombre de Kelvin, que es un pequeño río que pasa por la universidad.

Además de sus trabajos en Termodinámica que incluyen la propuesta de la escala absoluta de temperaturas, diseño instrumentos de medición eléctrica y desarrolló sistemas prácticos para la navegación y las comunicaciones.

Transformación de trabajo en calor

El enunciado de Kelvin del Segundo Principio indica claramente que no es posible convertir, como único efecto, calor en trabajo útil. En cambio, es posible hacer lo contrario. Por ejemplo, si empujamos una pelota, después de recorrer cierto trecho sobre el piso, se detiene. Durante el recorrido, su energía cinética se fue convirtiendo en el calor producido por el trabajo de las fuerzas de rozamiento.

Segundo Principio de la Termodinámica: enunciado de Kelvin

Lord Kelvin enunció el Segundo Principio de la Termodinámica de la siguiente manera:

"No existe ningún proceso cuyo único efecto sea la extracción de calor de una fuente a temperatura constante y su transformación íntegramente en trabajo".

Para su mejor comprensión, caben algunas aclaraciones. Una **fuente térmica** es un sistema que mantiene su temperatura aun intercambiando calor. Esto no solo ocurre con sistemas de mucha masa, como la atmósfera o el mar, sino que también, por ejemplo, una caldera en funcionamiento puede entrar dentro de esta definición.

Este enunciado del Segundo Principio nos dice que sin importar de qué fuente se trate, no es posible, por ejemplo, extraer de ella 1.000 J en forma de calor y obtener, como único resultado, 1.000 J de trabajo útil. Necesariamente, parte de esos 1.000 J se transferirán a otra fuente o a otras que se encuentren a temperaturas menores que la primera.

En la siguiente figura, que tomamos de la página 28 del capítulo 2, se observa el aprovechamiento de energía por parte de un auto. La cámara de combustión del motor funciona como una fuente a una temperatura elevada y la energía no utilizada en mover el auto termina en la atmósfera que está a una temperatura menor. Aun si la tecnología del auto se perfeccionara para mejorar su aprovechamiento energético, no existe ninguna posibilidad de convertir el 100% de la energía proveniente de la combustión en energía cinética del auto. Este hecho no proviene de la imposibilidad de mejorar tecnológicamente el auto, ya que aun un supuesto auto perfecto, cuyo aprovechamiento energético fuese el mejor que se pudiera lograr, debería entregar a la atmósfera parte de la energía proveniente de la combustión.



Aunque se mejore el rendimiento del motor, siempre una parte de la energía se transferirá a la atmósfera.

■ Energía cinética e interna de los gases desechos de la combustión.

■ Energía interna del ambiente.

■ Energía interna del auto.

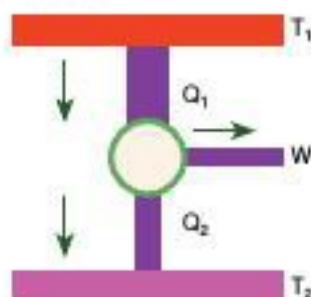
■ Movimiento del auto.

Toda máquina térmica requiere, para su funcionamiento, por lo menos dos fuentes térmicas. Extrae calor de la de mayor temperatura, utiliza parte de esa energía para realizar algún trabajo y, necesariamente, transmite el resto a una fuente térmica de menor temperatura.

Hasta acá hemos descripto las máquinas térmicas como sistemas que, para decirlo sintéticamente, transforman calor en trabajo. Para hacerlo, funcionan según ciclos, es decir que después de varias etapas el sistema recomienza desde el mismo estado. Tanto en las antiguas máquinas de vapor como en los modernos motores de combustión interna, el vapor o los gases realizan varias evoluciones que concluyen en un ciclo, para recomenzar. En cada ciclo, el sistema entrega trabajo al exterior e intercambia calor con, por lo menos, dos fuentes de temperaturas diferentes.

Máquinas térmicas

En la siguiente figura se presenta un esquema que representa sintéticamente una máquina térmica. El rectángulo superior, de temperatura T_1 , indica la fuente de mayor temperatura, mientras que el inferior, de temperatura T_2 , la de menor temperatura. El círculo intermedio representa la máquina térmica, y los flujos de energía por cada ciclo se indican con flechas: Q_1 es el calor extraído de la fuente caliente, Q_2 es el calor cedido a la fuente fría y W es el trabajo entregado al exterior.



En cada ciclo, el sistema absorbe energía de la fuente a mayor temperatura, realiza trabajo y cede energía a la fuente a menor temperatura.

Según estudiamos, en un ciclo, la variación de energía interna vale cero, ya que depende de los estados inicial y final de la evolución, y como estos dos estados coinciden en un ciclo completo, esa variación es cero. Aplicando la expresión del Primer Principio de la Termodinámica a un ciclo de una máquina térmica, queda lo siguiente.

La expresión del Primer Principio:

$$Q - W = \Delta U$$

donde Q es el calor intercambiado, en este caso $Q = Q_1 - Q_2$, y W es el trabajo entregado al medio exterior por la máquina.

$\Delta U = 0$, según se indicó, luego:

$$(Q_1 - Q_2) - W = 0$$

$$Q_1 - Q_2 = W$$

Por ejemplo, una máquina térmica que tome 10.000 J de una fuente que esté a mayor temperatura y entregue 4.000 J a otra fuente más fría, realizará un trabajo de 6.000 J por ciclo.

Evidentemente, una máquina que tome los 10.000 J de la fuente caliente y realice un trabajo de 8.000 J por ciclo, rendirá más que la anterior.

Para comparar esta propiedad de las máquinas térmicas, se define un coeficiente llamado **rendimiento** de la máquina térmica. Este coeficiente compara el trabajo entregado por cada ciclo con la energía que la máquina absorbe y se indica con la letra griega η .

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Por ejemplo, la máquina térmica del primero de los dos ejemplos anteriores tiene un rendimiento de:

$$\eta_1 = \frac{6.000 \text{ J}}{10.000 \text{ J}} = 0,6$$

Muchas veces, este rendimiento se multiplica por 100 para obtener un valor porcentual. Para el ejemplo anterior, el valor será de:

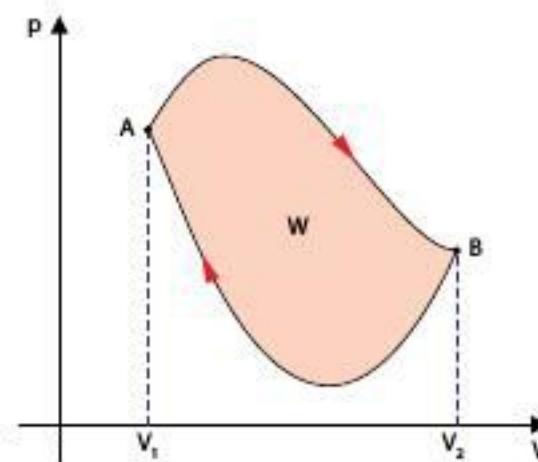
$$\eta_1 \cdot 100 = 60\%$$

Esa máquina tiene un rendimiento porcentual del 60%, es decir que convierte en trabajo el 60% de la energía que absorbe de la fuente caliente.

En cambio, la máquina del segundo ejemplo es más eficiente.

$$\eta_2 = \frac{8.000 \text{ J}}{10.000 \text{ J}} = 0,8$$

Es decir, 80% en términos porcentuales.



Las máquinas térmicas funcionan en forma cíclica. Un ciclo podría pensarse comenzando en el estado A, evolucionando hasta el estado B, entregando trabajo al exterior, y luego volviendo al estado A, recibiendo trabajo. El balance del trabajo por ciclo está representado por el área encerrada en el gráfico, como se vio en el capítulo anterior.

a)

1. Calculen el rendimiento de una máquina térmica que, en cada ciclo, absorbe 20.000 J de la fuente caliente y entrega 12.000 J a la fuente fría.
2. Calculen el trabajo por ciclo realizado por una máquina térmica con un rendimiento de 0,3, que entrega en cada ciclo 7.000 J a la fuente fría.

El rendimiento y el Segundo Principio

El enunciado de Kelvin del Segundo Principio de la Termodinámica indica que, necesariamente, no puede transformarse en trabajo toda la energía absorbida por una máquina; es decir que parte de ella debe ir a la fuente fría. Esto quiere decir, en términos matemáticos, que la cantidad de energía, Q_2 , cedida a la fuente fría, nunca puede ser cero. Entonces, por la expresión de la página anterior:

$$Q_1 - Q_2 = W$$

se desprende que siempre: $Q_1 > W$.

Por lo tanto, en la expresión de rendimiento:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

el numerador es siempre menor que el denominador y, por lo tanto, el cociente η es menor que 1.

Desde este punto de vista, otra forma de expresar el Segundo Principio de la Termodinámica es decir que el rendimiento de una máquina térmica es siempre menor que 1.

¿Se puede saber cuál es el rendimiento máximo que puede entregar una máquina térmica?

Carnot propuso una máquina que, en términos ideales, pusiera un límite a los rendimientos; es decir que, entre dos temperaturas, la máquina tuviera la mayor eficiencia. La máquina de Carnot proponía evoluciones reversibles, es decir, sistemas que evolucionaran en sucesivos estados de equilibrio.

Según el gráfico de la izquierda, el ciclo de Carnot se compone de 4 evoluciones. En la primera, A-B, el sistema absorbe, en forma isotérmica, el calor Q_1 de la fuente caliente; luego se expande según la evolución B-C adiabática; cede, a la fuente fría, el calor Q_2 en una evolución isotérmica C-D; y vuelve al estado A, mediante D-A, de forma adiabática.

Como se indicó, esta máquina tendría el mayor rendimiento posible entre las temperaturas T_1 y T_2 , y se calcula de la siguiente manera:

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

donde T_1 y T_2 son las temperaturas absolutas de las fuentes.

Por ejemplo, una máquina de Carnot que trabajase entre una fuente de vapor de agua, a 100 °C, y hielo en estado de fusión, a 0 °C, tendría un rendimiento que se calcula de la siguiente manera.

Primero, se pasan los grados Celsius a Kelvin, y luego se aplica la fórmula anterior:

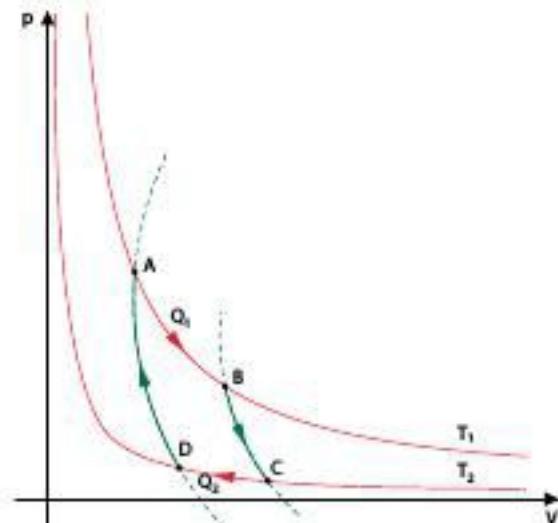
$$T_1 = (100 + 273) \text{ K} = 373 \text{ K}$$

$$T_2 = (0 + 273) \text{ K} = 273 \text{ K}$$

$$\eta_c = \frac{373 \text{ K} - 273 \text{ K}}{373 \text{ K}} = 0,268$$

Ninguna máquina real, que trabaje entre esas dos temperaturas, podría tener un rendimiento mayor que 0,268.

- 1.** Calculen el trabajo que entrega por ciclo una máquina que absorbe 10.000 J de una caldera a 327 °C, que cede calor a la atmósfera que está a 27 °C, y cuyo rendimiento es igual a la mitad del que tendría una máquina de Carnot funcionando entre esas temperaturas.



Ciclo de Carnot.



Segundo Principio de la Termodinámica: enunciado de Clausius

Según el Segundo Principio de la Termodinámica, una de las cosas que, como único efecto, no pueden ocurrir es la transformación de calor en trabajo equivalente. La otra cosa que no puede ocurrir es que el calor pase espontáneamente desde cuerpos más fríos a otros más calientes.

Supongamos que tenemos dos recipientes A y B con agua: el primero a 80 °C y el otro a 20 °C. Los conectamos mediante una varilla metálica para que pase energía en forma de calor desde un recipiente al otro. Según el Primer Principio de la Termodinámica, en un cierto tiempo, podría ocurrir que 800 J de energía pasaran desde el recipiente B hacia el A de manera tal que A quedara a 81 °C y B a 19 °C. Otra cosa que podría ocurrir sería que los 800 J pasaran desde el recipiente A hacia el B ocasionando que A esté a 79 °C y B a 21 °C. El enunciado de Clausius del Segundo Principio indica que espontáneamente va a pasar energía desde el recipiente A, de mayor temperatura, al B, más frío, y que no ocurrirá el pasaje inverso.

El enunciado que dio Clausius al Segundo Principio de la Termodinámica es:

"No puede existir un proceso cuyo único efecto sea el pasaje de una determinada cantidad de calor desde una fuente de menor temperatura a otra más caliente".

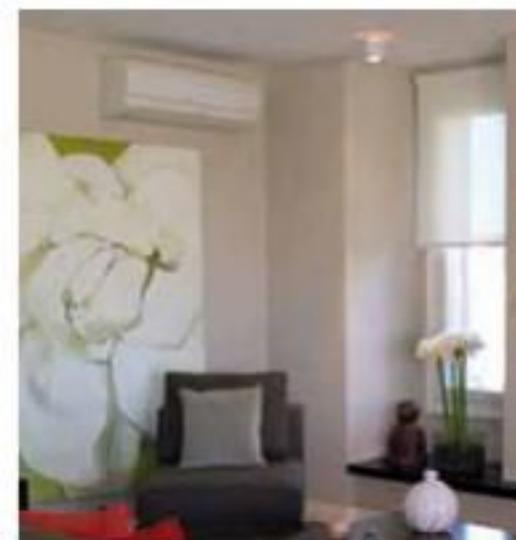
Aunque parecen bien distintos, los enunciados del Segundo Principio de la Termodinámica dados por Kelvin y Clausius resultan equivalentes.

Aunque la demostración formal de esta equivalencia excede las finalidades de este texto, podemos decir que al negar un enunciado se niega el otro. Si se admite que el enunciado de Kelvin es falso, esto significaría que sería posible transformar íntegramente el calor de una fuente en trabajo, entonces sería posible como único efecto, el pasaje de calor desde una fuente a otra de mayor temperatura, negando el enunciado de Clausius. Y, si se supone falso el enunciado de Clausius, es decir que el calor pase espontáneamente de una fuente a otra de mayor temperatura, entonces sería posible hacer trabajar una máquina con rendimiento 1, negando el enunciado de Kelvin.

Máquinas frigoríficas

Por supuesto que todos sabemos que en realidad es posible el pasaje de calor desde un cuerpo de menor temperatura a otro de mayor temperatura. Las heladeras hacen pasar calor desde su interior frío hacia la atmósfera que está a mayor temperatura. Lo mismo hacen los equipos de aire acondicionado. ¿No vale en esos casos el Segundo Principio de la Termodinámica? La clave está en las palabras "único efecto". Obviamente, el calor puede pasar de menor a mayor temperatura, pero para eso hay que gastar energía. El proceso no es espontáneo y, para hacerlo, hay que usar el motor de la heladera o el del aire acondicionado que, entregando energía, "bombean" el calor desde la menor temperatura a la mayor como una bomba impulsa líquido desde un pozo hacia la superficie. Tanto para hacer funcionar una heladera como para el funcionamiento de una bomba se debe entregar energía. Las máquinas que, mediante la entrega de trabajo, hacen pasar calor desde una fuente de menor temperatura a otra de mayor se llaman **máquinas frigoríficas**. Como en el caso de las máquinas térmicas, las frigoríficas también funcionan según ciclos. En cada ciclo extraen calor de una fuente fría, reciben trabajo del exterior y ceden calor a una fuente más caliente.

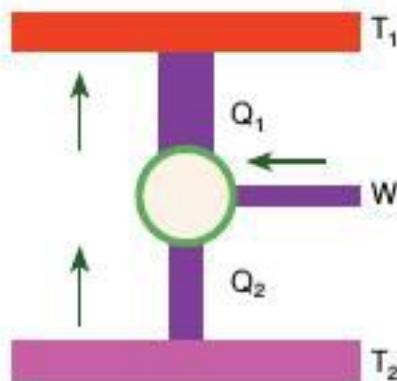
De hecho, una máquina térmica que funcione mediante un ciclo reversible, como la de Carnot descripta en la página anterior, puede convertirse en una máquina frigorífica invirtiendo el ciclo. En ese caso, en el gráfico presión-volumen que representa el ciclo de Carnot, habrá que invertir el sentido de las flechas. Esa máquina frigorífica de Carnot toma calor en la evolución isotérmica D-C de la fuente a temperatura T_2 , y cede calor a la fuente de T_1 en la evolución isotérmica B-A. El área encerrada por el ciclo es proporcional al trabajo externo ejercido.



Los equipos de aire acondicionado y las heladeras hacen pasar calor desde un ambiente hacia otro que está a mayor temperatura, pero este proceso no es espontáneo, sino que utilizan un motor que entrega energía a través de trabajo.

Eficiencia de una máquina frigorífica

La representación esquemática de una máquina frigorífica es similar a la utilizada para las máquinas térmicas. En la siguiente figura, se puede observar que solo se ha cambiado el sentido de los flujos de energía. El rectángulo superior es la fuente de temperatura más alta, T_1 , y el de la parte inferior, la de temperatura más baja, T_2 . El círculo representa la máquina frigorífica: Q_2 es el calor extraído por ciclo de la fuente más fría, Q_1 es el calor cedido a la fuente caliente y W es el trabajo recibido por la máquina.



Como dijimos anteriormente, la variación de energía interna en un ciclo es cero, por lo que el Primer Principio quedará expresado de la siguiente manera:

$$Q - W = 0$$

donde Q es el calor intercambiado por la máquina en un ciclo ($-Q_1 + Q_2$) y W es el trabajo recibido que, según la convención de signos indicada en el capítulo 5, resulta negativo. Por esa razón, la expresión anterior queda:

$$Q_2 + W = Q_1$$

En cada ciclo, entran en el sistema: el calor proveniente de la fuente fría, Q_2 ; el trabajo exterior, W ; y, como no hay variación de energía interna, su suma, Q_1 , sale a la fuente de mayor temperatura.

Por ejemplo, si una máquina frigorífica extrae 5.000 J en cada ciclo de la fuente a menor temperatura y, para ello, recibe un trabajo exterior de 3.000 J, entregará en cada ciclo a la fuente de mayor temperatura:

$$Q_1 = 5.000 \text{ J} + 3.000 \text{ J} = 8.000 \text{ J}$$

Otra máquina podría extraer por ciclo la misma cantidad de calor, pero recibe solo 2.000 J de trabajo externo para lograrlo. Esta segunda máquina sería más eficiente que la primera porque gastaría menos para hacer lo mismo.

La **eficiencia** de las máquinas frigoríficas se calcula mediante la relación por ciclo entre el calor extraído de la fuente de menor temperatura y el trabajo necesario para ello. Se indica con la letra griega ϵ .

$$\epsilon = \frac{Q_2}{W}$$

En los ejemplos anteriores:

a_N

- 1.** Una máquina frigorífica, de eficiencia 2, extrae en cada ciclo 2.000 J de la fuente fría. Calculen cuánto calor entrega por ciclo a la fuente de mayor temperatura.

$$\varepsilon_1 = \frac{5.000 \text{ J}}{3.000 \text{ J}} = 1,67 \quad \text{y} \quad \varepsilon_2 = \frac{5.000 \text{ J}}{2.000 \text{ J}} = 2,5$$

La segunda, entonces, es más eficiente que la primera.

Como se puede ver, a diferencia del rendimiento de las máquinas térmicas, la eficiencia de una máquina frigorífica puede adoptar valores mayores que 1.

Degradación de la energía y entropía

Según el enunciado de Kelvin del Segundo Principio de la Termodinámica, no toda la energía que llega en forma de calor a una máquina térmica es útil para realizar trabajo, sino que parte de ella, necesariamente, va a fuentes de menor temperatura, como la atmósfera. Esto lo escribíamos matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q_1 - Q_2 = W$$

Q_1 ingresa al sistema y Q_2 sale de él, pero ¿ambas energías tienen la misma calidad? ¿Qué es la calidad de la energía?

Si Q_1 es la energía que entrega la nafta al producirse la combustión en el motor de un auto y Q_2 es la energía disipada en forma de calor por el radiador, por las partes metálicas que se calientan y por el caño de escape, ¿hay diferencias entre ambas energías, además de su valor? La respuesta es sí, ya que la energía que se va a la atmósfera es menos útil. En realidad, no es fácil utilizarla nuevamente, ya que perdió calidad, lo cual, en Termodinámica, se suele expresar diciendo que la energía se ha degradado.

Una buena parte del llamado problema energético pasa por la degradación. Desde el punto de vista eléctrico, la energía entra en una casa en forma bastante ordenada y evidentemente útil. Al utilizar los aparatos domésticos, se transforma en radiación y calor en los aparatos de iluminación, y en radiación, calor y sonido en un televisor, etcétera. En todas esas transformaciones, no se perdió nada de energía pero se degradó. Por ejemplo, no podemos usar la energía que disipa una lamparita para encender otra.

Otro aspecto relacionado con lo que le ocurre a la energía en diversos procesos tiene que ver con el sentido en que ocurren las cosas. Si un chico hace una pila de cubos de madera y esta se cae, la energía potencial que tenían los cubos se transformó en energía interna de estos, del piso y del aire. Si esa energía volviese a los cubos y estos "rearmaran" la torre, entonces se habría cumplido la conservación de la energía, sin embargo, sabemos que esto no puede ocurrir. La energía pasó de un sistema más ordenado, la torre, a uno más desordenado y se degradó. El sentido en el que ocurren las cosas, en términos energéticos, es desde el orden hacia el desorden, hacia situaciones en donde la energía se degrada.

Primero Clausius, en 1865, y luego Ludwig Boltzmann, en 1878, desarrollaron una función matemática cuya variación indica el sentido en el que suceden espontáneamente los procesos energéticos. La función se llama **entropía**. Las cosas ocurren de tal manera que esta función aumenta siempre en la evolución de un sistema aislado. La entropía está ligada al orden, y su aumento, al desorden: espontáneamente, los sistemas tienden a desordenarse, no a ordenarse.

Desde este punto de vista, el Segundo Principio de la Termodinámica podría expresarse diciendo que la entropía de todo sistema aislado aumenta en todo proceso real.

Como el universo es un sistema cerrado que incluye todo lo que existe, también se suele expresar este Principio diciendo que en cualquier proceso aumenta la entropía del universo.

La entropía es una función de estado, es decir que se puede calcular su variación a partir de los estados inicial y final de un sistema, independientemente de cómo evolucionó. Su cálculo es, por lo general, matemáticamente complicado, pero se puede simplificar para aquellas evoluciones que se realizan a temperatura constante.

La variación de entropía se indica como ΔS y su cálculo se hace de la siguiente manera, para esos casos:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

donde Q es el calor intercambiado y T es la temperatura absoluta.

La variación de entropía se mide en J/K o en cal/K.

Un cálculo de la variación de entropía

Se puede calcular la variación de entropía de un cubito de hielo que desde su estado inicial a 0 °C se funde y se convierte en agua líquida a la misma temperatura. Como se ha visto, en el cambio de estado, vale que $Q = m \cdot l_f$, donde m es la masa, en este caso supongamos de 10 g, y l_f es el calor latente de fusión del hielo, que vale 80 cal/g. Es decir que:

$$\Delta S = \frac{10 \text{ g} \cdot 80 \text{ cal/g}}{273 \text{ K}} = 2,93 \text{ cal/K}$$

La entropía aumentó en ese valor. El agua líquida es un sistema más desordenado que el agua en estado sólido.

Motores de combustión interna

Las máquinas térmicas más comunes son los motores que impulsan los autos y los camiones. En estos casos, el sistema que evoluciona es una mezcla de combustible y aire que, en una primera aproximación, podríamos analizar como si se comportara como un gas.

Motores nafteros: ciclo Otto

Desde el punto de vista termodinámico, el motor más común en los autos funciona según un ciclo denominado **ciclo Otto** de cuatro tiempos. Los motores cuentan con varios cilindros, generalmente cuatro o seis, y, en cada uno de ellos se produce el ciclo.

En el primer dibujo del esquema de la izquierda, se puede observar un cilindro y las partes fundamentales del motor: el pistón, que sube y baja por el cilindro; la cámara de combustión, donde se produce el ciclo termodinámico; las válvulas para la entrada y la salida de la mezcla; la biela unida al pistón, que transmite mecánicamente el movimiento a una pieza llamada cigüeñal, al que van unidas las bielas de todos los pistones y, al hacerlo girar, entrega energía al sistema de transmisión; y las bujías que, mediante un pulso eléctrico, generan una chispa que produce la combustión de la mezcla. También se observa la entrada de la mezcla al cilindro a través de la válvula de admisión y, como se ve en el gráfico de abajo, lo hace prácticamente a presión constante.

Una vez que la mezcla está en el interior, las válvulas se cierran y el pistón produce su rápida compresión. Esa rapidez permite suponer la evolución como adiabática, ya que no tuvo tiempo de intercambiar calor con el exterior. Este es el primer tiempo del ciclo.

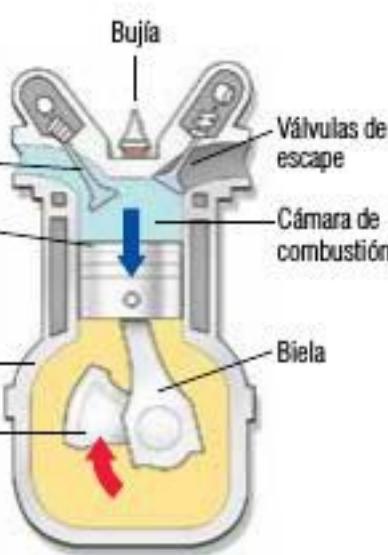
En el segundo dibujo del esquema, se observa que la bujía produce una chispa y se genera la combustión, que eleva la temperatura sin modificar el volumen. Este es el segundo tiempo del ciclo.

Debido a la explosión, el pistón se desplaza rápidamente, entregando trabajo al cigüeñal a través de la biela, como se observa en el tercer dibujo. Nuevamente, esta rapidez hace que esta evolución sea adiabática, con lo que se completa el tercer tiempo del ciclo.

Por último, en el cuarto tiempo, en el cual el sistema entrega calor a volumen constante, se enfriá y luego abre la válvula de escape, expulsando la mezcla a presión constante, como se ve en el último dibujo del esquema.

El movimiento sincronizado de todos los pistones, coordinado además con el sistema eléctrico para que la chispa de la bujía se produzca en el momento justo, hace girar el cigüeñal a varios miles de revoluciones por minuto entregando, de esa manera, potencia a las partes mecánicas que impulsan al vehículo.

La aproximación realizada en el gráfico, que trata al ciclo como si fuera realizado por un gas ideal, tiene su fundamento en que la mezcla que ingresa a la cámara de combustión del cilindro está formada, aproximadamente, en masa, por 14 partes de aire por cada parte de combustible. Además, en el inyector, que es el dispositivo donde se forma la mezcla, el combustible líquido se pulveriza en muy pequeñas gotas. Además, es cada vez más común reemplazar el combustible líquido por gas natural comprimido (GNC).



Esquema del ciclo Otto.

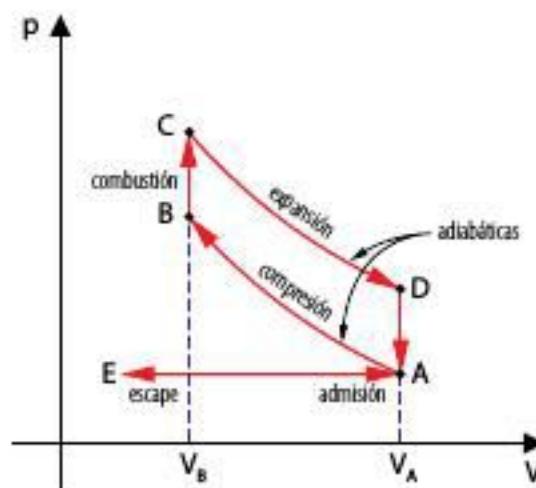


Gráfico presión-volumen de un ciclo Otto, que aproxima el comportamiento de la mezcla de nafta y aire al de un gas ideal.

Motores gasoleros: ciclo diésel

Muchos autos, la mayor parte de los camiones y otros vehículos, como algunas locomotoras y la maquinaria rural, utilizan como combustible gasoil en lugar de nafta, ya que sus motores siguen el **ciclo diésel**. La elección de un vehículo impulsado por un motor diésel puede deberse a varias razones técnicas pero, fundamentalmente, influyen dos hechos: estos motores llegan a un rendimiento del orden del 40%, mientras que los del ciclo Otto tienen rendimientos de entre 25% y 30%; además, en nuestro país, el gasoil es más barato que la nafta.

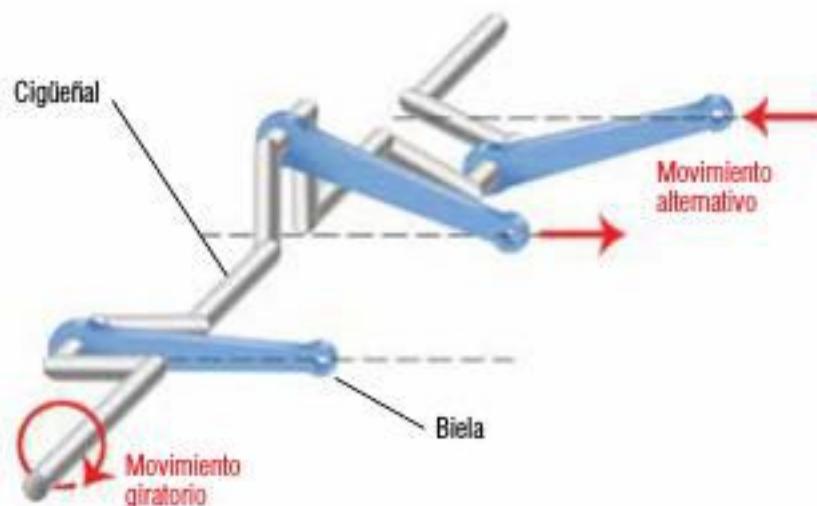
En el esquema de la derecha se muestran los cuatro tiempos de este ciclo.

El primer tiempo es la admisión, que se observa en el primer dibujo. Al bajar el pistón, la mezcla de combustible y aire formada en los inyectores ingresa por la válvula de admisión.

El segundo tiempo es la compresión y se observa en el segundo dibujo. Se cierra la válvula de admisión y el pistón comprime rápidamente la mezcla en una evolución prácticamente adiabática, que eleva su temperatura.

En el tercer tiempo, que se llama combustión y se observa en el tercer dibujo, la mezcla llega a tal temperatura que combusión sin necesidad de una chispa, como ocurre en el ciclo Otto, por eso este tipo de motor no necesita bujías. La explosión hace descender el pistón que así entrega trabajo para mover el vehículo.

El cuarto tiempo es el escape que se observa en el cuarto dibujo. El pistón asciende, se abre la válvula de escape y la mezcla es expulsada.



El movimiento coordinado de las bielas impulsadas por los pistones produce la rotación del cigüeñal, que entrega energía para producir el movimiento del vehículo.



Motores de dos tiempos

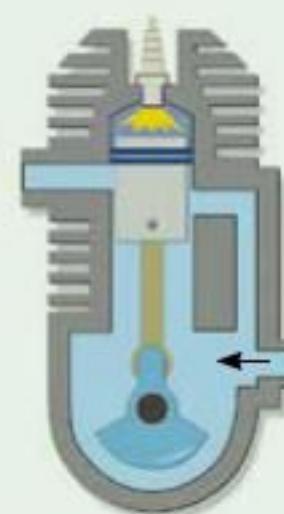
Aun sin variar los ciclos Otto o diésel, se han desarrollado los llamados motores de dos ciclos que en dos movimientos del pistón realizan las cuatro evoluciones de los ciclos citados.

En el caso del ciclo Otto, cuando el pistón comprime parte de la mezcla, simultáneamente permite la admisión en la semicámara inferior de la figura. Esta etapa se denomina admisión-compresión.

Al producirse la explosión y descender el pistón, la mezcla sale de la cámara. Esta etapa se denomina explosión-escape.

Estos motores son más simples y livianos ya que no requieren válvulas, por lo que se suelen utilizar en las motos.

La lubricación se realiza mezclando directamente el aceite con el combustible y suelen estar refrigerados por aire, en lugar de agua, como los de cuatro tiempos.



Esquema de un motor de dos tiempos.

Esquema del ciclo diésel.

Refrigeración



Los modernos *freezers* permiten mantener en buenas condiciones los alimentos por muchos meses.

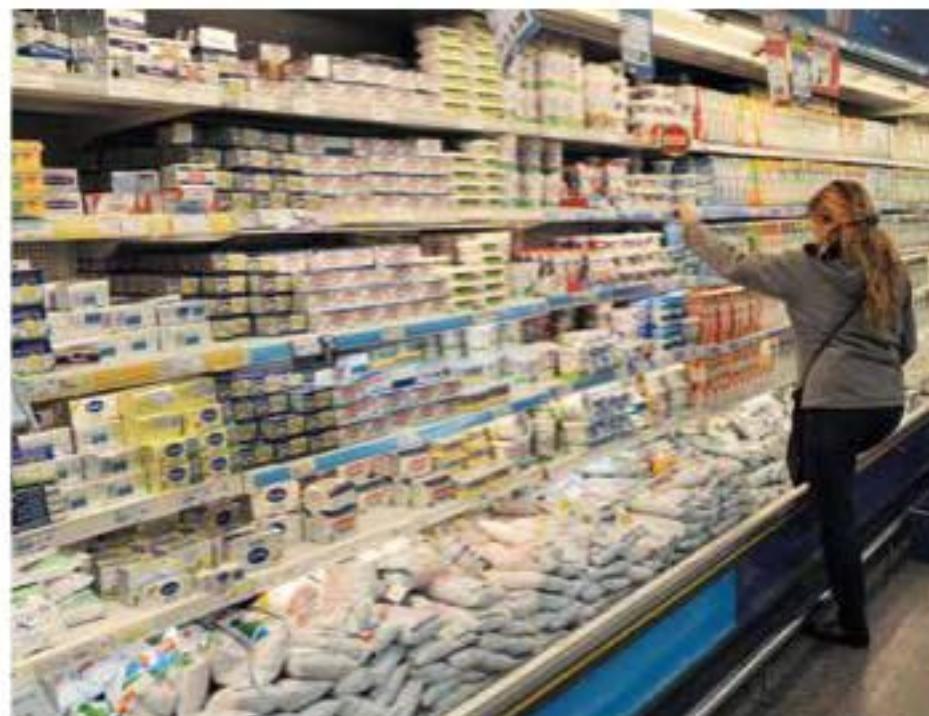
La posibilidad de refrigerar, esto es, bajar y mantener la temperatura de un ámbito, tiene obvia importancia. No solo se utiliza para preservar alimentos en una heladera o para tener mayor confort mediante el uso de un aire acondicionado. Entre muchísimos otros usos se podrían nombrar el transporte de alimentos y de medicinas, la investigación científica, las aplicaciones médicas, la refrigeración de maquinaria industrial, etcétera.

Existen registros muy antiguos que indican que en diversos pueblos se buscaron **métodos de refrigeración**. En la Antigüedad, el más común consistía en buscar nieve durante el invierno, colocarla en pozos con agua para formar hielo y aislar la parte superior. De esta manera, se conservaba para ser usado en el verano. El otro método, que aún se utiliza en las cantimploras, es mojar un recipiente y aprovechar la evaporación, ya que el agua líquida extrae calor del recipiente y enfriá su interior.

Posteriormente, en el siglo XVIII se utilizaron mezclas frigoríficas, es decir, compuestos que al evaporarse producían un mayor enfriamiento que el que producía el agua.

Hacia 1830, se agregaron mecanismos a los sistemas refrigerantes. Al producir bajas presiones, los líquidos refrigerantes se evaporaban mucho más rápido y, de esa manera, enfriaban más. Un inventor, en 1834, afirmaba que podía fabricar "un aparato o medios mediante los cuales estoy capacitado de usar fluidos volátiles con el objeto de producir el enfriamiento o la congelación de líquidos y, al mismo tiempo, condensar constantemente dicho fluido volátil para usarlo una y otra vez, sin desperdicio".

Es decir que había desarrollado un sistema cíclico que, después de producir el efecto deseado, comenzaba nuevamente. Esto es muy similar al funcionamiento de las heladeras actuales. A partir de propuestas como esa, se desarrollaron muchos ciclos frigoríficos que, en algunos casos, evolucionaban como una máquina térmica inversa (tal como la que se muestra en la página 124) y, en otros, se agrega el cambio de estado de algún líquido durante el proceso. El funcionamiento similar al de una máquina térmica inversa permite, por ejemplo, la producción de heladeras a kerosén o, más aún, de heladeras solares.



Las modernas heladeras de los supermercados permiten mantener los alimentos a temperatura adecuada aun sin estar cerradas.

La heladera de Einstein

Seguramente, el físico más famoso fue Albert Einstein. Junto con su discípulo, Leo Szilard, patentó, en 1930, una heladera que es pariente de las actuales de kerosén. No tenía partes móviles y solo requería una fuente de calor suministrada por un pequeño calentador o una resistencia eléctrica.

El desarrollo de la refrigeración en el siglo xix impactó fuertemente en la producción ganadera de nuestro país.

Hasta 1875, las exportaciones de carne de la Argentina salían con un tratamiento que consistía en salarlas. En lugar de frigoríficos, había saladeros.

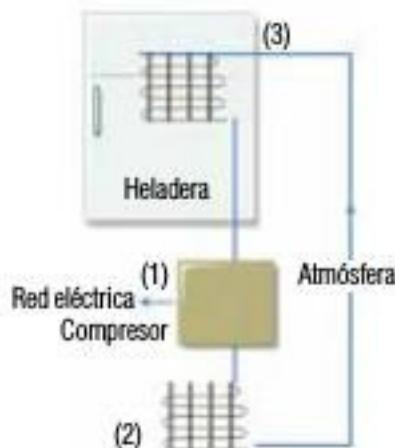
En 1876, llegó el barco de vapor *Le Frigorifique* al puerto de Buenos Aires. Este barco podía transportar a Europa carne a cero grados. Un año después, llegó el barco *Le Paraguay* cuyas cámaras se mantenían treinta grados bajo cero. A partir de entonces, los volúmenes de exportación aumentaron y se instalaron frigoríficos en el país. En su mayoría, estos frigoríficos eran ingleses y trajeron grandes discusiones políticas que culminaron con un famoso debate sobre carnes en julio de 1935 impulsado en el Senado de la Nación por Lisandro de la Torre y, durante el cual, fue asesinado en el recinto del Congreso el senador electo Enzo Bordabehere.

Cómo funciona una heladera

Las **heladeras eléctricas domésticas** funcionan mediante un circuito de gas accionado por un compresor. En reemplazo del freón que se utilizaba habitualmente, circulan por estos circuitos otros gases considerados no contaminantes. El circuito, que se muestra en el esquema de abajo, se denomina compresor (comprime el gas a alta presión y eleva su temperatura). En estas condiciones, el gas pasa por el condensador, que es la serpentina negra que se observa generalmente en la parte trasera de las heladeras. En contacto con el aire, el gas se licua y, en este cambio de estado, entrega calor al medio exterior.

El líquido continúa por un tubo muy angosto, capilar, y llega al evaporador, que es una rejilla que se encuentra dentro de la heladera. El gas líquido, al evaporarse, absorbe calor del interior de la heladera. Luego, sale al compresor y reanuda el ciclo.

Las heladeras tienen un termostato, es decir, un dispositivo que mide la temperatura interior y, según su regulación, cuando llega al valor para el que fue programado, corta el circuito eléctrico del compresor y el ciclo cesa. Cuando, por cualquier razón, la temperatura en el interior sube, el ciclo se reinicia.



Círculo del gas en una heladera doméstica.



Parte trasera de una heladera eléctrica.

El freón y la capa de ozono

Debido a sus propiedades adecuadas para el ciclo descripto y al hecho de no ser tóxico, durante varios años se utilizó un gas llamado freón en las heladeras. Este gas, en la alta atmósfera, contribuye a la destrucción de la capa de ozono.

En 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, que entró en vigencia en 1989 y a partir del cual los países firmantes se comprometieron a una disminución paulatina de los agentes que actuaban sobre la capa de ozono.

La disminución del uso de freón dio lugar al uso de otros gases en los ciclos de refrigeración.

Móviles perpetuos



Muchas de las máquinas perpetuas se basan en la idea de provocar un desequilibrio entre dos lados de una rueda. En la figura, hay más esferitas del lado izquierdo que del derecho, lo que haría girar la rueda.

La posibilidad de construir un dispositivo que se mueva en forma permanente sin gastar energía despertó el interés de los inventores desde hace, por lo menos, 1000 años.

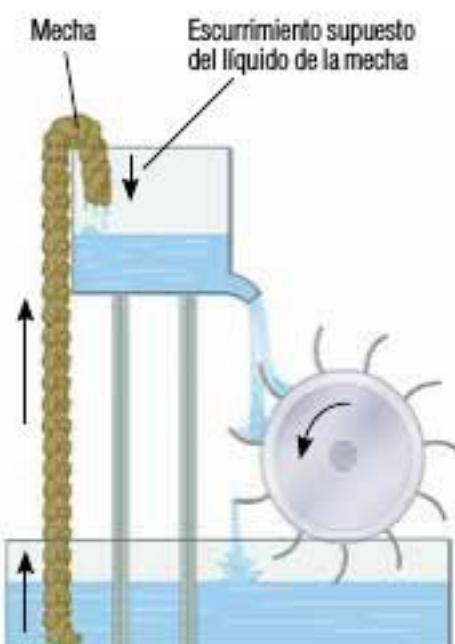
Desde hace menos tiempo, unos 200 años atrás, algunos pensaron en producir máquinas que transformaran toda la energía en trabajo útil, es decir que tuvieran un 100% de rendimiento. Por supuesto, todos fracasaron, y aunque ya a fines del siglo XVIII algunas academias de ciencias decidieron no examinar más estos supuestos mecanismos, aún hoy hay quienes siguen con la idea de construirlos.

El objetivo era construir algún sistema que funcionara de la manera descripta, en forma cíclica, como una rueda que girara siempre sin que se le entregara energía, o un motor que recibiera energía de una fuente térmica y lo hiciera funcionar permanentemente. A los primeros, que se moverían de manera permanente sin gasto energético, se los llamó **móviles perpetuos de primera especie**, y a los segundos, capaces además de entregar energía, **móviles perpetuos de segunda especie**.

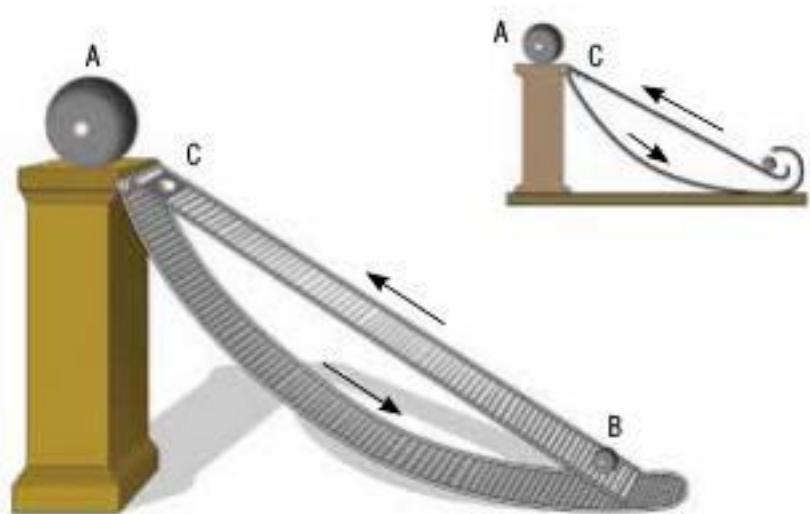
Existen relatos de propuestas de móviles de primera especie desde el año 1150 y, desde entonces y hasta el siglo XIX, se presentaron proyectos basados en sistemas mecánicos, magnéticos e hidráulicos. La clave del fracaso de todos ellos está en el no cumplimiento de los principios de la Termodinámica.

De todas maneras, muchos de estos mecanismos, aunque inaplicables, no dejan de ser ingeniosos y muchas veces es difícil encontrar sus errores.

Los proyectos de los supuestos móviles perpetuos de segunda especie son, por lo general, complicados mecanismos que a veces recuerdan los dispositivos construidos en caricaturas, como los hechos por el famoso coyote que quiere capturar al correcaminos. De todas maneras, el objetivo sería generar trabajo útil extrayendo energía de una única fuente, es decir, contradiciendo el Segundo Principio de la Termodinámica.



El agua, según esta máquina, subiría por capilaridad por la mecha y, al caer, impulsaría la rueda. Realmente el agua no subía para provocar ese efecto.



Según esta máquina magnética, la esferita B sería atraída por el imán A, pero, al llegar al agujero C, caería por la canaleta y todo comenzaría nuevamente. En la realidad, la esferita se quedaba pegada al imán.

Un aparente móvil perpetuo

Existe un adorno que consiste en un pájaro, generalmente una cigüeña, que oscila simulando que bebe agua de un recipiente. Sin entrega de energía exterior, el mecanismo se mueve casi indefinidamente lo que, aparentemente, está violando el Segundo Principio de la Termodinámica, ya que no se observan fuentes a dos temperaturas.

Dentro del muñeco hay un recipiente con éter que se evapora y se condensa al tomar el pico contacto con el agua y, de esa manera, hace que el líquido en el interior suba o baje haciéndolo oscilar.

¿Dónde están las dos temperaturas? Al evaporarse hacia el aire, el agua del recipiente disminuye levemente la temperatura en su superficie y se hace menor que la temperatura ambiente. Si la humedad exterior es del 100% y, por lo tanto, no hay evaporación, la cigüeña se detiene.



Energía y Ecología

Como vimos en el capítulo 2, el desarrollo tecnológico ha requerido un enorme aumento de la potencia necesaria para ser sostenido. Desde la aparición de las máquinas de vapor hasta nuestros días, los requerimientos energéticos no paran de crecer.

Sin embargo, sería incorrecto analizar el problema energético solo desde ese punto de vista. Los requerimientos energéticos de una persona no solo están relacionados con aspectos que provienen del uso de tecnologías, sino también de otros más básicos, como el aire, el agua, el suelo y los alimentos. Posiblemente, la forma más clara de verlo sea a través de la producción de alimentos ya que, en la actualidad, está relacionada con la energía de muchas maneras, ya sea desde la recolección de frutos silvestres y de la caza, en sociedades básicas, hasta el uso de maquinaria agrícola, sistemas mecánicos de ordeñe o los sistemas frigoríficos.

Según se estima, cada hombre de la edad de piedra requería unas 2.000 kcal diarias de energía; al comienzo de la era industrial, ese valor sería de 60.000 kcal por día; y hoy, según el grado de industrialización de cada país, el valor diario es del orden de 200.000 kcal. A este enorme incremento de la energía requerida por cada persona, hay que agregar el crecimiento demográfico que ha llevado a la población mundial a los siete mil millones de habitantes.



Muchas actividades humanas contaminan la atmósfera.

Los requerimientos energéticos por persona se han modificado enormemente.

Todos los habitantes interactúan entre sí y con la Tierra, y el estudio de esta interacción ha dado lugar a una ciencia llamada **Ecología**. El diccionario de la Real Académica Española da dos acepciones para esta palabra:

- ▶ Ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno.
- ▶ Defensa y protección de la naturaleza y del medio ambiente.

Desde este punto de vista, se deberían encarar los problemas energéticos y, como se indicaba anteriormente, los problemas del aire, el suelo y el agua también. Pero, ¿cuáles son estos problemas?

Desde la Física, hemos ido analizando lo que ocurre con la energía y con sus fuentes, tanto renovables como no renovables. Ahora hay que agregar que su uso puede, y de hecho muchas veces lo hace, producir efectos tales como contaminar el aire y el agua o producir erosión en el suelo. Las cuestiones que deben resolverse son muchas y existen estudios, convenios internacionales, leyes y recomendaciones en el sentido de la "defensa y protección de la naturaleza y el ambiente". Algunas de estas cuestiones son:

- ▶ ¿Cuáles serán los requerimientos energéticos en 20 o 30 años?
- ▶ ¿Con qué recursos se contará y cuáles serán los más adecuados?
- ▶ ¿Qué medidas hay que tomar para controlar la contaminación atmosférica y reducirla?
- ▶ ¿Cuáles son las relaciones entre el uso de la tecnología, las fuentes energéticas disponibles y la contaminación potencial en la atmósfera, en la hidrosfera y en el suelo?

Contaminación y desarrollo sustentable



El Riachuelo de Buenos Aires es un río totalmente contaminado, ya que hace más de un siglo que se vierten en él desechos de frigoríficos, curtiembres y otras industrias.

a)

1. Lean la siguiente definición de desarrollo sustentable y, luego, resuelvan las consignas.

El desarrollo sustentable es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

a. Seleccionen, entre las muchas medidas posibles, las cinco que puedan considerarse más importantes para asegurar el desarrollo sustentable en nuestro país.

b. Justifiquen, mediante un párrafo argumentativo, la selección realizada.
c. ¿Es posible el desarrollo sustentable de un país, en forma aislada del resto?

Las necesidades en el uso de la energía por parte de cada comunidad, en particular, y del planeta, en general, traen aparejadas situaciones conflictivas que se interrelacionan con las provenientes del uso de otros recursos como el agua, el aire y el suelo. Por ejemplo, en lo referente a la contaminación del agua, parte de la generación de la energía eléctrica y casi todo el transporte dependen del uso de derivados del petróleo. El petróleo debe ser transportado desde las zonas de producción hacia las plantas de procesamiento y esto se hace, según las circunstancias, mediante oleoductos y barcos especiales. Los accidentes producidos en estos medios de transporte causan verdaderos desastres, como cuando se derrama petróleo en el mar, lo que provoca grandes daños al ambiente. Otro ejemplo de contaminación del agua es el de las actividades industriales que vuelcan desechos insuficientemente tratados a los ríos y lagos. La contaminación del agua dulce es particularmente grave, ya que constituye solo el 2,8% del total de agua del planeta, y la mayor parte de ella está en los glaciares y en los casquetes polares.

En este mismo capítulo, hemos hecho referencia a dos procesos energéticos que contaminan o pueden contaminar el aire. Los motores de combustión interna de automotores, barcos y aviones, en alguna etapa, arrojan a la atmósfera gases, por ejemplo, por el caño de escape en el caso de los automotores. Una buena combustión en el motor y un adecuado uso de filtros minimizan esta emisión, pero siempre existe. En las máquinas frigoríficas, se usaba básicamente el gas freón. Al detectarse su acción sobre la capa de ozono, se fue dejando de lado a través de tratados internacionales.

Pero, ¿todas las actividades humanas atentan contra el ambiente? Leyendo algunas afirmaciones exageradas en diarios o en Internet, pareciera que la respuesta es sí. Para algunos, todo empezó cuando algún hombre primitivo encendió fuego por primera vez y "contaminó" su caverna. Por suerte, la cosa no es así: los grandes sistemas, como la atmósfera y la hidrosfera, tienen formas de regulación, es decir que admiten cierta cantidad de contaminantes que pueden procesar. Esto está limitado por la cantidad y calidad de los contaminantes y los tiempos de regulación del sistema. El hecho de que los grandes sistemas tengan la posibilidad de regularse, no quita que no deban hacerse todos los esfuerzos necesarios para no contaminar o para hacerlo lo menos posible.

Entonces, ¿qué es lo que se puede hacer para que las sociedades vivan mejor y progresen sin atentar contra el ambiente? La respuesta es el desarrollo sustentable.

El **desarrollo sustentable** es de índole económico y social, y permite hacer frente a las necesidades del presente, sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.



El petrolero *Exxon Valdez* produjo, en 1989, un importante derrame de más de 40000 m³ de petróleo en las costas de Alaska, provocando una gran contaminación. Posteriormente, cambió la legislación sobre estos buques, obligándolos a llevar doble casco para prevenir estos derrames con más seguridad.

Huella ecológica

Determinar si una sociedad está en vías de desarrollo sustentable es un proceso complejo, pues depende de muchas cosas: la cantidad de habitantes, el nivel socioeconómico, las costumbres, el tipo de alimentación, el uso de la energía, el tratamiento de los residuos, etcétera.

Se ha desarrollado un sistema que intenta medir la relación entre la interacción de una población con el medio en el que vive y la posibilidad de sustentación de este.

Este sistema se llama **huella ecológica** y, a partir del análisis de diversas variables, determina el valor de superficie terrestre necesaria para que un determinado proceso sea sustentable. Por ejemplo, determina la cantidad de hectáreas ($1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$) necesarias por habitante y por año para cubrir, a través del tiempo, las necesidades de alimentos vegetales, animales, alimento proveniente de los mares, bosques para procesar el dióxido de carbono producido, etc., y permitir su utilización continua. Para cada una de estas determinaciones, se utilizan diversos indicadores, como: el tipo de alimentación, el origen de los alimentos, el uso del transporte, el manejo de la basura, etcétera.

En particular, el análisis de lo que ocurre con las emisiones de dióxido de carbono se realiza siguiendo la llamada huella del carbono que incluye, tanto el carbono producido por los seres vivos en su respiración como el producido por la generación de energía y el transporte. En nuestro país, este valor es del orden de 6 toneladas por habitante por año.

Obviamente, el valor de esta huella, es decir, cuántas hectáreas se requieren para hacer sustentable, por ejemplo, el uso de alimentos, depende mucho de la sociedad analizada. Actualmente, el valor medio para todas las variables es del orden de 2,2 ha por habitante y por año.

Un cálculo correcto de la huella ecológica, tal como lo realizan organizaciones nacionales e internacionales, es muy complejo debido a la gran cantidad de variables involucradas.

Sin embargo, existen muchos instrumentos para analizar, en forma aproximada, esta huella. Estos instrumentos, que se pueden encontrar en Internet, tienen como finalidad generar conciencia sobre los hábitos ambientales de las personas. Por ejemplo, la famosa asociación WWF (Fundación Mundial para la Vida Silvestre) propone el siguiente cuestionario.

1. ¿Comés a menudo productos animales (carne, leche, queso, pescado)?
2. ¿Comés principalmente productos vegetales?
3. ¿Comés muchos alimentos embalados que provienen de lejos?
4. ¿Comés alimentos del mercado local?
5. ¿Viajás principalmente en auto?
6. ¿Viajás principalmente en transporte público, bicicleta o caminás?
7. ¿Hacés viajes largos en vacaciones?
8. ¿Podrías producir menos basura y reciclar?
9. ¿Reciclás el material que utilizás?
10. ¿Podrías usar menos papel?
11. ¿Utilizás muchos aparatos eléctricos y dejás las luces prendidas?
12. ¿Utilizás apliques eléctricos de bajo consumo y los apagás o desconectás?
13. ¿Podrías utilizar menos agua?
14. ¿Ahorrás agua?

Al concluir este cuestionario por Internet, la página web informa al usuario sobre la huella ecológica de su medio ambiente de distintas maneras. Por ejemplo, indicando que si todos los habitantes del mundo tuvieran esas respuestas, se requeriría una superficie equivalente a 2 planetas para una buena sustentación. En otros casos, indican que deberías ser más cuidadoso con el uso del agua o con el tratamiento de los residuos.

La huella ecológica, al suministrar un dato numérico (el número de hectáreas) sobre la sustentabilidad de un sistema, permite analizar las eventuales mejoras que se producen al aplicar políticas de preservación del ambiente.



Famosa imagen que caracteriza a la Fundación Mundial para la Vida Silvestre.



Dos campañas publicitarias para concientizar sobre la huella ecológica.



La basura recogida por camiones se transporta a complejos donde se la procesa y, eventualmente, se la recicla.

a)

1. Si bien la siguiente descripción no es real, reproduce situaciones habituales respecto de un problema de difícil solución: el tratamiento de la basura. Supongamos que en una provincia, el gobierno decide ubicar un complejo para el depósito y el tratamiento de la basura en un municipio. En la discusión, llevada a cabo por la legislatura, se evalúan diversos factores para su ubicación, consultando a especialistas. Además, la instalación implica nuevos puestos de trabajo y mayor movimiento comercial.

a. Formen grupos y debatan la conveniencia o no de la instalación del complejo. Cada grupo asumirá un rol y producirá, para el debate final, un documento que argumente sus razones. Los roles asignados a los grupos son: miembros del gobierno del municipio donde se instalaría el complejo favorables a la instalación; cámara de comerciantes del municipio; los llamados "ambientalistas"; sociedad de vecinos cercanos a la zona donde se instalaría el complejo; empresa interesada en la construcción del complejo.

Argumentar y justificar

El intercambio de opiniones es común en muchos ámbitos. Se puede dar entre amigos, en la escuela, en el club o con la familia. En todos esos casos, puede suceder que dos personas tengan opiniones diferentes sobre algún tema y que cada uno de ellos trate de convencer al otro de que tiene razón. En ese intercambio de ideas, cada uno trata de justificar su posición mediante argumentos que cree válidos.

Según la Real Academia Española, *justificar* significa "probar algo con razones convincentes, testigos o documentos". Para justificar algo se utilizan argumentos y, según la misma Academia, un *argumento* es un "razonamiento que se emplea para probar o demostrar una proposición, o bien para convencer a alguien con aquello que se niega o se afirma".

La forma en que se construye la ciencia, y la Física en particular, hace de la argumentación y de la justificación dos formas de discurso imprescindibles. Cuando un grupo de investigación realiza algún desarrollo científico, tiene que validarla y, para ello, debe darlo a conocer mediante canales aceptados por la comunidad a la que pertenece. En Física, esos canales son dos: las reuniones científicas, en las que se discuten los desarrollos aportados por los participantes, y las revistas especializadas, en las que los grupos de investigación publican sus trabajos. En ambos casos, los trabajos presentados requieren previamente la aceptación por parte de un comité científico, para ello hay que presentar argumentos que muestren la validez de lo propuesto y que sean coherentes con los conocimientos científicos reconocidos en el tema.

La justificación en Física tiene un fuerte aspecto experimental, esto quiere decir que los argumentos expuestos deben ser factibles de llevar a verificaciones experimentales.

Por ejemplo, en 1792, el físico Benjamin Thompson (1753-1814, Estados Unidos) escribía argumentando contra la teoría de la época que suponía el calor como una especie de fluido, el calórico, que, al entrar y salir de los cuerpos, los calentaba o enfriaba:

"Si la existencia del calórico fuese un hecho irrefutable, debería ser absolutamente imposible que un cuerpo comunicase esa sustancia, de manera continua, a varios otros cuerpos que lo rodean, sin que esa sustancia se agotase gradualmente. Una esponja llena de agua y colgada de un hilo en el medio de un cuarto lleno de aire, comunica su humedad al aire, es cierto, pero pronto el agua se evapora y la esponja no puede entregar más humedad. Por el contrario, una campana suena sin interrupción cuando se golpea y emite su sonido tan a menudo como lo deseemos, sin la menor pérdida perceptible. La humedad es una sustancia, el sonido no lo es. Es bien sabido que si se frotan dos cuerpos duros, producen abundante calor. ¿Pueden continuar produciéndolo sin quedar agotados? Dejemos que el resultado de los experimentos decida la cuestión".

Las formas de argumentación pueden ser muy variadas, pero en las ciencias, aun en el ámbito escolar, estas deben basarse en teorías aceptadas, y el razonamiento interviene de manera fundamental para relacionar los hechos observables con las teorías.

Por ejemplo, al querer argumentar por qué un cubito de hielo enfriaba el agua del vaso en el que estaba flotando, se puede dar una respuesta coloquial que no explica mucho: "porque está más frío". En cambio, en una clase de Física, la argumentación podría ser: "El agua líquida a mayor temperatura que el hielo le entrega energía en forma de calor y, por lo tanto, se enfriaba; en tanto que el hielo, primero eleva su temperatura, y luego se funde".

La argumentación se utiliza en la **discusión** y en el **debate**. Una discusión tiene las mismas reglas que una conversación ordinaria, pero es argumentativa: los participantes tratan de convencerse. El debate, en cambio, es una discusión organizada y formal: se conviene un tema y los participantes preparan su argumentación, que se expondrá según las reglas acordadas previamente.

Actividades finales

1. ¿Por qué no es una buena idea tratar de refrigerar una habitación dejando la puerta de la heladera abierta?

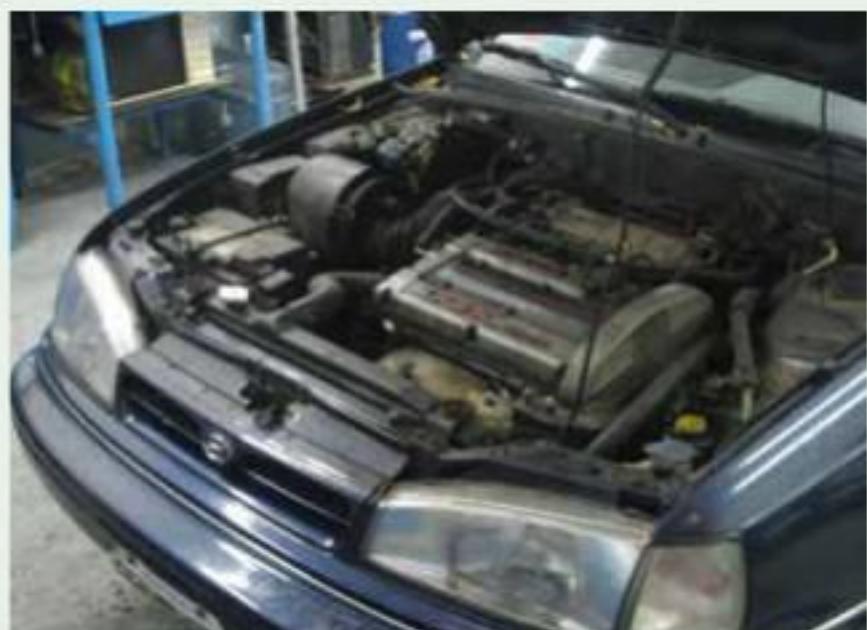
2. a. Hace varios años a alguien se le ocurrió transportar un témpano desde la Antártida hacia el Golfo Arábigo para obtener agua potable. La empresa proponía impulsar el témpano mediante motores que usarían el mar como fuente caliente y el propio hielo como fuente fría, es decir que no se requeriría combustible. ¿Es teóricamente factible un motor de esas características?

b. ¿Cuál sería el máximo rendimiento posible del supuesto motor si el agua de mar se encontrara a 9°C y el hielo del témpano a -8°C ?



¿Se podría hacer funcionar una máquina térmica tomando al mar como fuente caliente y al témpano como fuente fría?

3. El motor de un auto pierde energía útil para su movimiento en diversas fricciones entre sus piezas y en la disipación térmica al exterior. Si se lo aislará totalmente y se evitaran todos los rozamientos, ¿podría llegar a un rendimiento del 100%? ¿Por qué?



¿Se podrá lograr que el motor tenga un rendimiento del 100%?

4. Un motor tiene el 40% del rendimiento de una máquina de Carnot y opera entre una fuente que se encuentra a 400 K y otra que está a 300 K . En cada ciclo, absorbe de la fuente de mayor temperatura 50.000 J .

- a. ¿Cuánto trabajo entrega al exterior en cada ciclo?
b. ¿Cuánto calor entrega por ciclo a la fuente más fría?

5. Calculen la eficiencia de una máquina frigorífica que, para absorber en cada ciclo 8.000 J de la fuente más fría, requiere un trabajo externo de 4.000 J .

6. Supongamos que se pudieran construir dos máquinas de Carnot: una que funcionara entre las temperaturas de 600 K y 300 K , y otra que lo hiciera entre 200 K y 100 K .

- a. ¿Cuál de esas máquinas tendría mayor rendimiento?
b. ¿Qué dificultades particulares presentaría la construcción de la segunda máquina?

7. Una máquina térmica de rendimiento 0,6 extrae 10.000 J de la fuente de mayor temperatura en cada ciclo. Se utiliza como fuente fría un gran trozo de hielo a 0°C . ¿Qué masa de hielo se funde en cada ciclo? El calor de fusión del hielo es 330.000 J/kg .

8. Un motor de Carnot funciona entre una caldera que se encuentra a 600 K y la atmósfera que se encuentra a 300 K .

- a. Determinen su rendimiento.
b. Para aumentar el rendimiento de esta máquina en un 20%, se propone elevar la temperatura de la caldera. ¿Cuál deberá ser esa temperatura para lograr el nuevo rendimiento?
c. Alguien propone que, para aumentar el rendimiento en un 20%, se mantenga la temperatura de la caldera y se reemplace la fuente fría por otra de menor temperatura. ¿Cuál debería ser la temperatura de la nueva fuente fría para lograr ese rendimiento?
d. Se puede aumentar en un 20% el rendimiento de la máquina de Carnot elevando solo la temperatura de la fuente caliente o bien disminuyendo solo la temperatura de la fuente fría. ¿Cuál de los dos procedimientos sería más simple?

9. Busquen cuatro ejemplos de procesos que podrían ocurrir según el Primer Principio de la Termodinámica, es decir que cumplan con la conservación de la energía, pero que no ocurrían realmente.

10. Indiquen si las siguientes afirmaciones son correctas justificando sus respuestas.

- a. Los equipos de aire acondicionado no cumplen con el Segundo Principio de la Termodinámica, ya que hacen pasar energía en forma de calor desde una fuente a menor temperatura a otra de mayor temperatura.

- b.** En el ciclo diésel, una chispa eléctrica enciende la mezcla combustible.
- c.** El enunciado de Kelvin del Segundo Principio de la Termodinámica indica que no es posible construir una máquina térmica con un rendimiento del 100%.
- d.** El enunciado de Clausius del Segundo Principio de la Termodinámica indica que para que un sistema haga pasar energía en forma de calor desde una fuente a otra de temperatura mayor, se requiere entregar trabajo al sistema.
- e.** Si dos máquinas frigoríficas extraen la misma cantidad de energía en forma de calor de la fuente más fría en cada ciclo, entonces la más eficiente es la que requiere más trabajo exterior para lograrlo.
- f.** Tanto las máquinas térmicas como las frigoríficas funcionan de modo tal que el sistema realiza transformaciones cíclicas.



Al hacer pasar energía en forma de calor desde el interior, más frío, hacia el exterior, de temperatura mayor, los equipos de aire acondicionado, ¿están violando el Segundo Principio de la Termodinámica?

11. Usando el Segundo Principio de la Termodinámica, corrijan el enunciado y la resolución del siguiente problema.

Problema:

En un recipiente aislado, se encuentra una masa de 200 g de agua a 10 °C; 10 g de esa masa se convierten espontáneamente en un cubo de hielo a 0 °C. Calcúlen a qué temperatura queda el agua en esa situación.

Resolución:

10 g de agua líquida se enfrian de 10 °C a 0 °C, entregando la siguiente cantidad de energía en forma de calor:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = 10 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = -100 \text{ cal}$$

Los 10 g de agua que están a 0 °C se convierten en hielo a 0 °C entregando:

$$Q_2 = l_f \cdot m$$

$$Q_2 = -80 \text{ cal/g} \cdot 10 \text{ g} = -800 \text{ cal}$$

La energía entregada en forma de calor por esa masa de agua para convertirse en hielo es absorbida por el resto del agua, por lo que aumenta su temperatura:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Es decir que:

$$900 \text{ cal} = 190 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (T_f - 10^\circ\text{C})$$

Por lo que su temperatura final será de:

$$T_f = 10^\circ\text{C} + \frac{900}{190}^\circ\text{C} = 14,7^\circ\text{C}$$

Entonces los 10 g de agua cedieron 900 cal para formar el hielo y esa cantidad fue absorbida por el resto del agua, que aumentó su temperatura a 14,7 °C, por lo que se cumple el Principio de Conservación de la Energía.

12. El siguiente es un párrafo dividido en 8 partes. En algunas de ellas se han introducido errores desde el punto de vista de la Física. Hallen dichos errores y reescriban las oraciones erróneas en forma correcta.

- a.** Cuando dos cuerpos a distinta temperatura se ponen en contacto térmico, el calor pasa espontáneamente desde los cuerpos de menor temperatura hacia los de mayor temperatura.
- b.** Si, por ejemplo, se coloca un vaso de agua caliente sobre una mesa en invierno, el calor pasa desde el agua hacia el aire, de forma tal que el agua se "enfría" y el aire se "calienta". Nunca se ha observado el proceso inverso, esto es, que el agua se caliente y el aire se enfríe aún más.
- c.** Sin embargo, a veces ocurre lo contrario, por ejemplo, que el calor fluya espontáneamente desde el interior de una heladera, donde están los alimentos, hacia el exterior que se encuentra a mayor temperatura.
- d.** Muchos hechos y fenómenos de la vida diaria ocurren de manera natural en una dirección y, si sucedieran en la dirección contraria, sin duda nos asombrarían.
- e.** Nadie se asombra si al tomar una cuchara metálica y colocarla en contacto con el agua caliente, el calor se propaga hasta el extremo de la cuchara en contacto con la mano; sin embargo, llamaría mucho la atención si al tocarla, se sintiera "frío", porque habría una transferencia del calor desde la mano hacia el agua caliente.
- f.** Si este fenómeno ocurriera así, no habría contradicción con ninguno de los principios de la Termodinámica porque el calor cedido por un cuerpo tiene que ser el mismo que el calor que gana el otro cuerpo.
- g.** En muchos casos puede ocurrir que la energía se conserve, pero que los fenómenos no sean posibles.
- h.** El Segundo Principio de la Termodinámica establece el sentido posible en que se producen los hechos y los fenómenos.

La energía y los seres vivos

7



Contenidos

- > Transmisiones de energía en la cadena alimentaria
- > Metabolismo y energía de los alimentos
- > Regulación térmica
- > Conservación de la energía y adaptaciones
- > Relación superficie y volumen

La naturaleza se nos presenta de formas muy diversas: mamíferos, aves, insectos, peces, plantas, árboles, cactus, microorganismos, líquenes, millones de especies diferentes. Algunas de estas especies de seres vivos son acuáticas, otras aeroterrestres; se encuentran en climas fríos o cálidos, secos o húmedos. Pero cada una de ellas proviene de la adaptación al medio en el que habita. Estos cambios casi siempre tienden a optimizar los intercambios de energía, haciendo de cada organismo una "máquina térmica" más eficiente.

La conservación y la transformación de la energía son dos conceptos fundamentales de la Física que también se aplican a todos los seres vivos. La vida en la Tierra comenzó hace millones de años y, desde el punto de vista de la Física, lo hizo a partir de transformaciones de la materia y de la energía. La mayor parte de las actividades que realizan los seres vivos implican intercambios de energía.

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudia cómo se transmite la energía en las cadenas alimentarias de un ecosistema. Además, se describen los mecanismos de regulación térmica en los animales y las adaptaciones al ambiente que estos presentan. Asimismo, se explica cómo la relación entre la superficie y el volumen del cuerpo influye en la tasa metabólica de los animales.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC7



La energía del Sol en la biomasa

La cadena alimentaria

Como se indicó en el capítulo 2, en todos los procesos que permiten el desarrollo y la conservación de la vida, es necesaria la energía, sus transferencias y transformaciones. Los animales y los seres humanos transforman la energía química de los alimentos en otras formas para el desarrollo de sus actividades cotidianas, como puede ser su energía interna, imprescindible para mantener constante la temperatura en algunas especies, o bien la energía cinética, importante para trasladarse de un lugar a otro.

De la totalidad de la energía entregada por el Sol, que es de $4 \cdot 10^{26}$ J por segundo, solo una fracción llega a la Tierra, y de ella, tan solo el 0,02% es utilizada por las plantas en la fotosíntesis (observen el diagrama energético de la página 208 del capítulo 10). En este proceso, la materia inorgánica tomada del aire y del suelo es transformada en orgánica mediante la utilización de la energía solar. Esta queda almacenada en forma de almidón y azúcar en los tallos, raíces, hojas y frutos, es decir, en forma de energía química para ser utilizada como reserva o como alimento por otros seres vivos, lo que da origen a la **cadena alimentaria** o **cadena trófica**.

Esta cadena consiste en la transferencia de materia y energía de un organismo a otro, en la que cada uno se alimenta del precedente y es alimento del siguiente. En cada eslabón o nivel trófico, la energía adquirida es utilizada para realizar los procesos biológicos imprescindibles para la vida, como la respiración, pero también es almacenada para afrontar otros, como la reproducción.

El primer eslabón es un vegetal, que utiliza la energía que recibe del Sol para fabricar sus propios nutrientes, por eso se denomina **autótrofo**. Los siguientes integrantes son los **consumidores**, ya que se alimentan del que produce, y, finalmente, se ubican los **descomponedores**, que son los que se encargan de procesar la materia orgánica procedente de organismos muertos y transformarla en sustancias que enriquecen el suelo, como nitratos, nitratos, fósforo y alimento para nuevos productores, o bien el aire, a través del dióxido de carbono, que se emplea para realizar una fase de la fotosíntesis.

De este modo, la energía fluye a través de la cadena de forma lineal, pero en cada transferencia, la cantidad de energía es menor que en la anterior, ya que una parte fue intercambiada como calor con el medio y empleada para mantener vivo al integrante de la cadena; un nivel de consumidor alto, como un terciario, recibirá menos energía que uno bajo, como un primario. Es por eso que las cadenas alimentarias no pueden tener un largo indefinido.

Pirámide trófica de energía

Una de las formas de representar la pérdida de energía al pasar de un nivel a otro de la cadena trófica es mediante una pirámide que indica como solo un 10% de la energía de cada nivel pasa al siguiente.

Integrantes de la cadena alimentaria y su relación con la energía.



La energía de los alimentos

Todas las actividades que una persona realiza requieren cantidades de energía determinadas. Incluso estando en reposo, el cuerpo transforma 100 J por segundo solo para mantener en funcionamiento los órganos, tejidos y células.

El ser humano es parte de la cadena alimentaria y, por lo tanto, tiene su fuente de energía en los niveles tróficos anteriores. Como omnívoro, sus fuentes de energía son: las frutas, los vegetales, las carnes y las legumbres, entre otras. En ellas la energía es almacenada en las uniones químicas que forman las grasas, las proteínas, los carbohidratos y los azúcares. Una vez ingresado el alimento al organismo, y luego de un largo proceso, una parte de esa energía es utilizada en las reacciones de oxidación producidas en el interior de las células. Estas reacciones permiten la formación de sustancias como el adenosín trifosfato o **ATP**, que es la fuente de energía utilizada por el cuerpo. Cuando el organismo requiere energía, recurre a las moléculas de ATP. La energía excedente queda almacenada en forma de grasa.

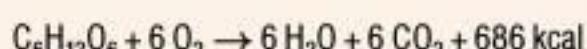
Una forma de calcular la variación de la energía interna que sufre un organismo al incorporar alimentos es a través del consumo de oxígeno, ya que es necesario en las reacciones de oxidación. En la reacción de oxidación de las diferentes sustancias, las cantidades de oxígeno requeridas y la energía liberada son diferentes. Desde el punto de vista nutricional, se define como **valor energético** de una sustancia a la relación entre la cantidad de energía liberada por litro de oxígeno consumido y la cantidad de esa sustancia oxidada expresada en gramos.

Sustancia	Energía liberada por litro de oxígeno utilizado (kcal/l)	Valor energético (kcal/g)
Glucosa	5,1	3,8
Carbohidratos	5,3	4,1
Proteínas	4,3	4,1
Grasas	4,7	9,3

Tabla de la máxima cantidad de energía liberada en reacciones de oxidación para cada sustancia indicada.

Tradicionalmente, las cantidades de energía aportadas por cada alimento se informan en calorías o kilocalorías pero, en la actualidad, en las tablas de información nutricional, el valor energético se expresa en kilojoules.

Las cantidades exactas de energía liberada por litro de oxígeno consumido dependen de la proporción de glucosa, carbohidratos, proteínas y grasas en la dieta de la persona, pero pueden ser estimadas para una dieta típica entre 4,8 a 5 kcal/l. Sin embargo, no toda esa energía es aprovechada por el cuerpo, ya que una parte es utilizada en las reacciones de combustión incompleta y en la formación de productos que son eliminados por el organismo en la orina, las heces o los gases intestinales. La energía restante es la metabolizada por el cuerpo en las moléculas de ATP.



Reacción de oxidación para la glucosa.

Por cada 180 g de glucosa que se oxida, se liberan 686 kcal o 2.867,48 J de energía.

Valor nutricional medio		
	Por 100 ml	Por ración de 250 ml
Energía	30 kcal/120 kJ	75 kcal/300 kJ
Proteínas	1,5 g	4,0 g
Carbohidratos	3,5 g	9 g
Azúcares	0,3 g	0,8 g
Grasas	0,9 g	2,5 g
Grasas saturadas	0,3 g	0,8 g
Fibra	0,2 g	0,5 g
Sodio	0,35 g	0,88 g

Cantidad diaria orientativa		
	Por ración de 250 ml	%CDO*
Energía	75 kcal	4%
Azúcares	0,8 g	1%
Grasas	2,5 g	4%
Grasas saturadas	0,8 g	4%
Fibra	0,5 g	2%
Sodio	0,88 g	37%

* % de la cantidad diaria orientativa basada en una dieta de 2000 kcal.

Las etiquetas de los alimentos traen una variada información acerca de sus propiedades. Para cada porción, y cada 100 gramos, se indica la energía que aportan en kilocalorías y en kilojoule, además de los nutrientes, proteínas, grasas, etcétera. Otra información se refiere a la cantidad de vitaminas y minerales. También se agrega el porcentaje de aporte que hace esa porción a la dosis diaria recomendada.

Cómo los seres vivos utilizan la energía

Los intercambios energéticos de los seres vivos se pueden analizar distinguiendo entre aquellos que se producen por su interacción con el medio exterior y aquellos que son necesarios para el funcionamiento de sus sistemas internos. La Biología se refiere a estos dos tipos de intercambios energéticos como medio externo y medio interno.

Los estímulos que provienen del medio exterior, como los cambios de temperatura y los sonidos, que por lo general se perciben a través de los sentidos, así como las decisiones voluntarias, como levantar un objeto, correr o andar en bicicleta, producen requerimientos energéticos.

Por otra parte, sabemos que nuestro cuerpo está realizando permanentemente una serie de acciones que son imprescindibles para la vida, pero que son involuntarias, como la respiración o la digestión.

Desde un punto de vista simplificado, a partir de una interpretación energética de estos procesos, podríamos decir que el cerebro recibe la información de las variaciones externas del medio, de las acciones que voluntariamente se quieren realizar y de las necesidades de regulación del medio interno. Luego la procesa y, a partir de ello, regula el funcionamiento de los distintos sistemas, como el circulatorio o el muscular.

Metabolismo

La energía química presente en los alimentos se transforma en: energía mecánica para funciones como la actividad de los sistemas circulatorio y respiratorio, energía eléctrica que permite las funciones cerebrales y la distribución de la información a través del sistema nervioso y, en el caso de los animales de sangre caliente como el ser humano, en energía interna, que facilita el mantenimiento de la temperatura constante del cuerpo, independientemente de los cambios climáticos.

Si una persona de unos 70 kg está completamente quieta, para que su organismo siga funcionando en óptimas condiciones, requiere aproximadamente 73 kcal/h (305,14 kJ/h), lo que implica un total de 1.750 kcal por día. En estos términos, el ser humano tiene una potencia de unos 85 W. Esta cantidad de energía es la mínima que necesita para mantener las actividades o funciones indispensables para el cuerpo, como la respiración o el bombeo de sangre, cuando está en absoluto reposo físico y psíquico. Este valor es denominado **tasa de metabolismo basal**.

Para cada especie, dicha tasa varía en función de muchos factores, como el tamaño del corazón, la cantidad de sangre y la capacidad pulmonar, entre otros, es decir que depende de la masa de tejido metabólicamente activo.

De las 1.750 kcal/día que necesita el ser humano de 70 kg, el hígado y el bazo requieren un 27%, mientras que el cerebro un 19%, los músculos un 18%, los riñones un 10%, y el corazón solo un 7%. Además, es necesario tener en cuenta la cantidad de energía que el organismo necesita para realizar el proceso de oxidación de los alimentos. Dicha energía es utilizada en el trabajo mecánico que realizan los tejidos para alcanzar la metabolización, proceso que recibe el nombre de **acción dinámico-específica**. Esto se traduce en un aumento de la energía disipada en forma de calor, que es del 30% para las proteínas, del 13% para las grasas y del 5% para los azúcares.

	Tasa de metabolismo basal (kcal/día)
Caballo	4.983,3
Cerdo	2.444,8
Perro	782,8
Ratón	38,16

Valores del metabolismo basal para diferentes especies de sangre caliente.

Animales ectotermos



Algunos animales, como las víboras, los lagartos y las tortugas, mantienen su temperatura corporal bastante estable, dentro de ciertos límites. Reciben calor del ambiente o lo expulsan. Durante el día, se ubican en sitios apropiados para modificar la cantidad de radiación solar que absorben. Si no hay sol, o durante la noche, buscan protección en refugios, a fin de preservar la temperatura corporal. Se denominan animales ectotermos.

Muchos animales buscan recibir la mayor radiación solar posible.

Trabajo muscular

La energía incorporada al organismo no solo es utilizada para mantener el ciclo vital u oxidar los alimentos, sino que una parte se necesita para realizar tareas como caminar, correr, trabajar, estar sentado mirando la televisión o jugando con la computadora, es decir, realizar un trabajo muscular por mínimo que sea.

La capacidad que tiene una persona para realizar un trabajo físico depende de la cantidad de oxígeno que consume, ya que este es imprescindible para lograr la oxidación de los alimentos y así la liberación de su energía química. Por lo tanto, una persona que se oxigena poco está más limitada en su esfuerzo físico que otra que lo hace mejor. Un deportista consigue absorber cerca de 50 ml de oxígeno por minuto y por cada kilogramo de masa corporal, por lo que puede soportar actividades de mucha demanda energética por períodos prolongados.

Una manera de determinar la cantidad de energía requerida para diferentes actividades físicas es a través de la cantidad de oxígeno que se consume mientras se las realiza. No se requerirán grandes cantidades de oxígeno si se está caminando por la plaza acompañado de su perro, pero esta aumentará si, al soltarse la correa, se lo tiene que correr para alcanzarlo, ya que el trabajo muscular será mayor.

Actividad	Consumo de oxígeno (l/min)	Energía requerida (kcal/min)	Potencia (W)
Dormir	0,24	1,2	83
Estar sentado en reposo	0,34	1,72	120
Estar sentado en clase	0,60	3,01	210
Pasear	0,76	3,8	265
Subir escaleras	1,96	9,82	685
Jugar al fútbol	2,28	11,4	800

Los valores indicados en la tabla están determinados para un hombre de 76 kg, aproximadamente.



La presión del oxígeno disminuye con la altura. Las personas no adaptadas a ese fenómeno sienten la falta de incorporación del oxígeno necesario cuando se desplazan a lugares altos. Por ejemplo, los deportistas que tienen que competir en lugares altos como la ciudad de La Paz, en Bolivia, que se encuentra a unos 3.600 metros sobre el nivel del mar, utilizan distintas estrategias recomendadas por médicos para mantener su rendimiento físico.

Algunos mecanismos de termorregulación

Todos los procesos antes mencionados liberan energía. Si esas cantidades son iguales a las que se disipan en forma de calor a través de la piel (conducción, convección y radiación), el organismo se encuentra en un balance energético. Cuando este balance se ve afectado, se activan los **mecanismos de regulación térmica**. Los más comunes son:

► **Temblar:** se desarrolla cuando la energía disipada al medio es mayor que la producida. Durante este proceso, los músculos realizan trabajo mecánico al tiempo que aumentan las cantidades de sustancias que se oxidan.

► **Transpirar:** se activa cuando la energía producida por el organismo es mayor que la disipada, por ejemplo, cuando se hace ejercicio físico. En él, el agua que sale a través de los poros de la piel, se aloja en su superficie y, para evaporarse, intercambia energía con ella. No todas las especies disponen de este mecanismo de dissipación térmica.

Todos estos procesos son más o menos frecuentes con relación al tipo de alimentación y al clima en donde cada individuo vive; asimismo, son extensibles a todos los animales homeotérmicos.



1. Una persona desea adelgazar jugando al fútbol una vez por semana durante una hora.
 - a. ¿Cuánta energía habrá utilizado en dicha tarea al cabo de un mes?
 - b. Sabiendo que el valor energético de las grasas es 9,3 kcal/g y suponiendo que toda la energía utilizada proviene de sus reservas, ¿en cuánto ha modificado su masa corporal en ese mes?

Regulación térmica



En reposo, una persona necesita intercambiar energía con una potencia de 120 W, es decir que debe transferir al exterior alrededor de 120 J por cada segundo.

Los animales de sangre caliente son homeotérmicos, es decir que para poder realizar los procesos metabólicos de producción de energía y garantizar el funcionamiento de sus órganos, necesitan mantener su cuerpo a una temperatura constante, aun cuando la temperatura del ambiente varíe. Pequeñas variaciones en la temperatura corporal pueden modificar algunas de las reacciones químicas que se desarrollan a nivel celular, al tiempo que muchas de estas reacciones son controladas por enzimas, que también dependen de la temperatura. Es por eso que todos los animales cuentan con mecanismos de **regulación térmica**.

El intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente se realiza principalmente a través de la piel y por procesos de **radiación, convección, evaporación y conducción**. También en la respiración y en la eliminación de las heces y orina hay un intercambio de energía con el medio como, por ejemplo, al calentar el aire que se inhala y por el vapor de agua exhalado. Estos procesos se producen simultáneamente, pero la proporción de energía cedida por los diferentes procesos depende de la humedad, la actividad física, la temperatura exterior, el viento y la vestimenta, entre otros factores.

Radiación

El cuerpo humano emite radiación electromagnética que, por su temperatura, corresponde al infrarrojo. A su vez, absorbe energía irradiada por los otros objetos que lo rodean. Las cantidades de energía emitida y absorbida responden a la Ley de Stefan-Boltzmann, estudiada en la página 85 del capítulo 4. El balance entre la energía irradiada y la absorbida depende de la diferencia de las temperaturas entre la piel y el ambiente.

A pesar de que esta diferencia de temperaturas no es usualmente muy grande, se transfiere entre el 50% y el 60% de la energía por radiación.

Otra variable que influye en este proceso es el color de la vestimenta. Los colores oscuros absorben mejor la radiación que los claros, y eso condiciona la selección de colores en la ropa de invierno y de verano.

Convección

Este intercambio de energía ocurre por la diferencia de temperatura entre la piel y el aire. Si el aire está en movimiento, la transferencia de energía al medio es mayor que si está en reposo. La sensación térmica está relacionada con la pérdida de energía por convección, por eso las tablas que permiten calcular la sensación térmica en invierno toman como variable la velocidad del viento. Alrededor del 25% del intercambio de energía se produce por este medio.

Evaporación

Cuando la temperatura ambiente es normal, o en ausencia de trabajos o ejercicios intensos, la pérdida de calor por la transpiración no es significativa. Pero al aumentar la temperatura ambiente, o al realizar una actividad física, el cuerpo comienza a transpirar y este sudor es evaporado absorbiendo calor del propio cuerpo. Cada gramo de sudor que se evapora absorbe aproximadamente 540 calorías. La cantidad de sudor evaporado depende de la velocidad del viento existente, de la humedad relativa del aire, de la temperatura ambiente y, por supuesto, también de la vestimenta. De esta forma, se llega a intercambiar hasta un 7% de energía por evaporación.



La pérdida de energía por radiación se puede detectar por medio de sensores infrarrojos.



Es común mojarse cuando se tiene mucho calor; esto disminuye la temperatura del cuerpo, al transferir energía por evaporación.

a>

1. Pueden simular la evaporación del sudor rociando una sartén seca y caliente con gotitas de agua fría.
 - a. Expliquen los intercambios de energía entre la sartén y las gotitas de agua.
 - b. Si se agrega más agua, ¿qué sucede con la temperatura de la sartén?
 - c. Aplicuen lo observado en esta experiencia para explicar los efectos del sudor en el cuerpo.

Conducción

El proceso de conducción se produce básicamente en dos etapas: a través del sistema circulatorio, la sangre transmite energía desde todo el cuerpo hacia los capilares que se encuentran próximos a la epidermis; y el intercambio de energía entre el cuerpo y el aire, que se produce por conducción a través de la piel.

El proceso de vasodilatación aumenta el torrente sanguíneo y, de esta forma, permite intercambiar una mayor cantidad de energía a través de la piel. En cambio, la vasoconstricción disminuye el caudal de sangre y con él la cantidad de energía emitida al ambiente.

Características como el espesor de la piel o el pelaje de las distintas especies animales favorecen o no la pérdida de energía por este mecanismo. Por ejemplo, la piel de la palma de la mano es más gruesa que la del resto del cuerpo y, por eso, una persona puede tomar cosas más calientes sin quemarse. El pelo que recubre el cuerpo de los mamíferos constituye un entramado que permite mantener una capa de aire (mal conductor) en contacto con el cuerpo que se mantiene casi a su misma temperatura, por lo que disminuye considerablemente la pérdida de energía por conducción. La sensación de frío o calor que experimenta el cuerpo, está relacionada con la rapidez con que este intercambia energía por conducción a través de esta capa de aire.

La ropa disminuye el intercambio de energía, ya que se realiza con materiales malos conductores. Al abrigarse, en invierno, se mantiene el cuerpo aislado del aire exterior, que está mucho más frío que el cuerpo. Los mejores abrigos son aquellos que retienen aire entre sus fibras o pelos, ya que disminuyen de esta manera la rapidez de la conducción térmica. El cuerpo transfiere casi el 20% de su energía por conducción.

En el hombre, la temperatura corporal normal debe ser de alrededor de 36 °C. En cualquier tipo de clima, y realizando distintos tipos de actividades, el cuerpo es capaz de mantenerla, por distintos procesos. El "termostato", es decir, el centro de regulación de la temperatura, se encuentra en el hipotálamo, una parte del encéfalo localizado en la base del cerebro. Este recibe la información de las sensaciones térmicas recibidas por la piel y, además, detecta la temperatura de la sangre que pasa por él. Con esta información, regula la temperatura dando "indicaciones" al cuerpo para lograrlo. Así, por ejemplo, si por actividad física intensa o fiebre detecta un aumento de la temperatura, el hipotálamo envía señales que activan la vasodilatación y la transpiración para que, al transferir energía al medio, disminuya la temperatura corporal. Si, en cambio, detecta una disminución de la temperatura, indica iniciar una vasoconstricción para conservar el calor, o tiritar para que con el temblor aumente la temperatura de los músculos.

Esta acción es incluso selectiva. Por ejemplo, ante un frío exterior intenso produce una vasoconstricción selectiva. Se produce una disminución en la irrigación sanguínea en los miembros, manos y pies, para mantener la temperatura en partes consideradas más importantes del cuerpo como el cerebro o el corazón. Por esa razón, las extremidades son las primeras partes del cuerpo en sufrir el congelamiento, ya que la disminución de la temperatura en los órganos principales causaría la muerte.



El pelaje de los osos polares disminuye la conductividad térmica, manteniendo el cuerpo del animal aislado del aire helado del ambiente.

Sensación térmica

La sensación térmica expresa la temperatura equivalente que produciría la misma pérdida de energía si el cuerpo se encontrara en un ambiente con aire en reposo. Se la calcula según una ecuación empírica, y tiene en cuenta la temperatura ambiente real y la velocidad del viento.



Al tiritar, algunos músculos se mueven involuntariamente y, al trabajar, aumentan su energía interna y su temperatura.

Energía y adaptaciones



El girasol presenta una adaptación que le permite un mayor aprovechamiento de la luz solar. Su fototropismo hace que una de sus caras gire siguiendo el movimiento relativo del Sol.

En el año 1859, Charles Darwin publica su libro *El origen de las especies* en el que desarrolla la teoría de la evolución. Según esa teoría, en cada especie, aquellos individuos que por azar contaban con alguna habilidad particular para adaptarse al medio en el que vivían, tenían mayores posibilidades de sobrevivir y procrear. Esa adaptación se podía transmitir eventualmente a la descendencia para constituir finalmente, después de muchos cientos de miles de años, especies adaptadas al medio en que habitan. Las condiciones en el ambiente en el que viven los seres vivos son diferentes en cada lugar de nuestro planeta. No solo hay diferencias en las temperaturas, vientos, niveles de humedad, etc., sino que además las posibilidades de encontrar los alimentos también son variadas.

Una de las adaptaciones más importantes es la relacionada con el uso eficiente de la energía. Esto incluye tanto a los alimentos que se consumen como al intercambio con el ambiente en forma de calor y a las formas de desplazarse.

En el caso de las plantas, la energía química es obtenida del agua, de los nutrientes que absorben del suelo y a través de la fotosíntesis. Es por ello que las distintas adaptaciones de algunas especies están vinculadas con la obtención de agua, su conservación y almacenamiento. Por ejemplo, todas las plantas se encuentran recubiertas por una cutícula que, en el caso de los tallos y de los brotes jóvenes, es de cutina, una sustancia parecida a la cera, y que actúa como una superficie espejada que refleja la luz del sol. De esta manera, evita el aumento de la temperatura en las hojas y, como consecuencia de ello, reduce la pérdida de agua por evaporación. El fenómeno de evaporación depende de la cantidad de estomas acuíferos que se encuentren en la superficie de las hojas y en contacto con el aire. Si las condiciones climáticas son más hostiles, las especies vegetales presentan hojas de tamaños mucho más chicos. Esta adaptación llega a situaciones límite en los desiertos, con plantas que no poseen hojas, como el cactus. Por otro lado, en las zonas donde las lluvias son escasas, presentan ensanchamientos en los tallos que permiten almacenar agua para las épocas de mayores sequías.



El cactus es una planta áfila, sin hojas, en la que los tallos son de color verde ya que asumen la función fotosintética y, además, son anchos para desarrollar cavidades en las que se almacena el agua.

Los animales, a diferencia de las plantas, pueden trasladarse para conseguir el alimento del cual obtendrán energía. Según la especie y el medio en donde vivan, se han desarrollado diversas adaptaciones a los medios de locomoción, que disminuyen el gasto de energía que les demanda dicha actividad. Por ejemplo, las ranas y los sapos se desplazan impulsando el agua hacia atrás con sus extremidades. Para realizar este trabajo muscular, necesitan la energía obtenida por la oxidación de los alimentos. Sus patas funcionan como si fueran remos, cuya pala está formada por una membrana que une los dedos. De esa forma, aumenta la superficie que empuja el agua y así consiguen impulsarse más fuerte; por lo tanto, con igual trabajo muscular, logran trasladarse de un modo más rápido. En términos energéticos, necesitan utilizar menos energía almacenada para obtener mayores velocidades.

Los animales también pierden energía a través de la superficie que los recubre. En los vertebrados, el cuerpo puede estar recubierto de pelos, plumas o escamas. Es a través de esta piel que intercambian energía por conducción con el aire, al tiempo que eliminan agua a través de la transpiración. No todos los animales tienen el mismo tipo de piel. Los elefantes presentan una piel mucho más gruesa, lo que reduce la cantidad de energía que disipan en forma de calor hacia el aire. En cambio, el ser humano tiene la piel mucho más delgada, lo que aumenta la pérdida de energía. El espesor de la piel influye en el intercambio de calor con el exterior.

Asimismo, la longitud y abundancia de pelos sobre la piel también influyen en este proceso. La capa de aire estacionada en el pelaje funciona como un buen aislante térmico.

Las personas, además de hacerlo por costumbres culturales y sociales, recurren a la vestimenta como un mecanismo para disminuir la cantidad de energía que se disipa por ella, ya que tienen poco pelo que les recubra el cuerpo.

En el caso de tratarse de animales que deban vivir en ambientes muy secos, como la sabana africana, las especies se han adaptado disminuyendo la cantidad de poros en la piel. A través de estos, se realiza la eliminación de agua del organismo reduciendo la pérdida de agua por transpiración y evaporación.



Los murciélagos presentan una adaptación similar a la de las ranas y los sapos, pero en sus extremidades superiores. Debido a la membrana que estas tienen, aumentan la superficie con la cual empujan el aire y así hacen su movimiento más eficiente.



Dos gatos de igual tamaño, pero de diferente raza, como son el gato de angora (izquierda) y el esfinge (derecha), intercambian diferentes cantidades de energía por conducción debido a la diferencia de sus pelajes.

Relación entre la superficie y el volumen



El ratón tiene, proporcionalmente, mucha más superficie para disipar energía en forma de calor que el elefante.

av

1. ¿Por qué es esperable que aun dentro de la misma especie un elefante de pocos meses de vida tenga diferente metabolismo que uno adulto?
2. Existen diferentes formas de calcular la tasa metabólica en seres humanos. ¿Por qué todas ellas incluyen como datos, altura, peso y edad?

La producción de energía en los animales se realiza a través de la combustión de los alimentos. Esta se produce en todas las células del cuerpo cuya cantidad total es proporcional a su masa total y, por lo tanto, a su volumen. Por otro lado, la regulación de la temperatura se realiza a través de la piel y, entonces, depende de la superficie externa. De esta manera, la cantidad de energía que genera el cuerpo está relacionada con el volumen del cuerpo, pero su transferencia y disipación están relacionadas con la superficie.

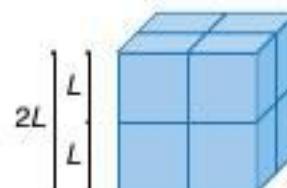
La relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo no es la misma para todos los animales y determina su tasa metabólica. Si todos metabolizaran con la misma rapidez y consumieran diariamente el mismo porcentaje de su masa, la disipación de calor a través de la piel sería mortal para muchos, ya que algunos se "autococinarían" y otros morirían de frío.

Para comprender la relación entre el volumen y la superficie de un cuerpo, tomemos un cubo cuya arista mide L . Su volumen es $V = L^3$, y su superficie es $S = 6 \cdot L^2$.

$$\begin{array}{c} L \\ | \\ \text{ } \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{ } \\ \text{ } \end{array} \quad V = L^3 \quad S = 6 \cdot L^2$$

El volumen de un cubo es la medida de su arista L elevada al cubo. Para calcular su superficie, se debe determinar la superficie de cada cara, que es la medida de la arista al cuadrado, y multiplicarla por 6, que es la cantidad de caras que tiene el cubo.

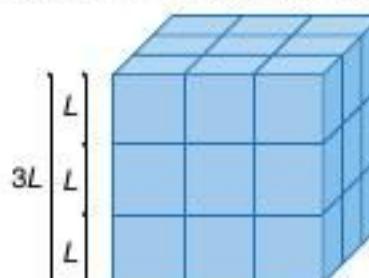
Si se toma un cubo cuya arista es el doble de la arista del cubo anterior, su volumen y su superficie serán:



$$V = (2L)^3 = 8 \cdot L^3 \quad S = 6 \cdot (2L)^2 = 6 \cdot 4 L^2 = 4 \cdot 6 L^2$$

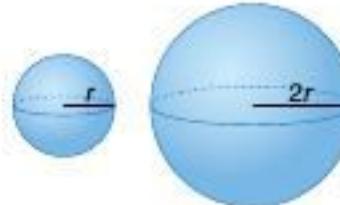
Se puede observar que, al duplicar la arista del cubo, su volumen aumenta 8 veces (2^3), pero su superficie aumenta solo 4 veces (2^2).

Si se triplica la arista del cubo ($3L$), su volumen es 27 veces mayor (3^3), mientras que la superficie solo aumenta 9 veces (3^2).



$$V = (3L)^3 = 27 \cdot L^3 \quad S = 6 \cdot (3L)^2 = 6 \cdot 9 L^2 = 9 \cdot 6 L^2$$

Si en lugar de cubos, fueran dos esferas, de radio r y $2r$, sus respectivos volúmenes y superficies serían:



$$\begin{aligned} V_r &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 & V_{2r} &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (2r)^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 8 \cdot r^3 = 8 \cdot (\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3) \\ S_r &= 4 \cdot \pi \cdot r^2 & S_{2r} &= 4 \cdot \pi \cdot (2r)^2 = 4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot r^2 = 4 \cdot (4 \cdot \pi \cdot r^2) \end{aligned}$$

Nuevamente, se observa que al duplicar el tamaño de la esfera, el volumen aumenta 8 veces (2^3), mientras que la superficie solo lo hace 4 veces (2^2).

Generalizando estos resultados que hallamos para el cubo y la esfera, obtenemos que al aumentar las dimensiones de un cuerpo n veces, el volumen aumenta n^3 veces, mientras que la superficie lo hace n^2 veces.

Si bien los animales son cuerpos irregulares, su superficie y su volumen aumentan de manera similar a lo analizado en el cubo y en la esfera. Esto muestra que, al aumentar de tamaño, su volumen aumenta mucho más que su superficie. Cuanto más grande es un animal, mayor es su volumen y, por lo tanto, mayor la cantidad de células que generan energía, pero su superficie aumenta en una proporción mucho menor y, por lo tanto, la disipación de energía también es menor.

Un animal que tuviese el doble de volumen que otro generaría 8 veces más energía, pero su superficie de transferencia sería solo 4 veces mayor. Así, un animal pequeño, como una laucha o un canario, tiene mucha más superficie para disipar energía, en proporción a su volumen, que un caballo o un elefante.

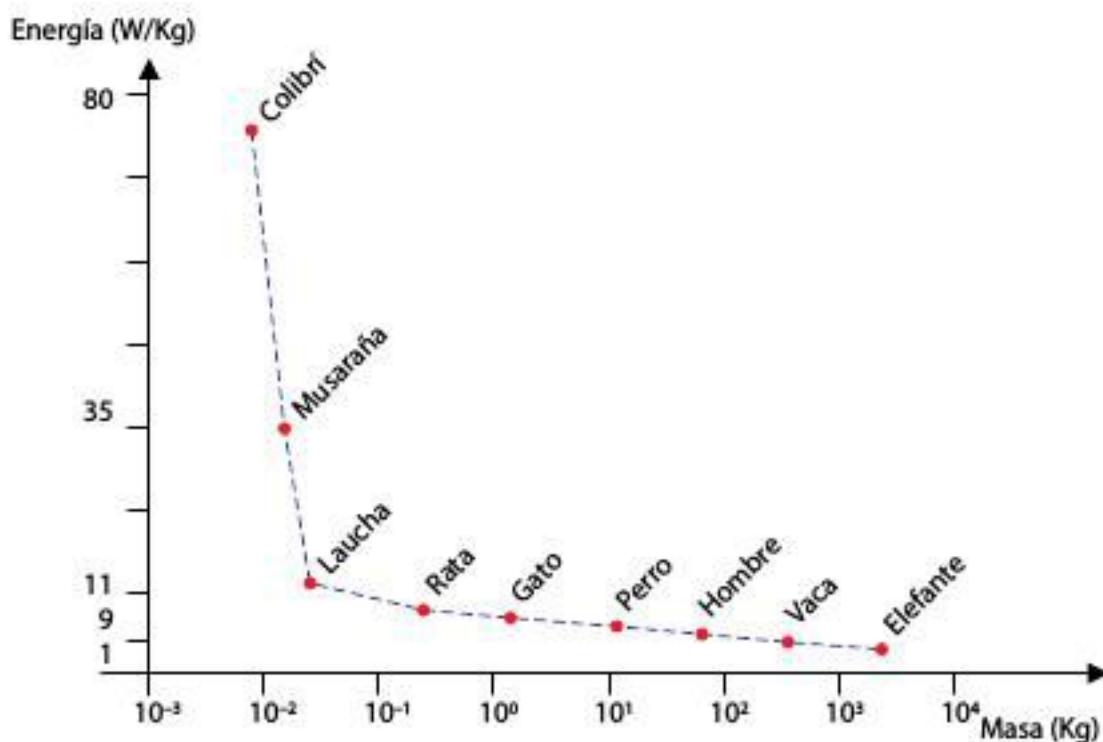
La rapidez con que se transfiere energía por unidad de superficie es, aproximadamente, la misma para todos los animales (unos 85 W por m^2). Si todos los animales tuvieran el mismo metabolismo, es decir, si generaran la misma cantidad de energía por unidad de masa o volumen, los animales muy grandes no lograrían disipar la gran cantidad de energía producida y, por lo tanto, se incendiarían, mientras que los más pequeños disiparían más de lo que producen, y morirían de frío. Es por ello que el metabolismo de los animales más chicos es más rápido, ya que transfieren grandes cantidades de energía a través de la piel. Y en los animales grandes ocurre lo contrario: poseen una tasa metabólica mucho menor. Al comparar el metabolismo basal en los distintos animales, se observa entonces que, a medida que aumentan de talla, la tasa metabólica disminuye.

Por ejemplo, el cuerpo del colibrí tiene una relación muy alta entre la superficie y el volumen; como consecuencia de ello, necesita metabolizar a una velocidad impresionante, con una tasa metabólica del orden de 80 W por cada kg. Por ello, se debe alimentar casi constantemente, comiendo un gran porcentaje de su masa por día y, durante la noche, debe entrar en un estado de semihibernación para disminuir la temperatura y, con ella, el metabolismo y el consumo de oxígeno.

En cambio, un elefante metaboliza con una tasa del orden de 1 W por kilogramo. Si metabolizara con una tasa similar a la del colibrí, no tendría manera de disipar la gran cantidad de calor generado, debido a su baja relación entre su superficie y su volumen. Por esto, este animal consume solo una pequeña fracción de su masa en vegetales por día.



La tasa metabólica del colibrí es muy alta para poder contrarrestar los efectos de su alta relación superficie/volumen.

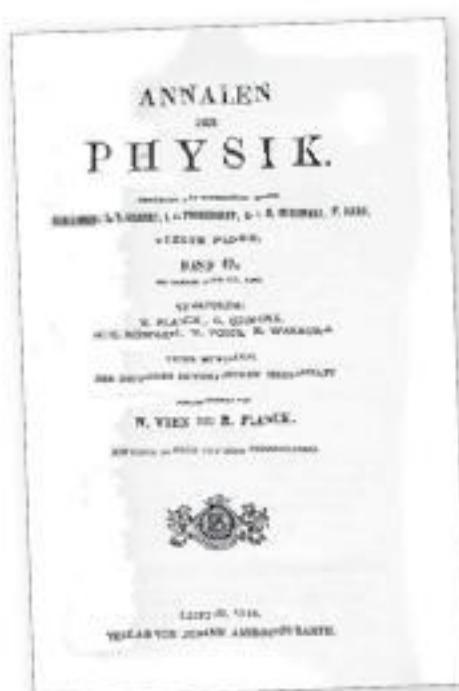


A medida que aumentan de tamaño, los animales tienen una tasa metabólica mucho menor. Debido a la enorme diferencia entre los metabolismos del elefante y el colibrí, el eje vertical del gráfico no guarda valores de escala, es solo indicativo.



Un elefante con la misma tasa metabólica que un animal pequeño se "cocinaría" en su propio calor.

Formas de informar en la Física y en la escuela



"Bases de la Teoría de la Relatividad General" fue el nombre del artículo publicado por Albert Einstein en 1916 en la revista "Anales de la Física", nº 7.

La comunicación de resultados, hallazgos e investigaciones es una de las actividades principales de la comunidad científica, la cual permite avanzar y evolucionar a la ciencia en función del trabajo de todos. En general, esta comunicación se realiza mediante la publicación de artículos en revistas especializadas o a través de ponencias en congresos científicos. En cualquiera de los casos, el científico debe presentar su trabajo siguiendo ciertas pautas que, además de garantizar la credibilidad y originalidad del trabajo, aseguren que sea entendible por toda la comunidad científica y que permita que otro científico repita la experiencia y compare sus resultados con los presentados en el trabajo original.

Antes de su publicación, si se trata de una revista científica, o de su aprobación, si se trata de un congreso, el trabajo es evaluado por un comité científico. A partir de la opinión de este comité, el trabajo podrá ser aprobado, rechazado o devuelto a los autores con recomendaciones para su corrección.

Un artículo, tesis o trabajo de investigación científica debe contener:

► **Resumen:** en pocos renglones debe permitir hacerse una idea acerca del contenido del trabajo. Se acostumbra escribirlo en el idioma original, en castellano en nuestro país, y también en inglés.

► **Introducción:** breve texto que indique el problema que se estudiará, la importancia de su estudio, los objetivos y las hipótesis de trabajo; y debe indicar, además, los trabajos o investigaciones anteriores que se relacionen con el tema o el problema en cuestión.

► **Marco teórico:** en él se desarrollan todos los contenidos teóricos, conceptuales o procedimentales en los que se basa el estudio realizado; suele contener citas textuales de otros científicos que avalen o justifiquen el trabajo.

► **Trabajo de campo:** es la descripción pormenorizada del desarrollo del trabajo en sí mismo. Debe incluir:

► **Diseño experimental:** enumeración de los materiales, instrumental y todas las actividades que se realizaron; además, debe contener la explicación de la forma y el método del análisis de los resultados.

► **Resultados:** en esta parte, se deben incluir las mediciones realizadas, las observaciones y los resultados obtenidos, que pueden organizarse en tablas y/o gráficos.

► **Análisis de resultados:** el investigador interpreta los resultados obtenidos, buscando relaciones entre las distintas variables estudiadas; este análisis permite verificar y contrastar hipótesis, como también refutarlas.

► **Conclusiones:** es un breve texto en el que el científico, basándose en los resultados obtenidos, comunica si su hipótesis ha sido verificada o no. Muchas veces, a partir de los resultados y conclusiones, quedan planteados nuevos problemas que abren la posibilidad a nuevas investigaciones.

► **Bibliografía:** es una lista de textos, que pueden ser libros, artículos y publicaciones en revistas especializadas, y trabajos de investigación, consultados durante el trabajo.

En las clases de ciencias, también es importante comunicar en forma objetiva y veraz los resultados de una investigación escolar o de una experiencia. La forma de comunicar un trabajo varía según qué se quiera lograr o a quiénes vaya dirigido. Por ejemplo, si va dirigida hacia el docente para su evaluación, se elabora un informe escolar, cuya estructura se asemeja a la de un artículo científico. Si, en cambio, se desea concientizar al resto de la comunidad escolar sobre ciertos cuidados o actitudes, se puede recurrir a afiches, pósteres u otras formas de comunicación, propias de la actividad publicitaria o el marketing.

En cualquier caso, la forma de comunicación elegida de un **informe escolar** en la clase de ciencias, debe responder las siguientes preguntas:

- ▶ ¿Se entiende lo que se quiso lograr al realizar la experiencia o investigación?
- ▶ ¿Es clara la descripción de los materiales y dispositivos experimentales usados y el procedimiento indicado?
- ▶ ¿Se compararon los resultados con los de otros equipos?
- ▶ ¿Se vuelcan en el informe distintas posturas, si las hubo, entre los miembros del mismo equipo?
- ▶ ¿Se podría modificar el orden de la estructura general del informe o póster para facilitar su comprensión?
- ▶ ¿Se diferencian las mediciones, registros de datos y resultados de las conclusiones?
- ▶ ¿Están fundamentados, desde lo conceptual, los criterios de selección de resultados y las conclusiones?
- ▶ ¿Hay coherencia entre la conclusión y el objetivo de la experiencia?

Un informe escolar, al igual que una investigación científica, debe respetar ciertos ítems, que no son fijos ni únicos, e incluso pueden variar en sus nombres o estructura. Básicamente debe contener:

- ▶ **Tema:** contenido que se está estudiando, con el enunciado del problema que se investiga.
- ▶ **Objetivos:** se establece con claridad qué es lo que se quiere observar, determinar, establecer, comprobar, en la experiencia o investigación.
- ▶ **Marco teórico:** se realiza una breve descripción de los conceptos teóricos que se manejan en la investigación.
- ▶ **Materiales y/o dispositivo experimental:** el listado de todos los materiales y dibujo del dispositivo en el caso que sea necesario.
- ▶ **Procedimiento:** descripción de todos los pasos realizados, con detalles y recomendaciones especiales.
- ▶ **Resultados:** observaciones y mediciones obtenidas, con la inclusión de tablas, gráficos y cálculos en el caso que sea necesario.
- ▶ **Análisis de resultados:** interpretación de lo obtenido, buscando una posible explicación.
- ▶ **Conclusiones:** finalmente, se indica si se cumplió, corroboró o no el objetivo, a partir de los resultados obtenidos.
- ▶ **Bibliografía:** se listan los textos o páginas web consultadas. Para el caso de los textos, se debe indicar: el autor, el título de la obra o del artículo, la editorial, el lugar y el año de edición, y las páginas consultadas. En el caso de las páginas web, se debe indicar: el nombre de la página, el link y la fecha de la consulta.



Después de un trabajo experimental, se deberá presentar un informe escolar con un formato que tiene algunas partes comunes con los informes científicos.

Actividades finales

1. Una persona de 70 kg que realiza una dieta típica sube caminando por la escalera de un edificio de 15 pisos, y tarda aproximadamente una hora. Durante la subida, consume oxígeno a razón de 1,5 litros por minuto. Calculen:
 - a. la energía aportada por la oxidación de los alimentos;
 - b. la energía empleada para realizar el trabajo muscular;
 - c. las cantidades de hidratos de carbono, proteínas y grasas que debe ingerir para compensar el gasto energético.
2. Las cantidades de energía involucradas en la alimentación son relativamente grandes. En el envase de un yogur, se indica su "valor calórico": 170 kcal = 714 kJ. ¿Cuánto tiempo se podría mantener encendida una lámpara de bajo consumo de 15 W con la energía suministrada por esa cantidad de yogur?
3. La "piel de gallina" es otro de los mecanismos de regulación térmica que activa el hipotálamo.
 - a. ¿En qué consiste?
 - b. ¿Es un mecanismo que se activa cuando aumenta o cuando disminuye la temperatura del cuerpo?
 - c. Expliquen de qué manera el organismo logra regular la temperatura.
4. Las adaptaciones de los animales al medio en el que viven tienen causas diversas. ¿Cómo se pueden explicar las siguientes adaptaciones si, en forma simplificada, se toma el ahorro de energía como variable para su justificación?
 - a. Las víboras duermen enroscadas.

El sudor y la evaporación

En el texto se afirma que "la cantidad de sudor evaporado depende del viento existente, de la humedad relativa del aire, de la temperatura ambiente y, por supuesto, también de la ropa". Además de estas variables, también influye la superficie libre del líquido que se evapora. Por ejemplo, una ropa extendida se seca más rápido que si está doblada. Las siguientes experiencias sencillas permiten determinar de qué manera cada una de estas variables influye en la evaporación de un líquido.

Materiales

Una jeringa o cualquier instrumento que permita medir pequeñas cantidades de agua

Agua a temperatura ambiente / Cronómetro o reloj con segundero

Secador de pelo / Estufa u hornalla

Paso 1:

Coloquen una pequeña cantidad de agua, 1 o 2 ml, sobre una superficie lisa y midan el tiempo que tarda en evaporarse totalmente. Este valor será considerado como el testigo para situaciones de evaporación normal.

Paso 2:

Para simular la acción del viento, se realiza la misma experiencia bajo

- b. Los zorros que viven en desiertos tienen grandes orejas, mientras que los zorros del Ártico tienen orejas pequeñas.
- c. Casi todos los peces tienen cuerpos de formas parecidas.

5. El chita o guepardo es el animal terrestre más veloz. Puede desarrollar velocidades del orden de los 115 km/h durante breves lapsos de tiempo.

a. Entre las características de este felino, se destaca que posee fosas nasales y pulmones mucho más grandes que otros felinos. ¿Cómo se puede explicar esta adaptación a partir de lo desarrollado en este capítulo?

b. En un programa de televisión en el que se muestra un intento de cacería por parte de un chita, el locutor indica que este debe capturar a su presa en una carrera de no más de 10 segundos, ya que si no "se incendiaría". ¿A qué se debe esta afirmación?



la acción del secador de pelo. Es importante que sea la misma cantidad de agua y que, además, ocupe la misma superficie. Midan el tiempo que tarda en evaporarse bajo esta condición.

Paso 3:

La influencia de la temperatura se puede apreciar dejando evaporar la misma cantidad de agua en las cercanías de una estufa u hornalla encendida, teniendo en cuenta las mismas recomendaciones anteriores. Midan nuevamente el tiempo para este caso.

Paso 4:

Para el caso de la superficie, repitan la experiencia, pero al colocar la misma cantidad de agua, debe ocupar una superficie mayor.

Paso 5:

Analicen y comparan todos los resultados obtenidos y elaboren las conclusiones.

Paso 6:

Luego, a través de un informe, comuniquen los resultados de la experiencia siguiendo las indicaciones desarrolladas en el capítulo.

Transformaciones de la energía eléctrica

8



Contenidos

- > Potencia eléctrica. Etiqueta energética
- > Circuitos eléctricos
- > Corriente eléctrica
- > Ley de Ohm
- > Leyes de Kirchhoff
- > Medidas de seguridad

La importancia de la energía eléctrica en nuestra vida diaria es evidente. La falta de su suministro, aunque sea momentánea, genera innumerables trastornos. Para comprender la producción, transporte y uso de la energía eléctrica, hay que entender los circuitos eléctricos. A veces, los cables a la vista delatan los circuitos eléctricos tanto en las líneas de alta tensión que se pueden ver en las rutas como los cables que sirven para conectar un artefacto doméstico. En otras ocasiones, los circuitos eléctricos están escondidos, pero adentro de cada sistema que utilice energía eléctrica hay por lo menos uno. En todo circuito hay partes que le suministran energía, como la pila, hay cables que pueden ser interrumpidos por mecanismos que actúan como la llave de la linterna y hay partes donde se transforma la energía eléctrica en otras formas de energía, como la lámpara. Los técnicos, al referirse a los circuitos utilizan términos como potencia, amperaje, voltaje y resistencia. Además de entender su significado, habrá que ver también cómo se relacionan a través de las leyes físicas que permiten comprender o diseñar circuitos eléctricos. Esta comprensión permitirá, además, justificar las medidas para el uso racional de la energía eléctrica y las normas de su utilización sin peligro.

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudian las transformaciones de la energía eléctrica. Se desarrollan los distintos tipos de circuitos eléctricos y se analizan la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff. Además, se detallan las medidas de seguridad para el suministro y manipulación de la energía eléctrica.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC8



Potencia y energía eléctrica

Durante miles de años, el ser humano utilizó la luz solar para iluminarse y produjo bienes y servicios solo con su trabajo físico y algunos utensilios creados por él. Con el correr del tiempo, estas rudimentarias herramientas se fueron perfeccionando con el fin de simplificar las tareas y mejorar la calidad de vida.

En el siglo xviii, a partir de la Revolución Industrial, la situación cambió radicalmente debido a la creación de una máquina que no necesitaba del esfuerzo del hombre ni de los animales para funcionar. Desde ese momento y hasta nuestros días, la mayoría de las actividades de las personas han estado vinculadas con artefactos que los ayudan a hacer sus tareas. Por ejemplo, en vez de barrer, pueden utilizar una aspiradora y, en lugar de abanicarse, pueden encender un ventilador o un equipo de aire acondicionado. Estos y otros artefactos necesitan energía eléctrica para funcionar. Por esa razón, la vida actual se desarrolla, en buena medida, en torno a ella.

En los hogares, la energía eléctrica es provista por las centrales y por empresas que son responsables de su distribución a través del sistema de interconectado nacional. Tales centrales no crean la energía eléctrica, sino que la obtienen transformando otros tipos de energía. Las compañías eléctricas cobran bimestralmente las transformaciones realizadas en los hogares, ya que en realidad no se cobra por la energía consumida.

En los hogares, se pueden encontrar también otros artefactos eléctricos que no necesitan estar enchufados y que no utilizan el servicio de energía eléctrica para funcionar, como las linternas, los relojes de pared o los controles remotos de los artefactos electrónicos. Estos tienen sus propias fuentes de energía, pilas o baterías, que transforman la energía química en eléctrica.

Sin embargo, cuando se reemplaza una lamparita o se adquiere un artefacto, es importante tener en cuenta una característica que está relacionada con la rapidez con la que la energía se transforma: la potencia eléctrica. Todos saben que el uso de una lamparita de 60 W resulta más económico que el de otra de 100 W. Esto se debe a que la primera transforma 60 J de energía por cada segundo que está encendida, mientras que la otra transforma 100 J en el mismo tiempo.

La potencia eléctrica es la rapidez con la que un aparato eléctrico transforma energía. Como ya se vio en el capítulo 2, su cálculo se realiza mediante el cociente entre la cantidad de energía transformada y el tiempo que se utilizó para transformarla:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

La potencia, de acuerdo con el SIMELA, se mide en watt (W). Una potencia de 1 W significa que 1 J de energía es transformado en 1 segundo. Por eso:

$$W = \frac{J}{s}$$

Como ya se indicó en el capítulo 2, el watt es una unidad pequeña, razón por la cual se utilizan frecuentemente sus múltiplos, como el kW (10^3 W), el MW (10^6 W) o el GW (10^9 W).

En el ámbito técnico o industrial, cuando se hace referencia al valor de una potencia eléctrica, se suele usar el término volt-ampere en lugar de watt. En realidad, son equivalentes, ya que un artefacto eléctrico conectado a una fuente de 1 V, y por el que circula una corriente eléctrica de 1 A, transforma 1 J de energía por cada segundo que está conectado.



Los generadores eólicos transforman la energía cinética del aire en eléctrica.

Frente a la problemática energética, se realizan campañas para el uso eficiente de la energía. Se entiende por eficiencia a la relación entre la cantidad de energía requerida y los beneficios finales que ofrece. En una lámpara incandescente de 60 W, son transformados 60 J por segundo de energía eléctrica, de los cuales solo un 10%, aproximadamente, es energía lumínica. Es decir que la eficiencia en una lámpara incandescente es muy baja. En cambio, en las lámparas de bajo consumo, o lámparas fluorescentes compactas, la eficiencia es mayor, ya que gran parte de la energía transformada es lumínica. Pueden transformar más del 70% de la energía eléctrica en lumínica. Estas lámparas tienen un rendimiento lumínico cuatro veces mayor, aproximadamente, que las incandescentes, es decir que por cada watt de potencia eléctrica iluminan cuatro veces más.

Se puede lograr un aumento de la eficiencia energética mediante la implementación de diversas medidas tendientes a producir cambios de hábitos en la comunidad. Con el reemplazo de un tipo de lámparas por otro, por ejemplo, o bien concientizando en la elección de los productos eléctricos apropiados. Para ello, existe una tabla de eficiencias denominada **etiqueta energética**. Esta ofrece, a través de categorías determinadas con letras, una relación entre el consumo energético de ese producto y el de la media de productos iguales presentes en el mercado. Los más eficientes son los identificados con las letras A, B y C, mientras que los de medio y alto se clasifican con las letras D, E, F y G, y son los menos eficientes.



Las categorías en que se clasifican los artefactos eléctricos vinculan la eficiencia y el consumo.

Otras formas de hacer un uso eficiente de la energía eléctrica

Existen razones muy significativas para promover el ahorro de la energía eléctrica desarrollando acciones que van más allá del uso de artefactos más eficientes, como son las lámparas de bajo consumo.

El uso más eficiente de la energía eléctrica no solo reduce los gastos en una casa. La energía eléctrica requiere el uso de recursos no renovables como los derivados del petróleo que, además de no poderse renovar, producen contaminación. Su uso racional colabora, entonces, con la preservación de estos recursos y la limitación de la contaminación del ambiente.

En el hogar, además de usar artefactos más eficientes, se pueden adoptar hábitos que contribuyan en este sentido.

Por ejemplo: usar la iluminación artificial solo cuando sea necesario y apagar las luces en los lugares donde no se las utilice; abrir el mínimo tiempo posible la heladera, ya que el ingreso de aire más caliente hace que el motor eléctrico funcione durante más tiempo; no dejar funcionando artefactos eléctricos que no se estén utilizando, como planchas, televisores, computadoras, equipos de música, etcétera.

Las industrias, que en su gran mayoría utilizan energía eléctrica, también optimizan sus ciclos de producción reduciendo al máximo el gasto energético.



Muchas veces se dejan luces y aparatos encendidos en ámbitos donde no hay nadie utilizándolos.



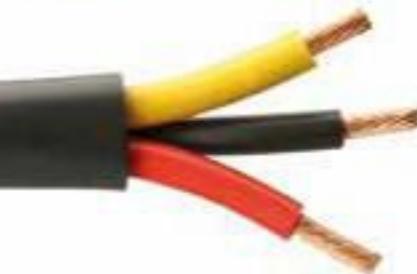
1. ¿Cuánta energía se transforma por día en una casa? Tengan en cuenta los datos para diferentes electrodomésticos que se dieron en el capítulo 2.

2. Investiguen el costo que establece la compañía eléctrica e indiquen el valor aproximado para todo un bimestre.

Circuitos eléctricos

a

1. Un velador está encendido y conectado a un tomacorriente ubicado en la pared. Identifiquen las partes de este circuito.
2. Si el velador se desconecta y se corta el cable, se observa que en realidad son dos cables aislados entre sí (cable bifilar). ¿Por qué es necesario este tipo de cable para el funcionamiento del velador?



Una linterna tiene uno de los circuitos eléctricos más simples.

Cuando, al entrar en una habitación oscura, se acciona la tecla de encendido de las luces, estas se prenden casi instantáneamente. Lo mismo sucede cuando se gira la perilla del ventilador de techo o se aprieta el botón de encendido de un horno de microondas. De alguna forma, la energía eléctrica llega a las lámparas que producen luz, al motor del ventilador que permite el movimiento del aire para refrescar la habitación o al generador de microondas para calentar la comida. Resulta evidente que no solo depende de apretar un botón, de girar una perilla o de accionar una llave para que la energía se transmita a tales dispositivos eléctricos. Cada uno de ellos forma parte de un circuito eléctrico.

En todo circuito eléctrico hay, básicamente, cuatro elementos vinculados: fuente de energía, conductores, llaves y carga del circuito donde la energía eléctrica se transforma en otro tipo de energía.

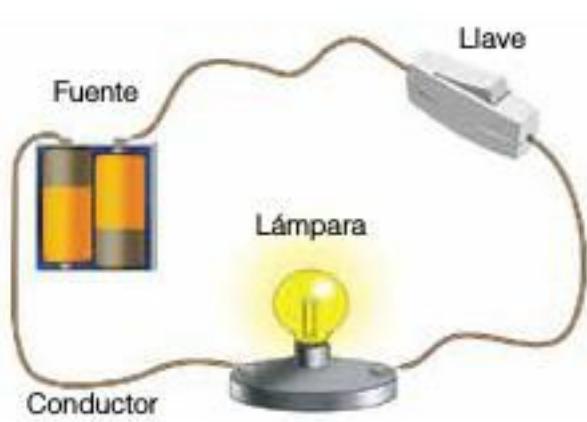
Si el suministro de energía por parte de la compañía eléctrica se encuentra interrumpido por algún motivo, por más que se presione la tecla de encendido, no habrá energía para distribuir. Por lo tanto, se necesitarán **fuentes** que aporten energía eléctrica a partir de la transformación de energía química, como sucede en una pila, batería o grupo eléctrico, o a partir de la transformación de la energía mecánica, como sucede en una central hidroeléctrica. También los tomacorrientes de una instalación domiciliaria, fabril o escolar son considerados fuentes de energía, ya que le entregan energía al aparato que se conecte en ellos.

Asimismo, son necesarios los cables o **conductores** que transportan la energía a todo el circuito, permitiendo que, por ejemplo, un ventilador gire o una luz se encienda.

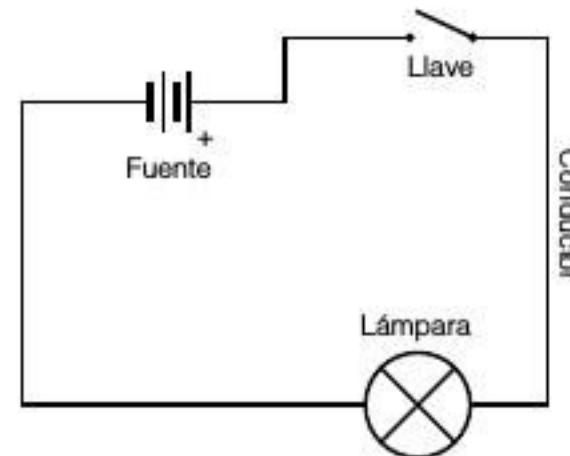
En las lámparas, la energía eléctrica se transforma en energía lumínica; en el ventilador, en energía cinética; y en el horno de microondas, en energía interna de los alimentos. Estos aparatos son responsables de transformar la energía eléctrica en alguna de otro tipo y son la **carga del circuito**.

Para que estas transformaciones se produzcan, el circuito debe estar cerrado, es decir que todos los elementos que lo conforman deben estar vinculados entre sí. Son las **llaves**, las teclas o los interruptores los que permiten abrir o cerrar un circuito y que permiten o no la distribución de la energía a todos sus componentes.

Seguramente, entre los artefactos de uso común, el que tiene un circuito más simple es la linterna. Las pilas constituyen la fuente de energía. En ellas la energía química se transforma en eléctrica cuando la linterna está encendida. Con una llave o botón se cierra o se abre el circuito, formado generalmente por pequeñas tiras metálicas. Al cerrar el circuito, la corriente eléctrica que circula por el filamento de la lamparita lo calienta, lo pone incandescente y esto hace que emita luz.



Componentes de un circuito.



Esquema que representa los componentes de un circuito: conductor, llave, fuente y lámpara.

Fuentes: fuerza electromotriz

Para hacer funcionar un artefacto eléctrico, se lo enchufa, es decir que se lo conecta a una fuente de energía eléctrica exterior. En otros casos, la fuente está en el mismo aparato, y son las pilas, las baterías y los generadores los más utilizados. En las dos primeras, la energía química que se libera durante las reacciones producidas en el interior, es transformada en energía eléctrica. Mientras que en el generador, la energía cinética de sus partes móviles se transforma en la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del circuito.

Actualmente, algunos aparatos eléctricos como relojes, calculadoras o guirnaldas de uso exterior, no utilizan pilas o baterías debido al impacto que pueden producir en el ambiente cuando son descartadas. Tales fuentes fueron reemplazadas por celdas fotovoltaicas o solares que transforman la energía luminosa en eléctrica.

Desde el punto de vista físico, la energía no se crea en la fuente, ya que esta es la responsable de entregar la energía al circuito para mantener la corriente eléctrica, a partir de una transformación previa. Esa energía es producto de las reacciones electroquímicas en el interior de la pila o de la batería. De acuerdo con la composición química, el tamaño, la temperatura y otras características, a las fuentes se les atribuye una magnitud que está relacionada con la energía que pueden entregar a un circuito que se les conecta. A esa magnitud se la denomina **fuerza electromotriz** o, en forma abreviada, **fem**. La fem es una magnitud que se mide, según el SIMELA, en volt (V).

El **volt** se define como el cociente entre la variación de energía de 1 joule experimentada por un cuerpo cuya carga es de 1 coulomb.

$$V = \frac{J}{C}$$

Que una fuente eléctrica, como por ejemplo una pila, tenga una fem de 1 volt significa que cada vez que circule corriente por ella y sea atravesada por 1 coulomb de carga eléctrica, transformará 1 joule de energía no eléctrica en energía eléctrica.

Por ejemplo, en una batería de auto, por cada carga de 1 C que pase por ella, serán transformados 12 J de energía, por lo tanto, esta tendrá 12 V de fem.

En forma más general, la expresión de la fuerza electromotriz es:

$$\text{fem} = \frac{\Delta E}{q}$$

donde ΔE es la energía entregada por la fuente al circuito, cuando es atravesada por una carga q .

Las pilas comerciales tienen valores de fuerza electromotriz determinados por su composición química. Cuando un circuito requiere un valor de fem mayor al que suministra una pila, se utilizan un conjunto de ellas colocadas en serie. En ese caso, la fem del conjunto es igual a la suma de las fem de las pilas colocadas. Así, para su correcto encendido, en una linterna que requiere una fem de 4,5 V se colocan 3 pilas comerciales de 1,5 volt cada una.



En el año 1800, Alessandro Volta creó la primera fuente electroquímica. Se la llamó pila porque, para fabricarla, apiló treinta discos de zinc y cobre, alternadamente, separándolos con paños embebidos en ácido sulfúrico.



Pilas de uso común.

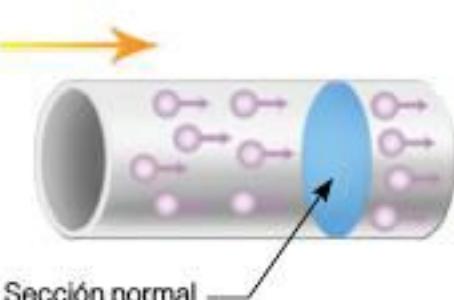
El coulomb, unidad de carga eléctrica

Los cuerpos eléctricamente neutros tienen la misma cantidad de protones que de electrones. Cuando tienen un exceso de protones, están cargados positivamente, y si el exceso es de electrones, su carga es negativa. Para medir la carga eléctrica, se utiliza una unidad llamada coulomb (C) que equivale a $6,25 \cdot 10^{18}$ electrones de más o de menos. Es decir que si un cuerpo tiene $6,25 \cdot 10^{18}$ más electrones que protones, su carga negativa es de 1 coulomb.

Corriente eléctrica

A veces, al accionar el interruptor de un velador para iluminar una habitación, la luz no se enciende. Una vez verificado que no está cortado el suministro eléctrico desde la compañía de energía, las acciones que se realizan son diversas: se ajusta el enchufe en el tomacorriente, se comprueba el buen funcionamiento de la tecla del interruptor, se ajusta la lamparita en la rosca y si, finalmente, todo lo anterior no da resultado, se procede a su cambio. En esta situación, ya sea que se haya desenchufado el velador, se haya dañado el interruptor o se haya aflojado o quemado la bombilla, no hay corriente eléctrica que recorra los componentes del circuito, es decir que no hay energía para transformar en la lámpara, ya que el circuito está abierto. Cuando el inconveniente se solucione y se apriete el botón del interruptor, la energía eléctrica entregada por la fuente producirá el movimiento de las cargas y la transferencia de energía en el circuito, el cual se habrá cerrado y la luz se encenderá.

En un modelo sencillo para explicar la corriente eléctrica, se puede suponer que los electrones de conducción se desplazan por el conductor como si fueran partículas, siempre y cuando el circuito esté cerrado y alguna fuente le haya suministrado energía.



En un modelo sencillo para explicar la corriente eléctrica, se puede suponer que los electrones de conducción se desplazan por el conductor como si fueran partículas, siempre y cuando el circuito esté cerrado y alguna fuente le haya suministrado energía.

Si bien hay movimiento de electrones en el conductor sólido, la cantidad total de cargas positivas y negativas en su interior es la misma. La fuente no entrega cargas al circuito, solo energía. Por lo tanto, en un circuito cerrado se verifica el **Principio de Conservación de la Carga Eléctrica**: la carga total, o bien, la suma algebraica de las cargas positiva y negativa, se conserva.

Pero los cables no son los únicos capaces de producir el transporte de energía en un circuito, no son los únicos conductores. Por ejemplo, líquidos como el agua también lo pueden hacer si se les agrega un poco de sal o alguna sustancia ácida. En ese caso, se forman iones tanto positivos como negativos y se produce una solución electrolítica. Dichos iones son capaces de transportar la energía, pero unos lo hacen en un sentido y otros, en el contrario. Algo similar ocurre con los conductores gaseosos.

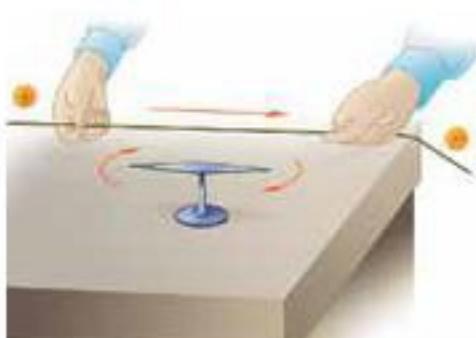
Efectos de la corriente eléctrica

Al mirar un cable que es parte de un circuito no podemos saber si está circulando corriente eléctrica por él a partir de su sola observación. Sin embargo, los movimientos interiores de cargas eléctricas, que no se pueden observar, provocan algunos efectos externos que sí se pueden detectar.

Si el cable es metálico, un efecto notorio es su calentamiento. Esto, denominado **efecto térmico de la corriente eléctrica**, se produce ya que en los metales parte de la energía eléctrica se disipa al medio en forma de calor. Cuando el metal estabiliza su temperatura en un valor muy alto, se pone incandescente y emite parte de la energía en forma de ondas luminosas. Ese es el caso del filamento de las lámparas incandescentes.

Otros de los efectos exteriores de la corriente eléctrica es el **magnético**. Como se sabe, y veremos con más detalle en el próximo capítulo, si se acerca un imán a una brújula, esta cambia de orientación. Una primera explicación sería que el imán modifica el espacio a su alrededor generando un llamado campo magnético y la brújula detecta sus modificaciones mediante cambios de orientación.

En 1820, el físico danés Hans C. Oersted (1777-1851) detectó que, al hacer pasar corriente eléctrica por un cable, se producían cambios de orientación en una brújula cercana. Es decir que una corriente eléctrica genera a su alrededor un **campo magnético**. Esto se explicará con más detalle en el próximo capítulo.



Un conductor por el que circula una corriente eléctrica produce a su alrededor un campo magnético que es detectado por la brújula.

Intensidad de la corriente eléctrica

Para la corriente eléctrica, se establece como sentido convencional de circulación el de las cargas positivas dentro del conductor. Esta disposición fue adoptada e implementada a principios del siglo xix, mucho antes del descubrimiento de los electrones. Esto se debió a la creencia de que eran las cargas positivas las que se desplazaban dentro del conductor. Actualmente, se sabe que en los conductores metálicos son los electrones los que se desplazan en sentido contrario y, sin embargo, esto no genera ninguna contradicción con el modelo propuesto, ya que es lo mismo que se mueva una carga positiva en un sentido que una negativa en el sentido contrario.

Si un conductor se conecta a una fuente o generador que le suministre más energía, los electrones libres se moverán más rápidamente por un mismo sector y, en el mismo tiempo, pasará una mayor cantidad de electrones. Por lo tanto, la corriente eléctrica será mayor o más intensa. La magnitud que mide la corriente eléctrica se denomina **intensidad de corriente** y brinda una idea de la cantidad de carga que atraviesa una sección normal del conductor en una unidad de tiempo. Matemáticamente, se la expresa como:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

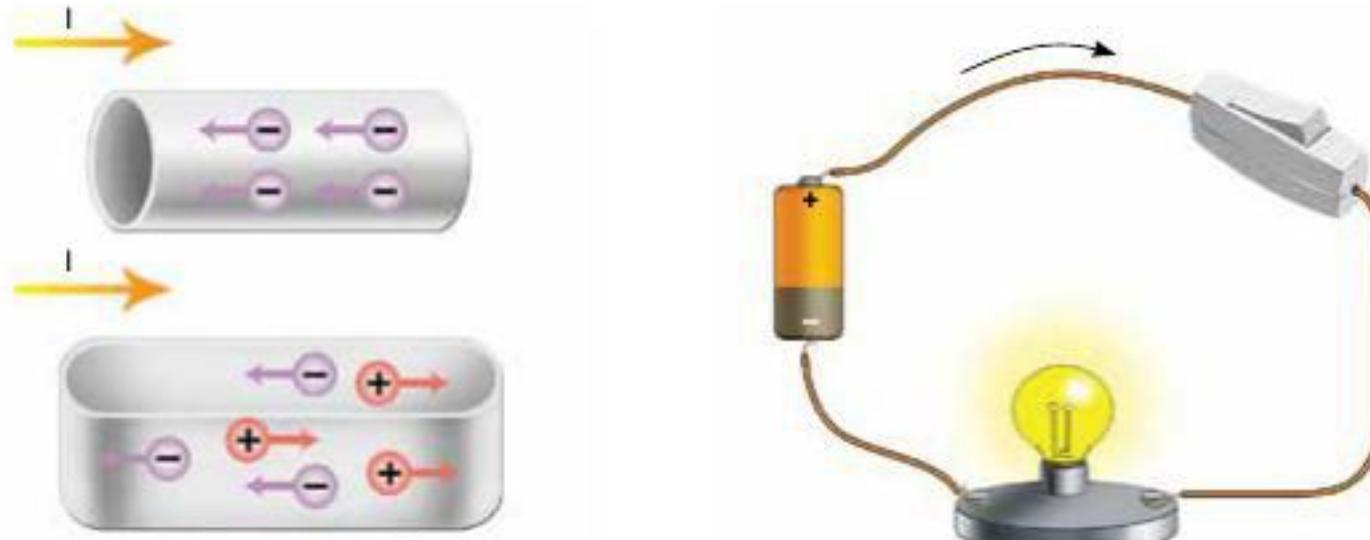
donde Δq representa la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor en un tiempo Δt .

La unidad de la intensidad de corriente en el SIMELA es el **ampere** (A). Se dice que en un conductor circula en forma constante una corriente de 1 ampere (1 A), cuando por cada sección normal del conductor pasa 1 coulomb de carga eléctrica por cada segundo. Recibe ese nombre en honor a André Marie Ampère (1775-1836), quien realizó grandes aportes en el campo de la electrodinámica y su vinculación con el magnetismo, lo que dio origen al electromagnetismo.

Cuando las intensidades son muy pequeñas, suelen utilizarse submúltiplos del ampere: el miliampere (mA), que es la milésima parte del ampere, y el microampere (μ A), que es la millonésima parte del ampere.

Cada electrón tiene una carga eléctrica muy pequeña, $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, por lo tanto, ha de ser necesario el pasaje de $6,25 \cdot 10^{18}$ electrones por segundo, por una sección de un conductor, para lograr una intensidad de corriente de 1 A.

Convivimos con intensidades de corriente de muy diverso rango. En una casa, los equipos electrónicos tienen partes que utilizan corrientes de algunos microamperes o miliamperes, mientras que la intensidad de corriente por el cable de una plancha en funcionamiento es de varios amperes. Por otro lado, un relámpago es una corriente de muy corta duración y sus valores de intensidad son de varios miles de amperes.



En un conductor metálico, los electrones, que son negativos, se mueven en sentido opuesto al de la corriente; en cambio, en una solución electrolítica, el movimiento de los iones se produce en ambos sentidos según su signo.

Sentido de la corriente en el circuito de una lamparita.

Tubo fluorescente

En el interior de un tubo fluorescente hay gas, por lo general argón y mercurio. Al encenderlo, electrones emitidos por electrodos que están en sus extremos ionizan el gas, por lo que en cada instante la corriente eléctrica dentro de un tubo encendido está constituida por iones positivos moviéndose en un sentido y electrones haciendo lo contrario. Los electrones excitan átomos de mercurio que emiten luz ultravioleta, la que provoca a su vez la emisión de luz por parte de la capa que recubre el tubo.



Ley de Ohm

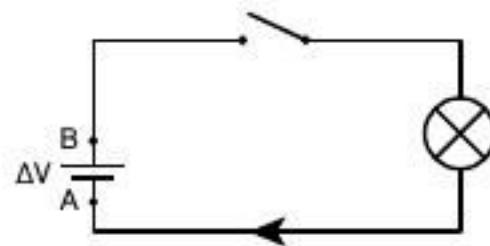
Linterna con una pila.



La misma linterna con dos pilas.

Una misma lamparita ilumina de diferente forma, si se la conecta a una pila o a dos.

Al cerrar la llave, la lamparita queda conectada entre los puntos B y A.



El chico pierde energía potencial al descender, de la misma forma que lo hacen las cargas al atravesar una lamparita.

El valor de la variación de la energía de cada unidad de carga eléctrica, cuando pasa de un punto a otro de un circuito, se denomina **diferencia de potencial** entre esos puntos. Como ocurre con la energía potencial gravitatoria en el tobogán, en un conductor las cargas eléctricas positivas van del punto de mayor potencial al del menor.

La diferencia de potencial que, como la fem, es la variación de energía por cada unidad de carga, también se mide en volt.

Si se establece una diferencia de potencial entre los extremos de un conductor, por ejemplo, conectándolos a una pila, entonces circula por el conductor una corriente eléctrica desde el punto de mayor potencial al de menor potencial. Si se varía la diferencia de potencial, por ejemplo si se lo conecta a dos pilas, entonces la intensidad varía.

Para un mismo conductor, la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial están vinculadas y la forma en que lo hacen depende del conductor. Esta dependencia fue estudiada por el físico Georg Simon Ohm (1786-1854) que, en 1826, enunció que la intensidad de corriente que circula por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre sus extremos. La constante de proporcionalidad es una característica del conductor y se la denomina **resistencia del conductor**. Matemáticamente, se puede expresar tal relación como:

$$\frac{\Delta V}{I} = R \quad \text{o bien:} \quad \Delta V = I \cdot R$$

donde ΔV es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor, I es la intensidad de corriente que circula por este y R es la resistencia del conductor.

La resistencia eléctrica se mide en una unidad llamada **ohm**, que se simboliza con la letra griega omega: Ω . Por un conductor de 1 ohm de resistencia, circulará una corriente de 1 ampere si se lo conecta a una diferencia de potencial de 1 volt.

La forma de representar una resistencia en un circuito es la siguiente:

La Ley de Ohm se cumple para una gran cantidad de materiales que, por esa razón, se denominan óhmicos. Hay otros materiales, como la madera o la goma, que no la cumplen, ya que si bien son malos conductores de la electricidad, la relación entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial no es de proporcionalidad como en los metales. Los led, que se encuentran en diversos aparatos electrónicos y linternas, tampoco cumplen esta ley; incluso dentro de las diferencias de potencial para los que fueron diseñados, conducen en un sentido pero no lo hacen en el opuesto.

En los metales, esta ley es válida si se mantiene constante la temperatura, ya que el valor de la resistencia varía si se calientan o se enfrian. Por ejemplo, al conectar una estufa eléctrica a la línea de 220 volt, su resistencia a temperatura ambiente puede ser de $40\ \Omega$, por lo tanto, pasa por ella una intensidad de corriente:

$$I = \frac{220\text{ V}}{40\ \Omega} = 5,5\text{ A}$$

Inmediatamente, la resistencia eleva su temperatura y se pone incandescente. Su resistencia aumenta a $100\ \Omega$ y, por lo tanto, la intensidad de corriente desciende al valor:

$$I = \frac{220\text{ V}}{100\ \Omega} = 2,2\text{ A}$$

En él se estabiliza, ya que la potencia eléctrica entregada a la resistencia es igual a la disipada en forma de calor, por lo que su temperatura no aumenta.

Todos los aparatos eléctricos tienen alguna resistencia, incluso los cables, aunque en ellos los valores son muy bajos. Dicho valor se suele encontrar en su parte trasera, en las especificaciones del fabricante, junto con otros datos de importancia.

Si se analizan los valores indicados para una pava eléctrica y para un secador de pelo, habrá algunos que serán comunes dado que están conectados a la red domiciliaria. Por ejemplo, ambos se pueden enchufar a un tomacorriente de 220 V y a **corriente alterna**. Esto último significa que la intensidad de corriente eléctrica cambia de sentido alternativamente. En nuestro país lo hace 50 veces por segundo, lo que se expresa como 50 hertz (Hz).

Otras indicaciones que son habituales en los aparatos eléctricos o en sus manuales de uso son la potencia, el valor de la resistencia y la intensidad límite de corriente que pueden soportar antes de dañarse.

	Pava eléctrica	Secador de pelo
Fem	220-240 V	220-240 V
Tipo de corriente	50/60 Hz	50/60 Hz
Potencia	2.000-2.400 W	800-1.000 W
Resistencia	$20\ \Omega$	$48\ \Omega$
Intensidad de corriente máxima	1 A	5 A

Comparación de especificaciones del fabricante.

Verificamos la Ley de Ohm



¿Cómo se puede hacer para verificar la Ley de Ohm?

¿Qué deberá mantenerse constante y qué se irá modificando?

Materiales

Cables

1 lámpara de auto

4 pilas nuevas

1 amperímetro

Paso 1:

Armen el circuito usando los cables, la lámpara y el amperímetro con una sola pila. Midan la intensidad de la corriente. ¿Cómo se efectúa la conexión? Pueden ver la conexión del amperímetro en la página 164.

Paso 2:

Acoplen una pila a la anterior y observen. ¿Qué variables del sistema se han modificado?

Reitan este paso hasta llegar a acoplar cuatro pilas.

Paso 3:

Representen los datos obtenidos de intensidad de corriente y diferencia de potencial en un sistema de ejes cartesianos, recordando que cada intensidad deberá estar expresada en ampere y cada diferencia de potencial, en volt. ¿Qué tipo de función queda representada? ¿Existe una constante de proporcionalidad? Si existe, ¿qué representa esa constante para el sistema? ¿Qué valor de la constante se obtuvo? ¿Coincide con las indicaciones del fabricante? ¿Por qué?

Resistencia y resistividad

Conductividad

Así como la resistividad se define como el grado de oposición al movimiento de cargas dentro de un conductor y es característico del material con el que está hecho el conductor, se puede definir la **conductividad** como el grado de movilidad de las cargas. Cada uno de estos coeficientes es inverso al otro, ya que si un material ofrece mucha resistencia al paso de la corriente, presenta una conductividad muy baja. La conductividad se mide en **siemens** y se representa con la letra griega tau (σ). Se lo denomina así en honor a Werner von Siemens (1816-1892).

Material	ρ ($\Omega \cdot m$)
Cobre templado	$1,72 \cdot 10^{-8}$
Oro	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Aluminio	$2,65 \cdot 10^{-8}$
Tungsteno	$5,49 \cdot 10^{-8}$
Hierro	$6,54 \cdot 10^{-8}$
Carbono	$3,57 \cdot 10^{-5}$
Germanio	45,5
Silicio	62.500

Tabla de resistividades para algunos materiales entre 20 °C y 25 °C.



1. ¿Qué resistencia tiene un alambre de cobre de 20 m de longitud y $1 \cdot 10^{-3}$ m de diámetro?
2. ¿De qué material está hecho un conductor de 5 m de largo, $0,5 \cdot 10^{-3}$ m de diámetro y que presenta una resistencia de 0,56 Ω ?
3. Si el conductor anterior se duplicara en longitud, ¿qué sucedería con la resistencia? ¿Y si aumentara al doble el diámetro?

Los conductores metálicos pueden presentar diferentes resistencias eléctricas. Por ejemplo, si se conectan dos alambres diferentes, que llamaremos (1) y (2), a una diferencia de potencial de 4 V, y por el alambre (1) circula una intensidad de 2 A, mientras que por el alambre (2) circula una intensidad de 0,5 A, entonces, según la Ley de Ohm, sus resistencias son:

$$R_{(1)} = \frac{4 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 2 \Omega$$

$$R_{(2)} = \frac{4 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 8 \Omega$$

El alambre (2) opone mayor resistencia a la circulación de la corriente que el alambre (1) porque tiene ciertas características diferentes.

Una de las variables que influyen en la mayor o menor resistencia de un conductor es el material del que está hecho. Por ejemplo, dos cables de iguales dimensiones, uno de cobre y otro de plata, ofrecen diferentes resistencias a la circulación de la corriente eléctrica.

Esta característica de los materiales, que indica si son mejores o peores conductores, se llama resistividad. La **resistividad** es una característica de cada material y se relaciona con la forma en que los electrones de conducción interactúan con la estructura atómica.

La resistividad de un material es un valor que indica su resistencia por unidad de longitud y por unidad de sección. Por ejemplo, la resistividad del cobre es $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (que se expresa $\Omega \cdot \text{m}$); esto significa que un cable de cobre de 1 m de largo y 1 m^2 de sección tendrá una resistencia de $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega$.

Los valores de las resistividades de los materiales están determinados experimentalmente y se pueden consultar en tablas, como la de la izquierda.

Las dimensiones de un conductor también influyen en su **resistencia**. Si se corta un trozo de alambre de cobre en dos partes de distinta longitud, la más larga presentará mayor resistencia que la más corta. Si se comparan las resistencias de dos alambres del mismo material y el mismo largo, se observará que el más estrecho tiene mayor resistencia que el de mayor sección. Si se supone que los alambres son cilíndricos, el de mayor sección es el de mayor área en la superficie de su base.

El valor de la resistencia de un conductor es directamente proporcional a su largo e inversamente proporcional a su sección. Matemáticamente, se puede expresar de la siguiente forma:

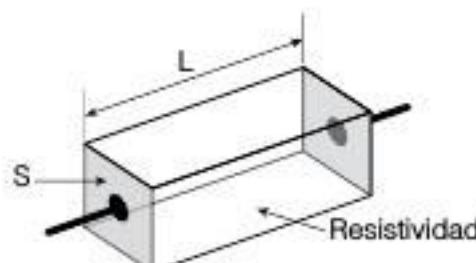
$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

donde L es el largo del conductor, S es la sección y ρ es la resistividad del material, que se designa con la letra griega rho minúscula.

La unidad de la resistividad en el SIMELA es $\Omega \cdot \text{m}$.

Por ejemplo, la resistencia de un cable de cobre de 10 m de largo y 1 mm^2 de sección se puede calcular de la siguiente manera. De la tabla de la izquierda, extraemos que la resistividad del cobre es: $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. La sección S es de 1 mm^2 y, expresada en metros cuadrados, es: $S = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$. Aplicando la expresión para el cálculo de la resistencia:

$$R = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{10 \text{ m}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,172 \Omega$$



La resistencia de un conductor depende del material y de sus dimensiones.

La forma de la estructura atómica de los diferentes componentes de un circuito hace que los electrones puedan estar más o menos unidos a esa estructura. Para otorgarles movilidad y que conduzcan la electricidad, serán necesarias diferentes cantidades de energía provistas por una fuente. Por lo tanto, la resistividad determina una clasificación de los materiales en conductores, semiconductores, superconductores o aislantes.

Conductores: presentan bajos valores de resistividad. Son los metales y sus aleaciones, así como materiales no metálicos como el grafito. El conductor más común en las instalaciones eléctricas domiciliarias es el cobre, con el que están hechos los cables.

Semiconductores: en su estado natural no conducen la corriente eléctrica, pero cuando alteran su red cristalina reemplazando alguno de sus átomos por otros, aumentan su conductividad. Dentro de esta categoría se encuentran el silicio y el germanio. Asimismo, el selenio cambia su resistividad con la intensidad de la luz con la que se lo ilumine, por ello es que también se lo considera un semiconductor.

Superconductores: al ser enfriados a temperaturas muy bajas, en algunos casos cercanas al cero absoluto (-273°C), su resistividad decrece hasta llegar a ser nula.

Aislantes: presentan altas resistividades ofreciendo mucha oposición al paso de la corriente eléctrica. Ejemplos de ellos son el vidrio, la cerámica, el plástico, la goma, la cera, el papel y la madera, entre otros. En realidad, no existen materiales absolutamente aislantes, sino que están caracterizados por resistividades muy altas.

Un dato curioso, como dijimos antes, es el del selenio, que cambia su resistividad con la intensidad de la luz. Esta propiedad es utilizada en el funcionamiento de las fotocopiadoras. Básicamente, en ellas hay una placa de selenio colocada sobre un rodillo y cargada eléctricamente que recibe diferentes intensidades de luz que proviene del reflejo en el original que se quiere copiar. Las zonas blancas reflejan toda la luz y las más oscuras la reflejan menos y proporcionalmente a su tonalidad. Las iluminadas se descargan y las otras mantienen su carga en forma total o parcial. Al pasar la placa que está cargada eléctricamente sobre el tóner, este se adhiere a la placa y forma una copia del original, que es transferido al papel cuando se presiona sobre este.

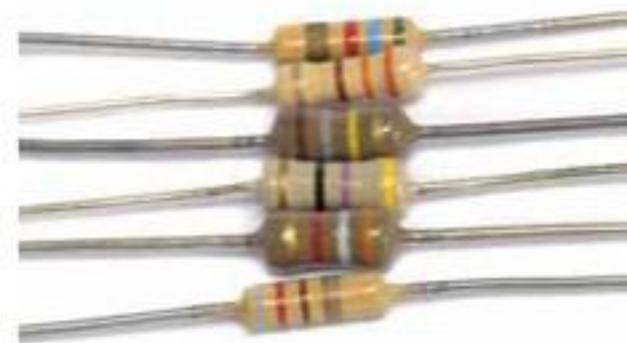
En un aparato como un secador de pelo, una plancha o una tostadora, se colocan componentes diseñados para transformar e intercambiar energía con el medio en forma de calor. Estos dispositivos, denominados **resistores**, se caracterizan por su resistencia y están diseñados para disipar energía en forma de calor sin dañarse. Sin embargo, por ellos puede circular una intensidad máxima de corriente que queda determinada por las indicaciones del fabricante. En el caso de superar dicho valor, el aumento de su energía interna superaría la energía que es capaz de disipar y se dañaría.

Si bien a un dispositivo que tiene resistencia eléctrica, como un cable, se lo llama resistor, se ha generalizado la costumbre, sobre todo en el lenguaje tecnológico, de referirse a ellos como **resistencias**. De esta forma, en lugar de decir: "Un resistor de $10\ \Omega$ de resistencia", se suele decir: "Una resistencia de $10\ \Omega$ ".

También existen resistencias de valores variables denominadas **potenciómetros**. Estos permiten modificar la intensidad de corriente que circula, sin abrir el circuito para agregar un resistor o quitarlo, al variar la resistencia del artefacto girando una perilla.

Como las dimensiones de muchos resistores son muy pequeñas como para escribir su valor en ellas, se utilizan bandas coloreadas. Generalmente, son cuatro y la última indica la tolerancia, es decir, el margen de error con que fueron fabricadas. La primera línea de color representa el dígito de las decenas, mientras que la segunda, el de las unidades. La tercera banda establece la cantidad de ceros que hay que agregarle al número formado y la cuarta indica la precisión. Esta codificación se informa en tablas.

Supongamos que tenemos una resistencia de $560.000\ \Omega$, con un error de $\pm 10\%$, es decir, $560\text{ k}\Omega \pm 10\%$. Como el 10% de $560.000\ \Omega$ es $56.000\ \Omega$, el fabricante indica que el valor de esa resistencia está comprendido entre $616.000\ \Omega$ ($560.000\ \Omega + 56.000\ \Omega$) y $504.000\ \Omega$ ($560.000\ \Omega - 56.000\ \Omega$). Usando las tablas, 560.000 se representa así: la primera banda es verde y la segunda, azul; la tercera banda es amarilla, para agregar cuatro ceros; y, finalmente, la última banda es plateada, lo que indica que la precisión es de un 10% .



Resistencias comerciales.

Código	Color
0	Negro
1	Marrón
2	Rojo
3	Naranja
4	Amarillo
5	Verde
6	Azul
7	Violeta
8	Gris
9	Blanco
5%	Dorado
10%	Plateado
15%	Sin banda

Tabla con el código de colores para las resistencias comerciales.

Efecto joule

Existen aparatos eléctricos diseñados exclusivamente para disipar energía en forma de calor como una estufa eléctrica o un calentador de inmersión. En realidad, todos los conductores por los que circula una corriente eléctrica, aun al no ser su principal finalidad calentar, disipan energía en forma de calor, como es el caso de una lámpara incandescente, un equipo de música o la CPU de la computadora, que requiere un ventilador para mantener su temperatura controlada.

En los circuitos eléctricos de todos ellos, existen componentes metálicos y resistencias en las cuales la energía eléctrica se transforma en otro tipo, fundamentalmente en energía interna. Como consecuencia, se producen aumentos en sus temperaturas y, por lo tanto, disipan energía en forma de calor. Si se llega a un estado en el que la cantidad de energía transformada por unidad de tiempo es igual a la disipada, el conductor mantiene esa temperatura, pero si no la puede disipar con esa rapidez, se calienta y se puede fundir. Este fenómeno fue estudiado por el físico inglés James Joule (1818-1889) y en honor a él lleva su nombre: **efecto joule**. Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor, la cantidad de energía eléctrica que se transforma en energía interna se puede calcular mediante la expresión:

$$\Delta E = \Delta V \cdot q$$

donde ΔE representa la cantidad de energía transformada en la resistencia del conductor; ΔV , la diferencia de potencial entre sus extremos, y q , la cantidad de carga que circula por el conductor entre esos puntos.

Pero resulta más práctico y significativo relacionar dicha energía con características mensurables del circuito, como la intensidad o la resistencia. Por lo tanto, si se tiene en cuenta la definición de intensidad de corriente, según la cual la carga que atraviesa una sección de un conductor se puede calcular mediante el producto entre la intensidad y el tiempo empleado, se tiene:

$$q = I \cdot \Delta t$$

Entonces la expresión anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\Delta E = \Delta V \cdot I \cdot \Delta t \quad (1)$$

o bien, reemplazando la diferencia de potencial en función de la intensidad a partir de la Ley de Ohm, donde R es la resistencia del conductor:

$$\Delta V = R \cdot I$$

queda:

$$\Delta E = R \cdot I^2 \cdot \Delta t \quad (2)$$

Estas dos expresiones permiten calcular la energía transformada por efecto joule en un intervalo de tiempo Δt .

Como se dijo antes, la rapidez con la que se produce la transformación de energía se denomina potencia eléctrica, por lo tanto, esta podrá ser determinada matemáticamente de acuerdo con los valores representativos del circuito. Como la potencia se calcula:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Entonces, de las expresiones (1) y (2), en este caso queda:

$$P = \Delta V \cdot I \quad \text{y} \quad P = R \cdot I^2$$

De la segunda fórmula, se puede concluir que la rapidez con que se transforma la energía por efecto joule en un conductor, es proporcional al cuadrado de la intensidad. Cuando un conductor llega a una temperatura constante, la cantidad de calor que se genera por segundo debido al efecto joule es igual a la que disipa al exterior.



1. Una lámpara de 60 W está conectada a una diferencia de potencial de 220 V. ¿Qué intensidad de corriente circula por ella en esas condiciones? ¿Qué resistencia eléctrica presenta?
2. Una resistencia de 800 Ω puede disipar como máximo 2 W en forma de calor. ¿Cuál es la máxima diferencia de potencial a la que se puede conectar sin que se queme?

Por ejemplo, si por un conductor de resistencia de $1.000\ \Omega$ circula una corriente cuya intensidad es de $2\ A$, el cálculo de la potencia es:

$$P = 1.000\ \Omega \cdot (2\ A)^2 = 4.000\ W$$

Es decir que ese conductor tiene una potencia de $4.000\ W$, o sea que transforma $4.000\ J$ de energía eléctrica en energía interna por segundo. Luego, para mantener constante la temperatura, ese conductor deberá disipar $4.000\ J$ por segundo en forma de calor.

a)

Actividades con la computadora

a)

En la página de Internet www.educapplus.org/play-328-Ley-de-Ohm-y-potencia-electrica.html, se puede acceder a un simulador de un circuito eléctrico simple constituido por: una fuente, conductores, la resistencia de una lámpara y una llave.

Al lado de la fuente, hay un dispositivo que permite cambiar el valor de su fuerza electromotriz desde $2\ V$ hasta $20\ V$ moviendo el punto azul con el *mouse*. Al lado de la resistencia, hay un dispositivo similar que permite cambiar su valor entre $10\ \Omega$ y $100\ \Omega$ de manera similar. También con el *mouse* se puede abrir y cerrar la llave que se encuentra en la parte inferior haciendo funcionar al circuito.

Debajo de la figura, el programa calcula la intensidad de corriente y la potencia en la lámpara, y se indica más abajo que se quemaría si superara los $20\ W$.

1. Gráficos correspondientes a la Ley de Ohm.

Muchas veces se hace un estudio del comportamiento de alguna parte de un circuito analizando las llamadas curvas características, que consisten en graficar la diferencia de potencial aplicada en un eje (por ejemplo, el horizontal) y la intensidad de corriente en el otro (respectivamente, en el eje vertical). Los dispositivos que cumplen con la Ley de Ohm presentan gráficos muy simples.

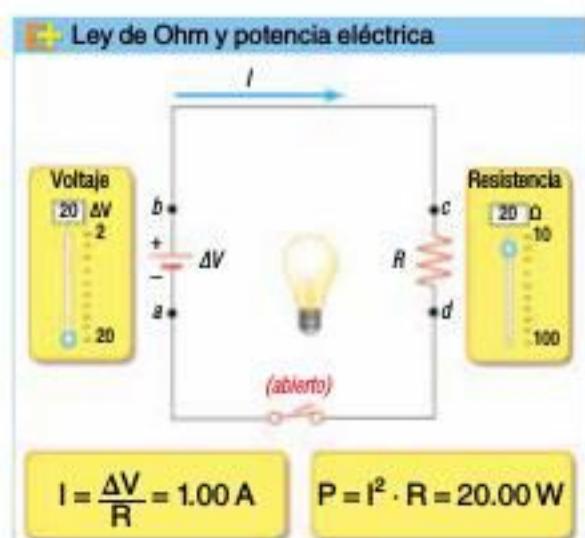
- Fijen una resistencia en un valor de aproximadamente $20\ \Omega$ y háganlo variar entre 5 y 8 veces el potencial. Tomen nota tanto de los valores del potencial como de las respectivas intensidades de corriente. Para ordenar estos valores, pueden confeccionar una tabla o habilitar una planilla del programa Excel.
- Repitan el procedimiento para dos valores más de la resistencia, uno cercano a los $50\ \Omega$ y el otro cercano a los $100\ \Omega$.
- Marquen en un mismo gráfico, ya sea manualmente o mediante algún programa como el Excel, las tres series de valores y analicen el tipo de gráficos que tienen los sistemas óhmicos y qué es lo que cambia al aumentar el valor de la resistencia.

2. Cálculos de potencia.

- Determinen hasta qué valor de la fuerza electromotriz se puede llevar una lámpara de $15\ \Omega$ sin quemarla.
- ¿Es posible que, con los valores de este circuito, se quemé una lámpara de $20\ \Omega$ de resistencia?

- 1.** Para calentar 400 gramos de agua desde $15\ ^\circ\text{C}$ hasta $75\ ^\circ\text{C}$ se utiliza un calentador de inmersión conectado a 220 volt, por el que circula una intensidad de corriente de 2 ampere. ¿Cuánto tiempo se requiere para calentar el agua?

Nota: pueden consultar las ecuaciones calorimétricas en las páginas 74 y 75.



Instrumentos de medición



Multímetro digital. Al girar su selector central, puede funcionar como amperímetro, voltímetro u óhmetro en diversas escalas.

Cuando se produce un desperfecto eléctrico, puede recurrirse a un electricista para solucionarlo. En su caja de herramientas tiene diversos objetos, como cables, destornilladores, buscapolos y multímetros. Estos últimos son dispositivos portátiles, digitales o analógicos, que le permiten medir intensidades de corriente, tensiones o diferencias de potencial y valores de resistencia, tanto de un conductor como de un aparato eléctrico. De esa forma, el electricista obtiene información para determinar el motivo del desperfecto y solucionarlo.

Las mediciones, si bien requieren ciertos cuidados, no son difíciles de realizar y los resultados se obtienen rápidamente.

Según qué magnitud se quiera medir, se utiliza un instrumento diferente:

- **Amperímetro:** mide la intensidad de corriente que circula por un conductor.
- **Voltímetro:** mide tensiones o diferencias de potencial entre dos puntos de un circuito.
- **Ohmímetro u óhmetro:** mide la resistencia eléctrica entre los puntos donde se lo conecte.

Pero no es necesario tener tres dispositivos diferentes, ya que existen instrumentos que ofrecen la posibilidad de medir distintas magnitudes, que son llamados **multímetros**, polímetros o *tester*. Las mediciones más comunes que se pueden realizar con un *tester* son las del voltímetro, el amperímetro y el óhmetro, teniendo en cuenta que antes de conectarlo al circuito será necesario seleccionar la función que se desea con la perilla central. Existen *testers* analógicos y digitales, y estos últimos son los más usados actualmente.

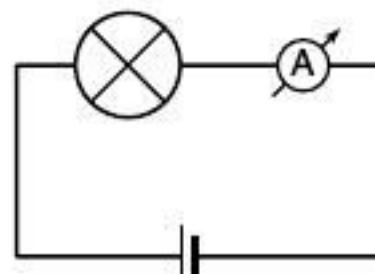
Si bien los multímetros son fáciles de utilizar, cuando se requieren mediciones de mucha precisión, como puede ocurrir en los laboratorios de investigación o en casos de grandes valores de intensidad de corriente o voltaje en la industria, se recurre a instrumentos especialmente diseñados para esos fines.

Amperímetro

Como el amperímetro es un dispositivo diseñado para medir la intensidad de corriente que circula por cualquier tramo de un circuito, es necesario que esa corriente pase por el aparato. Para ello, se debe interrumpir el circuito, es decir, abrirlo y conectar el dispositivo en sus extremos. A una conexión en serie se le agrega un elemento más, el amperímetro, como se muestra en la siguiente figura, lo que altera los valores que se quieren medir.



Cuando las intensidades de corriente son muy altas, se recurre a amperímetros especiales.



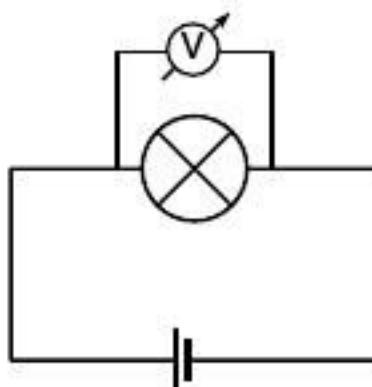
Esquema del circuito de una lámpara de luz con un amperímetro para realizar mediciones.

Por eso, para minimizar esos cambios, los amperímetros tienen una resistencia eléctrica de poco valor. Teniendo en cuenta la baja resistencia interna de los amperímetros, no se los debe conectar directamente a una fuente, ya que sería equivalente a unir con un cable ambos puntos, lo que produciría un cortocircuito.

En su función normal, los multímetros miden intensidades de corriente de hasta unos cientos de miliamperes. Por lo general, tienen una función especial que permite utilizarlos para corrientes de hasta 10 A. Cuando es necesario medir intensidades mayores, hay que utilizar amperímetros más robustos, ya que las altas corrientes provocan gran disipación de calor y el instrumento tiene que estar preparado para soportarla.

Voltímetro

Con este dispositivo se mide la diferencia de potencial o de tensión entre dos puntos cualesquiera de un circuito. No es necesario abrirlo o interrumpir una rama, sino que basta con conectar las terminales del voltímetro en los puntos entre los que se quiere medir la diferencia de potencial. En este caso, la conexión se ha realizado en paralelo, de acuerdo con lo que se indica en la figura siguiente:



Esquema de un circuito al que se le mide la diferencia de potencial utilizando un voltímetro.

Para que el valor que se quiere medir no se altere por la presencia del voltímetro, es necesario que la intensidad de corriente que circule por él sea la menor posible. Por esta razón, los voltímetros tienen una resistencia muy grande en comparación con las del circuito. En el mercado, actualmente es muy común encontrar los del tipo digital, en los que las mediciones se indican en una pantalla de LCD y cuentan con una selección automática de rango.

Ohmímetro u óhmetro

Una forma en que se puede determinar la resistencia presente en un aparato eléctrico, un trozo de cable, o entre dos puntos cualesquiera del cuerpo humano, es utilizando un óhmetro u ohmímetro. En su interior tienen una batería que, al unir los extremos del conductor cuya resistencia se va a medir, con las terminales del óhmetro, alimenta el circuito cerrado formado por ambos. El instrumento detecta la intensidad de corriente que pasa por la resistencia y esto produce la indicación de su valor en una escala especialmente calibrada.

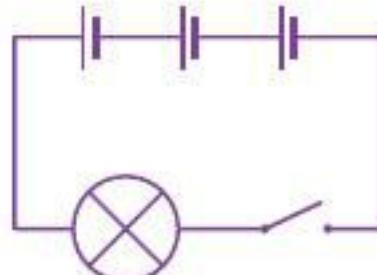
Para medir la resistencia de un conductor mediante un óhmetro, se lo debe desconectar previamente. Si ese conductor estuviese conectado, no solo la medición sería errónea, sino que también se podría dañar el instrumento.



Los multímetros o tester que se venden habitualmente en los comercios especializados tienen escalas especiales para actuar como óhmetros y llevan una pila o batería para realizar esa función.

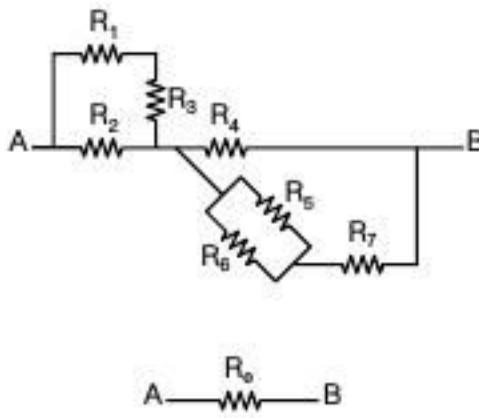
a)

1. El circuito de la siguiente figura está formado por tres pilas de 1,5 V y una lámpara de linterna.



- De qué manera habrá que conectar un voltímetro si se quiere medir la tensión en una de las pilas? ¿Qué valor indicará el voltímetro?
- Si se quiere medir la tensión total aportada al circuito por las tres pilas, ¿cómo deberá ser la conexión? ¿Qué valor indicará el voltímetro?
- Para conocer la intensidad que circula por la lamparita, ¿cómo habría que conectar un amperímetro?
- En el caso de abrirse el circuito con la llave, ¿qué sucedería con los valores anteriores? ¿Por qué?

Asociación de resistencias



Entre los puntos A y B puede haber una conexión diversa de resistencias. Si, al reemplazar esa conexión por una sola resistencia, no se modifica la intensidad de la corriente que circula entre esos puntos, entonces esa resistencia se denomina equivalente.

El circuito de una linterna es sencillo; está formado por una o dos pilas, conductores y un resistor, que es la lamparita misma. En el circuito de un automóvil están conectados simultáneamente, estén en uso o no, varios dispositivos, como las luces delanteras y traseras, el reproductor de audio, la bocina, los levantavidrios, entre otros. Cada uno de ellos constituye una resistencia en el circuito.

Existen diversas formas de conectar resistencias en un circuito, pero hay dos de ellas que son las más utilizadas: la conexión en serie y la conexión en paralelo. Estos nombres no se deben a la forma geométrica que adquieren dichos circuitos, sino a la forma en que se los conecta.

En cada una de ellas, es posible calcular una resistencia total o equivalente a todas las resistencias del circuito, tal que si esta se colocase en reemplazo de las existentes, la intensidad de corriente sería la misma.

Conexión en serie

Existen guirnaldas de luces que se construyen ensamblando varias lamparitas, a distancias regulares, en un mismo cable y conectándolas a una llave y a una fuente apropiada. Al cerrar la llave, las luces se encienden simultáneamente. Si alguna de las lámparas se quemara o se quitara sin ser reemplazada, las otras dejarían de funcionar, ya que el circuito se habría abierto o interrumpido. Esta forma de conexión de resistencias se denomina **conexión en serie**. En una conexión de este tipo, las cargas eléctricas pueden moverse por un único camino y, necesariamente, tienen que atravesar todas las resistencias, por lo que la intensidad de corriente es la misma en cada componente del circuito. Pero la energía eléctrica aportada por la fuente es distribuida en cada resistencia y transformada en energía lumínica y calórica. La suma de las caídas de potencial en los extremos de cada componente, producto de la disipación, debe ser igual a la diferencia de potencial suministrada por la fuente.

Por ejemplo, si tenemos un circuito con tres resistencias conectadas en serie, como se observa en el esquema de la izquierda, sucede que:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad \text{y} \quad \Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$$

donde I_1 , I_2 e I_3 son las intensidades en cada resistencia, ΔV_1 , ΔV_2 y ΔV_3 son las variaciones de potencial en cada resistencia y ΔV es la variación de potencial entre los extremos de las tres resistencias, es decir el suministrado por la fuente.

Teniendo en cuenta las características de una conexión en serie y la Ley de Ohm, se puede calcular la resistencia equivalente en dicho circuito.

Como $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$, usando la Ley de Ohm se puede reemplazar la diferencia de potencial entre los extremos de cada resistencia por el producto $I \cdot R$, es decir: $\Delta V = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3$. Y, como $I = I_1 = I_2 = I_3$, luego: $\Delta V = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$ o bien:

$$\Delta V = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$$

Si se reemplaza la suma de las tres resistencias por la equivalente, entonces: $\Delta V = I \cdot R_e$. Luego, de la comparación de estas dos últimas igualdades, surge que R_e debe cumplir:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

Es decir que la resistencia equivalente tiene que ser igual a la suma de ellas. En general, para un circuito de n resistencias, la expresión general es:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Conexión en paralelo

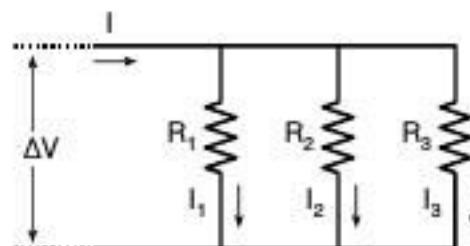
A diferencia de las lamparitas de una guirnalda, los dispositivos eléctricos de un auto no pueden estar conectados en serie, ya que si uno de ellos se desconectara o funcionara mal, los restantes también dejarían de funcionar y, entonces, para utilizar alguno de ellos deberían estar todos funcionando simultáneamente. Para que esto no suceda, existe una forma de vincular distintos dispositivos de manera tal que cada uno pueda funcionar independientemente, es decir, en **paralelo**. Esto es posible si se los conecta todos a la misma diferencia de potencial. Esto es lo que ocurre en una casa cuando se conectan todos los artefactos eléctricos a la red de 220 V; al hacerlo, se encuentran todos conectados en paralelo.

En una conexión en paralelo, la corriente se divide al llegar a cada bifurcación o paralelo y circula por cada componente de la conexión con una intensidad menor que la total. Dicho valor va a depender de la resistencia en cada tramo del paralelo. Cumpliendo con el Principio de Conservación de la Carga Eléctrica, la suma de las intensidades en cada rama deberá ser igual a la intensidad que circula por un conductor conectado al paralelo.

Por ejemplo, si tenemos un circuito con tres resistencias conectadas en paralelo, como se observa en el esquema de abajo, entonces:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{y} \quad \Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3$$

donde ΔV es la diferencia de potencial común a las tres resistencias.



Para llegar a la expresión matemática que permite calcular la resistencia equivalente en una conexión en paralelo, es necesario combinar las expresiones anteriores con la Ley de Ohm y así resulta para la intensidad en cada resistencia:

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} \quad I_2 = \frac{\Delta V}{R_2} \quad I_3 = \frac{\Delta V}{R_3}$$

por lo que la intensidad total que entra y sale del paralelo de resistencias es $I = I_1 + I_2 + I_3$ y se puede expresar:

$$I = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} + \frac{\Delta V}{R_3} \quad \text{o bien} \quad I = \Delta V \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (3)$$

Según la Ley de Ohm,

$$\frac{\Delta V}{I} = R_e \quad \text{entonces} \quad \frac{1}{R_e} = \frac{1}{\Delta V} \quad (4)$$

Comparando las expresiones (3) y (4), se llega a que la resistencia equivalente a un paralelo de resistencias se calcula de la siguiente manera:

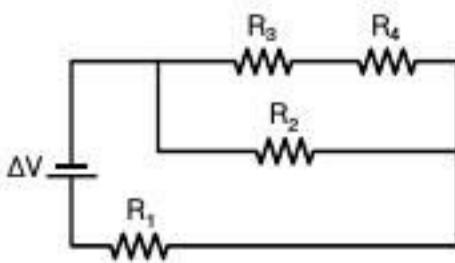
$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

En general, para un circuito formado por una cantidad de n resistencias, resulta que:

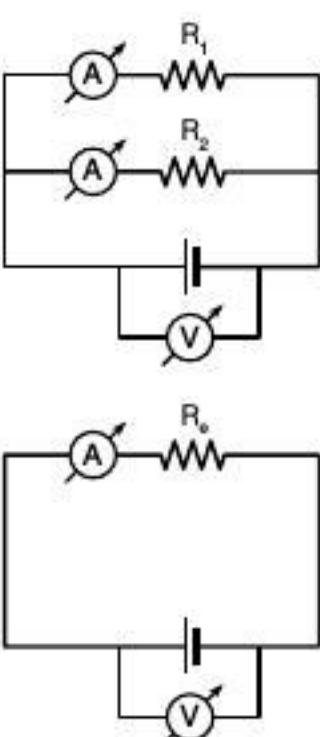
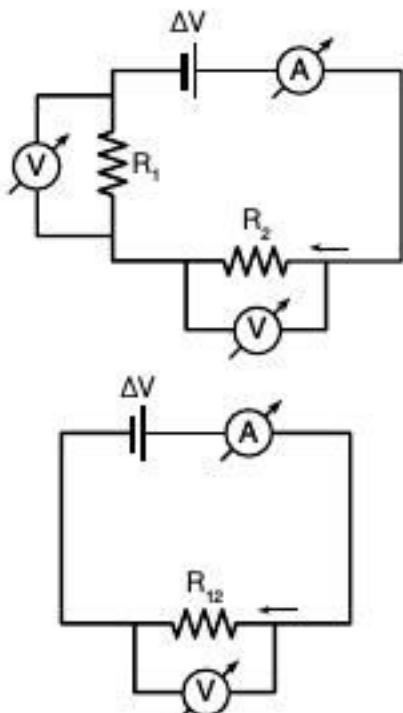
$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

El cuerpo humano

Con un ohmímetro podemos medir la resistencia eléctrica del cuerpo humano colocando las puntas de prueba en dos puntos de este. Si, por ejemplo, varias personas se toman de las manos, se podrá medir la resistencia equivalente entre ellas.



En este circuito se observa cómo las resistencias R_3 y R_4 están en serie y su equivalente está en paralelo con la resistencia R_2 . A su vez, todo este grupo se encuentra en serie con la resistencia R_1 .



Conexión mixta

Muchas veces no hay solo resistencias conectadas en serie o en paralelo, sino una combinación de ellas. A estos circuitos se los denomina **mixtos**, como el de la figura de la izquierda. Para calcular la resistencia equivalente, se procede a dividir el circuito en partes, determinando por separado la resistencia equivalente en serie y la resistencia equivalente en paralelo.

Ejemplos de resolución de circuitos

Para resolver un circuito eléctrico resulta útil dibujar los circuitos equivalentes a medida que se resuelven y colocar en él los datos obtenidos. Por ejemplo, la segunda figura de la izquierda representa un circuito formado por dos resistencias $R_1 = 15 \Omega$ y $R_2 = 5 \Omega$, conectadas a una fuente de 12 V. Se cierra el circuito y nos preguntamos: ¿cuánto marcará un amperímetro colocado en serie con cada resistencia?, ¿y cuánto marcará el voltímetro?

Como ambas resistencias están conectadas en serie, se puede determinar un circuito formado por una sola resistencia, llamada R_{12} , al que denominaremos circuito equivalente.

$$R_{12} = 15 \Omega + 5 \Omega = 20 \Omega$$

En el nuevo circuito, que se observa en la tercera figura de la izquierda, la intensidad de corriente se calculará aplicando la Ley de Ohm de la siguiente manera:

$$\Delta V = I \cdot R_{12} \quad \text{es decir: } 12 \text{ V} = I \cdot 20 \Omega \quad \text{entonces: } I = \frac{12 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,6 \text{ A}$$

Es decir que el amperímetro marcará 0,6 A.

Para determinar la lectura de los voltímetros, es necesario considerar cada diferencia de potencial en los extremos de las resistencias, también utilizando la Ley de Ohm:

$$\Delta V_1 = I \cdot R_1 = 0,6 \text{ A} \cdot 15 \Omega = 9 \text{ V} \quad \text{y} \quad \Delta V_2 = I \cdot R_2 = 0,6 \text{ A} \cdot 5 \Omega = 3 \text{ V}$$

Es decir que el voltímetro conectado a la resistencia R_1 marcará 9 V, mientras que el de la resistencia R_2 marcará 3 V. La suma de las caídas de potencial en las resistencias es 12 V, que es la fuerza electromotriz de la fuente.

Otro ejemplo es el de la cuarta figura de la izquierda, que representa un circuito formado por dos resistencias, $R_1 = 20 \Omega$ y $R_2 = 30 \Omega$, conectadas en paralelo a una fuente de 12 V. Cuando se cierra el circuito nos preguntamos: ¿cuánto marcarán los amperímetros colocados en serie con cada resistencia?, ¿cuánto marcará el voltímetro?, ¿cuál será el valor de la resistencia equivalente?

Cada resistencia está conectada directamente a la fuente por lo que, utilizando la Ley de Ohm, se puede determinar la intensidad de corriente en cada una de ellas:

$$\Delta V_1 = I_1 \cdot R_1 \quad \text{es decir: } 12 \text{ V} = I_1 \cdot 20 \Omega \quad \text{entonces: } I_1 = \frac{12 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,6 \text{ A}$$

$$\Delta V_2 = I_2 \cdot R_2 \quad \text{es decir: } 12 \text{ V} = I_2 \cdot 30 \Omega \quad \text{entonces: } I_2 = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

Es decir que los amperímetros indicarán 0,6 A y 0,4 A, respectivamente. Y el voltímetro indicará 12 V, porque las resistencias están en paralelo. Su resistencia equivalente será:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{30 \Omega} = \frac{1}{12 \Omega} \quad \text{por lo que} \quad R_{12} = 12 \Omega$$

La intensidad que circularía por el circuito formado por la resistencia equivalente es:

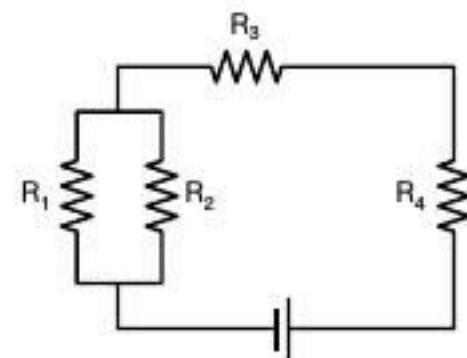
$$I = \frac{12 \text{ V}}{12 \Omega} = 1 \text{ A}$$

Luego se comprueba que la suma de las intensidades en cada resistencia es igual a la que circula por su equivalente.

Consideramos ahora el caso del circuito representado por el esquema de la derecha, en el que $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $R_4 = 1 \Omega$ y la fuente es de 6 V. Nos preguntamos, cuando se cierra el circuito: ¿qué resistencia equivalente tendrá el sistema?, ¿qué intensidad de corriente circulará por cada resistencia?, ¿qué diferencia de potencial habrá en los extremos de cada resistencia?

Para determinar la resistencia equivalente se calcula, separadamente, primero la equivalente entre R_1 y R_2 , que están en paralelo:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{15\Omega} = \frac{4}{15\Omega} \quad \text{entonces} \quad R_{12} = 3,75 \Omega$$



Esta resistencia está conectada en serie, a su vez, con R_3 y con R_4 :

$$R_{1234} = 3,75 \Omega + 2 \Omega + 1 \Omega = 6,75 \Omega$$

Entonces la intensidad total es:

$$I_T = \frac{\Delta V}{R_{1234}} = \frac{6 \text{ V}}{6,75 \Omega} \quad \text{por lo que} \quad I_T = 0,89 \text{ A}$$

Cada caída de potencial en las resistencias se obtiene aplicando la Ley de Ohm:

$$\begin{aligned} \Delta V_{12} &= I_T \cdot R_{12} \quad \text{luego} \quad \Delta V_{12} = 3,33 \text{ V} \quad \text{y entonces} \quad \Delta V_1 = \Delta V_2 = 3,33 \text{ V} \quad \text{por estar en paralelo} \\ \Delta V_3 &= I_T \cdot R_3 \quad \text{y} \quad \Delta V_4 = I_T \cdot R_4 \quad \text{luego:} \quad \Delta V_3 = 1,78 \text{ V} \quad \text{y} \quad \Delta V_4 = 0,89 \text{ V} \end{aligned}$$

Para calcular la intensidad de corriente en las resistencias que están en paralelo, se tiene en cuenta que están conectadas a la misma diferencia de potencial. Este valor se puede calcular en el circuito en serie equivalente teniendo en cuenta que $R_{12} = 3,75 \Omega$ y que $I_T = 0,89 \text{ A}$.

$$\Delta V_{12} = 3,75 \Omega \cdot 0,89 \text{ A} = 3,33 \text{ V}$$

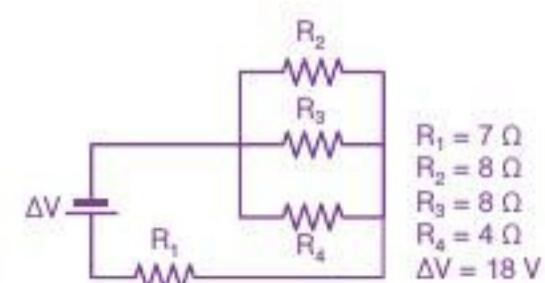
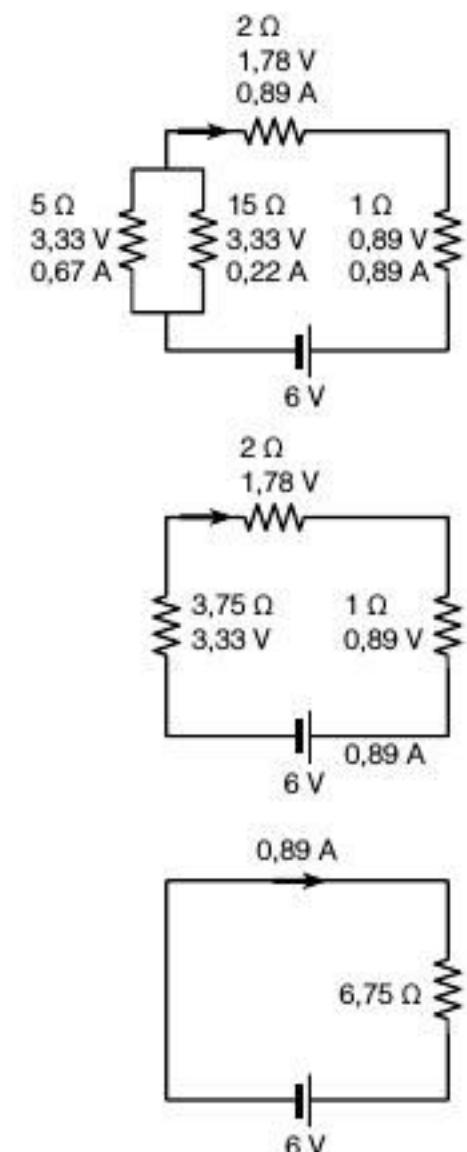
A partir de este dato, es posible calcular las intensidades para ambas resistencias:

$$I_1 = \frac{3,33 \text{ V}}{5 \Omega} = 0,67 \text{ A} \quad \text{e} \quad I_2 = \frac{3,33 \text{ V}}{15 \Omega} = 0,22 \text{ A}$$

En la bifurcación de las ramas, se verifica que la suma de las intensidades en cada rama del paralelo es igual a la que circula por las resistencias en serie y la equivalente.

a)

1. Se tienen tres resistencias de 25Ω , 30Ω y 55Ω conectadas a una batería de 12 V.
 - a. ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente si se las conecta en serie?
 - b. ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente si se las conecta en paralelo?
 - c. ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente si se establece un circuito mixto?
 - d. ¿Cuántas formas hay de conectarlas en forma mixta?
 - e. Representen cada uno de los circuitos anteriores.
 - f. ¿Cuánto marcará un amperímetro colocado en cada resistencia para la conexión en serie?
 - g. ¿Cuánto marcará un amperímetro colocado en cada resistencia para la conexión en paralelo?
 - h. ¿Cuánto marcará un amperímetro colocado en cada resistencia para cada conexión mixta?
 - i. ¿Qué indicará un voltímetro ubicado en cada resistencia para la conexión en serie?
 - j. ¿Qué indicará un voltímetro ubicado en cada resistencia para la conexión en paralelo?
 - k. ¿Qué indicará un voltímetro ubicado en cada resistencia para cada conexión mixta?
 - l. ¿Cuál es la potencia de cada resistencia en la conexión en serie?
 - m. ¿Cuál es la potencia de cada resistencia en la conexión en paralelo?
 - n. ¿Cuál es la potencia de cada resistencia en cada conexión mixta?
2. Indiquen la resistencia equivalente y la intensidad en cada rama del circuito cuyo esquema es el siguiente.



La Ley de Nodos y una aclaración matemática

Cuando hay que sumar muchos términos, como ocurre a veces en esta Ley de Kirchhoff, la matemática recurre a la simplificación del signo sumatoria, que es la letra sigma mayúscula del alfabeto griego: Σ . Este símbolo, aplicado a la Ley de Kirchhoff, opera de la siguiente manera. Si, por ejemplo, en un nodo convergen 6 intensidades, su suma se puede escribir así:

$$\sum_{s=1}^6 I_s$$

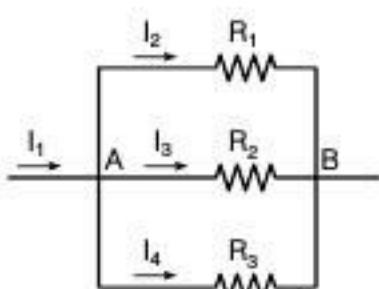
y significa que hay que sumar las I desde el subíndice 1 hasta el subíndice 6, es decir que esa sumatoria significa:

$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$
cada una con su signo, según entre o salga del nodo.

Con esta nomenclatura, la expresión general de la Ley de Nodos para n corrientes se puede expresar:

$$\sum_{s=1}^n I_s = 0$$

colocando cada intensidad con su signo respectivo.



Leyes de Kirchhoff

A la hora de diseñar e instalar el circuito eléctrico de una casa, una máquina o una industria, es necesario analizar o resolver el circuito. Esto significa que se tendrá que determinar la intensidad de corriente que circula por cualquier sector o componente de este. Esto se realiza para que el circuito cumpla con la finalidad para la que fue diseñado y, además, para garantizar su seguridad, ya que se podría quemar algún artefacto por un exceso de corriente.

Para llevar adelante este análisis, se aplican simultáneamente dos leyes enunciadas a mediados del siglo XIX por el físico prusiano Gustav Kirchhoff (1824-1887), llamadas también Ley de Nodos y Ley de Mallas.

Primera Ley de Kirchhoff

En una conexión en paralelo, como la que puede haber en una casa, los electrodomésticos están conectados a la entrada de la vivienda a donde llegan las terminales colocadas por la compañía. Al encender uno o varios de ellos simultáneamente y al llegar la corriente total que circula al punto en donde los cables se bifurcan, la corriente se repartirá de acuerdo con los requerimientos de cada dispositivo. A ese punto de bifurcación se lo denomina **nodo** o **nudo**. La intensidad de corriente que llega a la bifurcación debe ser igual a la que sale, es decir que el flujo de cargas que llegan al nodo debe ser igual al que sale de él. En ese punto, las cargas eléctricas en ese punto no se crean ni se destruyen, sino que se cumple el Principio de Conservación de la Carga Eléctrica. Esta característica constituye la Primera Ley de Kirchhoff, también llamada Ley de Nodos o Ley de Nudos.

Por ejemplo, si a un nodo o nudo llegan las corrientes I_1 e I_2 y salen de él las corrientes I_3 , I_4 e I_5 , esta ley indica que debe cumplirse:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

Al pasar de miembro las intensidades del lado derecho hacia el lado izquierdo queda:

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Siguiendo la forma de la última igualdad, para expresar matemáticamente esta ley, se le otorga un mismo signo a todas las corrientes que entran en el nodo, y el signo opuesto a todas aquellas que salen de él. Por convención generalizada, se acostumbra elegir el signo positivo para todas las corrientes que ingresan a un nodo y el negativo a todas las que salen. Con esta convención, la ley se puede expresar de la siguiente manera:

En cualquier nudo o nodo, la suma algebraica de las intensidades de corriente que entran y salen vale cero.

Con suma algebraica nos referimos a la suma de cada intensidad de corriente con el signo que le corresponde.

Consideremos la situación dada en el esquema de la izquierda.

La ecuación queda expresada en el nodo A como:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

Cualquiera sea el número de intensidades que entran o salgan de un nodo, se puede expresar matemáticamente esta ley generalizando lo anterior, es decir, haciendo la suma algebraica de tantas corrientes como haya igualada a cero y teniendo en cuenta sus signos, según entran o salgan del nodo.

El punto B también es un nodo. Allí llegan las intensidades I_2 , I_3 , I_4 y sale I_1 por lo que queda una ecuación idéntica a la anterior pero con los signos opuestos.

Segunda Ley de Kirchhoff

En todo circuito se pueden determinar uno o varios caminos cerrados a través de los conductores y los elementos que lo forman. A cada uno de ellos se lo denomina **malla**. Al recorrer cualquier malla de un circuito en un sentido arbitrario, las cargas pueden aumentar o disminuir su energía si pasan por una fuente, o si lo hacen por un artefacto eléctrico en donde parte de la energía eléctrica se transforma. Como la cantidad de energía debe mantenerse constante, cumpliéndose con el Principio de Conservación de la Energía, los aumentos de esta deberán ser iguales a las disminuciones. Tales aumentos o disminuciones por unidad de carga deben ser iguales. Por lo tanto, también lo serán las tensiones o diferencias de potencial. Si se considera que los aumentos de tensión son positivos y las disminuciones son negativas, la Segunda Ley de Kirchhoff, o Ley de Mallas, se puede expresar de la siguiente manera:

La suma algebraica de tensiones de todos los componentes de un circuito en una trayectoria cerrada vale cero.

El potencial aumenta o disminuye al pasar por una fuente, en una cantidad igual a su fuerza electromotriz y disminuye al atravesar algún artefacto en una cantidad igual a la caída de potencial o diferencia de potencial entre sus extremos. Recordando la Ley de Ohm, cada caída de potencial puede expresarse en función de la resistencia y de la intensidad de corriente en ese tramo estudiado. Para una malla con n cantidad de fuentes y m cantidad de resistencias e intensidades, se puede escribir matemáticamente esta ley como:

$$\text{fem}_1 + \text{fem}_2 + \text{fem}_3 + \dots + \text{fem}_n - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3 - \dots - \Delta V_m = 0$$

$$\text{fem}_1 + \text{fem}_2 + \text{fem}_3 + \dots + \text{fem}_n - R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 - \dots - R_m \cdot I_m = 0$$

En el esquema de la derecha, se puede observar que las resistencias del circuito no están en serie ni en paralelo, por lo que su resolución se debe hacer, por ejemplo, aplicando las Leyes de Kirchhoff. Para determinar la intensidad que circula por cada rama del circuito, como también su sentido, se deberá plantear y resolver el sistema formado por una ecuación para el nodo A y dos ecuaciones para las mallas, que pueden ser la I y la II. Se tendrá que establecer en forma arbitraria un sentido de circulación para cada una de las intensidades y un sentido de recorrido en cada malla. En este caso, se adopta, como se indica en la figura, el sentido horario para analizar las mallas.

De la aplicación de la Primera Ley de Kirchhoff en el nodo A resulta: $I_2 = I_1 + I_3$.

Para aplicar la Segunda Ley de Kirchhoff a la malla I se la recorre desde A en el sentido indicado en el esquema. En este camino cerrado se encuentran las caídas de potencial de las resistencias R_2 , R_3 y R_1 , así como las dos fuentes. Entonces, la ecuación de la malla I es:

$$I_3 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_3 + I_2 \cdot R_1 - \Delta V_2 + \Delta V_1 = 0 \quad \text{es decir:} \quad I_3 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_3 + I_2 \cdot R_1 = \Delta V_2 - \Delta V_1$$

Aplicando la Segunda Ley de Kirchhoff a la malla II, obtenemos de igual manera:

$$I_1 \cdot R_4 + I_1 \cdot R_5 - I_3 \cdot R_2 = \Delta V_3 - \Delta V_2$$

Reemplazando por los valores y simplificando las expresiones:

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$I_3 \cdot 2\Omega + I_2 \cdot 3\Omega + I_2 \cdot 1\Omega = 3V - 2V \quad \text{luego} \quad I_3 \cdot 2\Omega + I_2 \cdot 4\Omega = 1V$$

$$I_1 \cdot 4\Omega + I_1 \cdot 5\Omega - I_3 \cdot 2\Omega = 6V - 3V \quad \text{luego} \quad I_1 \cdot 9\Omega - I_3 \cdot 2\Omega = 3V$$

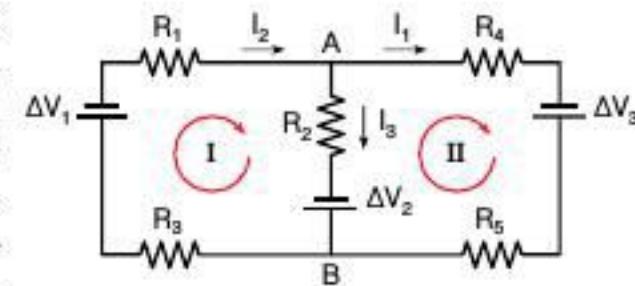
Resolviendo el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas, se obtiene cada intensidad.

$$I_1 = 0,323 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,275 \text{ A}$$

$$I_3 = -0,048 \text{ A}$$

I_1 e I_2 tienen el sentido asignado para las ecuaciones, mientras que I_3 tiene el contrario.



$$\begin{aligned} R_1 &= 1 \Omega \\ R_2 &= 2 \Omega \\ R_3 &= 3 \Omega \\ R_4 &= 4 \Omega \\ R_5 &= 5 \Omega \\ \Delta V_1 &= 2 \text{ V} \\ \Delta V_2 &= 3 \text{ V} \\ \Delta V_3 &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

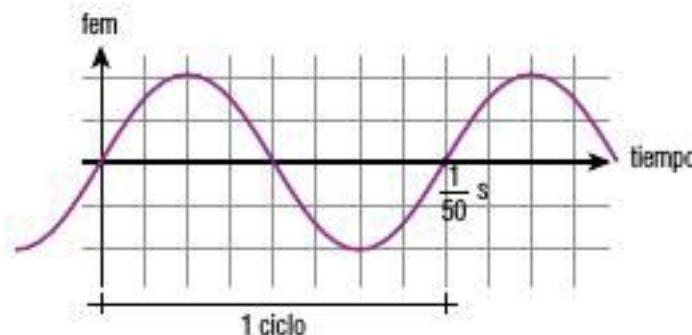
Medidas de seguridad

IRAM

En la Argentina existe una asociación civil, creada en mayo de 1935, con el fin de certificar y normalizar la fabricación de diversos productos. Se trata del Instituto Argentino de Normalización y Certificación, llamado originalmente Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM).

El suministro de energía eléctrica por parte de las compañías se realiza por corriente alterna. Tal elección está basada en la simplicidad de los artefactos que funcionan con ese tipo de corriente y en la facilidad para transformar la tensión, aumentándola para ser trasladada desde las centrales energéticas hasta las ciudades, y disminuyéndola para el suministro domiciliario. En la página 159 se explicó brevemente qué es la corriente alterna y en el próximo capítulo veremos cómo se genera.

Al abrir una caja eléctrica ubicada en la pared de alguna de las habitaciones de una casa, se observan tres cables con revestimientos plásticos de diferente color entre sí: uno de ellos es verde y amarillo, otro es azul y el tercero es negro, marrón o gris. Este último es el que los electricistas llaman el **polo vivo**, ya que su potencial aumenta, disminuye y se invierte, alternativamente, respecto al del cable azul, que se llama **neutro**. El gráfico muestra cómo varía esa tensión. Pasa de cero a un valor máximo, luego vuelve a cero, para invertir la polaridad y llegar al máximo, y finalmente volver a cero. Se realizan 50 de esos ciclos por segundo.



El cable verde y amarillo es la **conexión a tierra** y se la emplea para evitar el paso de corriente al usuario por una falla en el aislamiento de los otros dos cables. Si esto sucediese, la toma a tierra es un camino de poca resistencia y cualquier corriente pasaría por allí. Si una casa tiene conexión a tierra, tiene en algún lugar una pieza metálica enterrada en una mezcla de sales y conectada a la instalación. En ese caso, deberá utilizar tomacorrientes y enchufes apropiados como son los de tres bornes o tres patas.

Todos los elementos eléctricos que se utilizan deben llevar un sello oficial de seguridad eléctrica que se identifica con una letra S en el envase. Tal sello lo consiguen los componentes a partir de certificaciones de organismos como el IRAM, los que garantizan su buen funcionamiento.



Sello de seguridad eléctrica.



- 1. a.** La piel de una persona, cuando está seca, alcanza una resistencia de 100.000Ω . ¿Qué intensidad de corriente circulará por una persona si toca los bornes de la batería de un auto (12 V)?
- b.** Y si la piel está húmeda con el sudor y la resistencia disminuye a 1.000Ω , ¿qué intensidad de corriente circulará por esa persona?
- 2.** Una plancha de 2.500 W está conectada a 220 V. El fabricante colocó un fusible de protección en el artefacto de 10 A. ¿Sirve? ¿Por qué?

Otra medida de seguridad es la colocación de un fusible en las instalaciones domésticas, como en los dispositivos eléctricos que se utilizan habitualmente. El **fusible** es un hilo delgado de metal dentro de una cápsula. Este se coloca en serie con el circuito que se desea proteger como, por ejemplo, en el cable vivo a la entrada de una vivienda. Para instalar un fusible apropiado, se deberá conocer el consumo eléctrico del domicilio. Si se produjera una sobrecarga, la intensidad sería muy elevada y produciría la fusión del hilo metálico y, al estar conectado en serie con el circuito eléctrico de la casa, se abriría y dejaría de circular la corriente. Este proceso no es instantáneo, requiere un cierto tiempo. Para restituir el servicio será necesario reemplazar el fusible.

Actualmente, se utilizan otros dispositivos más duraderos como las llaves térmicas y los disyuntores diferenciales. La mayoría de los domicilios cuentan con alguno de ellos o incluso ambos, y se colocan en serie en la entrada de la casa. La **llave térmica** funciona detectando aumentos de la temperatura en el conductor y, cuando ocurre una sobrecarga, hace que el circuito se abra. Una vez reparado el desperfecto, se la acciona nuevamente y se dispone del servicio eléctrico. El **disyuntor diferencial** detecta y compara las corrientes que entran y salen del circuito; si no son iguales, se abre. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando parte de la corriente eléctrica circula por el cuerpo de una persona que ha accionado un aparato que esté electrizado y, de esa manera, se produce un corte en la corriente. Tanto la llave térmica como el disyuntor diferencial dan respuesta inmediata y evitan tanto daños materiales como pérdidas de vidas humanas.

Cuando la corriente eléctrica pasa por el cuerpo humano, puede producir desde un leve cosquilleo hasta la muerte, ya que los procesos cardíacos y respiratorios son actividades eléctricas del organismo, y una corriente ajena puede modificarlos o detenerlos. Si esto llegara a ocurrir y los dispositivos de seguridad fallaran, para ayudar al damnificado será necesario abrir el circuito o, también, intentar liberarlo, apartándolo con la ayuda de un elemento no conductor como puede ser un palo de escoba de madera.



Los fusibles abren el circuito luego de una sobrecarga.

Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

El cuerpo humano es conductor de la electricidad, es decir que si se establece una diferencia de potencial entre dos de sus puntos, circulará por él una corriente eléctrica. La intensidad de la corriente que circule, según hemos visto, dependerá de dos variables: el valor de la diferencia de potencial y la resistencia del cuerpo.

Si bien muchos autores estiman la resistencia del cuerpo humano en 1 o 2 kΩ, el valor real, en caso de un accidente, puede ser bastante variable, ya que depende, entre otras cosas, de la humedad de la piel en el punto de contacto eléctrico y del recorrido de la electricidad entre los puntos de entrada y salida.

Existen muchas tablas que indican los efectos de la corriente según su intensidad, la siguiente tiene valores aproximados para los efectos de la corriente alterna de 50 Hz. Hay que tener en cuenta que los efectos también dependen de la duración del accidente.

Intensidad de la corriente	Efectos probables
0 a 0,5 mA	No se detecta. El umbral de detección está en el orden de los 0,5 mA.
0,5 mA a 2 mA	Solo se detecta. Sin efectos.
2 mA a 10 mA	Dolor. Descontrol muscular.
10 mA a 25 mA	Contracción muscular. Dificultades respiratorias. Aumento de la presión arterial.
25 mA a 50 mA	Astixia. Quemaduras. Arritmia cardíaca.
50 mA a 200 mA	Astixia. Quemaduras con marcas visibles. Arritmia cardíaca. Inconciencia.
Más de 200 mA	Paro cardíaco. Peligro de muerte.

Lenguaje matemático

Las ecuaciones guían un experimento

El físico escocés James Maxwell había desarrollado ecuaciones sobre electromagnetismo que predecían la existencia de ondas electromagnéticas. Algunos años después de su muerte, en 1881, el físico alemán Heinrich Hertz realizó un trabajo experimental que permitió producir y detectar ondas electromagnéticas.

Gracias a los avances en la ciencia y en la tecnología, no solo se pueden dar explicaciones acerca de por qué suceden determinados fenómenos naturales, sino que también la sociedad se ha visto beneficiada en su calidad de vida. Ciencia y tecnología caminan juntas.

Pero cualquier ciencia, dentro de ellas la Física, necesita un lenguaje que le permita expresar sus conclusiones: un lenguaje compacto, preciso, y que no conduzca a múltiples interpretaciones como puede ser el lenguaje coloquial o cotidiano. Además, como la ciencia se desarrolla en todas partes del mundo, el lenguaje tendrá que ser universal para hacer más fácil la comunicación de los resultados obtenidos. Estas son algunas de las razones por las que se utiliza la Matemática como soporte o sostén.

Pero no solo se utiliza la Matemática como medio de comunicación a través de su lenguaje preciso y universal; muchas de las propiedades que estudia son herramientas necesarias para el desarrollo del estudio de la Física.

Muchas veces las ideas científicas se enuncian mediante ecuaciones, ya sea como una de las formas de expresar una ley, o como expresiones de una hipótesis que se debe verificar.

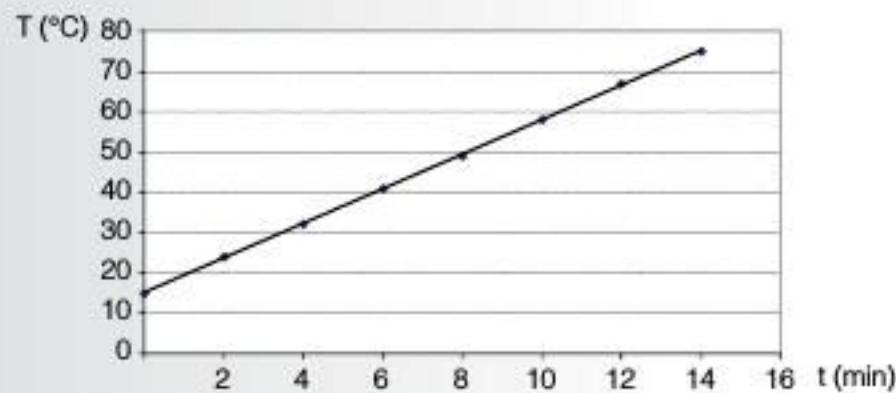
Por ejemplo, en 1845, el astrónomo francés Urbain Le Verrier encontró algún comportamiento extraño en la órbita del planeta Urano y, haciendo cálculos a partir de las Leyes de Newton y de la Ley de Gravitación Universal, concluyó que debía haber otro planeta que producía esas perturbaciones. Halló la localización de ese supuesto planeta y, al suministrarle los datos al astrónomo alemán Johann Galle, este enfocó el cielo con su telescopio y descubrió la anticipación de Le Verrier: el planeta Neptuno.

Una vez analizadas cuáles son las características del fenómeno estudiado, lo que se pretende es establecer cuáles están vinculadas entre sí, de qué manera, y expresar matemáticamente su relación. En tales relaciones, las magnitudes cuyos valores cambian se denominan **variables**, ya que dependen unas de otras de manera tal que cualquier modificación del valor de una de ellas puede desencadenar un cambio en las otras. Esto permite establecer cuáles son las variables dependientes y cuáles, las independientes.

Por ejemplo, para estudiar la rapidez con que varía la temperatura de una cantidad determinada de agua sin que llegue al punto de ebullición, puede utilizarse un calentador eléctrico sumergible y realizar la experiencia. Las magnitudes que se observarán son las que caracterizan el fenómeno; en este caso, cómo varía la temperatura del agua en el tiempo. Podría tenerse en cuenta la potencia eléctrica del calentador, la masa y el tipo de sustancia, pero algunas de estas magnitudes no modifican sus valores. Las que sí lo hacen se denominan **variables dependiente e independiente** que, en este ejemplo son, respectivamente, la temperatura y el tiempo transcurrido. La relación que existe entre esas variables puede escribirse matemáticamente como $T(t)$, donde T representa la temperatura expresada en Celsius y t representa el tiempo transcurrido medido en minutos.

Los valores obtenidos a partir de la experimentación se registran en una tabla en cuya columna izquierda se anotarán los valores de la variable independiente y, en la derecha, los de la dependiente. Pero también podrán ser representados en un gráfico de ejes cartesianos, teniendo en cuenta que en el eje horizontal se representa la primera columna de la tabla, es decir, la variable independiente y, en el vertical, la

segunda columna, en la que están los valores de la variable dependiente. Como cada variable está medida en diferentes unidades, las escalas de cada eje serán diferentes y se elegirán considerando la mejor lectura del gráfico.



Analizando la forma que adquiere una curva en la gráfica, se puede establecer el tipo de relación que existe entre las variables. Tales relaciones matemáticas pueden ser sencillas y expresarse a través de funciones lineales, o más complejas, utilizando funciones polinómicas o armónicas, entre otras.

En este caso, se trata de una relación lineal, ya que para cambios iguales en el tiempo se obtienen cambios iguales en la variación de la temperatura, lo que permite encontrar una constante única para esta situación que relaciona las variables involucradas. La forma matemática de escribirlo sería:

$$T = k \cdot t + T_0$$

El valor de la constante k indica cuán rápidamente se calienta esa cantidad de agua en las condiciones del experimento. Ese valor queda determinado por la pendiente de la recta obtenida, por lo que:

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Para calcular k , hay que trazar la recta que mejor se ajuste a los puntos obtenidos experimentalmente, es decir, la que pase por la mayor cantidad de puntos de manera que queden igual cantidad por encima y por debajo de esta. Una vez trazada la recta, la pendiente se calcula con dos puntos cualesquiera de ella. En el ejemplo:

$$k = 4,3 \text{ C/min}$$

En la ecuación de la recta, la ordenada al origen representa el valor de T para $t = 0$, es decir, T_0 .

Entonces, una vez obtenida la constante, la expresión matemática que permite interpretar este fenómeno es:

$$T = 4,3 \text{ C/min} \cdot t + 15 \text{ C}$$

Esta manera compacta de sintetizar la información, de comunicar unívocamente las relaciones entre las variables, más allá de los idiomas, es la característica más destacada del lenguaje matemático en las ciencias, fundamentalmente en la Física.

t (min)	T (°C)
0	15
2	24
4	32
6	41
8	49
10	58
12	67
14	75

Tabla de valores a intervalos de 2 minutos para el calentamiento de 200 g de agua con un calentador de 60 W.

Planilla de cálculo

Actualmente, para obtener la relación funcional entre dos variables, como es el caso de la temperatura y el tiempo, se ingresa la tabla de valores en una planilla de cálculo y se indica la hipótesis sobre la forma de la función. El programa realizará un gráfico y hallará la ecuación que más se ajuste a los valores y a la forma de la función dados. Estos deberán ser analizados físicamente.

Actividades finales

1. a. Diseñen un cuestionario y realicen con él una encuesta para indagar cuánto sabe la gente del uso eficiente de la energía, como por ejemplo, el significado de la etiqueta energética.

b. Elaboren sus conclusiones a partir de los resultados que hayan obtenido.

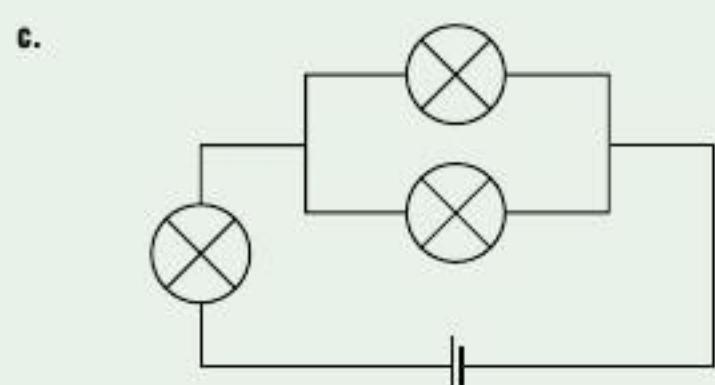
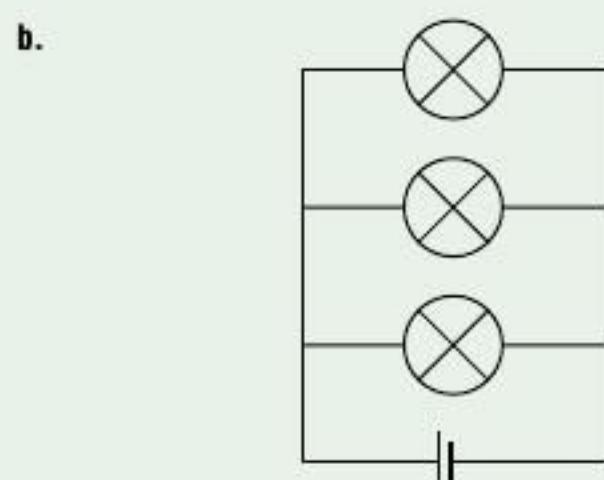
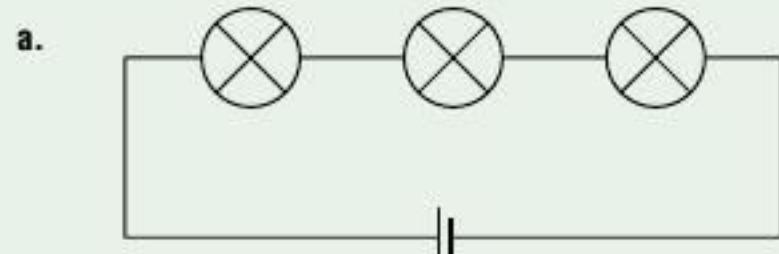
c. ¿Cómo se podría realizar una campaña de concientización acerca del uso eficiente de la energía eléctrica y de difusión de la etiqueta energética?

2. a. Construyan una pila sencilla utilizando un trozo de alambre de cobre y otro de alambre de zinc colocados en el interior de un limón. Para hacerlo corten un limón e introduzcan el alambre de cobre y el alambre de zinc en él.

b. Para comprobar su funcionamiento, utilicen un voltímetro.

c. Representen esquemáticamente el circuito.

3. En los tres circuitos de la siguiente figura, se han conectado lámparas de linternas idénticas a la misma batería. Comparen el brillo de las lámparas en cada una de las conexiones. Justifiquen sus respuestas.



4. Indiquen si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas y justifiquen sus respuestas.

a. Una pila entrega cargas al circuito al que está conectada.

b. La Ley de Ohm es válida para todos los conductores.

c. La energía química de una batería se transforma en energía eléctrica solo cuando el circuito se cierra.

d. Si una fuente transforma 36 J de energía química en energía eléctrica, entonces por cada 3 C de carga que la atraviesa se obtiene una fuerza electromotriz de 12 V.

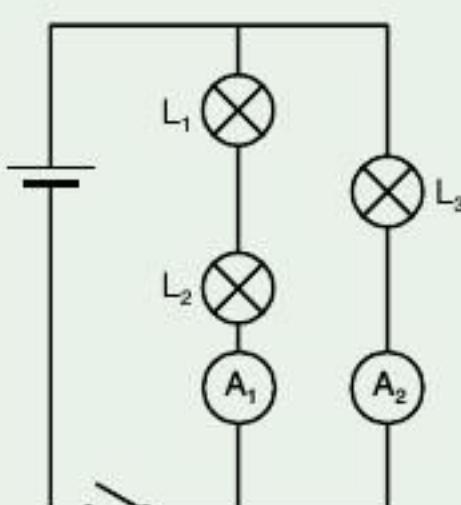


5. En el circuito de la figura se muestra la conexión de tres lámparas idénticas.

a. ¿Cuál es la lámpara que se prende con más intensidad al cerrar la llave?

b. ¿Cómo son entre sí las lecturas de cada amperímetro?

c. ¿Cuál o cuáles de las lámparas permanecen encendidas si se corta el filamento de L_2 ?



6. ¿Cuánta carga pasa por una sección de un conductor por el que circula una corriente cuya intensidad es de 6 mA en 10 segundos?

7. Una resistencia comercial tiene su primera banda de color marrón; la segunda, verde; la tercera, roja; y la cuarta, plateada. ¿Qué valor de resistencia tiene?

8. Con los valores de resistividad indicados en la tabla de la página 160, indiquen las dimensiones que debería tener un alambre de cobre para alcanzar una resistencia de $15\ \Omega$.

9. ¿Cómo se puede obtener una resistencia baja utilizando un material de alta resistividad?

10. Realicen una clasificación de los materiales más comunes de una casa según sus resistividades, es decir, agrúpenlos en categorías y determinen, según su criterio, los que consideren mejores o peores conductores.

11. a. ¿Qué intensidad de corriente circula por una lámpara incandescente de 100 W cuando está conectada a 220 V?

b. ¿Qué resistencia presenta?



12. ¿Cuánta energía eléctrica requiere en un mes un televisor de 80 W que funcione durante 4 horas todos los días? Averíguen el costo del kW-h y estimen el gasto.

13. Una plancha de 1.200 W se conecta a una línea eléctrica domiciliaria de 220 V protegida con una llave térmica que se desconecta cuando pasa una corriente superior a 10 A. ¿Logrará funcionar?

14. a. ¿Qué resistencia tiene una freidora eléctrica por la que circulan como máximo 6 A en un circuito de 220 V?

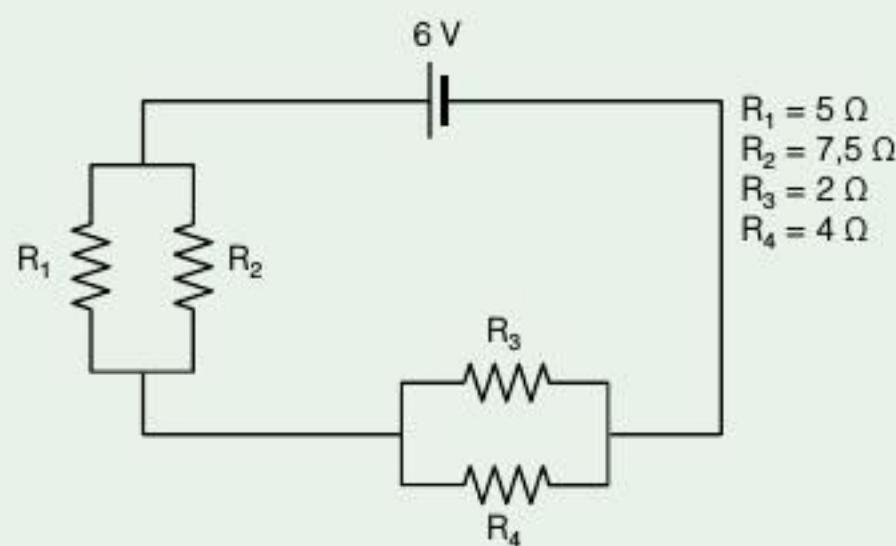
b. ¿Cuál es su potencia eléctrica?

c. ¿Cuánta energía transforma si se la utiliza durante 30 minutos?

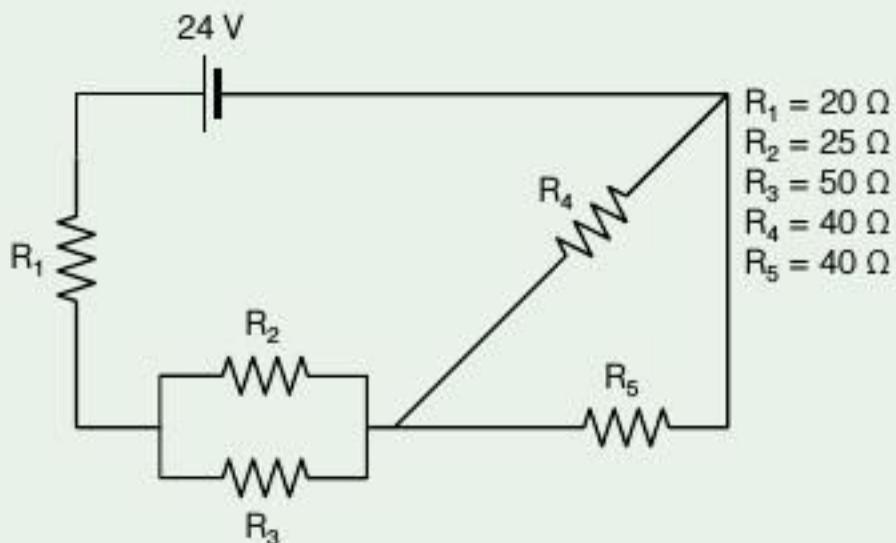
15. Supongamos que disponemos de un circuito cerrado que tiene una fuente de fuerza electromotriz de 10 volt y una resistencia $R_1 = 100\ \Omega$. Alguien coloca otra resistencia muy chica, por ejemplo de $1\ \Omega$, en paralelo con R_1 , provocando lo que se llama un cortocircuito. ¿Cuántas veces aumentará la intensidad de corriente en la fuente al provocar el cortocircuito, respecto de su valor inicial?

16. Establezcan, para cada caso, la resistencia equivalente, la intensidad de corriente en cada una de las ramas y la caída de potencial en los extremos de cada resistencia.

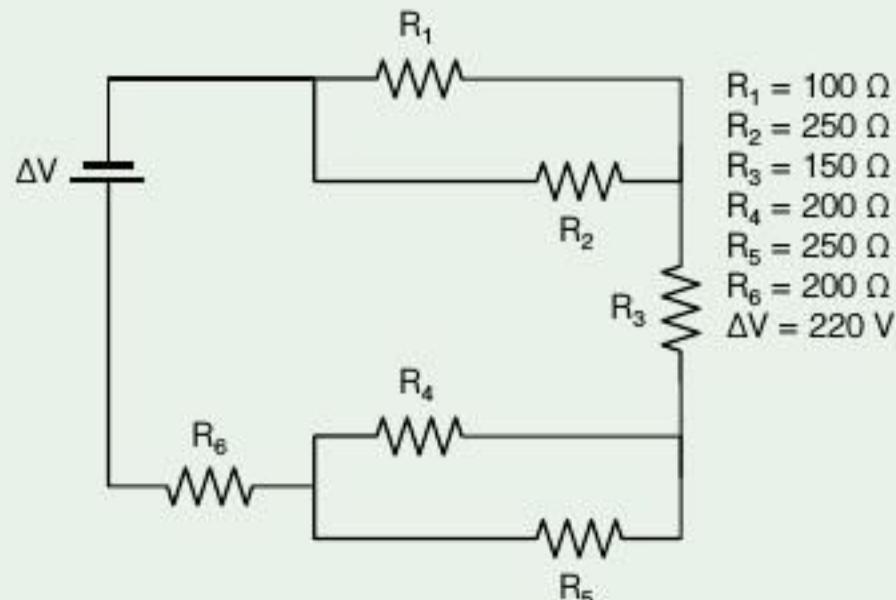
a.



b.

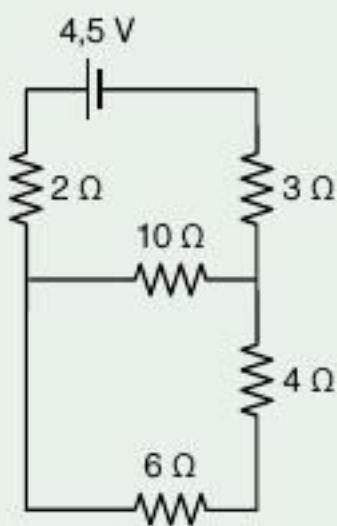


c.

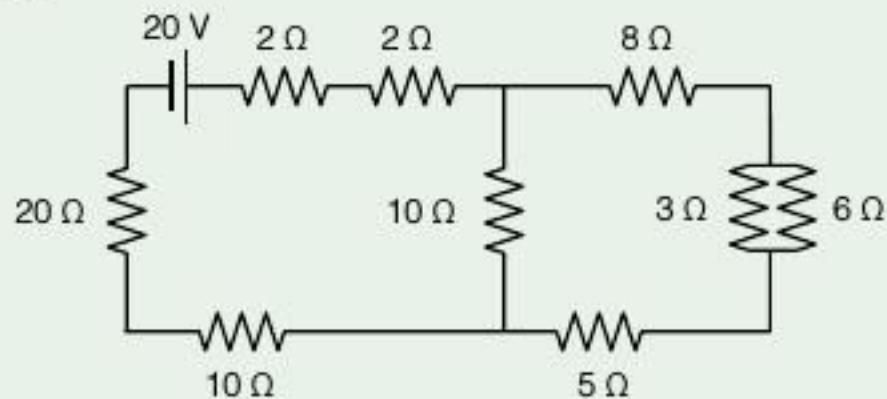


17. ¿Cuánto vale la resistencia equivalente total conectada a la fuente en cada uno de los siguientes circuitos? ¿Cuánto vale la intensidad de corriente en cada resistencia?

a.



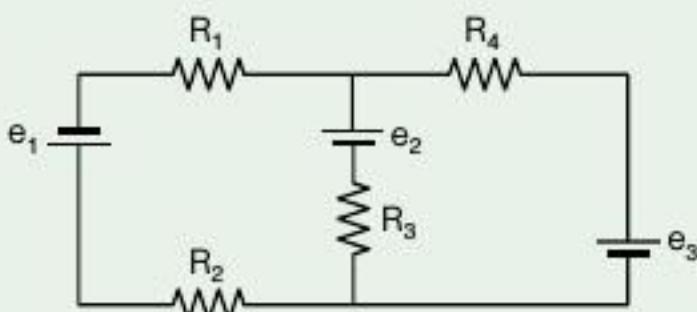
b.



18. Establezcan, en cada caso, las intensidades que circulan por cada rama indicando el sentido de estas.

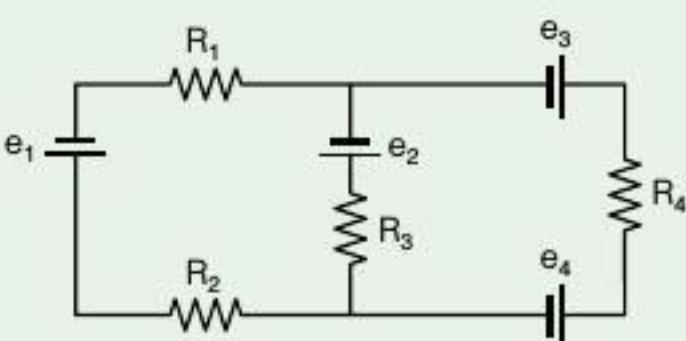
a.

$$\begin{aligned} R_1 &= 25 \Omega \\ R_2 &= 15 \Omega \\ R_3 &= 10 \Omega \\ R_4 &= 5 \Omega \\ e_1 &= 12 \text{ V} \\ e_2 &= 24 \text{ V} \\ e_3 &= 18 \text{ V} \end{aligned}$$



b.

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \Omega \\ R_2 &= 12 \Omega \\ R_3 &= 5 \Omega \\ R_4 &= 15 \Omega \\ e_1 &= 2 \text{ V} \\ e_2 &= 4 \text{ V} \\ e_3 &= 6 \text{ V} \\ e_4 &= 2 \text{ V} \end{aligned}$$



19. Un comerciante compra un generador alimentado a gasoil al que puede conectar parte de su instalación para preservarse de los cortes de energía eléctrica. El generador tiene una fuerza electromotriz de 220 volt y puede entregar hasta 4 ampere de intensidad máxima. Calcúlen si la corriente requerida por el comerciante no supera el valor máximo de 4 ampere si, durante los cortes de energía, quiere conectar al generador 3 lámparas de bajo consumo de 15 watt cada una, una heladera cuyo motor es de 300 watt y una bomba para el agua cuyo motor es de 500 watt.

20. Un cable de cobre tiene una resistencia de 1Ω . ¿Cuál será el valor de otro cable, también de cobre y a la misma temperatura, si es cuatro veces más largo y su diámetro es el doble del primero?

21. Tengan en cuenta lo visto en el capítulo 4 referente a calorimetría. ¿Cuánto tiempo tardará un calentador de inmersión de 350 watt en calentar 1 litro de agua desde 15°C a 70°C colocada en un termo que se puede tomar como si fuera un calorímetro?

22. Investiguen los diferentes efectos que produce el paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano y relacionenlo con la intensidad.

23. ¿Cómo se pueden clasificar los materiales en conductores y no conductores, utilizando un circuito sencillo?

Materiales:

Cables
1 lámpara de linterna
1 portalámparas
Pilas nuevas

Paso 1: armen el circuito con la lámpara, portalámparas, cables y pila, y dejenlo abierto.

a. ¿Se enciende la lámpara? ¿Por qué?

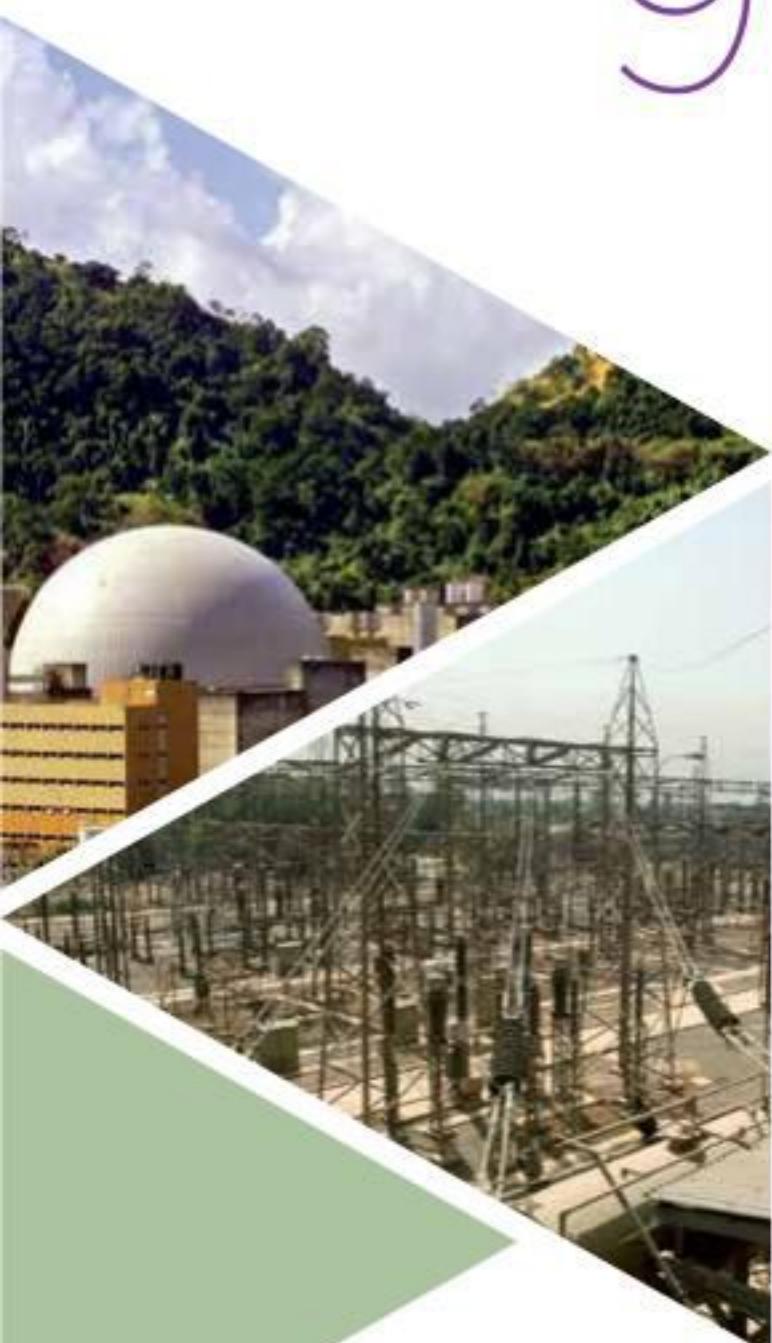
Paso 2: conecten en los extremos libres diferentes materiales: goma de borrar, lápiz, pata de la mesa, pulsera, etcétera. Registren qué sucede con cada uno de ellos.

b. ¿En todos los casos se enciende la lámpara? ¿Por qué?

c. En los que sí se logra encenderla, ¿varía la intensidad del brillo? ¿Por qué?

Producción de energía eléctrica

9



Contenidos

- > Redes de distribución y Sistema Interconectado Nacional
- > Pilas químicas
- > Efecto fotoeléctrico y paneles solares
- > Campo magnético
- > Ley de Faraday-Lenz: generador y motor eléctrico
- > Centrales de energía eléctrica

La dependencia de nuestra cultura ligada en buena medida a la tecnología hace imprescindible la producción de grandes cantidades de energía eléctrica a partir de otras fuentes de energía y su transporte a las zonas de consumo. La manera más común de generación eléctrica se realiza en centrales térmicas, hidroeléctricas y nucleares. Todas ellas funcionan sobre la base del mismo principio físico, la Ley de Faraday, que se desarrollará en este capítulo. Las formas de generación que aportan a los sistemas nacionales menor potencia, como la energía eólica, geotérmica o mareomotriz, también se basan en la misma ley. La Ley de Faraday también explica el funcionamiento de los transformadores, que permiten transportar la energía eléctrica a alta tensión por miles de kilómetros para transformarla en valores adecuados para su uso domiciliario en las zonas de consumo. Otra de las formas de generar energía eléctrica es a partir de la energía solar en los llamados paneles fotovoltaicos. La primera explicación física del principio en que se basan, llamado efecto fotoeléctrico, le valió a Albert Einstein su Premio Nobel en 1921.

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudian las redes de distribución de energía eléctrica de la Argentina y se describen y ejemplifican los distintos tipos de centrales eléctricas. Además, se explica la transformación de la energía química, solar y mecánica en energía eléctrica.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC9





Cuando hay fallas en la distribución o en la generación de la energía eléctrica, algunos negocios y empresas utilizan pequeños generadores propios para abastecerse de este recurso esencial para sus actividades.

Principales centrales productoras de energía en la Argentina, parte continental americana



Redes de distribución de energía eléctrica

Al encender la luz, accionar el microondas o poner en funcionamiento el lavarropas se está utilizando energía eléctrica, que es transformada en cada uno de los aparatos y como resultado final se consigue alumbrar una habitación, calentar comida o lavar ropa.

Esta energía eléctrica, que puede estar siendo utilizada en una casa o en una industria, se obtiene de las centrales eléctricas. En estas no se produce dicha energía, sino que se transforman otros tipos de energía en energía eléctrica como, por ejemplo, la energía potencial del agua en una central hidroeléctrica, la energía química de algún hidrocarburo en las centrales termoeléctricas, la energía proveniente de la fisión de radioisótopos en las centrales nucleoeléctricas, y la energía cinética del viento o de las mareas en las centrales eólicas o mareomotrices.

Aproximadamente, el 75% de la generación de energía eléctrica en la Argentina pertenece al sector privado, y la correspondiente al sector estatal responde a la generación del tipo nuclear e hidroeléctrica, en dos centrales binacionales que se llaman **Yacyretá** y **Salto Grande**. Los generadores privados venden la energía transformada a una empresa mayorista de energía eléctrica. En nuestro país, esa empresa mayorista se llama CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima).

Sin importar cuál sea el tipo de transformación que produzca la energía eléctrica y, por lo tanto, el tipo de central, la energía obtenida en cada una de ellas es una contribución a la totalidad de la energía disponible en el país. Al conjunto de todas las centrales productoras de energía eléctrica instaladas dentro del territorio nacional se lo conoce como **parque eléctrico**. La empresa CAMMESA administra la energía eléctrica de todo el parque eléctrico nacional.

Si se considera la definición de potencia instalada que se desarrolló en la página 31 del capítulo 2, cada central tiene una potencia instalada propia y la suma de todas da como resultado la potencia instalada de la Argentina, cuyo valor es de, aproximadamente, 31 GW.

El 55% de esta potencia instalada la aportan las centrales termoeléctricas (47% utilizan gas y 8% usan fueloil y gasoil), el 38% proviene de las centrales hidroeléctricas y el 7%, aproximadamente, de las centrales nucleoeléctricas. También existe un aporte mínimo de otras centrales, como las eólicas y las solares.

Centrales de generación eléctrica

El corte de la energía eléctrica, aunque solo sea por poco tiempo, pone de manifiesto la dependencia de esta forma de energía que tiene una buena parte de nuestra sociedad. Si bien lo más notorio pueda ser su uso para el funcionamiento de la iluminación y de los artefactos electrodomésticos, gran parte de ella se utiliza para la producción industrial. En algunos casos, como en la producción de aluminio, el requerimiento eléctrico es tan grande que las industrias suelen tener su propia central de generación eléctrica.

La central de Futaleufú de 448 MW fue construida inicialmente para proveer energía a la empresa productora de aluminio ALUAR.

Cada componente del parque eléctrico debe estar conectado para conseguir que la energía obtenida llegue a cada uno de los diferentes sectores del país, ya sean grandes ciudades o pequeños pueblos. Al conjunto de conexiones que colecta y distribuye la energía eléctrica se lo denomina **Sistema Argentino de Interconexión** (SADI) o **Sistema Interconectado Nacional** (SIN). Está formado por:

- ▶ Las **plantas elevadoras de tensión**, que se encuentran a la salida de las centrales de producción de energía.
- ▶ Las **líneas de alta tensión**, de 500 kV, que recorren más de 22140 km en todo el país, conectando las zonas de producción con las zonas de mayor consumo.
- ▶ Las **plantas o subestaciones transformadoras**, que reducen la tensión de alta a media para adecuarse a las líneas de distribución cercanas a los centros urbanos.
- ▶ Las **líneas de distribución**, que transportan la energía en media tensión (330 kV, 220 kV o 132 kV) y llegan hasta las ciudades o poblados.
- ▶ Los **transformadores**, que se encuentran en las columnas o postes dentro del tendido eléctrico de la ciudad o del pueblo y reducen la tensión a 220 V para poder ser utilizada en hogares y comercios.

Por lo tanto, en el SADI o SIN, se deben distinguir dos agentes diferentes:

▶ **Responsables de la transmisión o del transporte**: son organismos responsables de la instalación, mantenimiento y ampliación de la red interconectada. Son los que deben garantizar que la energía llegue a todos los puntos del país independientemente del consumo de cada región. El principal es la Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión Transener S. A.

▶ **Responsables de la distribución**: son las empresas u organismos oficiales responsables de reducir la tensión y distribuir la energía a cada una de las ciudades, poblados y hogares. Las más conocidas son Edenor (Empresa Distribuidora y Comercializadora Norte), Edesur (Electricidad Distribuidora Sur) y Edelap (Empresa de Electricidad de la Plata), pero existen otras como EPEC (Empresa Provincial de Energía de Córdoba) o EPE (Empresa Provincial de Energía de Santa Fe), entre otras.



Los entes de distribución eléctrica disponen de sistemas que permiten suministrar energía a cada región según sus necesidades.

Red principal del Sistema Interconectado Nacional de la parte continental americana de la Argentina



Fuera del Sistema Interconectado Nacional

Existen pequeñas poblaciones que, debido a su ubicación geográfica, han quedado alejadas de las grandes redes eléctricas y, por lo tanto, no reciben energía a través del Sistema Interconectado Nacional. Para algunas de esas poblaciones, ubicadas por ejemplo en la Patagonia o en regiones cordilleranas del noroeste de nuestro país, se han implementado soluciones eléctricas mediante el uso de fuentes no convencionales, como generadores solares o eólicos.

Algunos establecimientos rurales, relativamente cercanos a las líneas eléctricas, realizan sus propios tendidos de cables conductores para disponer de esa energía.



1. Identifiquen en el mapa del parque eléctrico cuáles son los centros de mayor producción de la Argentina: NOA, NEA, Comahue, GBA, Litoral, Mendoza o Córdoba. ¿Qué tipo de centrales lo forman?
2. Investiguen cuáles son las centrales cercanas a tu ciudad de residencia. ¿Qué tipo de centrales son?



Las centrales térmicas son las que generan la mayor parte de la energía eléctrica en nuestro país.



Represa de la central de Itaipú que suministra energía a Brasil y Paraguay.

Centrales eléctricas

Cuando se enciende un televisor o se acciona la tecla para iluminar una habitación, se está utilizando energía eléctrica obtenida al transformar otros tipos de energía en centrales que pueden estar cerca o a miles de kilómetros del lugar donde se la utiliza.

Según el tipo de energía de la cual se parte, se clasifican en:

► **Centrales térmicas:** consisten en una caldera en la que se quema algún tipo de combustible fósil (petróleo y sus derivados, carbón o gas natural) de modo que parte de su energía química se transforma en energía interna del agua que circula por los tubos de la caldera. La temperatura de esta sube y pasa al estado de vapor a muy alta presión. Cuando llega a la turbina, que se encuentra conectada a un generador eléctrico, las aspas se mueven y la energía cinética se transforma en energía eléctrica.

► **Centrales nucleares:** son instalaciones que utilizan el uranio como combustible. El proceso de fisión nuclear controlada, que se produce en el interior del reactor, permite el calentamiento del agua hasta el estado de vapor, el cual circula por un circuito cerrado. La energía que mantiene unidos a los neutrones y los protones del núcleo se transforma en energía cinética de los productos de fisión, la cual se transforma en energía interna del agua. El proceso restante es idéntico al de la central térmica.

► **Centrales hidroeléctricas:** en estas centrales se aprovecha la energía cinética de las corrientes de agua a la que se suma la energía potencial que el agua adquiere cuando se construye un embalse o represa en donde se acumula. El agua que cae desde grandes alturas hace girar una turbina que se encuentra conectada en forma solidaria a un generador, es decir que al girar la turbina por el pasaje de agua gira también el generador. La energía cinética y la potencial del agua se transforman en energía cinética en la turbina y luego en energía eléctrica.

► **Centrales eólicas:** en este caso, el aire en movimiento produce el giro de las aspas del aerogenerador. La energía cinética del viento es transformada en energía cinética en la turbina y el proceso siguiente es semejante a los demás: la turbina mueve el generador y en él se transforma la energía cinética en eléctrica.

► **Centrales solares o fotovoltaicas:** en estas centrales se aprovecha la energía radiante del Sol producto de las reacciones de fusión que ocurren en su interior y que llega a la Tierra a través de ondas electromagnéticas. Esta energía solar es capturada por paneles solares que, por procesos fotoeléctricos o fotovoltaicos, la transforman en energía eléctrica.

Una central reversible

El complejo hidroeléctrico Río Grande está ubicado en el Cerro Pelado, dentro del valle de Calamuchita, a unos 130 km de la ciudad de Córdoba, y tiene la particularidad de ser reversible. Actúa como central hidroeléctrica y bombea agua para su propia alimentación.

La central hidroeléctrica actúa como "central de pico", es decir que se conecta al sistema en los horarios de mayor demanda de energía eléctrica. Cuando esto no ocurre, sus generadores se convierten en bombas que hacen ascender el agua nuevamente para que, en los momentos en que es requerida, genere energía nuevamente al caer.

► **Centrales geotérmicas:** utilizan como combustible la energía interna de la Tierra que se manifiesta en determinadas regiones, como suelen ser las zonas de gran actividad volcánica, las tectónicas geológicamente recientes que presentan desplazamientos de placas en los últimos diez o veinte mil años, o lugares rocosos y porosos por donde se pueda manifestar este tipo de energía. Las filtraciones desde el interior de la corteza terrestre se producen en forma de gas a altas temperaturas (fumarolas o solfataras); vapor y agua hirviendo (géiseres) o aguas calientes (fuentes termales). Estas últimas no son utilizadas en las centrales de este tipo. Tanto los gases calientes como el agua hirviendo pasan por una turbina y un generador que transforma la energía interna de cada uno de ellos en energía eléctrica.

► **Centrales mareomotrices:** en ellas se utiliza la energía cinética del agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de nivel, o también en el llamado flujo y reflujo de la marea. La energía cinética del agua mueve una turbina conectada a un generador que la transforma en energía eléctrica.

► **Centrales de biomasa:** son pequeñas centrales que utilizan gas biológico o biogás producido a partir de la fermentación de residuos orgánicos, como la caña de azúcar, afluentes cloacales urbanos, rastrojo y excremento de ganado. La energía química presente en el gas producido se transforma en interna del agua al alimentar una caldera, la cual continuará con las transformaciones sucesivas hasta llegar a convertirse en energía eléctrica.

A partir del tipo de energía que se encuentra almacenada en el combustible que utiliza cada una de las centrales, habitualmente denominada **fuente de energía**, se puede hacer una clasificación en fuentes renovables y no renovables de acuerdo con la capacidad de agotamiento que tienen. El combustible utilizado en las centrales térmicas y nucleares es no renovable, mientras que las fuentes de las centrales eólicas, solares, geotérmicas, mareomotrices y de biomasa son renovables. Cabe destacar que, si bien la explotación del uranio no es ilimitada, la cantidad de años que se necesitarían para producir la extinción del mineral son tantos que se la puede considerar como una fuente renovable.



Usina mareomotriz de río en Rance, Francia.



Usina geotérmica en Nesjavellir, Islandia.



1. Investiguen cuáles son las centrales energéticas más importantes del país, de qué tipo son, dónde están ubicadas y qué potencia instalada presentan.
2. Dividan la clase en dos grupos y realicen un debate, previa investigación, con relación a los beneficios y perjuicios ambientales que produce cada una de las centrales mencionadas.

Transformación de energía química en eléctrica

Existen muchos artefactos que funcionan utilizando energía eléctrica, pero no se encuentran conectados a la red domiciliaria como, por ejemplo, un control remoto, un mp3 o una linterna. Las fuentes de energía de cada uno de ellos son pilas o baterías, también denominadas **celdas electroquímicas**. Como ya se mencionó en el capítulo 8, estas son las responsables de entregar energía al aparato luego de realizar una transformación.

En el interior de pilas y baterías, se producen reacciones químicas a partir de las cuales se obtiene energía eléctrica. Tales reacciones son parte de un proceso denominado **óxido-reducción** y consiste en dos reacciones químicas simultáneas denominadas "semirreacciones", que son diferentes entre sí. En la **semirreacción de oxidación**, uno de los metales, por ejemplo el zinc, se disuelve al entrar en contacto con una solución电解tática específica que libera electrones, por eso se denomina oxidación, ya que se trata de una sustancia que cede electrones. Al cerrarse el circuito externamente, dichas cargas son atraídas por el otro metal. En la **semirreacción de reducción**, los electrones provenientes del primer metal llegan al segundo, por ejemplo el cobre, y liberan hidrógeno. El cobre, en este caso, gana los electrones y por eso se llama reducción.

Esta doble reacción electroquímica, que se produce casi siempre de la misma manera, permite la circulación de cargas eléctricas y libera energía para hacerlo. Como la cantidad de energía por cada unidad de carga eléctrica que se mueve es la misma, se dice que estos dispositivos mantienen casi constante la fuerza electromotriz. La energía química involucrada en el proceso se transforma en energía eléctrica.



Corte transversal de una pila común.

Pila

Se denomina **pila** al dispositivo que transforma energía química en eléctrica a través de un procedimiento electroquímico. Dicho término proviene del procedimiento de apilar diferentes elementos para transformar mayor cantidad de energía, como lo hizo Volta.

Por ejemplo, una pila seca o común está formada por un cilindro hueco hecho de zinc que se denomina borne negativo, ya que es el que se encuentra a menor potencial, y que contiene una pasta o electrolito embebido en cloruro de amonio y cloruro de zinc. En el borne positivo, que es el que se encuentra a mayor potencial, hay una barra de carbón recubierta en dióxido de manganeso. Todo esto está revestido por una cubierta de cartón y papel plastificado en donde figuran la marca y los signos de positivo y negativo correspondientes.

Si se conecta una pila seca, de uso común, a un circuito, esta transforma 1,5 J de energía química en eléctrica por cada coulomb que circula, por lo que su fuerza electromotriz es de 1,5 V. Se trata de la primera pila portátil y la más económica del mercado. Al tener un bajo porcentaje de mercurio, 0,01%, es considerada la menos contaminante. En la actualidad, está siendo reemplazada por la pila alcalina, que tiene mayor duración y potencia. Y, en vez de la pasta, contiene hidróxido de potasio amalgamado con mercurio, hasta un 1%, por lo que resulta más contaminante. Su nombre se debe a que esta sustancia es alcalina.

Pilas y contaminación

Cuando una pila deja de tener utilidad y hay que descartarla, se presenta el problema de su almacenamiento, ya que algunos de sus componentes son contaminantes peligrosos, como el mercurio. Las pilas más comunes, tanto las secas como las alcalinas, no tienen una gran cantidad de mercurio, pero constituyen un problema de contaminación al desechar una gran cantidad.

Las pilas tipo botón, que son de acero en su exterior y que se utilizan, por ejemplo, en relojes, tienen un alto porcentaje de mercurio y, por esa razón, están siendo reemplazadas por otras menos contaminantes.

Las pilas recargables, por ejemplo, aquellas de níquel-cadmio, no contienen mercurio, aunque el cadmio también se considera contaminante.

Pila de hidrógeno

Una **pila de hidrógeno**, o **celda de combustible**, es un dispositivo que transforma energía química en eléctrica pero, a diferencia de las pilas comunes, está diseñada de forma que permite el reabastecimiento continuo de los materiales consumidos durante la reacción química.

Los reactivos más usados son el hidrógeno y el oxígeno en estado gaseoso. Estos se combinan y forman agua; la energía química del proceso es transformada en eléctrica y en interna del sistema, y es intercambiada en forma de calor. Dichos gases se encuentran separados por un electrolito sólido o conductor iónico que puede transportar iones óxido (O^{2-}) o protones (H^+), indistintamente, de un lado al otro de la celda para permitir la reacción.

En la actualidad, su uso supone no solo un ahorro, sino un menor impacto ambiental.

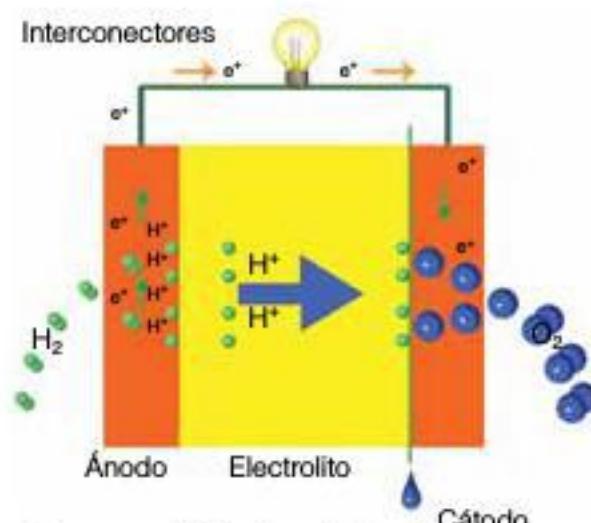
Existen diferentes tipos de pilas de hidrógeno y todas funcionan de igual forma, pero se diferencian en el conductor iónico utilizado y en la temperatura con la que operan.

Las **celdas de membrana de intercambio protónico (PEMFCs)** utilizan electrolitos poliméricos que conducen por desplazamiento de protones (H^+), operan a temperaturas de aproximadamente 80 °C y necesitan gas hidrógeno de altísima pureza. Es necesario producir este gas a partir de la transformación de hidrocarburos en un proceso denominado "reformado externo".

Las **celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs)** utilizan electrolitos cerámicos, de dióxido de circonio, que conducen por iones óxido (O^{2-}), operan a muy altas temperaturas, entre 800 °C y 1.000 °C, y lo hacen a partir de hidrógeno, metano, gas natural u otros hidrocarburos.

Dato curioso

Protium es una banda de rock formada en la Ponaganset High School y fue la primera en el mundo en utilizar celdas de combustible para proveerse de energía durante sus shows.



Esquema del funcionamiento de una pila de hidrógeno.

El hidrógeno y los vehículos

La utilización de un sistema eléctrico eficiente y no contaminante ha llevado a ensayar y producir automóviles eléctricos cuyo motor está alimentado por pilas de hidrógeno. Por el momento no se producen en grandes cantidades.

Uno de los problemas de los vehículos que utilizan las pilas de hidrógeno es el almacenamiento del gas. Las alternativas, por el momento, son tres. La más sencilla, aparentemente, sería colocar surtidores de hidrógeno, como los de nafta, pero esto aún no existe. Otra alternativa es transportar una cantidad razonable de hidrógeno, en un tanque en el automóvil, como se hace con la nafta, pero se lo debería hacer a muy alta presión. Por último, se han desarrollado compuestos que, al reaccionar químicamente, almacenan grandes cantidades de hidrógeno y que luego, en otro proceso, lo liberan cuando es requerido.

Desde comienzos del siglo XX, se utilizó el hidrógeno también en otro medio de transporte: el dirigible. El hidrógeno es un gas muy liviano que permite un buen empuje para el ascenso y, además, de bajo peso, así como su obtención es relativamente sencilla. Pero había un inconveniente en su uso: es fácilmente inflamable.

El incendio de uno de estos globos dirigibles que cruzaban el Océano Atlántico norte, al llegar a los Estados Unidos, en 1937, influyó para que estos enormes vehículos se inflaran con helio, mucho más estable y también más liviano.



Automóvil eléctrico alimentado con pilas de hidrógeno (izquierda).

El dirigible Graf Zeppelin, ya inflado con helio, en su única visita a Buenos Aires, en julio de 1934 (derecha).

a

1. En la actualidad, varios prototipos y modelos de autos y micros emplean celdas de combustible. Investiguen qué otras utilizaciones existen para este tipo de celdas.
2. ¿La Argentina está desarrollando algún tipo de celda de combustible? ¿Cuál? ¿En qué institución se investiga?

Transformación de energía solar en eléctrica

Como una manera de reducir la emisión de dióxido de carbono y disminuir el impacto ambiental, o de ahorrar dinero en la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, muchas ciudades y algunas familias han optado por la energía solar como su fuente de abastecimiento. Para ello, es necesario realizar la instalación de una cierta cantidad de paneles solares con relación a la cantidad de energía eléctrica que se desea obtener. De igual forma, los satélites que se encuentran en órbita alrededor de la Tierra o los módulos que realizan exploraciones espaciales, cuentan con paneles de este tipo que les permiten transformar la energía que reciben del Sol en eléctrica para el funcionamiento de sus equipos.

El proceso que permite que la energía solar se transforme en eléctrica se denomina **efecto fotoeléctrico** y fue descubierto por Heinrich Hertz en 1887, mientras estudiaba las descargas eléctricas en electrodos. En esa oportunidad, observó que las chispas se producían con mayor facilidad cuando uno de los electrodos era iluminado por la luz proveniente de otra chispa.

Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones producida por algunos materiales cuando su superficie es iluminada por un haz de radiación visible o no visible. Básicamente, la energía de la luz incidente es transformada en energía cinética de los electrones extraídos del material, con lo que se cumple el Principio de Conservación de la Energía.

A principios del siglo xx, las observaciones experimentales contradecían lo que la teoría ondulatoria predecía. Una de las mayores contradicciones se presentó al suponer que, si se aumentaba la intensidad del haz de luz incidente y se mantenía su frecuencia (o su color), la energía cinética de los electrones extraídos también debería aumentar, ya que la energía transportada por la onda estaba, según la teoría ondulatoria, ligada a la intensidad y no a la frecuencia. Las determinaciones experimentales mostraron que eso no era así, es decir que la energía cinética con la que salían los electrones de un metal iluminado dependía de la frecuencia y no de la intensidad de la onda incidente. Asimismo, se observaba que había un valor mínimo de frecuencia de la luz incidente que era necesaria para que se empezara a detectar la fotoemisión.

La explicación teórica de este fenómeno fue elaborada en 1905 por Albert Einstein, quien recibiría en 1921 el Premio Nobel de Física por este trabajo. Las hipótesis enunciadas para explicarlo cambiaron la forma de pensar la teoría ondulatoria.

Hasta ese momento, la radiación electromagnética se consideraba cuantizada solo durante la emisión y la absorción de esta. Es decir, la cantidad de energía que un sistema puede absorber o emitir no era continua, sino que estaba constituida por paquetes denominados "cuantos". Esto había sido propuesto por Planck hacia el año 1900.



Aplicaciones del efecto fotoeléctrico en paneles solares de viviendas y en un satélite artificial.

Einstein explicó el efecto fotoeléctrico suponiendo que la energía también se encuentra cuantizada durante su propagación. Las cantidades discretas de energía o cuantos luminosos que forman los haces de luz se denominan **fotones**. En realidad, su explicación apuntaba a interpretar el comportamiento de la radiación. Cada fotón presenta una energía determinada por su frecuencia y que se puede calcular a través de la expresión $E = h \cdot f$, donde h es la constante determinada por Planck: $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, y f es la frecuencia de la luz utilizada. Al incidir sobre un metal, la energía es transferida de un fotón a un único electrón del material y este utiliza una cantidad de esa energía para poder desprendese, y la restante se manifiesta en forma de energía cinética. Por lo tanto:

$$E_{\text{fotón}} = E_{\text{desprenderse}} + E_{\text{cinética}}$$

La energía necesaria para desprender el electrón depende de cada material y explica por qué hay un valor mínimo o umbral de frecuencia. Si un fotón llega a la superficie con una energía igual a la necesaria para desprenderlo, lo hará, pero no tendrá energía cinética, por lo que no se detectará fotoemisión. A esta cantidad de energía mínima necesaria para iniciar el proceso se la llama **función trabajo** (\emptyset), y es un valor fijo para cada metal y puede expresarse como $\emptyset = h \cdot f_0$, donde f_0 es la frecuencia mínima necesaria para extraer un electrón de ese material, es decir la **frecuencia umbral**, y h es la constante de Planck.

Entonces, la expresión anterior quedaría:

$$h \cdot f = \emptyset + E_c$$

O bien, teniendo en cuenta lo anterior:

$$\begin{aligned} h \cdot f &= h \cdot f_0 + E_c \\ E_c &= h \cdot (f - f_0) \end{aligned}$$

Si se mantiene la frecuencia de la luz pero se aumenta su intensidad, se incrementa la cantidad de electrones pero no su energía cinética, ya que aumenta la cantidad de fotones pero no su energía.

Los materiales más utilizados para obtener fotoemisión son los metales alcalinos por presentar valores bajos de función trabajo. Este efecto también se utiliza para la fabricación de células instaladas en los detectores de las alarmas, de los sensores de las cámaras digitales o de las puertas automáticas.

Por ejemplo, la función trabajo del potasio es $3,52 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Si queremos saber qué energía cinética alcanzarán los electrones emitidos al iluminar una superficie de potasio con una luz de frecuencia $7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, así como el valor de su frecuencia umbral, hacemos lo siguiente.

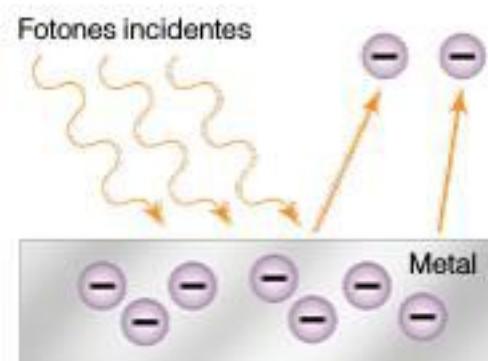
Usando la expresión $h \cdot f = \emptyset + E_c$, queda que la energía cinética es:

$$\begin{aligned} h \cdot f - \emptyset &= E_c \\ 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 7,7 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} - 3,52 \cdot 10^{-19} \text{ J} &= E_c \\ 5,1 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 3,52 \cdot 10^{-19} \text{ J} &= E_c \\ 1,58 \cdot 10^{-19} \text{ J} &= E_c \end{aligned}$$

Si se considera que $\emptyset = h \cdot f_0$, se puede determinar que:

$$\begin{aligned} \frac{3,52 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} &= f_0 \\ f_0 &= 5,31 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} \end{aligned}$$

Para radiaciones de frecuencias inferiores a f_0 , en este caso $5,31 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, no se produce fotoemisión del potasio.



Funcionamiento de una fotocelda.

a)

- Se ilumina una placa de sodio con luz verde de frecuencia $6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ y se observa que los fotoelectrones tienen una energía cinética de $2,8 \cdot 10^{-20} \text{ J}$. Determinen el valor de la función trabajo del sodio y su frecuencia umbral.
- Se ilumina una placa de sodio con luz verde, y luego con luz roja de igual intensidad y frecuencia de $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. ¿En qué caso se obtendrá mayor cantidad de fotoelectrones? ¿Por qué?

Celdas solares



Central termosolar en Sevilla.

Las **celdas o módulos solares** son dispositivos que transforman la energía solar en eléctrica. Su funcionamiento puede ser explicado a partir del efecto fotoeléctrico. Al llegar un fotón a la superficie, se emite un electrón que deja un espacio vacío denominado hueco o laguna. Este se completa rápidamente con otro electrón. Las celdas están diseñadas de tal forma que en su interior los electrones y los huecos avanzan en sentidos opuestos, creando una diferencia de potencial entre sus capas. Estas capas están construidas con materiales semiconductores. La capa superior es de silicio dopado tipo n, que tiene la particularidad de tener mayor cantidad de electrones libres que el silicio puro. La otra capa es de silicio dopado tipo p que tiene menor cantidad de electrones. Cuando ambas se combinan, los electrones libres de la superior entran en la inferior y se produce una carga positiva en la región n y una negativa en la región p, y esto ocurre a todo lo largo de la unión. Esto permite la movilidad de electrones y de huecos en direcciones contrarias originando una cierta diferencia de potencial.

Cada celda solar puede conectarse en serie con otra y dar como resultado un **panel solar**, que tiene mayor superficie y, por lo tanto, mayor capacidad de transformación de energía. Una celda de 6 cm de diámetro tiene una potencia aproximada de 90 W/m². Es decir que, por cada metro cuadrado de superficie de la celda, se transforman 90 J de energía solar en eléctrica por cada segundo de exposición. Esta cantidad de energía es pequeña, pero si se conectaran muchas de ellas convenientemente, podrían abastecer una vivienda.

Los paneles solares se utilizan para muchas otras finalidades. Se construyen automóviles eléctricos propulsados por esta forma de aprovechamiento de la energía solar. También se los utiliza en motores de algunas pequeñas embarcaciones e incluso en sistemas de bajo consumo eléctrico, como calculadoras o juguetes.

Cada panel solar debe ser colocado sobre una base conductora térmica, ya que parte de la energía que recibe se transfiere a este material que aumenta su temperatura. Para hacerlas más eficientes, se aprovecha su energía interna para calentar agua adicionándole un tendido de caños en la parte posterior. Allí se realiza la transferencia de energía, y el agua caliente es almacenada en un depósito aislado térmicamente para ser utilizada en la cocina, el baño o como sistema de calefacción. Los dispositivos solares destinados solamente a calentar agua se llaman **colectores solares**. Uno del tamaño de una ventana puede elevar la temperatura del agua de red en 20 °C y proveer 150 litros de agua caliente a una vivienda, con lo que disminuye la emisión de dióxido de carbono procedente de la quema de gas natural y se ahorra dinero.



Paneles solares.

Semiconductores

La alteración de las propiedades de conducción eléctrica por parte de los semiconductores, como el germanio y el silicio, se logra al doparlos, es decir, al agregar a su estructura cristalina átomos de otros elementos como el arsénico o el boro, en mínimas cantidades. Este descubrimiento permitió la producción, no solo de las celdas solares, sino de, comenzando por el transistor, la producción de chips y circuitos integrados, de los que depende buena parte de la tecnología actual.

La importancia del desarrollo del transistor, en 1948, por parte de los norteamericanos J. Bardeen, W. Brattain y W. Shockley, les valió el Premio Nobel de Física en 1956.

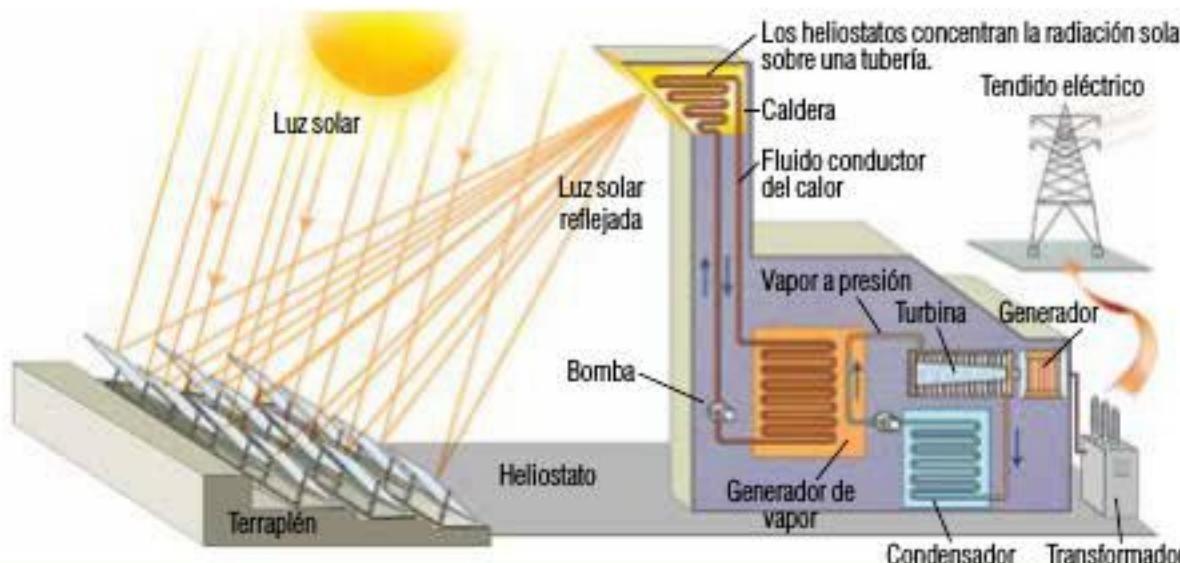
Centrales solares

Dentro de las centrales solares, se pueden distinguir las termosolares y las fotovoltaicas. En las **termosolares**, se utiliza la energía solar para calentar un fluido a partir de la utilización de colectores; luego, el fluido es empleado para mover un generador de la misma forma que lo hace una central térmica convencional. Las **centrales fotovoltaicas** utilizan paneles solares que transforman la energía solar en eléctrica directamente.

Para las termosolares, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, entre 300 °C y 1.000 °C. Por eso, se utilizan espejos planos o parabólicos que se orientan automáticamente y que están dirigidos a una torre central en donde se calienta un fluido. El conjunto que forman las superficies espejadas y la torre colectora se llama **heliostato**. El fluido que se calienta puede ser aire, sodio fundido o vapor de agua, que es el más utilizado. Dicho vapor mueve una turbina conectada en forma solidaria a un generador eléctrico. El receptor, que se encuentra situado en la parte más alta de la torre, tiene que ser de un material que resista altas temperaturas y que capte la mayor cantidad de energía procedente de los espejos. Existen diversos tipos de receptores, como los volumétricos, de tubo, abiertos, de cavidad y circulares, entre otros.

En las centrales fotovoltaicas se requieren grandes cantidades de paneles solares conectados entre sí. Si bien cada uno de ellos produce una tensión de entre 380 V y 800 V y corriente continua, al conectarlos en serie y a un dispositivo electrónico llamado inversor, elevan la tensión a unos 15 o 20 kV y transforman la corriente en alterna. En ese momento, se la puede inyectar a las redes de transporte de las compañías.

Las centrales termosolares y fotovoltaicas requieren amplias superficies para instalar tanto los heliostatos como los paneles fotovoltaicos, y se encuentran en regiones donde las horas de insolación son extensas y presentan poca polución ambiental.



1. El programa GENREN licitó la instalación de centrales solares fotovoltaicas en el territorio nacional.
Investiguen:
- ¿Cuántas centrales son?
 - ¿Dónde estarán instaladas?
 - ¿Qué potencia instalada tendrá cada una?
 - ¿Por qué se instalarán en esa zona del país?

Calefones solares

Como hemos dicho, la energía solar se utiliza también para calentar agua en viviendas y, de esa manera, ahorrar otras formas de energía, como el gas o la energía eléctrica.

Hay países, como Turquía o Israel, que en muchas regiones prácticamente obligan a tener estos sistemas de calentamiento de agua en las viviendas.

Los calentadores solares básicamente tienen paneles negros, para una mejor absorción, que se exponen a la radiación solar. Calientan un líquido que circula en su interior y que, mediante un intercambiador, calienta el agua que se va a utilizar y que se deposita en un recipiente similar al de un termotanque.

Estos sistemas suelen tener un complemento para calentar agua mediante gas en los días de baja irradiación solar.

Esquema del funcionamiento de un calefón solar.



La brújula

La Tierra se comporta como un imán y genera a su alrededor un campo magnético. Aunque no hay precisión al respecto, se supone que desde el siglo IX navegantes chinos detectaron la posibilidad de orientarse mediante un imán que podía girar y ubicarse aproximadamente en la dirección norte-sur, es decir, inventaron la brújula. Este instrumento permitió el desarrollo de la navegación y pese a la aparición de instrumentos más avanzados como el girocompás y los sistemas de navegación satelital, aún se sigue utilizando.



Transformación de energía mecánica en eléctrica

En la mayoría de las centrales eléctricas, se dispone de una turbina y un generador asociados. Este último es el responsable de transformar la energía mecánica en eléctrica. Para poder entender el funcionamiento de un generador eléctrico, es necesario desarrollar algunos conceptos previos.

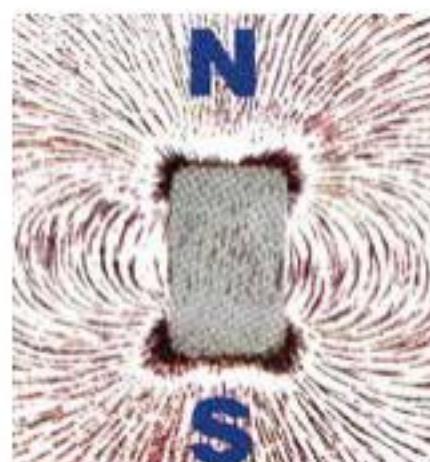
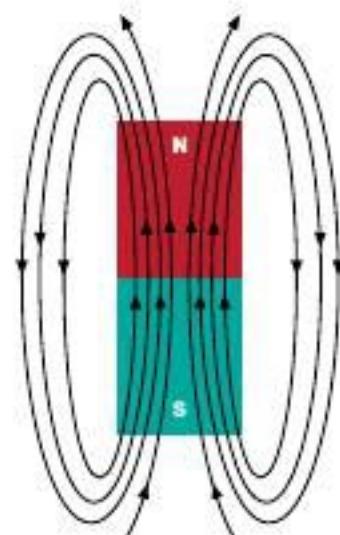
Campo magnético

En el espacio que rodea a un imán se puede detectar un campo magnético ya que, por su sola presencia, cambian las propiedades en algunos puntos del espacio. Eso se pone de manifiesto colocando una brújula en las cercanías y observando que la aguja se desvía de su posición original, ya que se aplican fuerzas en cada uno de sus extremos. Si la cambiamos de lugar, ocurrirá lo mismo, pero la desviación será diferente. Para explicar esta propiedad del espacio, se puede definir en cada punto un vector llamado **inducción magnética (\vec{B})** que lo caracteriza.

Una forma de visualizar el campo magnético creado por un imán es colocando cerca una hoja de papel con finas limaduras de hierro. Estas se ordenan en el campo magnético formando un conjunto de líneas, o espectro, que representan las líneas de fuerza o inducción del campo magnético. La noción de líneas para representar un campo de este tipo fue introducida por Michael Faraday (Inglaterra, 1791-1867). Mientras más apretadas se encuentren las líneas de fuerza, mayor será la intensidad del campo en ese punto del espacio. Por convención, las líneas salen del polo norte, entran en el polo sur y se cierran por dentro de este. La dirección del vector inducción, en un punto del campo, está dada por la tangente a las líneas de fuerza en ese punto, y su sentido es saliente en el polo norte y entrante en el polo sur.

Pero los imanes no son los únicos que pueden generar un campo magnético. Christian Oersted (1777-1851) observó que la aguja de una brújula colocada en las inmediaciones de un conductor, cambiaba de posición al cerrar el circuito, es decir, mientras circulaba la corriente. Al difundirse el descubrimiento de Oersted, no pasó mucho tiempo para que se diera una explicación. Fue Ampère quien determinó que alrededor de todo conductor rectilíneo por el que circule corriente se establece un campo magnético cuyas líneas de inducción son circulares y concéntricas al cable. La dirección del vector inducción, en cualquier punto del campo, es la de la tangente a estas líneas trazada en dicho punto y su sentido está determinado por la **regla de la mano derecha**. Esta regla indica que apuntando el dedo pulgar de la mano derecha en el sentido de la corriente y entrecerrando los restantes dedos, estos indicarán el sentido del vector inducción.

El módulo, o intensidad de \vec{B} , depende de la intensidad de corriente que circula y de la cercanía al conductor. Se expresa, según el SIMELA, en una unidad llamada **tesla**, que se abrevia T.



Líneas de inducción (izquierda) y espectro magnético (derecha). Las zonas en donde las líneas están más concentradas se denominan polos. Todo imán presenta un polo norte y un polo sur. En la fotografía de la derecha, se puede observar que las limaduras de hierro se orientan en forma similar a las líneas de inducción magnética de la izquierda.

Luego de estos descubrimientos, se empezó a experimentar con otras geometrías de conductores para conseguir campos magnéticos más intensos. Fue así como se determinó que en el centro de un arrollamiento de cable conductor, bobina o solenoide, el vector inducción magnética tiene las siguientes características:

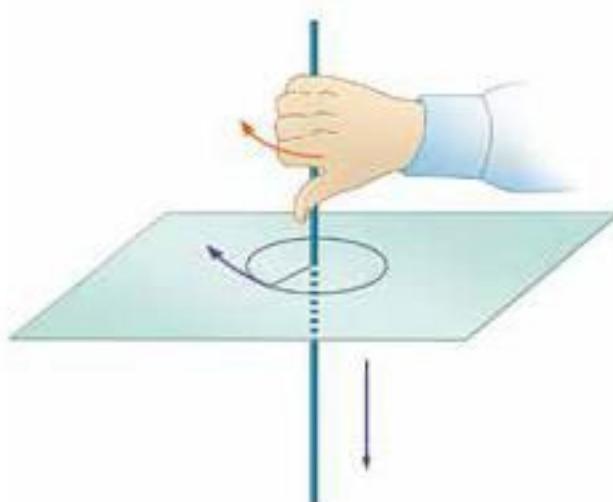
■ **Dirección:** tangente a las líneas de fuerzas, considerando que tienen una distribución parecida a la de un imán recto: en una de sus caras, las líneas de fuerza salen, y en la otra, entran; la primera actúa como un polo norte, y la otra, como un polo sur.

■ **Sentido:** queda establecido por la regla de la mano derecha modificada, en la cual, los dedos indican el sentido de circulación de la corriente y, el pulgar, el polo norte.

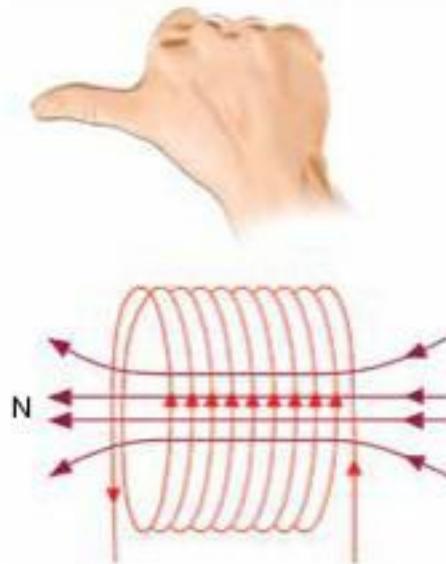
■ **Módulo:** depende de la intensidad de la corriente que circule por el conductor y de su geometría; en el caso de una espira o bobina, se considera su radio, mientras que en un solenoide, se tiene en cuenta la longitud y la forma del arrollamiento del cable conductor.

Espira, bobinas y solenooides

Un conductor eléctrico con forma circular se denomina **espira**. Cuando un circuito está constituido por varias espiras muy juntas, se lo llama **bobina**. Si el arrollamiento de un cable adopta la forma que tendría al arrollarlo sobre un cilindro, se lo llama **solenoide**.



Regla de la mano derecha.

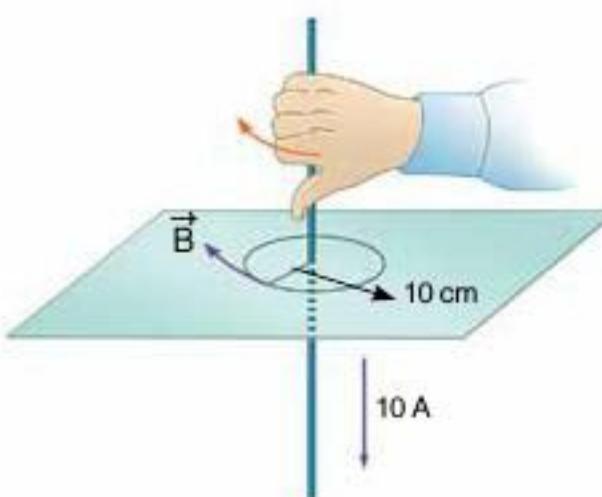


Regla de la mano derecha modificada.

Por ejemplo, supongamos que un conductor rectilíneo es conectado a una fuente que provee una corriente de 10 A y queremos saber qué dirección, sentido e intensidad tendrá el vector inducción magnética a 10 cm de él.

La dirección y el sentido quedan determinados por la regla de la mano derecha, según lo indicado en la figura siguiente, y el valor numérico o intensidad se determina con la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d}$$



donde i es la corriente que circula por el conductor, d representa la distancia a este y μ_0 es una constante llamada **permeabilidad magnética del vacío** y cuyo valor es $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$.

Para este caso, entonces:

$$B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A} \cdot 10 \text{ A}}{2 \cdot \pi \cdot 0,10 \text{ m}}$$

$$B = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

a)

1. Por una espira circula corriente. Indiquen en qué cara se forma el polo norte y en cuál el polo sur. Justifiquen haciendo un dibujo o un esquema.
2. Si ahora se coloca una brújula frente a ella, ¿qué sucederá? ¿Por qué?
3. ¿Por qué se recomienda no dejar tarjetas magnéticas en las proximidades de aparatos eléctricos que estén en funcionamiento?

Algunos científicos del siglo xix, como Joseph Henry (1797-1878) y Michael Faraday (1791-1867), pensaron que si Oersted había obtenido un campo magnético a partir de una corriente, era posible generar una corriente eléctrica a partir de un campo magnético. En el año 1831, en forma simultánea, Faraday en Europa y Henry en los Estados Unidos, confirmaron experimentalmente esa suposición abriendo un nuevo campo de investigación científica y tecnológica.

Una forma de comprobar lo que pensaron Faraday y Henry es realizando la siguiente experiencia. Registren lo que sucede en cada caso y compleméntelo con dibujos.

Materiales

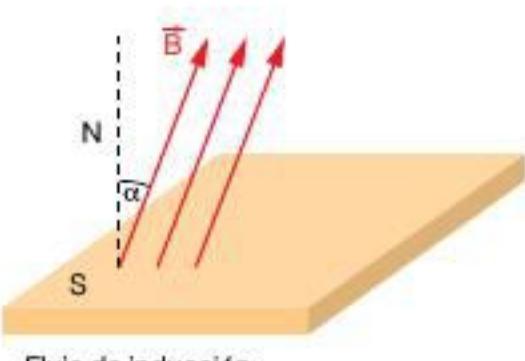
Cables
Voltímetro digital
Imán recto
Bobinas con diversas cantidades de espiras



Actividad

- Al conectar la bobina con menor cantidad de espiras al voltímetro, ¿qué sucede si no se mueven ni el imán ni la bobina?
- Al acercar uno de los polos del imán, ¿qué indica el voltímetro mientras dura el movimiento? ¿Y si se aleja tratando de mantener la misma rapidez en el movimiento?
- Si se repite el procedimiento anterior, pero con el otro polo, ¿se modifica la lectura en el voltímetro?
- Si se mantiene en reposo el imán y se mueve la bobina, ¿qué sucede? ¿A qué caso de los anteriores se parece?
- Si se acerca o se aleja uno de los polos del imán aumentando la rapidez del movimiento, ¿qué ocurre con las indicaciones en el voltímetro?
- Si se repiten las acciones con una bobina de mayor número de espiras, ¿qué marca el instrumento en cada caso?
- ¿Qué variables se deben tener en cuenta para que se detecte una diferencia de potencial?

Inducción electromagnética



Para explicar y entender los efectos eléctricos inducidos a partir de los magnéticos se utiliza el modelo de las líneas de campo o inducción introducido por Faraday. Si el campo magnético producido por el imán es uniforme, la cantidad de líneas de inducción que atraviesan una superficie (en este caso, la de la bobina) variará con relación al movimiento entre ellos. Es necesario, entonces, definir una magnitud llamada **flujo de inducción** que vincule la cantidad de líneas de campo y la superficie; cuanto más líneas corten una superficie, mayor será el flujo magnético. El valor del flujo de inducción magnética es proporcional al área de la superficie en cuestión, al módulo del vector inducción magnética y a la posición relativa entre ellos. Si la superficie se encuentra perpendicular a las líneas, será atravesada por la mayor cantidad de líneas. En ese caso, el flujo es máximo, pero si la superficie está ubicada paralela a las líneas, ninguna de ellas la atravesará y el flujo, en consecuencia, será nulo. En posiciones intermedias, se deberá tener en cuenta el ángulo que formen.

Matemáticamente, el flujo de inducción se determina así:

$$\Phi = S \cdot B \cdot \cos \alpha$$

donde S representa el área de la superficie, B es el módulo del vector inducción magnética y α es el ángulo que forma este con la normal a la superficie.

La unidad, en el SIMELA, para el flujo de inducción es el **weber**, que se abrevia Wb. Un weber es el flujo que se obtiene al hacer pasar líneas de inducción de un campo de 1 T a través de una superficie de 1 m², por lo tanto: 1 Wb = 1 T · m².

Por ejemplo, si en una región hay un campo magnético uniforme cuyo vector inducción tiene un módulo de 0,2 T que forma un ángulo de 60° con la perpendicular a una superficie de 40 cm², el flujo a través de esa superficie vale:

$$\Phi = 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,2 \text{ T} \cdot \cos 60^\circ = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Ley de Faraday-Lenz

En la experiencia de la página anterior, al mover el imán se detectó una diferencia de potencial mediante la indicación del voltímetro. La diferencia de potencial detectada se denomina **fuerza electromotriz inducida** (fem) y es proporcional a la rapidez con que cambia el flujo de inducción magnético que atraviesa la superficie. Esta constituye la **Ley de Faraday-Lenz**, que puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{fem} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

donde $\Delta\Phi$ es la variación del flujo de inducción y Δt es el tiempo transcurrido durante esa variación.

En el caso de tratarse de una bobina, en la que las espiras estén lo suficientemente apretadas como para que los flujos magnéticos que las atraviesan sean iguales para todas, será necesario considerar la cantidad de espiras, ya que la fem inducida aumenta con dicho número. Entonces, teniendo en cuenta que con N se indica la cantidad de vueltas de la bobina, se puede expresar como:

$$\text{fem} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

El signo menos de la expresión indica que la corriente, que circula por la bobina o la espira por efecto de la fem inducida, producirá un efecto magnético contrario. Es decir que si se acerca el norte de un imán, en la cara de la bobina o espira enfrentada a este, también se formará un polo norte como consecuencia de la corriente que circule por ella. De lo contrario, se estaría produciendo una cantidad de energía por unidad de carga de la nada. Para poder acercar el imán, es necesario transformar energía de otro tipo para vencer la resistencia que establecen la bobina o espira. Esto constituye la Ley de Faraday-Lenz, que tiene su fundamento en el Principio de Conservación de la Energía, que indica que el sentido de la corriente inducida es opuesto a la causa que la produce.

Por ejemplo, determinemos cuál es la fem que se induce en una espira circular de $7,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ con un imán recto ubicado a una cierta distancia frente a ella y que genera en esta un campo de $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ y, al acercarlo, el valor de campo pasa a ser de $5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ en 4 s.

Al ser las líneas perpendiculares a la espira, el ángulo es 0° y el flujo inicial es:

$$\begin{aligned}\Phi &= S \cdot B \cdot \cos \alpha \\ \Phi &= 7,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot \cos 0^\circ \\ \Phi &= 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}\end{aligned}$$

Y al acercar el imán:

$$\begin{aligned}\Phi &= S \cdot B \cdot \cos \alpha \\ \Phi &= 7,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot \cos 0^\circ \\ \Phi &= 3,54 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}\end{aligned}$$

Por la ley de Faraday-Lenz, la fem inducida se determina:

$$\begin{aligned}\text{fem} &= -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \\ \text{fem} &= -\frac{(3,54 \cdot 10^{-5} \text{ Wb} - 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ Wb})}{4 \text{ s}} = -4,4 \cdot 10^{-6} \text{ V}\end{aligned}$$

El valor de la fem inducida siempre es positivo. No hay fem negativas. Como se indicó, el signo de la Ley de Faraday-Lenz se refiere a que el sentido de la corriente inducida provoca un efecto magnético que se opone a la variación del flujo.



- Expliquen cómo se puede determinar el campo magnético del lugar en donde se encuentran usando una bobina y un voltímetro.
- Si se aleja de una espira el polo sur de un imán, ¿en qué sentido circula la corriente por ella? ¿Por qué? Hagan un esquema explicativo.

Generadores eléctricos

La dinamo de una bicicleta

Los faros de las bicicletas de la actualidad tienen, como fuente de energía, por lo general, pilas. Hasta no hace muchos años, la energía provenía de una dinamo. La rueda de la bicicleta hacía rotar un bobinado en un campo magnético (todo colocado en un recipiente cilíndrico) y, de esta manera, se obtenía energía eléctrica para el encendido de las luces.

Con los descubrimientos realizados por Henry y Faraday, no se tardó mucho en diseñar dispositivos capaces de transformar energía mecánica en eléctrica. En 1863, Antonio Pacinotti (1841-1912) presentó una dinamo con la que, a partir de inducción electromagnética, se podía generar una corriente continua. Las corrientes obtenidas por estos dispositivos eran mayores a las brindadas por los métodos electrostáticos y electroquímicos conocidos hasta el momento.

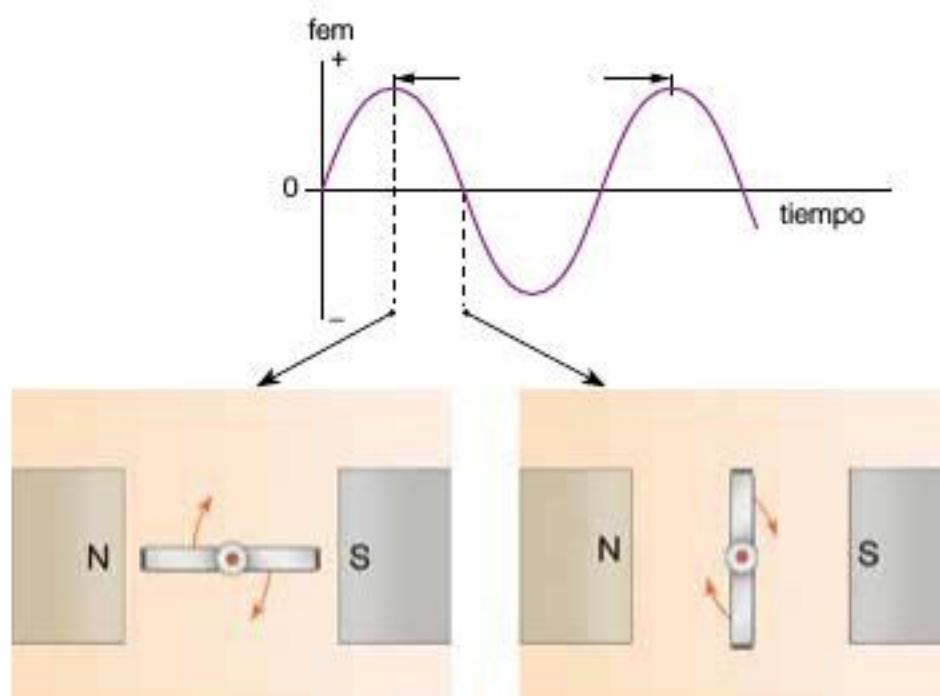
Los generadores eléctricos son dispositivos que transforman la energía mecánica en eléctrica a partir de la Ley de Faraday-Lenz. Si la fem producida por el generador establece una corriente continua, se lo llama **dinamo**, y si la corriente es alterna, se lo denomina **alternador**.

Según la Ley de Faraday, la fem producida por inducción electromagnética es la misma ya sea que se mueva el imán o la bobina, por lo tanto, resulta más conveniente hacer girar una bobina en un campo magnético uniforme. En sus extremos, hay anillos conductores que se encuentran siempre en contacto con las escobillas que forman los bornes del generador. Cuando la bobina gira dentro del campo magnético, varía el flujo de inducción que la atraviesa, pasando de un valor máximo a cero, según la posición que adquiera respecto de las líneas de campo. Por lo tanto, la fem inducida en ese tiempo pasa de ser máxima a nula. Si la bobina sigue girando, el valor alcanzado por la fem será nuevamente máximo, pero de sentido contrario. Los bornes del generador cambian alternadamente la polaridad. Así funciona un alternador.

Si los anillos conductores son semianillos, siempre se establece que uno de ellos es positivo y el otro es negativo, porque el cambio de circulación de corriente en la bobina se produce al mismo tiempo que el cambio del contacto con la escobilla. La corriente que se obtiene es pulsante, es decir, pasa de cero a máxima y nuevamente a cero, pero sin cambiar el sentido de la circulación.

Si se unieran dos bobinas ubicadas perpendicularmente una de otra y cada una de sus terminales se conectara a cuartos de anillos conductores, la fem y, por consiguiente la corriente que se obtiene, seguiría siendo pulsante, pero sus valores mínimos serían muy cercanos a sus máximos. Se la puede considerar casi una corriente continua.

Los generadores de una planta eléctrica son mucho más complejos, pero sirven de modelo explicativo de su funcionamiento. Están formados por grandes bobinas con una cantidad importante de espiras alrededor de un núcleo de hierro. Las bobinas giran dentro de campos magnéticos enormes producidos por electroimanes. Al conjunto de espiras, se le sueldan unas ruedas de paletas llamadas turbinas. La rotación de esta puede deberse a diferentes factores, como el viento, el movimiento del agua, vapor, etcétera.



Alternador y gráfico de la fem producida por este en función del tiempo.

Centrales hidroeléctricas

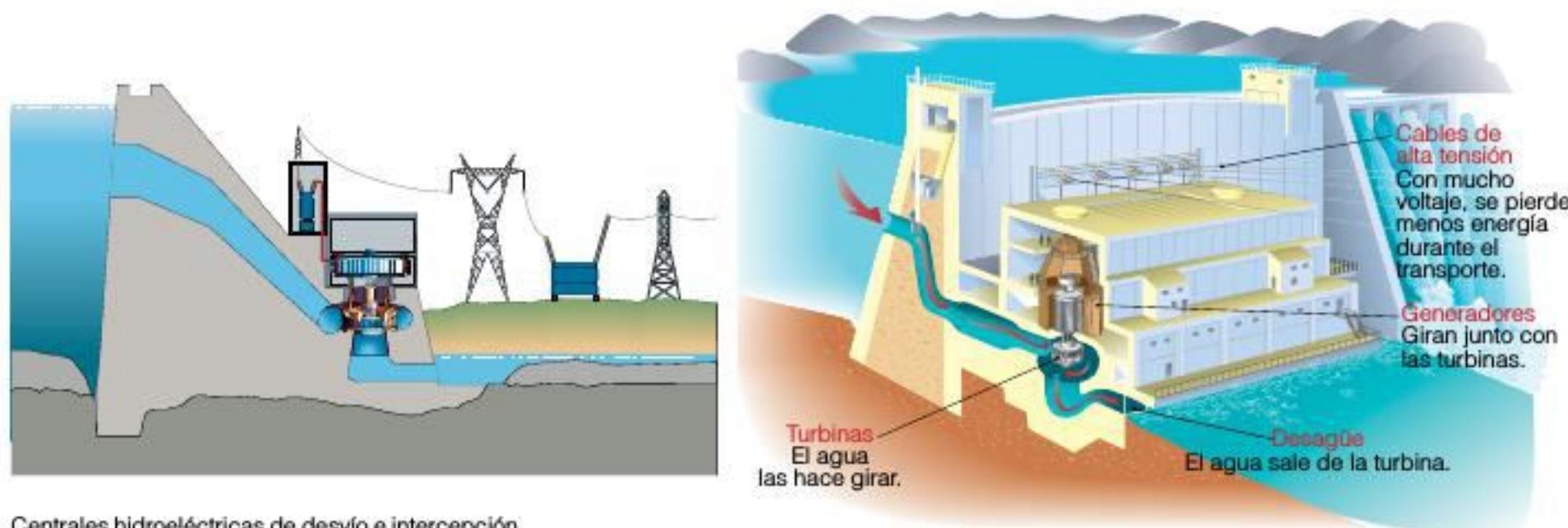
Este tipo de central transforma la energía cinética del agua y la potencial que adquiere al ser retenida en un embalse o en un desnivel natural en energía eléctrica. Resultan ser la evolución de los antiguos molinos de agua. El agua, al circular por las tuberías, llega a la turbina y la hace girar. Allí, la energía mecánica del agua es transformada en energía cinética de la turbina. La turbina está unida a un generador eléctrico o alternador que la transforma en energía eléctrica. Mediante transformadores, se eleva la tensión para ser transportada por las redes de distribución a los centros de consumo, como son las ciudades o las zonas industriales.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en:

► **Desvío del cauce de agua:** este método consiste en desviar parte del flujo de agua de un río para transformar su energía cinética en eléctrica. También son llamadas centrales de agua fluyente. La cantidad de energía que son capaces de proporcionar está limitada por los períodos de lluvia y sequía de la zona en donde se encuentre.

► **Intercepción de la corriente de agua:** en este caso, aparte de considerarse la energía cinética del curso de agua, se crea un embalse o represa para generar un aumento en su energía potencial. El agua almacenada en el embalse es utilizada en forma gradual para producir energía durante todo el año.

Una de las centrales hidroeléctricas más importantes de la Argentina es Yacyretá, emplazada sobre los saltos de Yacyretá-Apipé en el río Paraná. Se trata de un emprendimiento binacional con Paraguay. La obra comenzó en 1974 y la primera de sus veinte turbinas, que genera 155 MW, entró en funcionamiento en 1994, mientras que la última comenzó a funcionar en 1998. El salto de agua de 21,3 m permite una generación total de 3,1 GW, que representa el 60% de la generación hidroeléctrica del país.



Centrales hidroeléctricas de desvío e intercepción.

Nombre	Potencia	Provincia	Río
Piedra del Águila	1,4 GW	Neuquén	Limay
El Chocón	1,2 GW	Neuquén	Limay
Río Grande	0,75 GW	Córdoba	Grande
Futaleufú	0,45 GW	Chubut	Futaleufú
Los Reyunos	0,22 GW	Mendoza	Diamante
Arroyito	0,12 GW	Neuquén	Limay
Cabra Corral	0,10 GW	Salta	Juramento

Centrales hidroeléctricas más importantes de la Argentina.

Centrales mareomotrices

Las **centrales mareomotrices** son otro tipo de centrales hidroeléctricas, ya que utilizan la energía procedente del agua pero, en este caso, transforman la energía almacenada en el mar a través de los movimientos de flujo y reflujo de las mareas.

Su instalación es conveniente en zonas costeras donde se presenten amplias mareas o corrientes marinas importantes. Son sumergibles y aprovechan el movimiento del agua, como consecuencia de las corrientes, para generar energía eléctrica a través de un generador.

En las regiones en donde se dan en forma regular grandes diferencias de altura entre las pleamaras y las bajamaras, y si los accidentes costeros lo permiten, se construye una represa o dique. Este se llena o vacía de acuerdo con la situación. El agua, al ingresar o salir, mueve una turbina que se encuentra unida a un generador transformando la energía cinética en eléctrica. Tales turbinas giran en sentidos contrarios durante el llenado o vaciado del dique y en ambos casos generan energía.

Como ya se mencionó, la energía procedente de las mareas o corrientes marinas es renovable, dado que la fuente primaria no se agota debido a su explotación. Además, es considerada limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, es necesario considerar el impacto ambiental que puedan producir y la relación entre la cantidad de energía que producen y el costo económico de su instalación.

Francia, Rusia y Canadá tienen experiencia en este tipo de centrales; en ellas, se genera una cantidad de energía equivalente a la que se obtendría quemando $1,045 \cdot 10^9$ barriles de petróleo o $3,92 \cdot 10^8$ toneladas de carbón.

En la Argentina no hay emplazadas centrales mareomotrices. La zona costera de la Patagonia es la más propicia, en particular, el Istmo Carlos Ameghino, que une la Península de Valdés con el territorio continental. Hacia el sur de la península se encuentra el Golfo Nuevo, la costa este es bañada por el Mar Argentino y hacia el norte está el Golfo San José. Durante las mareas, los niveles de agua en cada uno de los golos son diferentes y es por eso que se ha considerado instalar una central para aprovecharlos. De hecho, existe un proyecto llamado Pragmalia cuyo objetivo es la instalación de una usina mareomotriz en la localidad de Puerto Deseado, en Santa Cruz.

El mar provee otra fuente de energía mecánica para ser convertida en eléctrica. Se están realizando instalaciones experimentales que utilizan el movimiento de las aguas en la superficie, es decir, de las olas. A principios de agosto de 1995, se construyó una central de este tipo en Escocia, que fue capaz de generar 2 MW.

Por lo general, este tipo de centrales, denominadas **olamotrices**, funcionan colocando una serie de boyas que oscilan por acción del oleaje. Este movimiento es transmitido al generador eléctrico, que incluso puede estar en la tierra.

La energía de las mareas

La mayor parte de la energía que utilizamos proviene directa o indirectamente de la radiación solar, es decir que es de origen nuclear. La energía de las mareas es también de origen extraterrestre, ya que las pleamaras y bajamaras se producen debido a la acción conjunta de la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol sobre la Tierra, en general, y sobre las aguas de los océanos, en particular. La atracción gravitatoria entre dos cuerpos depende de sus masas y de la distancia entre ellos. Si se toma, por ejemplo, el sistema formado por los cuerpos del planeta Tierra y de su satélite, la Luna, existe un hemisferio de la Tierra que es más cercano a la Luna que el opuesto y, por estar más cerca, recibe mayor atracción lunar. Esta atracción se pone de manifiesto principalmente sobre el agua de los mares, lo que provoca, junto con un efecto similar ejercido por la atracción del Sol, el ascenso y el descenso de las mareas.



La atracción gravitatoria lunar sobre las aguas de los océanos provoca el ciclo de mareas. La influencia de la atracción del Sol es menor debido a la gran distancia a la que se encuentra.

Centrales térmicas

Una **central térmica** o **termoeléctrica** es una instalación utilizada para transformar la energía química almacenada en los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón, el gas natural y el fueloil, en energía eléctrica a partir de su combustión. Los combustibles son quemados en una caldera y una parte de la energía química es transferida en forma de calor al agua que circula por las tuberías de la caldera. El agua eleva su temperatura y se transforma en vapor, que es enviado por otra tubería a una turbina cuyo eje mueve un generador que produce energía eléctrica. Como la energía almacenada en el combustible sufre varias transformaciones a lo largo del proceso, se degrada, y no puede aprovecharse en su totalidad. Las centrales de este tipo se clasifican en:

► **Clásicas o de ciclo convencional:** se quema carbón, petróleo o gas natural en una única caldera. Son las más comunes y las más económicas de instalar, y tienen un rendimiento aproximado de un 40%.

► **De ciclo combinado:** constan de dos turbinas y dos generadores que funcionan independientemente. En la caldera, se quema el combustible fósil del tipo que sea y los gases producidos se utilizan para mover una turbina asociada a un generador eléctrico. Estos son aprovechados debido a su alta temperatura para vaporizar agua, a través del intercambio de energía en tuberías. El vapor mueve una segunda turbina solidaria a otro generador. Estas modificaciones lograron mejorar el rendimiento un 55%.

Según la época del año, se hacen trabajar las centrales térmicas, con diferentes rendimientos, en función del tipo de combustible usado. En invierno, las centrales a base de petróleo o fueloil generan más energía para destinar el gas al consumo en los hogares.

Son consideradas las centrales más contaminantes, ya que contribuyen al efecto invernadero a partir de la emisión de gases como el dióxido de carbono, entre otros. Según el combustible que se queme, varía la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera: es mayor en el caso del fueloil y menor en el caso del gas.

Si bien hubo ensayos de generación eléctrica en nuestro país desde aproximadamente 1860, recién hacia la década de 1880 se instalaron usinas, primero en La Plata y luego en otras ciudades. Así se las llamaba a las centrales térmicas que tenían, generalmente, la finalidad de alimentar el alumbrado público y recién después a las viviendas.

El ingeniero Jorge Newbery, recordado como precursor de nuestra aviación fue, en 1904, director de iluminación de la Ciudad de Buenos Aires y proyectó una usina central para lograr el cambio de la iluminación a gas que se utilizaba a la iluminación eléctrica.



Jorge Newbery fue un precursor de la iluminación eléctrica en la ciudad de Buenos Aires.

Tipo de central	Combustible utilizado	Energía proporcionada (valor indicativo)
Convencional	Diésel-oil	441 GW-h
Convencional	Gas	9.801 GW-h
Ciclo combinado	Gas o fueloil	59.188 GW-h

Tipos de centrales térmicas y la energía que proporcionan.

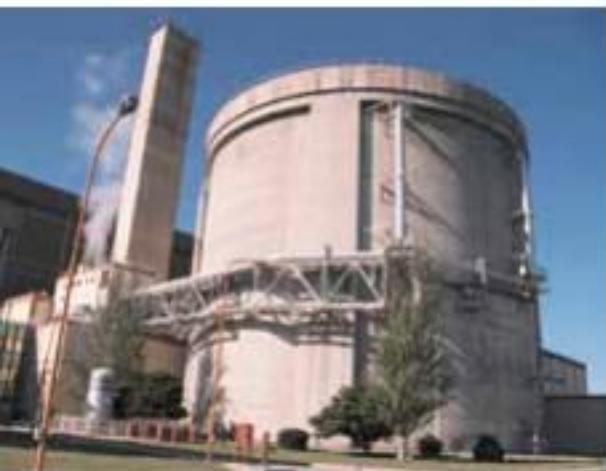
Usina eléctrica flotante

En la actualidad, existen más de 60 centrales eléctricas flotantes con una capacidad de 4 GW en diversas zonas costeras donde la electricidad escasea. Hay variedad de tecnologías, incluidas la nuclear, el gas y los combustibles pesados. Algunas están montadas sobre plataformas flotantes y no tienen propulsión propia, por lo que deben ser remolcadas para llegar a su destino de operación. El desarrollo de proyectos de este tipo es doblemente útil. Por un lado, se reutilizan viejos barcos cargueros al convertirlos en centrales eléctricas y, por otro lado, se abastece de electricidad a poblaciones carentes de este recurso.



1. Investiguen cuál es la central termoeléctrica más cercana a la ciudad en donde viven.
2. ¿Qué tipo de central es? ¿Cuál es el combustible que emplea? ¿Cuánta energía genera?

Centrales nucleares



Central de Embalse Río III, Córdoba.

Las **centrales nucleares** pueden ser consideradas, por su forma de funcionamiento, como centrales térmicas, ya que a partir de la energía almacenada en un determinado combustible, se consigue elevar la temperatura del agua que es la responsable de mover las ruedas de paleta de una turbina acoplada a un generador eléctrico.

En el núcleo atómico se almacena una gran cantidad de energía en los enlaces que mantienen unidos los protones y los neutrones. Si, por algún proceso controlado por el ser humano o espontáneo, estas uniones se rompen, el núcleo se fisiona y la energía liberada se manifiesta como cinética de los productos de dicha fisión.

Aprovechando este proceso, se han creado centrales que reemplazaron el combustible tradicional, como el carbón, el gas, el petróleo y sus derivados, por materiales que puedan fisionarse. El más utilizado es el uranio. Tal reacción se produce en el interior del reactor de la central nuclear y lo hace en forma controlada a partir de un gran número de dispositivos de seguridad que son imprescindibles. La energía liberada aumenta la temperatura del núcleo y, a través de un sistema refrigerante se realiza la transferencia de energía al agua que por él circula. Esta llega a un intercambiador, transfiere la energía a otro circuito de agua y desde allí el proceso es similar al que ocurre en las centrales térmicas. El agua del sistema refrigerante no debe estar en contacto con la del otro circuito de agua para evitar contaminación radiactiva. Al fisionarse 1 kg de uranio, se liberan 23 GW-h, que es la misma cantidad de energía que produce la combustión de 2.000 toneladas de carbón, 2.075 toneladas de gas o 2.024 toneladas de petróleo crudo.

Las centrales nucleares que la Argentina tiene distribuidas en su territorio son la de Embalse Río III, en la provincia de Córdoba y las de Atucha I y Atucha II, en la provincia de Buenos Aires. La central Atucha II entregó su máxima potencia en febrero del año 2015 llevando el aporte de la energía nuclear al 5,4% la capacidad total de generación del país. Existe un proyecto para comenzar las tareas para la construcción de una cuarta central nuclear llamada provisoriamente Atucha III hacia fines del año 2015.

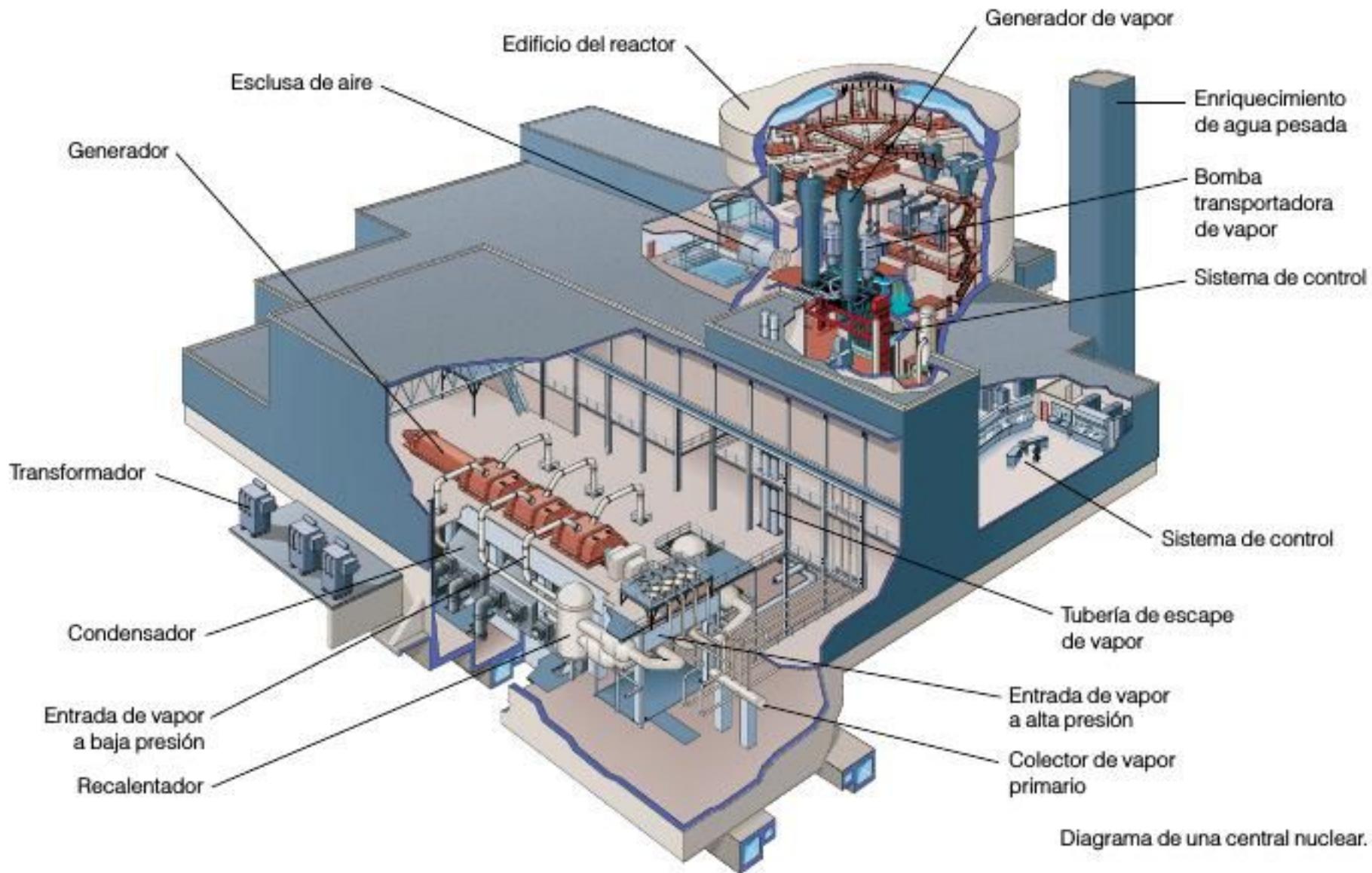


Diagrama de una central nuclear.

Centrales eólicas

El viento es un recurso natural que el ser humano ha utilizado desde hace mucho tiempo para impulsar barcos a vela y en los molinos de viento que aún se suelen ver en los campos. Estos se usaban en la Antigüedad para moler granos y actualmente se utilizan para el bombeo de agua, o bien, para la generación eléctrica, en el caso de un aerogenerador.

Las **centrales eólicas** son las responsables de transformar la energía cinética del aire en energía eléctrica. Esta forma de generar energía eléctrica se desarrolló a partir de la década de 1980 y consiste en aprovechar la energía del viento, con la cual se mueven las hélices de una turbina, haciendo que esta gire alrededor de su eje. Al encontrarse la turbina unida a un generador eléctrico, la energía eólica se transforma en eléctrica y se podrá utilizar en un hogar, si se cuenta con un aerogenerador, o bien, inyectarse a la red de distribución eléctrica, si se trata de una central eólica. Dichos aerogeneradores funcionan con vientos de entre 5 m/s y 20 m/s.

La instalación de una central de este tipo requiere lugares donde el viento sopla en forma regular y con velocidades importantes, lo que limita mucho sus posibilidades de implementación. Como la generación es irregular, se colocan generadores alimentados a fueloil o gasoil que se instalan en paralelo y, de esa forma, se evitan interrupciones en el suministro eléctrico en aquellos lugares que cuentan únicamente con esta forma de generación eléctrica.

La Argentina cuenta con recursos importantes en cuanto a la generación eólica. Con distinto grado de avance, se están realizando proyectos en Tierra del Fuego, San Juan, Neuquén, Chubut, La Rioja, Córdoba y la provincia de Buenos Aires.

En nuestro país existen varios parques eólicos. Uno de ellos, Arauco, en la provincia de La Rioja, está formado por 12 aerogeneradores de 2,1 MW de potencia cada uno. Respecto del parque energético total, esta forma, que es limpia en emisión de gases de efecto invernadero, representa tan solo el 1%. Es por eso que se está intentando ampliar esta cifra a través de un complejo proceso de licitación que ENARSA, la empresa de energía estatal, ha realizado para otorgar a 12 empresas un total de aproximadamente 754 MW con el cual se conseguirá ampliar el porcentaje de generación eólica a 2,3%.

Cuando las condiciones del viento son adecuadas, la generación eólica presenta ventajas frente a otras formas. Utiliza un recurso totalmente renovable como es el viento y no produce contaminación ambiental. Además, mediante un único generador se pueden cubrir las necesidades de puestos aislados de bombeo de agua para el consumo del ganado o el riego.



Parque eólico Rawson, en la provincia del Chubut.



1. Investigan cuáles son los beneficios y perjuicios al ambiente que genera la instalación de una central eólica.
2. ¿Qué factores contaminantes hay que tener en cuenta a la hora de instalar un parque o granja eólica?
3. A través del programa GENREN se instalarán nuevas centrales eólicas en el país. Averigüen cuántas son, dónde estarán, cuál será su potencia instalada y por qué se usará esa zona del país.

Centrales geotérmicas

Energía geotérmica en Islandia

El incremento en el uso de la energía geotérmica para la generación eléctrica en el mundo aumenta en forma considerable. El mayor productor es Estados Unidos con un valor de 3180 MW. Sin embargo ese valor solo representa el 0,3% de su generación eléctrica. Islandia, debido a su ubicación geográfica, tiene un clima frío muy riguroso pero su subsuelo volcánico es rico en recursos geotérmicos. Casi el 90% de los hogares están calefaccionados mediante una red de aprovechamiento de la energía geotérmica. La utilización de esta forma de energía le permite, con 575MW instalados, proveer el 30% de toda su energía eléctrica.

Una central geotérmica es una construcción en la que se aprovecha la energía interna de las capas subterráneas para generar agua a altas temperaturas o bien, vapor de agua. Este se mueve en forma natural hacia la superficie y la energía cinética almacenada se transforma en eléctrica utilizando un generador. Para aprovechar esta energía, es necesario que se den temperaturas muy elevadas a poca profundidad. En muchos casos, este tipo de energía se utiliza para calefacción.

La energía geotérmica es una fuente renovable y apenas produce residuos, pero su aprovechamiento está limitado a determinadas zonas geográficas asociadas a actividades volcánicas, o bien en donde el terreno está formado por rocas porosas que permiten la salida del agua caliente o del vapor.

En todos los casos, tanto el agua como el vapor son expulsados en forma de géiseres, fumarolas o aguas termales, y en algunas oportunidades puede contener sustancias tóxicas como arsénico o azufre. Asimismo, las elevadas temperaturas a las que se encuentran pueden afectar el ecosistema del exterior, ya que algunos organismos son muy sensibles a los cambios térmicos.

Los países que son pioneros en la utilización de este tipo de energía, y que actualmente generan electricidad a partir de las reservas geotérmicas, son Islandia, Estados Unidos, Indonesia, Italia, Nueva Zelanda, México, Filipinas y Japón.

La Argentina cuenta con fuentes de aguas termales en diferentes puntos como las del Valle de Los Molles en Malargüe, Mendoza, o bien en Federación, Entre Ríos, que son utilizadas por un gran número de turistas cada año. Desde el año 1988 hasta 1995 funcionó una turbina piloto capaz de producir, por intermedio de un generador, energía eléctrica en el parque geotérmico "Las Mellizas", en la provincia de Neuquén. Este parque geotérmico es el proyecto más avanzado en nuestro país, tiene proyectada una potencia de 30 MW y su puesta en marcha se ha demorado pero en el año 2015 ya tiene perforados cuatro de los seis pozos programados.

Se han ubicado 14 posibles ubicaciones en la Argentina para este tipo de centrales, entre las que se encuentran El Domuyo (Neuquén), Tocomar-Tuzgle (Salta-Jujuy), El Ramal (Salta), Valle del Cura (San Juan), Santa Teresita (Catamarca) y Bahía Blanca (Buenos Aires).



Parque geotérmico en Filipinas.

Impacto ambiental

Es necesario evaluar las consecuencias que la instalación de una central eléctrica produce sobre el ambiente. Asimismo, no debemos pensar que dichos efectos son aislados o únicos dado que, a lo largo de todo el planeta, se llevan adelante acciones que en la mayoría de los casos producen un impacto nocivo en el ambiente. Las políticas mundiales actuales están dirigidas a reducir el desequilibrio ecológico producido como consecuencia de los altos niveles de contaminación, principalmente por la combustión de recursos fósiles, y es el dióxido de carbono uno de los principales residuos que incrementa el **efecto invernadero**.

Cuando este proceso es natural, permite que se produzca un equilibrio entre la energía que la atmósfera recibe del Sol y la que emite la Tierra al espacio en forma infrarroja. Es decir que brinda las condiciones para que se establezca el balance energético de la Tierra y así mantener la temperatura dentro de un margen que posibilite la vida. Esto se produce gracias a los gases presentes en la atmósfera, como el dióxido de carbono y el vapor de agua, entre otros, los cuales han estado presentes en cantidades reducidas durante la mayor parte de la historia de la Tierra. Sin el efecto invernadero que estos gases producen, la temperatura promedio sería unos 33 °C menor a la actual.

En la actualidad, los niveles de CO₂ han aumentado debido al desarrollo de actividades relacionadas con la combustión de recursos fósiles junto con la deforestación de los espacios verdes. Al no dejar salir tanta energía como la que entra, se afecta el balance energético y se produce un aumento gradual de la temperatura, denominado **recalentamiento global**. Asimismo, se emiten gases contaminantes, como el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), y metales pesados, como el cadmio, el plomo, el arsénico y el mercurio, que originan lo que se conoce como **lluvia ácida**, que afecta las construcciones y a los seres vivos.



La lluvia ácida no solo afecta al ambiente y a los seres vivos, sino también a antiguos monumentos que se encuentran a la intemperie.

Uso racional de la energía

La producción de energía es uno de los aspectos decisivos para el desarrollo y crecimiento de toda sociedad, sobre todo de las sociedades industrializadas. Los debates sobre su producción y su uso racional se han convertido en una problemática mundial pendiente de resolución.

El excesivo uso de las fuentes energéticas y los modos disponibles de utilizarla, no siempre equitativos, generan una preocupación permanente y es por eso que se habla de una **crisis energética**, problemática mundial que requiere estrategias de resolución en manos de distintos organismos oficiales, políticos, científicos, asociaciones ambientalistas y todos los ciudadanos.

El uso racional implica múltiples aspectos, tales como planificar las políticas energéticas, diseñar y llevar a la práctica planes de ahorro energético, mejorar el rendimiento del sistema instalado, disminuir la contaminación, etcétera.



A la izquierda, John Tyndall (1820-1893), quien en 1859 descubrió que el CO₂, el metano y el vapor de agua bloquean la radiación infrarroja saliente de la Tierra.

A la derecha, Svante A. Arrhenius (1859-1927), quien en 1896 determinó que la duplicación de las cantidades de CO₂ subiría la temperatura 5 o 6 °C.

as

1. Se denominan formas convencionales de producción de energía eléctrica a su generación en las centrales térmicas, hidroeléctricas y nucleares. A las otras formas de generación de energía se las llama no convencionales.
 - a. Investiguen las ventajas y desventajas ecológicas que presentan las formas de generación de energía no convencionales.

Transformadores

Potencia

Según vimos en el capítulo 8, la potencia de un tramo de circuito se calcula: $P = \Delta V \cdot I$, donde ΔV es la diferencia de potencial (tensión) e I es la intensidad de la corriente eléctrica.



Transformadores.

Las centrales generadoras de energía se encuentran muy alejadas de los centros de consumo. Para ser distribuida, la energía eléctrica debe ser transportada mediante largos tendidos de cables que, en muchos casos, pueden llegar a tener cientos de kilómetros.

Se sabe que, cuando circula corriente por un conductor, parte de la energía se disipa en forma de calor, lo que se denomina **efecto joule**. Como en un tendido eléctrico la resistencia es muy grande, y dada la longitud de los cables, es necesario que la intensidad que circula por ellos sea la menor posible para que la energía disipada sea relativamente baja. Pero, al mismo tiempo, se tiene que tener en cuenta que la potencia entregada por la central, y que es transportada por la red, debe ser la misma, por lo que si la intensidad es muy baja, la tensión deberá ser muy alta. Para elevar la tensión en estos casos, se utiliza un **transformador**. Estos dispositivos son considerados máquinas sin piezas móviles que son capaces de transformar los valores de corriente y tensión de la energía eléctrica.

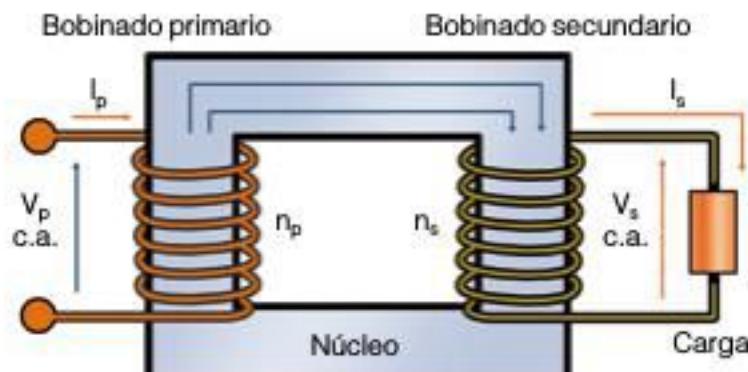
En el interior de un transformador se encuentran dos bobinas montadas en un anillo o cuadro metálico. Una de ellas se encuentra conectada a la fuente de alimentación y se la denomina primaria o bobina de alimentación, mientras que la otra se llama bobina secundaria o bobina de salida. Cuando circula corriente alterna por la primaria, genera un campo magnético variable que induce corriente en la otra, según lo establecido por la Ley de Faraday-Lenz. Si la corriente es continua, el fenómeno solo se detecta en los momentos en que se abre o cierra el circuito, pero si es alterna, cambia y produce un campo magnético variable capaz de inducir una fem en la bobina secundaria con la misma frecuencia que la que tiene la primaria. El anillo o núcleo metálico, principalmente de hierro, aumenta el efecto, ya que puede ser considerado como un conductor cerrado que dirige las líneas de campo hacia la otra bobina.

Si se utilizan bobinas con diferente cantidad de espiras, se puede obtener una mayor o menor tensión en la bobina secundaria. La relación que se establece entre ellas queda determinada por el número de vueltas de cada bobina de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta V_{\text{primario}}}{\Delta V_{\text{secundario}}} = \frac{N_{\text{primario}}}{N_{\text{secundario}}}$$

donde $\Delta V_{\text{primario}}$ y $\Delta V_{\text{secundario}}$ son las tensiones de las bobinas primaria y secundaria, respectivamente, mientras que N_{primario} y $N_{\text{secundario}}$ son las cantidades de vueltas de cada bobina.

Si $N_{\text{secundario}} > N_{\text{primario}}$, se obtiene un transformador elevador, ya que $\Delta V_{\text{secundario}} > \Delta V_{\text{primario}}$, como los que se utilizan en la salida de las centrales de energía. En cambio, si lo que se requiere es disminuir la tensión, como cuando se carga el celular, es necesario que $N_{\text{secundario}} < N_{\text{primario}}$.



Esquema de un transformador.



1. El bobinado primario de un transformador tiene 180 vueltas y se encuentra conectado a 220 V de corriente alterna. ¿Cuántas vueltas deberá tener el secundario para producir una tensión de 110 V?
2. Los grandes transformadores disipan mucha energía en forma de calor por lo que utilizan un refrigerante. Este fue cuestionado por sus efectos nocivos en la salud. ¿De qué sustancia se trata? ¿Por cuál fue reemplazada?

Motor eléctrico

En una sociedad tecnificada, una de las transformaciones energéticas más comunes es la conversión de energía eléctrica en mecánica. En el hogar, batidoras, licuadoras, ventiladores y otros electrodomésticos funcionan girando a partir de la energía eléctrica. En el transporte, cada vez está más desarrollada la producción de automóviles eléctricos, y muchas de las líneas suburbanas de trenes también se impulsan a partir de la energía eléctrica.

Los dispositivos que transforman energía eléctrica en mecánica, en forma continua, se denominan **motores eléctricos**.

Los primeros intentos de producir movimiento, a partir de la electricidad, fueron desarrollados por Faraday, en Inglaterra, hacia 1822, y por Henry, en Estados Unidos, hacia 1830.

El motor eléctrico, en su forma más simple, se lo puede pensar como un generador que funciona en sentido contrario, ya que en ellos la energía cinética es transformada en eléctrica. Básicamente, se trata de una bobina por la que circula una corriente colocada dentro de un campo magnético que es generado por un imán. Cuando esto sucede, el campo magnético producido en la bobina interactúa con el del imán y esta se mueve alrededor de su eje, rotando media vuelta. En esa nueva situación, las escobillas, ubicadas en los extremos de la bobina, giran también media vuelta y, por lo tanto, la corriente que circula, lo hace en sentido contrario a la anterior. Esto genera un campo magnético de sentido contrario y la bobina gira media vuelta más. Esta situación se repite mientras se mantenga cerrado el circuito al que se encuentra conectado el motor.

El desarrollo actual de motores eléctricos es muy complejo debido a las diversas tareas para las que se los utiliza. Algunas de las variables que se tienen en cuenta en el diseño de estos motores son:

- ▶ La fuente de alimentación, ya que hay motores de corriente continua y alterna.
- ▶ La potencia requerida, ya que es distinto impulsar un auto de juguete que un ascensor.
- ▶ La velocidad constante o variable, como en un ventilador o en un tren.

El telégrafo

Los trabajos de Henry interesaron a su contemporáneo, el pintor Samuel Morse (1791-1872), en cuanto a producir movimiento a partir de la corriente eléctrica. Una de las acciones que lograba Henry era producir el movimiento de un imán, al abrir o cerrar un circuito eléctrico a cierta distancia.

Morse pensó que si se abría y se cerraba el circuito, se podía enviar un mensaje que fuera descifrado, según cierto código, a partir de los movimientos de un imán o de una pieza metálica atraída por un electroimán ubicado a una cierta distancia.

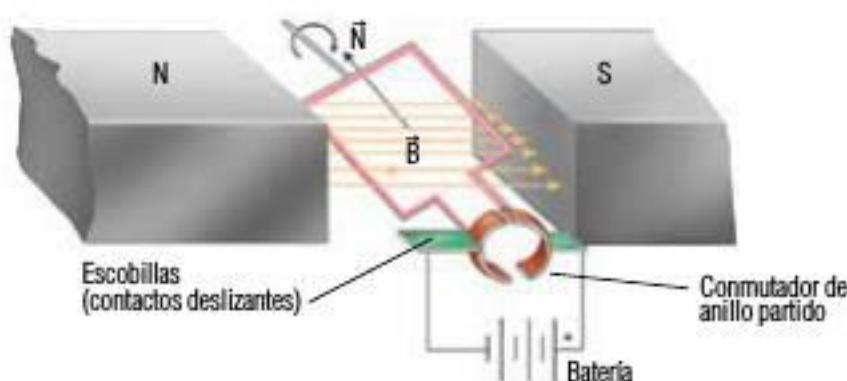
En 1838 creó lo que hoy llamamos el Código Morse, compuesto por pulsos que se traducen, según su duración, en puntos y rayas. De esa manera, comenzó la transmisión de información a grandes distancias en forma prácticamente instantánea. Este código se mantuvo aun cuando, hacia 1899, comenzó la transmisión mediante ondas electromagnéticas.



Motor eléctrico.

A	--	J	----	S	...	2	-----
B	----	K	---	T	-	3	-----
C	----	L	---	U	---	4	-----
D	---	M	--	V	-----	5	-----
E	.	N	--	W	---	6	-----
F	----	O	---	X	---	7	-----
G	---	P	---	Y	---	8	-----
H	----	Q	---	Z	---	9	-----
I	..	R	--	1	---	0	-----

Código Morse.



Esquema de un motor eléctrico.

Lenguaje gráfico

Junto al lenguaje matemático, desarrollado en el capítulo 8, se encuentra el lenguaje gráfico, compartiendo la característica de ser compactos, precisos y unívocos.

Los gráficos son una manera rápida de realizar una lectura de la situación que se representa y de determinar la forma en que las variables se vinculan. Asimismo, se puede aproximar una tendencia en el crecimiento o decrecimiento durante la evolución del fenómeno, o bien identificar los valores máximos y mínimos que las variables han alcanzado, así como establecer si el fenómeno se repite periódicamente o no. Los gráficos se utilizan frecuentemente para mostrar información en espacios reducidos, como sucede en la sección del pronóstico meteorológico de un diario, en donde se grafica la evolución del valor de la temperatura del aire a lo largo del día.

Al momento de volcar la información en un gráfico, se puede optar por diferentes formas de representar la relación que mantienen las variables. Los más comunes son los gráficos de curvas, los circulares o de torta, y los de barras. Estos dos últimos son los más utilizados para comparar datos como se hace al publicar los resultados de encuestas en los diarios.

Para confeccionar un **gráfico de curva**, se recurre a un par de ejes cartesianos o ejes de coordenadas. En el eje horizontal, o de abscisas, se representan los valores de la variable independiente, mientras que en el otro eje, el vertical o de ordenadas, queda representada la variable dependiente. Se indican las unidades en que están medidas ambas variables, colocándolas entre paréntesis al lado de cada uno de los ejes. Como los valores que se representan pueden corresponder a magnitudes diferentes, las escalas de los ejes no necesariamente deben ser iguales.

Luego, se procede a volcar los valores y a unir los puntos. La forma de la curva dará una noción del tipo de relación que mantienen las variables.

Si se quiere estudiar la manera en que varía el consumo eléctrico de una casa a lo largo del día, la variable independiente será el tiempo, y la dependiente, los diferentes valores de consumo registrados. Se puede determinar rápidamente los valores máximos y mínimos que el consumo adquirió, como también los momentos del día en que se produjeron. Ellos constituyen los máximos y mínimos relativos. También se puede determinar si la función está creciendo o decreciendo rápidamente o no, comparando la pendiente de una recta trazada tangencialmente en cualquiera de sus puntos. Mientras mayor sea la inclinación que esta adquiera, mayor será el crecimiento de la función.

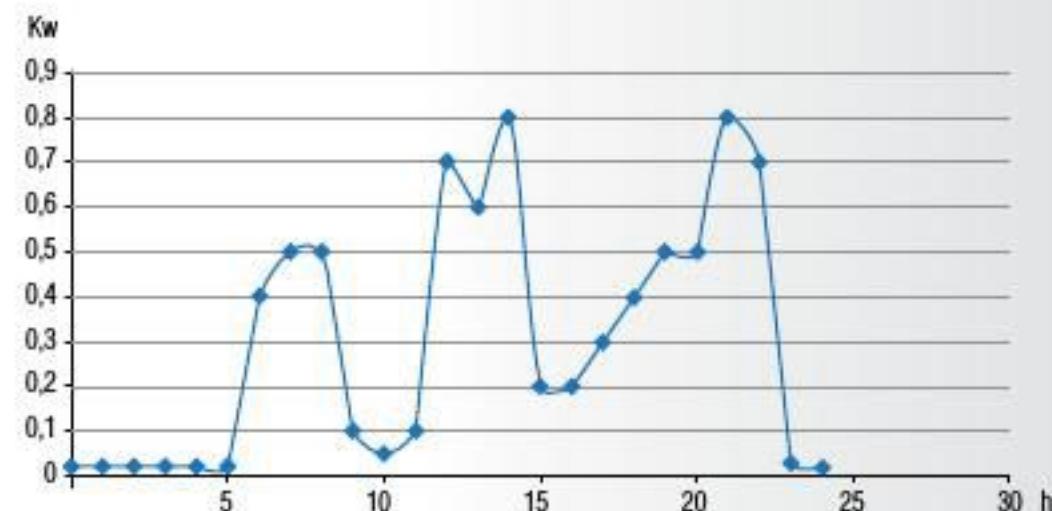
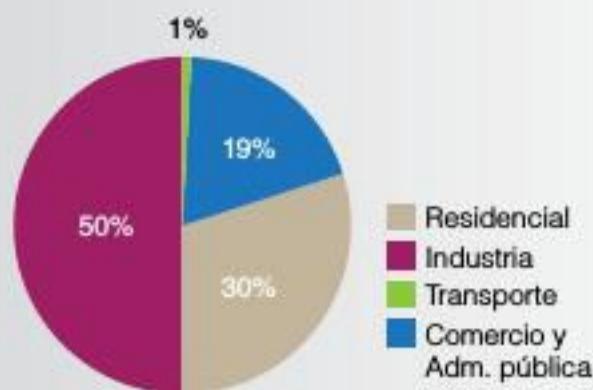


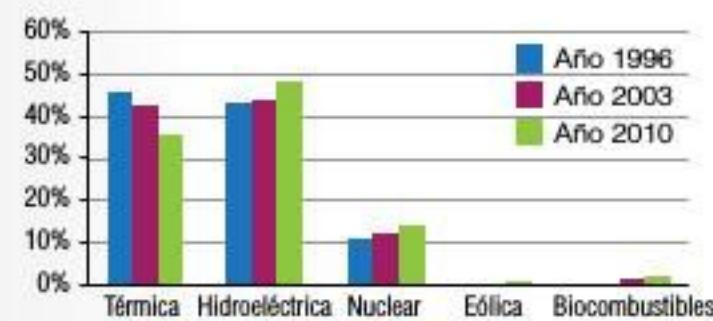
Gráfico de curva del consumo eléctrico de una casa. Los mínimos consumos se producen entre las 0 y las 5, mientras que los máximos se dan a las 14 y a las 21.

Los **gráficos circulares** o **de torta** son utilizados cuando se quiere representar los porcentajes de diferentes variables, al ser más fáciles de interpretar, ya que el mayor sector circular corresponderá al porcentaje más elevado. Para su realización, el total del círculo se divide en diferentes sectores que representan la parte proporcional respecto del total medido. Por ejemplo, se podría representar, por medio de un gráfico de torta, la información que la Secretaría de Energía ha difundido, en donde el 30% de la energía producida en el país es utilizada en el sector residencial, el 50% por la industria, el 19% por la Administración Pública y el comercio, y tan solo el 1% es utilizado por el transporte.

De igual forma, los **gráficos de barras** también son utilizados para comparar los valores de las variables. Se utilizan barras, pirámides o cualquier figura geométrica que pueda cambiar su tamaño, generalmente su altura, para indicar el cambio en los valores establecidos por la variable dependiente. Por ejemplo, este tipo de gráfico se utilizaría para mostrar la evolución y la comparación de las potencias instaladas según el tipo de fuente en los años 1996, 2003 y 2010.



Consumos energéticos por sector.



Evolución de las potencias instaladas por sector.

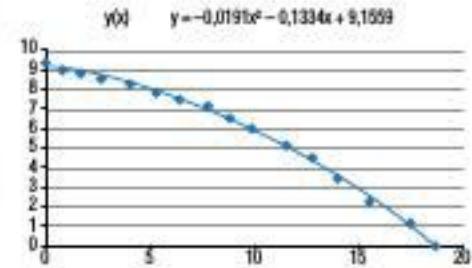
Uso de la planilla de cálculo para graficar

Al hacer experimentos, es útil conocer cómo es la relación funcional entre dos variables. Por ejemplo, si se desea conocer qué relación existe entre el estiramiento de un resorte, o su compresión, y la fuerza aplicada, o si se quiere describir el movimiento de una pelota de fútbol que es pateada por un jugador. Los datos experimentales, que se obtienen al medir las variables involucradas, pueden volcarse en una planilla de cálculo tal como Microsoft Office Excel®. La utilidad de esta herramienta radica en la cantidad de datos que se pueden graficar en poco tiempo. Además, es posible realizar un ajuste en los datos obtenidos experimentalmente y trazar a partir de ellos una línea que corresponda a la función que los relaciona. Dicha línea se denomina **línea de tendencia**.

A modo de ejemplo, se presentan los datos que corresponden a un chorro de agua que cae desde un orificio lateral de una botella, que utiliza un sistema de referencia como el indicado en la foto en verde. Los datos se introducen en la planilla de cálculo y así se obtiene la línea de tendencia sobre los puntos que los representan.

El mismo programa indica la relación funcional entre las variables. En el ejemplo, las posiciones vertical y horizontal están relacionadas por una función cuadrática, que se informa sobre el gráfico.

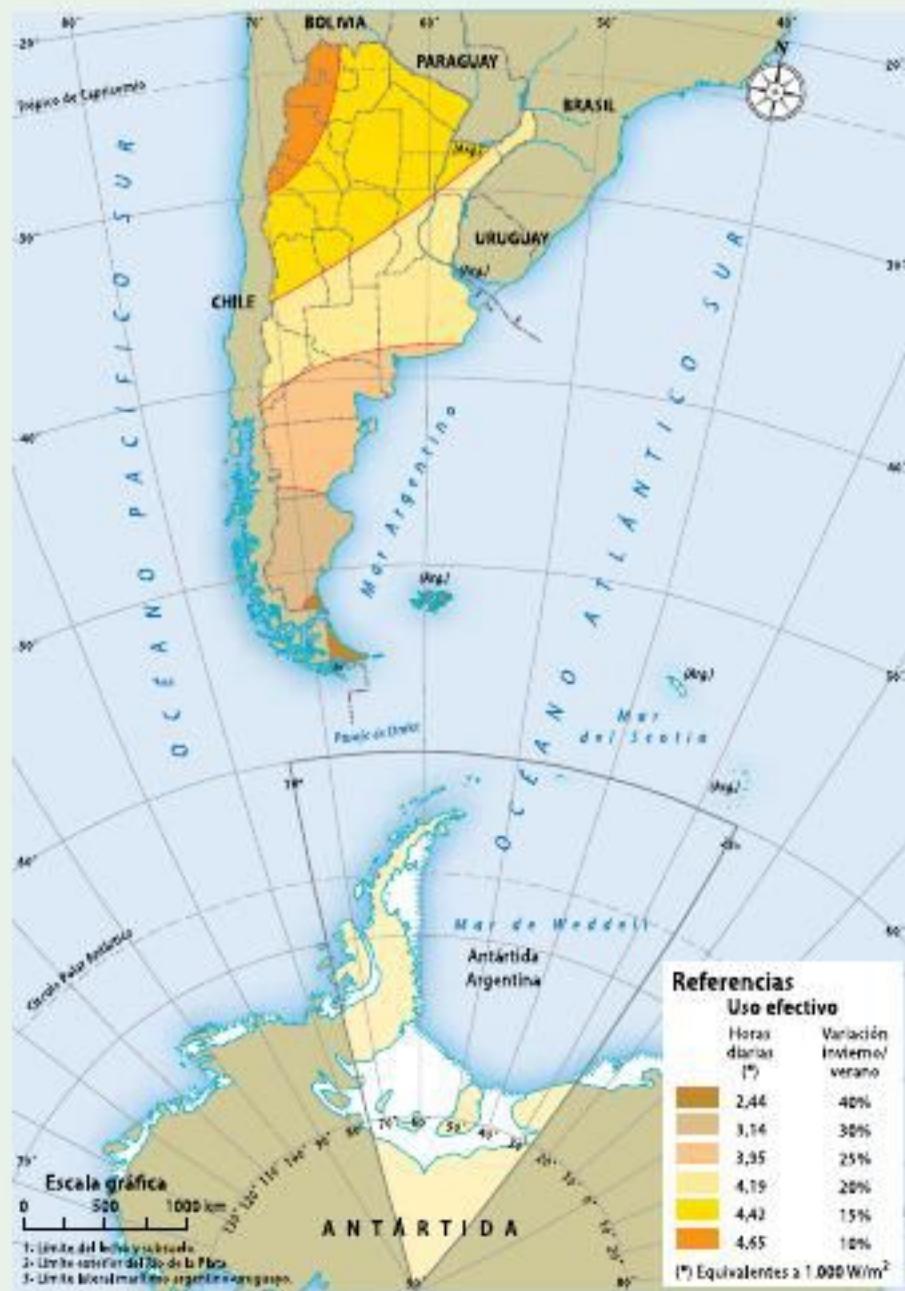
x (cm)	y (cm)
0	9,339
0,793	8,987
1,674	8,811
2,643	8,546
4,053	8,282
5,286	7,842
6,431	7,489
7,753	7,137
8,81	6,52
9,867	5,991
11,541	5,11
12,775	4,494
14,008	3,436
15,506	2,291
17,444	1,146
18,678	0



Actividades finales

1. El Programa de Provisión de Energía Eléctrica de Fuentes Renovables (GENREN) adjudicó, por licitación, 60 MW de potencia eléctrica para ser producidos a partir de pequeños aprovechamientos hidráulicos. Investiguen en dónde se encuentran dichas centrales, de qué tipo son y qué potencia eléctrica proporcionan.

2. El siguiente mapa indica el recurso solar del país. Expliquen por qué se eligió la provincia de San Juan para instalar una central solar.



3. En la actualidad, ¿en qué países se encuentran concentradas las reservas probadas de petróleo? ¿Para cuántos años podrán alcanzar? ¿Por qué se considera un reto la utilización de nuevas fuentes de energía?

4. ¿Por qué un haz de luz roja muy intensa no puede arrancar fotoelectrones de una placa metálica, mientras que otro haz de luz ultravioleta, de menor intensidad, sí lo puede hacer?

5. Si la función trabajo de una superficie metálica es de $4,23 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, ¿cuál es su frecuencia umbral? ¿Qué energía

cinética alcanzarán los electrones emitidos si se ilumina la superficie metálica con una luz cuya frecuencia es de $2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$?

6. a. Un conductor rectilíneo es conectado a una fuente eléctrica y, a 25 cm de él, hay un campo magnético cuyo valor es de $4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$. ¿Qué intensidad de corriente circula por el cable? Realicen un esquema.

b. ¿A qué distancia del conductor anterior, el valor del campo magnético se reducirá a la mitad?

7. ¿Qué fem se inducirá en una bobina de 200 espiras al moverse con relación a un campo magnético de forma tal que su flujo disminuya a razón de $6 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ cada 0,5 s?

8. Una bobina de 400 vueltas y 8 cm de diámetro se ubica perpendicularmente a un campo magnético de 0,2 T. ¿Cuánto tiempo necesitará para girar y ubicarse en forma paralela a este si en ella se induce una fem de 4 V?

9. Una espira cuadrada de alambre, de 20 cm de lado, tiene una resistencia de 2Ω . Un campo magnético perpendicular al plano de la espira varía de 0 T a 3 T en 0,5 s. ¿Qué intensidad de corriente circula por la espira? ¿En qué sentido? Hagan un esquema de la espira y el sentido tomado por el campo magnético.

10. ¿Qué relación debería haber entre la cantidad de vueltas de la bobina primaria y la secundaria de un transformador, si se quisiera reducir la tensión de la red domiciliaria, que es de 220 V, a 110 V? ¿Y si se la quisiera llevar a 12 V?

11. La bobina primaria de un transformador tiene 150 vueltas y está conectada a una tensión de 220 V. ¿Cuántas vueltas deberá tener la bobina secundaria para obtener 660 V?

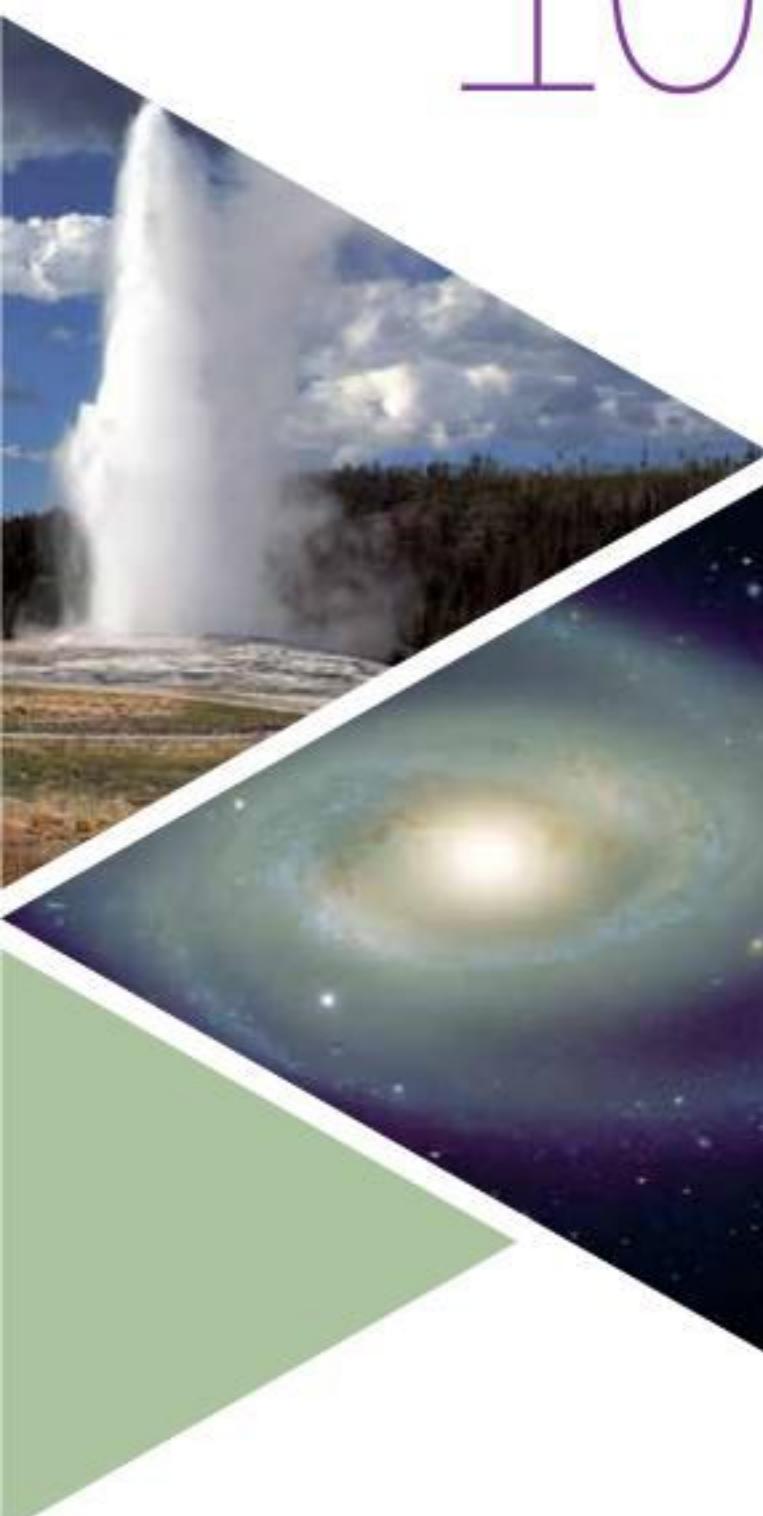
12. Vamos a analizar unas sencillas experiencias a partir del simulador de la página: https://phet.colorado.edu/sims/faradays-law/faradays-law_es.html. Esta simulación permite ampliar o ver la actividad propuesta en la página 192. Simplemente mediante el mouse se puede mover el imán dentro de la espira y observar qué ocurre con la intensidad de corriente indicada en el instrumento.

a. ¿Cuál es la diferencia entre introducir en la bobina el polo norte del imán (rojo) y al sacarlo?
b. ¿Ocurre lo mismo al hacerlo con el polo sur (azul)?
c. ¿Qué ocurre cuando se detiene el imán con un polo dentro de la bobina?

d. ¿Cómo influye en la indicación del instrumento la rapidez con que se introduce el imán?
Recuerden que no solo hay que describir lo que ocurre, sino que también es necesario justificarlo a partir de la Ley de Faraday-Lenz.

La energía de las estrellas

10



Contenidos

- > El Sol y la Espectroscopía
- > Modelos atómicos y nucleares
- > Fusión nuclear
- > Radiactividad natural
- > Fisión nuclear
- > Aceleradores de partículas y reactores nucleares

El filósofo romano Séneca (4-65 d.C.) dijo cierta vez que si en la Tierra existiese un único lugar desde el que se pudiera observar las estrellas en el cielo durante la noche, a ese lugar iría la gente de todos lados, en un torrente interminable.

Además de remarcar la belleza singular y la grandeza de un cielo estrellado, hizo hincapié en el conocimiento que surge de su observación: "Y a fe mía, no hay investigación más noble, ciencia más útil que la que da a conocer la naturaleza de las estrellas y de los astros".

Dos mil años después, los científicos siguen observando el cielo y estudiando las estrellas para conocer, no solo su composición y evolución, sino también el interior de los átomos y la energía que de ellos se libera.

Desde Séneca hasta la actualidad, mucho se ha avanzado, pero aún queda mucho por descubrir y explicar. La ciencia sigue construyendo sus modelos, que permiten entender desde los átomos hasta las estrellas.

EN ESTE CAPÍTULO...

Se estudia el Sol como fuente de energía y los procesos de fusión y fisión nuclear. Además, se describe el funcionamiento de los aceleradores de partículas y, se explica la radiactividad natural y la artificial, sus beneficios y peligros.

Contenido digital adicional

www.tintaf.com.ar/
FISC10



El Sol: fuente de energía

Algunos datos del Sol

Los primeros en obtener datos del Sol fueron los antiguos griegos.

Aristarco (310-230 a.C.) demostró que el Sol debía encontrarse a varios millones de kilómetros de distancia de nuestro planeta y que, por su tamaño aparente, debía ser mucho mayor que la Tierra.

Galileo Galilei (1564-1642) empezó a observar el Sol más detalladamente con su telescopio y, a partir de entonces, los estudios relativos a esta estrella fueron avanzando.

Hoy se sabe que el Sol se encuentra a 150 millones de km de distancia de la Tierra, con una masa de $2 \cdot 10^{30}$ kg, con un radio de 700000 km. La temperatura de su superficie es de alrededor de 6000 °C, está constituido por hidrógeno en un 75%, por helio en un 23% y el 2% restante está formado por algunos elementos más pesados.

El Sol es la principal fuente de energía de la Tierra. Como se dijo en el capítulo 2, el Sol fusiona alrededor de 650 millones de toneladas de hidrógeno por segundo, liberando de esta manera aproximadamente $4 \cdot 10^{26}$ J de energía por segundo, de la cual solo una milmillonésima parte llega a la Tierra.

De toda esa energía, el 30% se refleja en las capas superiores de la atmósfera y el 70% restante es absorbido por el aire, el agua, las plantas y los animales, lo que garantiza la vida en la Tierra.



Esquema de la energía que llega del Sol y los porcentajes absorbidos por cada elemento.

Casi todos los tipos de energía que utiliza el hombre también provienen del Sol. Los combustibles fósiles, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y la energía de los alimentos, entre otras, derivan de la energía del Sol.

La energía del Sol provoca el deshielo de las altas cumbres, con lo que aumenta el cauce de los ríos, que podrán ser aprovechados como energía hidroeléctrica. Los vientos, producto de las diferencias de temperaturas de la atmósfera, permiten mover las aspas de los molinos y obtener energía eléctrica a partir de la eólica. Mediante la fotosíntesis, las plantas fabrican sus propios nutrientes, almacenados como energía química en el almidón y en los azúcares, que luego serán el alimento de los animales de los otros niveles tróficos de la cadena alimentaria. Los animales y las plantas enterrados en las profundidades de la Tierra durante millones de años se transformaron en los combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas, cuyas grandes cantidades de energía química provienen también del Sol.

¿De qué está formado el Sol? ¿Cuáles son los procesos que permiten la producción de energía en su interior? Es decir, ¿de dónde proviene esa energía?, ¿se va a acabar en algún momento? Todas estas preguntas llevaron al ser humano a estudiar qué hay en el interior del Sol y los procesos que en él se producen. Pero, además, estos estudios permiten extender ese conocimiento a las demás estrellas del universo y, así, conocer la evolución de estas: su pasado, su presente y su futuro.

Metodología científica

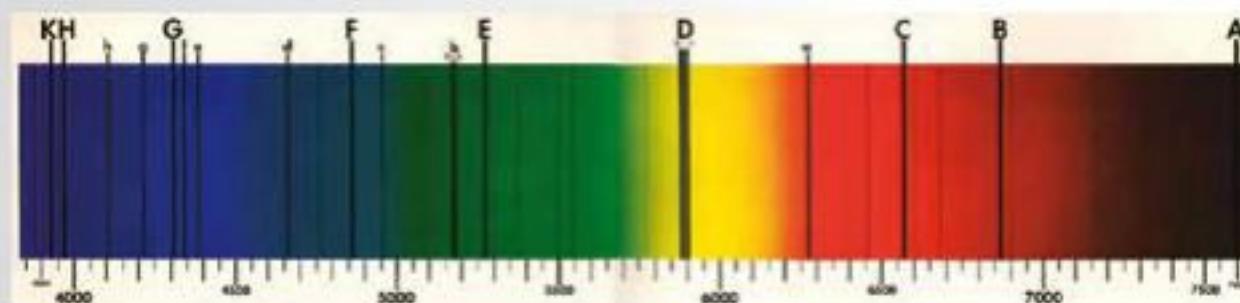
¿Qué hay? ¿Cómo se sabe? Hipótesis y modelos

El estudio de los objetos astronómicos, como también el conocimiento del mundo atómico, son como cajas negras. Los astrofísicos construyen modelos e hipótesis sobre la constitución de las estrellas a partir de sus manifestaciones exteriores.

Los modelos son representaciones de una parte de la naturaleza que permiten explicar cómo está formada y cómo puede evolucionar ante ciertos cambios. La observación directa o indirecta de determinados fenómenos permite desarrollar una serie de ideas y armar así un modelo. Si bien este, generalmente, se basa en especulaciones e hipótesis, estas no surgen de manera descabellada, sino que están enmarcadas en las teorías vigentes y deben ser coherentes con los datos observacionales; así, el modelo debe ser **plausible** y **atingente**. Además, el modelo debe ser **corroborable**, es decir que se pueda constatar con las experiencias y mediciones que se realicen.

A medida que se avanza en el conocimiento y surgen nuevos problemas, si un modelo resulta insuficiente para explicar los nuevos resultados obtenidos, se puede modificar, parcial o totalmente, para adaptarlo a los nuevos fenómenos. Un modelo es **válido** mientras funciona, es decir, mientras logra explicar satisfactoriamente la realidad.

De esta manera, se construyeron las dos ramas más actuales de la Física: la Mecánica Cuántica y la Teoría de la Relatividad, que permiten explicar los fenómenos del micromundo y del cosmos.



a)

1. Busquen el significado de los términos **plausible** y **atingente**, y expliquen por qué un modelo científico debe tener estas características.

Las líneas espectrales del Sol fueron la manifestación exterior de la "caja negra" y permitieron conocer la composición química de la atmósfera solar.

Cajas negras en el cosmos

Hay cierto objeto, cuya construcción interior ignoramos. Lo llaman "caja negra".

Pero dicho objeto tiene "entradas" y "salidas". A las "entradas" llegan las influencias exteriores, que el objeto responde con determinadas reacciones.

El problema consiste en, sin "abrir" la caja negra, solo sabiendo el carácter de las señales de entrada y de salida, tener una idea de su constitución interior.

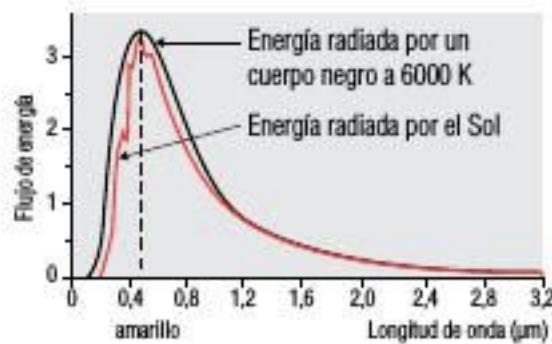
Imagínense que ustedes desconocen la estructura y el funcionamiento. Solo saben que a su "entrada" llegan señales, y en la "salida", responde con otros efectos. A partir de esos datos de "entrada" y de "salida", es necesario tener una idea de la estructura de la caja negra.

Existen, en principio, dos vías de solución del problema. Se puede registrar las señales que llegan y compararlas con lo que sucede en la "salida". Es la vía de observaciones. Pero existe otra posibilidad, más activa. Nosotros mismos podemos suministrar a la "entrada" diferentes señales para observar lo que sucederá en la "salida". Es evidente que la segunda alternativa es más eficiente; descubre, en particular, la posibilidad de la comprobación operativa de las hipótesis y suposiciones que surgen con respecto a la "estructura" de la caja negra. Estudiando las leyes que enlazan entre sí las señales de entrada y de salida, puede construirse, en principio, un modelo que refleja con suficiente exactitud la estructura de la caja negra.



Del libro *Nueva astronomía recreativa* de V. Komarov.

La Espectroscopía y el Sol



La distribución de energía emitida por el Sol coincide con la correspondiente a la emitida por un cuerpo negro a 6000 K, con su pico máximo en el amarillo del espectro visible.



El grupo Pink Floyd usó, en la tapa de su disco "El lado oscuro de la Luna", la imagen de un prisma que refracta la luz blanca en un espectro continuo de colores.

Ante la lectura de los datos sobre el Sol, la pregunta natural que surge es: ¿cómo se sabe todo eso? ¿Alguien fue hasta el Sol y midió su radio, su temperatura superficial o la distancia a la que se encuentra? ¿Están seguros de que está compuesto por hidrógeno y helio, y no por otra cosa?

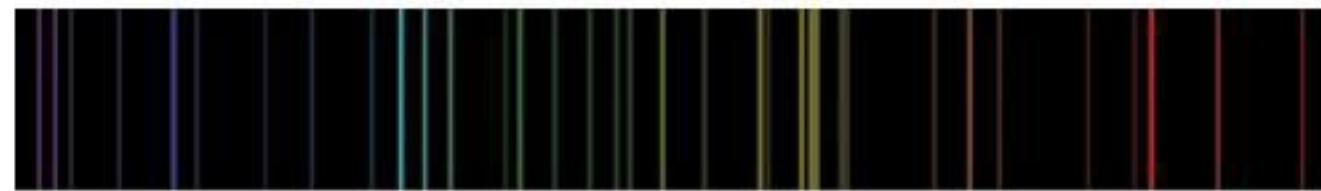
Como ya se dijo, las estrellas son como cajas negras. La observación directa o indirecta de determinados fenómenos permite desarrollar una serie de ideas y armar así el modelo.

En primer lugar, el color de una estrella indica la temperatura de su superficie. La distribución de energía emitida por una estrella se puede estudiar con el modelo de cuerpo negro y responde a la Ley de Stefan-Boltzmann, vista en la página 85 del capítulo 4. La curva de energía emitida por el Sol coincide con la correspondiente a la radiada por un cuerpo negro a una temperatura de 6.000 K, cuyo pico se sitúa en el espectro visible, cerca del amarillo. Como el Sol emite en todo el espectro visible, su luz es blanca y su color es de un blanquecino amarillento.

La composición del Sol, es decir, la presencia de hidrógeno y helio, se conoce gracias a la Espectroscopía.

Desde Newton se sabía que al pasar un rayo de luz blanca por un prisma, las diferentes ondas que lo componen se desvían en distintos ángulos y la luz emerge formando una banda continua de colores, llamada **espectro**.

Si en lugar de luz blanca se utiliza un tubo de descarga que contiene algún gas, a la salida del prisma se ven líneas aisladas de colores característicos del gas que contiene el tubo. Este tipo de espectro se llama **espectro de líneas de emisión**. Cada gas posee un espectro de emisión propio y único, diferente de los otros gases, lo que hace que el espectro de emisión sea característico de cada sustancia. También se observan espectros de emisión al calentar una sustancia sólida.

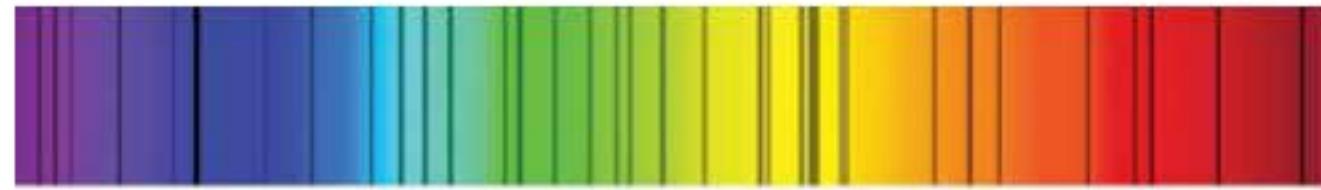


Espectros de emisión del mercurio (arriba) y del hidrógeno (abajo).

Tubos de descarga

Al excitar, mediante una corriente eléctrica, el gas contenido en un recipiente cerrado, este emite luz. Esta es la luz que se puede observar en los tubos fluorescentes que se utilizan para iluminación, en las lámparas de colores de los comercios o en algunos carteles publicitarios. Cuando se utilizan dispositivos similares para fines científicos, se los llama tubos de descarga.

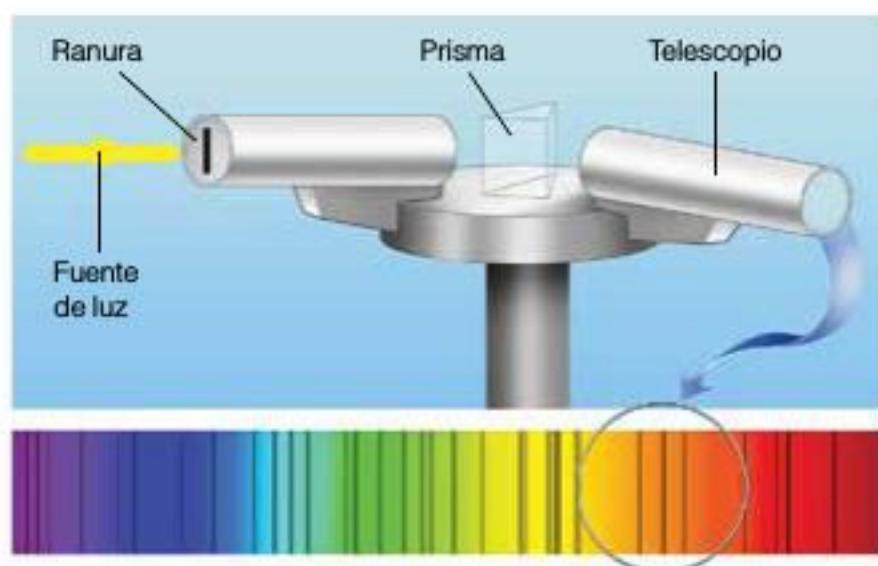
También existen los **espectros de líneas de absorción**, que son los que se producen al intercalar una sustancia gaseosa entre la fuente de luz y el prisma. Cuando la luz atraviesa el gas, se absorben algunos colores y, al pasar por el prisma, se observa un espectro con algunas líneas oscuras, las que corresponden a los colores que absorbió el gas.



Espectros de absorción del mercurio (arriba) y del hidrógeno (abajo).

En 1802, el químico inglés William H. Wollaston (1766-1828) perfeccionó la técnica de Newton para descomponer la luz solar y fue el primero en descubrir siete líneas oscuras entre los colores de este espectro.

El óptico alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826) construyó, en 1814, el primer **espectroscopio**. Con él, observó la luz proveniente del Sol y emprendió un estudio cuidadoso de las líneas características, midiendo incluso su frecuencia con precisión. Llegó así a observar unas 600 líneas oscuras (actualmente, se conocen alrededor de 25.000). Al observar los espectros de la Luna y de Venus, notó que eran idénticos al solar; también, dirigió su visión hacia varias estrellas, algunas con espectros similares al del Sol y otras con un diseño muy diferente. Fraunhofer presentó la importancia de todas sus observaciones y estudios, pero murió a los 39 años sin poder descifrarlos.



Fraunhofer observó el espectro que extendía el prisma a través de un telescopio; así, construyó el primer espectroscopio.

Treinta años después, Gustav R. Kirchhoff (Prusia, 1824-1887) y Robert W. Bunsen (Alemania, 1811-1899) demostraron que el espectro de la luz solar, con sus líneas oscuras, revela la composición de la atmósfera solar. Es decir, los elementos que se encuentran en la atmósfera del Sol absorben algunas frecuencias de luz, dejando así las líneas oscuras en el espectro. Con esto, no solo resolvieron el enigma de las líneas de Fraunhofer, sino que abrieron la posibilidad al análisis químico del Sol y de las estrellas en general. Analizando las líneas de los espectros, pudieron identificar, comparando con los espectros de los elementos ya conocidos, los elementos químicos presentes. Nació así una nueva ciencia, la **Astrofísica**. De aquí en más, los espectroscopios se dirigieron hacia las estrellas y las nebulosas.

La línea que faltaba: el helio

El análisis espectral revelaba la analogía química entre los astros del universo. Todos los cuerpos celestes "dibujaban" líneas de elementos químicos conocidos en la Tierra.

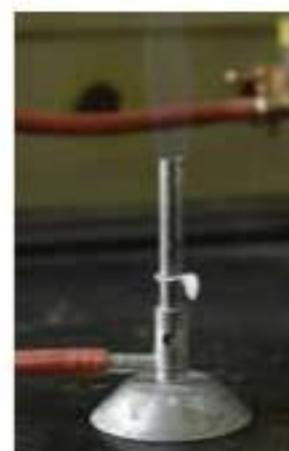
En agosto de 1868, se produjo un eclipse de Sol que se observó totalmente en la India. La occultación del Sol permite poder estudiar mejor la luz de la corona solar ya que, en lugar del espectro de absorción, se puede observar claramente el espectro de emisión con las líneas brillantes de los elementos característicos de la atmósfera solar. El astrónomo francés Pierre J. C. Janssen (1824-1907) viajó a esa zona para poder observar el fenómeno y estudiar la cromósfera solar, capa de color de la atmósfera solar, utilizando un espectroscopio de Bunsen.

Al notar una línea amarilla que no se correspondía con ningún elemento conocido, Janssen le envió este dato al astrónomo inglés Joseph N. Lockyer (1836-1920). Este repitió la experiencia y observó la misma línea. Ambos mandaron sus trabajos a la Academia de Ciencias de París, y ambos trabajos llegaron juntos, el 23 de octubre de 1868. Al suponer que era un elemento característico del Sol, lo llamaron helio.

El helio fue el primer elemento químico que se descubrió fuera de la Tierra, pero no se lo añadió oficialmente a la tabla periódica hasta 1895, cuando el químico escocés William Ramsay (1852-1916) lo encontró en la Tierra.



Fraunhofer no se limitó a observar objetos celestes, también analizó los espectros de distintas llamas, sales y gases.

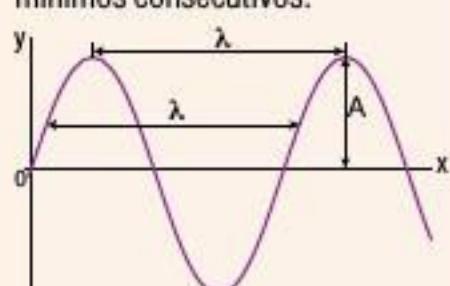


La creación del mechero de Bunsen, hoy presente en cualquier laboratorio, fue el resultado de los ensayos realizados por este químico para lograr una llama pura y sin luminosidad, indispensable para el análisis espectral.

Recordando las ondas

Las ondas se utilizan para describir ciertos fenómenos como el sonido, la luz o la simple propagación de una perturbación en un resorte. Al propagarse, una onda transmite energía.

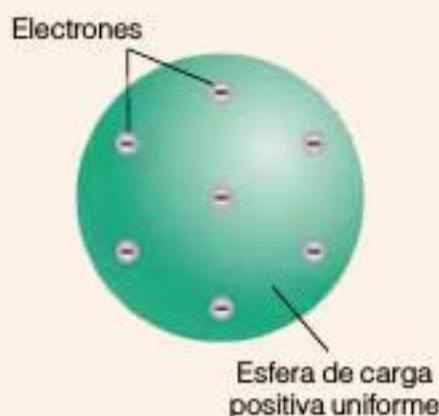
Las ondas se caracterizan por su **amplitud A**, que es la máxima distancia a la posición inicial, su **frecuencia f**, que es la cantidad de oscilaciones completas que se realizan en un segundo, y su **longitud de onda λ** , que es la distancia entre dos máximos o mínimos consecutivos.



Los modelos atómicos y los espectros

Modelos atómicos

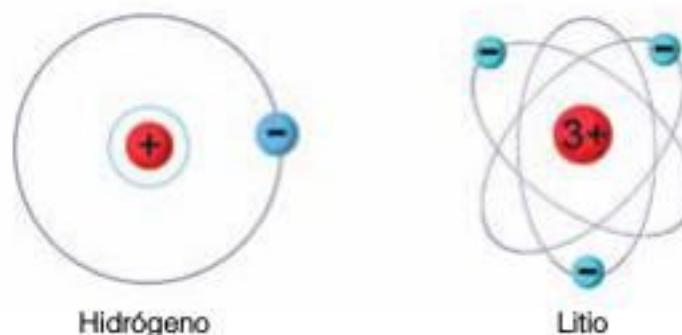
El primer modelo atómico basado en consideraciones científicas fue propuesto entre 1803 y 1807 por el químico inglés John Dalton (1766-1844) para explicar las leyes químicas de esa época. Joseph J. Thomson (1856-1940) al descubrir el electrón, propuso, en 1904, un modelo atómico llamado posteriormente "budín", porque proponía una masa eléctricamente positiva con los electrones colocados como si fuesen pasas en un budín, dando un resultado neutro para cada átomo.



Modelo atómico de Thomson.

A principios del siglo XX, la Espectroscopía había logrado un gran desarrollo y los espectros de emisión y absorción permitían reconocer las distintas sustancias. Pero aún era un fenómeno sin explicación.

Con el descubrimiento del electrón, en 1897, comenzaron a proponerse distintos modelos atómicos que describían la constitución de las partículas más pequeñas de la materia, invisibles al ojo humano y a cualquier otro instrumento de observación. En 1912, Ernest Rutherford (Nueva Zelanda, 1871-1937) propuso un modelo planetario del átomo: electrones girando en órbitas alrededor de un núcleo como los planetas alrededor del Sol. De esta manera, en este modelo, el átomo estaba compuesto por dos regiones: un núcleo central, que contenía la misma cantidad de carga, pero de signo contrario a la de los electrones, y las órbitas, en las que estos se movían, con carga eléctrica negativa.

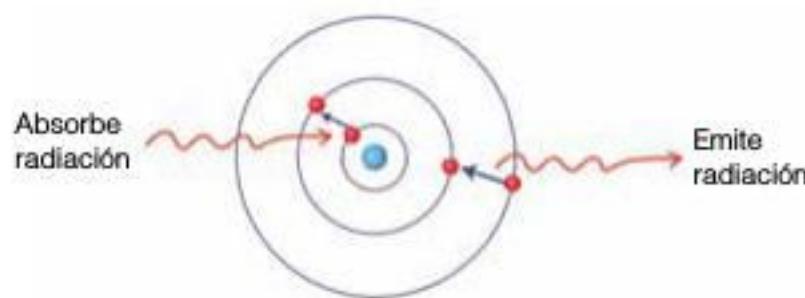


Esquemas de los átomos de hidrógeno y litio según el modelo de Rutherford.

Este modelo atómico tenía, sin embargo, algunas contradicciones. Según el electromagnetismo, una carga eléctrica que sigue una trayectoria circular está acelerada y, por lo tanto, debe radiar, por lo que pierde energía; esto llevaría a que los electrones giraran describiendo una espiral, para colapsar finalmente sobre el núcleo.

Los estudios sobre los espectros de emisión y absorción de diferentes sustancias realizados por Johann Balmer, Theodore Lyman, August Pfund, entre otros, le permitieron a Niels Bohr (Dinamarca, 1885-1962) mejorar el modelo de Rutherford y proponer un nuevo modelo atómico.

Bohr sugirió que un electrón solo puede girar en una órbita determinada, cuya distancia al núcleo está relacionada con la energía que posee. Las órbitas correspondientes a los niveles fundamentales de energía son las llamadas **órbitas estacionarias** y el electrón va a seguir moviéndose en ella mientras no modifique su energía. Es decir que en este modelo los electrones solo giran en órbitas permitidas a cada átomo. Para poder cambiar de órbita, el electrón necesita modificar su energía. De esta manera, si gana energía (por ejemplo recibiendo una descarga eléctrica), saltará a un nivel de mayor energía, más alejado del núcleo; y, si pierde energía (emitiendo luz o radiación), se moverá hacia niveles de menor energía, más cercanos al núcleo. La energía absorbida o emitida en cada caso es la necesaria para cambiar de nivel y responde a la propuesta hecha por Max Planck (1858-1947) sobre la cuantificación de la energía, vista en el capítulo 9. De esta manera, un electrón no puede intercambiar cualquier cantidad de energía, sino que recibe o entrega paquetes mínimos cuyo tamaño depende de la energía necesaria para cambiar de nivel.



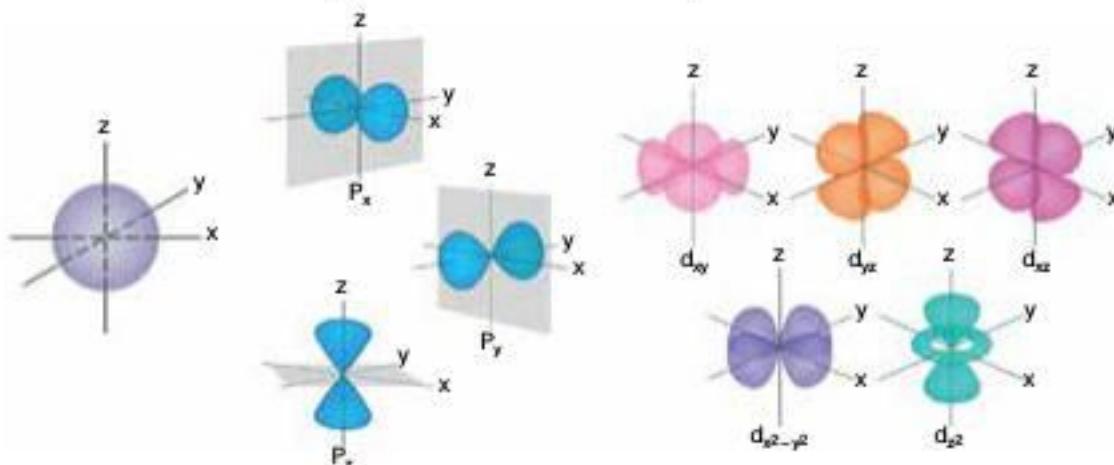
Modelo atómico de Bohr.
La frecuencia de los fotones emitidos o absorbidos corresponde a la energía que necesita el electrón para cambiar de nivel.

Con este modelo, Bohr no solo solucionó el problema del átomo planetario sino que, además, pudo explicar el origen de las líneas espectrales. Cuando a un gas se le entrega energía, algunos electrones la absorben y saltan a órbitas más alejadas; pero, como la energía está cuantificada, solo absorben la energía necesaria para cada salto, es decir, la correspondiente a determinados colores. Esos son los colores que no se observan en los espectros de absorción. Al volver los electrones a sus niveles energéticos fundamentales, emiten la energía correspondiente al salto solo en determinadas frecuencias, emitiendo así radiación en algunos colores: los espectros de emisión.

A partir de los espectros de emisión del hidrógeno, Bohr pudo determinar los niveles de energía correspondientes a las órbitas permitidas. Pero, al intentar aplicar este modelo a otros elementos con mayor cantidad de electrones, sus cálculos no coincidían con los resultados experimentales. Fue necesario, entonces, corregir nuevamente el modelo.

Un acercamiento al modelo atómico actual

Actualmente, para explicar el comportamiento de los electrones, se utiliza la **Mecánica ondulatoria**. Según esta teoría, las partículas subatómicas muestran propiedades de las ondas, es decir que se comportan como tales. Como también se comportan como partículas, a esta entidad se le dio el nombre de **dualidad onda-partícula**. Según este modelo, los electrones se comportan como partículas y como ondas, detectándose las características de cada una en ciertas circunstancias. Este concepto trae como consecuencia que no se pueda localizar un electrón con precisión. Para localizarlo, se debe utilizar luz de una longitud de onda similar a la asociada al electrón, lo que producirá una perturbación tal que modificará su ubicación o su velocidad. Al no poder ubicar al electrón, ya no se puede hablar de órbitas como lo hizo Bohr, solo se pueden determinar zonas donde hay una mayor probabilidad de encontrar a los electrones. Estas regiones del espacio se denominan **orbitales**. Cerca del núcleo, esta probabilidad es mayor y disminuye a medida que los orbitales se alejan del núcleo. En este nuevo modelo, los electrones son pequeñas partículas de las cuales solo conocemos la probabilidad de encontrarlas en una región determinada del espacio alrededor del núcleo.



Orbitales de diferentes configuraciones electrónicas.

La onda del electrón

En 1924, Louis De Broglie (1892-1987) propuso la teoría de que la materia posee tanto características ondulatorias como corpusculares. De esta manera, toda partícula, al comportarse como onda, lleva asociada una longitud de onda característica, determinada por:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

donde m es la masa de la partícula, v es su velocidad y h es la constante de Planck, cuyo valor es $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Tres años más tarde, Clinton Davisson y Lester Germer demostraron experimentalmente esta relación al observar un comportamiento típicamente ondulatorio en los electrones, llamado **difracción**.

a)

- Determinen la longitud de onda de un electrón que se mueve a una velocidad de un quinto de la velocidad de la luz. Busquen a qué parte del espectro electromagnético corresponde esa longitud de onda.
- La imposibilidad de ubicar el electrón en un lugar determinado es enunciada por uno de los principios básicos de la Mecánica cuántica: el **Principio de Incertidumbre**. Investiguen quién lo formuló y cuándo, y escriban en forma sencilla su enunciado.

Modelos nucleares

Masa atómica

La masa atómica se expresa convencionalmente en **uma** (unidad de masa atómica). Por definición, 1 uma es la doceava parte de la masa de un núcleo de carbono 12. El valor de una uma es:

$$1 \text{ uma} = 1,6604 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

Según esta medida, las masas del protón y del neutrón son:

$$m_{p+} = 1,007825 \text{ uma} = 1,6733 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_{n0} = 1,008665 \text{ uma} = 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

Ya sabemos que en el Sol hay hidrógeno y helio, pero ¿cuáles son los procesos o reacciones que se producen entre estos dos elementos que permiten la liberación de energía? Para poder entenderlo, es necesario avanzar un poco más en los modelos atómicos, más específicamente en el núcleo del átomo.

Hasta el modelo atómico de Rutherford, el núcleo se consideró simplemente como una partícula cargada positivamente con la misma cantidad de carga como electrones tiene el átomo. En él se concentraba casi la totalidad de la masa atómica, por lo que es, de esta manera, la mayor parte del átomo espacio vacío. Para que el núcleo equipare la cantidad de carga eléctrica de los electrones, Rutherford sugirió que este no era un bloque único y macizo, sino que estaba formado por pequeñas partículas fundamentales, cuya carga era igual a la del electrón, pero con signo contrario. De esta manera, el átomo de helio, que tiene 2 electrones, tendría 2 partículas positivas en su núcleo; y el de oxígeno, que tiene 8 electrones, tendría un núcleo formado por 8 partículas positivas. A esta partícula nuclear con carga positiva la llamó **protón**.

Este nuevo modelo, que explicaba la constitución del núcleo atómico, empezó a no funcionar al observar que un átomo de helio, que tiene 2 electrones y, por lo tanto, debía tener 2 protones, tenía una masa cuatro veces mayor a la del hidrógeno, que tiene un protón; o el núcleo del carbono, que debía tener 6 protones, tenía una masa 12 veces mayor.

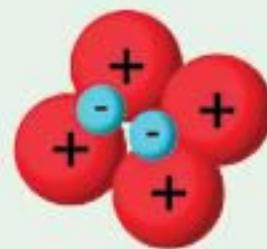
El problema de la constitución del núcleo continuó siendo una incógnita hasta 1932. Dos años antes, dos físicos alemanes, Walther Bothe y Herbert Becker habían encontrado una radiación que estaba formada por partículas no cargadas y con un alto poder de penetración, pero que tampoco era radiación gamma. Como veremos en este mismo capítulo, las radiaciones gamma son ondas electromagnéticas, es decir que aunque son muy penetrantes, no se trata de partículas.

Cuando se hace incidir partículas sobre un cuerpo, se producen fuerzas de origen eléctrico entre cada partícula cargada y los protones y electrones de la materia que constituyen el cuerpo. Por ejemplo, si las partículas que se hacen incidir sobre un cuerpo están cargadas positivamente, como las partículas alfa, que también veremos en este capítulo, se producirán fuerzas de repulsión por parte de los protones y fuerzas de atracción por parte de los electrones. Estas fuerzas limitan su movimiento y reducen la penetración. En cambio, si se hace incidir sobre un cuerpo partículas sin carga eléctrica, al no interactuar con los protones y los electrones, tienen gran penetración. La radiación hallada por Bothe y Becker tenía estas características.

Estudiando esta radiación, el físico inglés James Chadwick (1891-1974) propuso la hipótesis de que estaba formada por partículas neutras de masa similar a la del protón. Esta hipótesis era totalmente coherente con las características de este tipo de radiación y, además, lograba explicar el problema del núcleo atómico. Otras experiencias posteriores confirmaron la existencia del **neutrón**, nombre con el que fue denominada esta nueva partícula; incluso Chadwick obtuvo su masa.

Una hipótesis que no perdió

A partir de la diferencia entre las masas de los núcleos atómicos, surgió la hipótesis de que los átomos tuvieran tantos protones como su masa, con algunos electrones que neutralizaran así la carga positiva de algunos protones. De esta manera, un átomo de helio, cuya masa era 4 veces mayor a la del hidrógeno, pero con 2 cargas positivas, tendría en su núcleo 4 protones y 2 electrones. A pesar de lo interesante de esta afirmación y de que no aparecía otra explicación más plausible, esta hipótesis tuvo fuertes argumentos en contra y no prosperó.



Con el descubrimiento del neutrón, el nuevo modelo nuclear establecía que el núcleo del átomo está formado por protones y neutrones llamados, en forma general, **nucleones**.

Un átomo eléctricamente neutro tiene en su núcleo tantos protones como electrones en los orbitales. La cantidad de protones que hay en un núcleo determina sus propiedades químicas y, por lo tanto, determina el elemento químico. La cantidad de neutrones que contiene un núcleo no afecta a la estructura electrónica y, por lo tanto, no interviene en sus características químicas. Por ejemplo, un átomo de carbono tiene siempre 6 protones en su núcleo, y uno de hierro contiene 26 protones.

Cada núcleo atómico está caracterizado por dos números: su **número atómico (Z)** y su **número másico (A)**. El número atómico indica la cantidad de protones que tiene ese átomo, mientras que el número másico indica la cantidad total de nucleones. Así, la cantidad de neutrones que tiene un núcleo se determina restando el número atómico al número másico:

$$\text{Cantidad de neutrones} = A - Z$$

Al representar simbólicamente un determinado elemento, se colocan ambos números a la izquierda del símbolo químico, con el número másico arriba y el número atómico abajo. Por ejemplo: $^{12}_6\text{C}$, $^{32}_{16}\text{S}$, $^{208}_{83}\text{Bi}$.

El núcleo de un átomo de $^{208}_{83}\text{Bi}$ tiene 83 protones y 125 neutrones, ya que $208 - 83 = 125$.

Como los protones tienen carga eléctrica positiva, la interacción eléctrica entre ellos produce fuerzas de repulsión; en cambio, los neutrones, que no poseen carga eléctrica, no experimentan ningún tipo de interacción eléctrica con ningún nucleón. Esto planteó el problema de la estabilidad del núcleo eléctrico: ¿cuál era la interacción que mantenía unidos los nucleones dentro del núcleo?, ¿cómo se compensaba la repulsión eléctrica entre los protones? Hubo que avanzar nuevamente en el modelo.

El modelo estándar

Hoy se sabe que las partículas elementales no lo son tanto. Según el modelo actual, la materia está formada por fermiones y bosones.

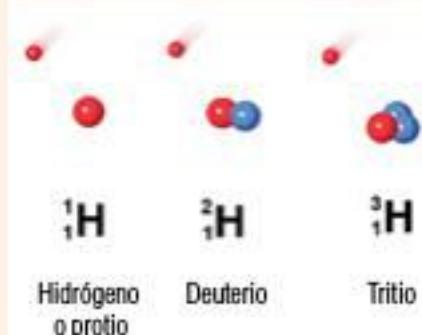
Los **fermiones** son los "ladrillos" fundamentales que forman las distintas estructuras. Entre los fermiones, se encuentran los **quarks** (de 6 tipos diferentes) y los **leptones** (los neutrinos, los electrones, los muones y los tauones).

Los **bosones** son las partículas responsables de las interacciones y, por lo tanto, de mantener "pegados" a los fermiones. Es por eso que a los bosones también se los llama gluones, del inglés *glue*, que significa pegamento. A cada interacción le corresponde un bosón mediador diferente.

El modelo estándar se comenzó a gestar hacia 1964 y en un comienzo se postuló la existencia de tres quarks (*up*, *down* y *strange*), que fueron detectados experimentalmente hacia 1967. Recién en 1996 pudo ser detectado el último de los quarks, el *top*.

Isótopos

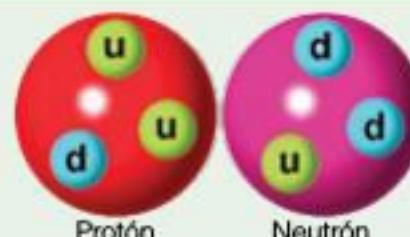
Poco después de que se encontraron métodos para determinar masas atómicas, se descubrió que no todos los átomos de un mismo elemento poseían la misma masa. A las diferentes especies de un mismo elemento, se las llama **isótopos**. Este nuevo modelo también logra explicar la existencia de isótopos: todos contienen la misma cantidad de protones, por eso son del mismo elemento, pero tienen diferente número de neutrones. Son como hermanos gemelos, pero con diferente masa.



El hidrógeno posee tres isótopos.

Fermiones

Quarks	<i>up</i> (u)	<i>charm</i> (c)	<i>top</i> (t)
	<i>down</i> (d)	<i>strange</i> (s)	<i>bottom</i> (b)
Leptones	neutrino electrónico (ν_e)	neutrino muónico (ν_μ)	neutrino tauónico (ν_τ)
	electrón (e^-)	muón (μ^-)	tauón (τ^-)



La combinación de dos quarks *up* y uno *down* forma un protón; y, la de uno *up* y dos *down*, un neutrón.

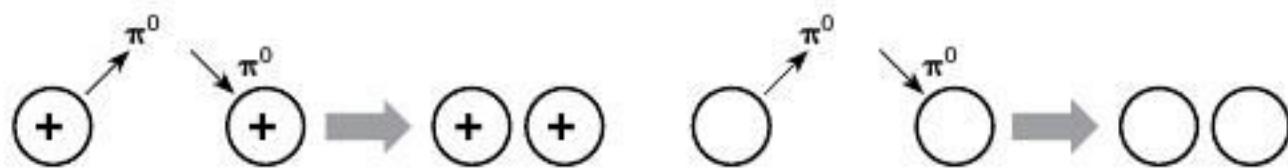
La estabilidad de los núcleos

Interacción fuerte

En 1935, el físico japonés Hideki Yukawa (1907-1981) propuso que la interacción responsable de mantener unidos a los nucleones era la **fuerza nuclear fuerte**. Esta se debía al intercambio de un tipo de partícula a la que llamó **mesón**. Dentro del núcleo, los protones y los neutrones están permanentemente intercambiando mesones entre ellos; el "salto" de los mesones, de nucleón en nucleón, hace que se mantengan vinculados y unidos por esa interacción.

Doce años después de formular esta teoría, se hallaron partículas con las propiedades de los mesones y, actualmente, se las llama **piones (π)**. El pión es el bosón responsable de la interacción fuerte, evitando así que el núcleo se desintegre.

Los piones pueden ser neutros o con carga eléctrica de cualquier tipo. Entre nucleones del mismo tipo, se intercambian piones neutros π^0 , y quedan cada partícula tal como era: $p^+ \rightarrow \pi^0 + p^+$ y $n^0 \rightarrow \pi^0 + n^0$.



Entre neutrones y protones, la fuerza surge al intercambiar piones cargados π^+ ó π^-

Cuando un protón emite un π^+ , se convierte en un neutrón: $p^+ \rightarrow \pi^+ + n^0$

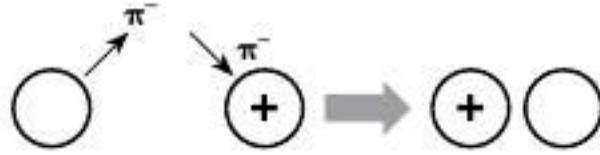
Simultáneamente, el neutrón que absorbió el π^+ se convirtió en un protón: $n^0 + \pi^+ \rightarrow p^+$



De manera similar, se produce el proceso inverso. Un neutrón que emite un π^- se convierte en un protón: $n^0 \rightarrow \pi^- + p^+$

Mientras que el protón que recibe el π^- se convierte en un neutrón: $p^+ + \pi^- \rightarrow n^0$

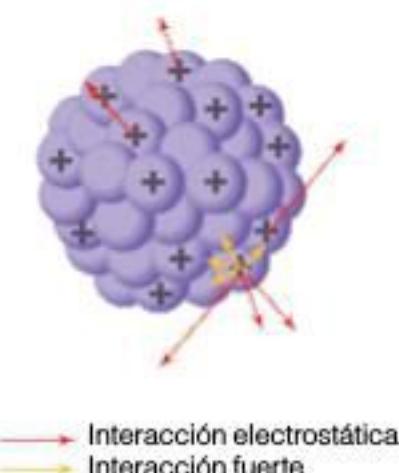
De esta manera, la cantidad de protones y neutrones dentro del núcleo es siempre la misma.



El intercambio de piones entre los nucleones hace que esta interacción presente las siguientes características:

- se manifiesta mediante una fuerza de atracción;
- la experimentan todos los nucleones;
- es de muy corto alcance, solo entre nucleones muy cercanos;
- a cortas distancias es muy intensa, pero decrece a casi cero a distancias mayores a dos o tres nucleones.

Según estas características, esta interacción se manifiesta entre los nucleones vecinos de un núcleo, pero no entre los que se encuentran más alejados. En cambio, la fuerza de repulsión eléctrica se ejerce entre todos los protones de un mismo núcleo. La presencia de neutrones permite aumentar la atracción entre nucleones, atenuando la repulsión eléctrica. Cuanto mayor sea la cantidad de protones que tenga un núcleo, mayor será la cantidad de neutrones que se necesitan para estabilizarlo y evitar así la desintegración. Es por eso que los núcleos livianos, es decir, con menos de 20 protones, contienen una cantidad de neutrones similar a la de protones, pero en los núcleos más pesados, la proporción de neutrones se hace mayor para poder compensar la repulsión eléctrica entre todos los protones de ese núcleo.



Cada protón experimenta la atracción nuclear fuerte con todos sus nucleones vecinos; en cambio, la fuerza de repulsión electrostática se produce con todos los protones de ese núcleo.

Energía de enlace

Al medir la masa de los núcleos estables, se observa que esta siempre es menor que la suma de las masas de todos sus nucleones. Por ejemplo, un átomo de $^{12}_6\text{C}$ (carbono 12) tiene en su núcleo 6 protones y 6 neutrones. Si se suma la masa de todos sus nucleones, el resultado es:

$$6 \cdot m_{p+} + 6 \cdot m_{n0} = 6 \cdot 1,007825 \text{ uma} + 6 \cdot 1,008665 \text{ uma} = 12,09894 \text{ uma}$$

Sin embargo, la masa del núcleo de carbono es 12 uma, por definición de la uma. Están faltando 0,09894 uma. Es como si los nucleones tuvieran menos masa cuando están ligados dentro de un núcleo que fuera de él.

Este defecto de masa está relacionado con la unión entre los nucleones y surge de la energía necesaria para mantener unido al núcleo. Esta es la energía de enlace. La gran energía que se necesita para extraer un nucleón del núcleo incrementa su energía y, por lo tanto, su masa. Cada núcleo tiene una energía de enlace determinada, cuyo valor depende de la diferencia de masa entre la suma de las masas de sus nucleones y la masa del núcleo, según la relación:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

donde c es el valor de la velocidad de la luz (300000 km/s o $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) y Δm es la diferencia de masa a la que nos referimos antes.

La energía de enlace del átomo de carbono tiene así un valor de:

$$E = 0,09894 \text{ uma} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \\ E = 1,6428 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,4785 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Si bien la energía de enlace es muy grande para el tamaño de los núcleos atómicos, su valor, expresado en joules, es muy chico. Es por eso que se utiliza otra unidad de energía para los procesos nucleares: el **electrón-volt** (ev), cuyo valor es:

$$1 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Entonces, la energía de enlace del átomo de carbono es 92406259 ev o 92,4 Mev.



Cuando un núcleo de carbono se forma a partir de 6 protones y 6 neutrones libres, se liberan 92,407 Mev de energía, que surgen de la masa que "desapareció"; si, en cambio, se le entregan 92,407 Mev, se logran separar sus nucleones y esa energía se manifiesta en la mayor masa de cada nucleón.

Múltiplos del electrón-volt

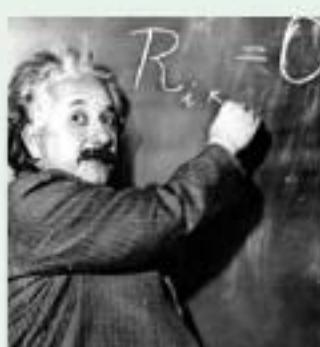
Al igual que en todas las unidades de medida, se utilizan múltiplos del ev:

$$1 \text{ kev} = 1 \cdot 10^3 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$1 \text{ Mev} = 1 \cdot 10^6 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ Gev} = 1 \cdot 10^9 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

Masa y energía



En 1905, Albert Einstein (1879-1955) presentó la Teoría de la Relatividad Especial. En ella, puso en discusión y transformó el significado de algunos conceptos de la ciencia, como el espacio, el tiempo y la masa.

Una de las consecuencias más notables es la vinculación de la masa con la energía: ya no son dos entidades independientes, sino que son dos caras de la misma moneda, diferentes aspectos de la misma cosa. Además de todas las formas de manifestarse que tiene la energía (cinética, potencial, química, etc.), la energía se puede presentar también

como masa. La masa de un objeto es la energía en reposo que contiene.

De esta manera, los Principios de Conservación de la Masa y de la Energía, son uno solo: el Principio de Conservación de la Masa-Energía. Cada vez que "desaparece" cierta cantidad de alguna de ellas, "aparece" una cantidad equivalente de la otra. La expresión que establece la equivalencia entre masa y energía es, quizás, la fórmula más conocida de la Física, donde el valor c^2 es el factor de conversión entre ellas:

$$E = m \cdot c^2$$

Fusión nuclear

Ciclo de carbono

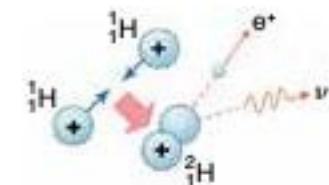
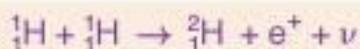
Existe otro proceso de fusión posible dentro de una estrella, y es el **ciclo de carbono**. En una serie de etapas, núcleos de carbono absorben protones hasta que, finalmente, se desprenden núcleos de helio, y queda también el carbono inicial. Este proceso es más eficiente a altas temperaturas, como la que tienen algunas estrellas que son más calientes que el Sol.

Ahora sí, podemos responder a la pregunta sobre cuáles son los procesos que posibilitan que el Sol esté continuamente liberando energía.

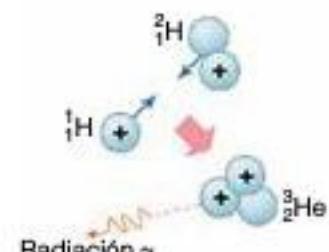
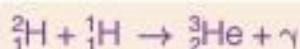
La energía proveniente del Sol y de todas las estrellas tiene su origen en la reacción termonuclear de **fusión**. Una reacción de fusión nuclear consiste en la unión de núcleos ligeros para formar núcleos más pesados y estables. Para que se produzca la fusión, es necesario que los núcleos choquen con una energía cinética muy alta que logre vencer la repulsión eléctrica entre los protones. Esta energía cinética corresponde a temperaturas elevadas del orden de varios millones de grados, como la que se encuentra en el interior de las estrellas. La gran energía liberada en la reacción mantiene esta temperatura lo suficientemente alta como para que la fusión continúe. Además, dentro de las estrellas, la presión es también tan elevada que obliga a los núcleos a acercarse. En estas condiciones, los átomos están completamente ionizados, es decir que los electrones se encuentran separados de sus núcleos. Es así como los núcleos de hidrógeno se fusionan para formar núcleos de helio.

Uno de los procesos que se produce bajo estas condiciones es el **ciclo protón-protón**: los choques directos de protones dan por resultado núcleos más pesados que, al volver a chocar, forman núcleos de helio. Este ciclo se realiza en varios pasos:

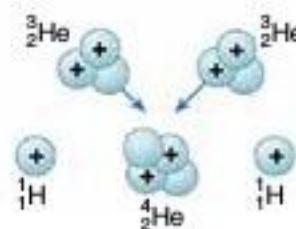
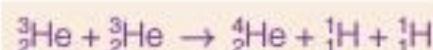
1. Dos núcleos de hidrógeno ${}_1^1\text{H}$ se combinan y forman un núcleo de deuterio ${}_1^2\text{H}$. Se emite un positrón e^+ (que es un electrón con carga eléctrica positiva) y un neutrino (ν). Se representa simbólicamente:



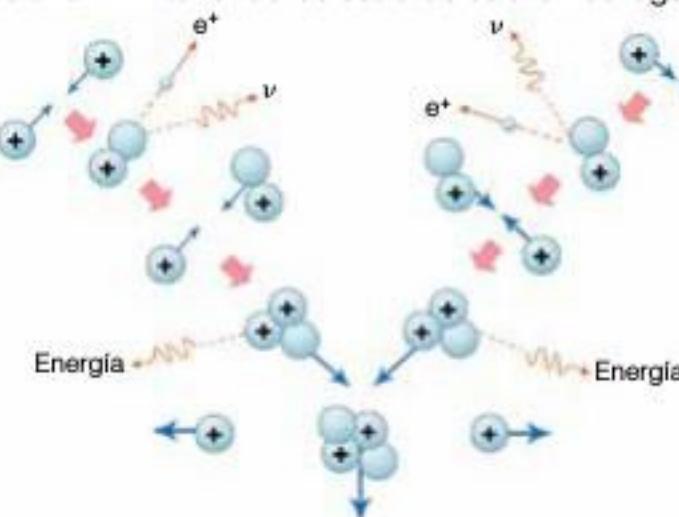
2. El deuterio choca y se une con un protón, es decir, con otro núcleo de hidrógeno, y forma un núcleo de helio liviano ${}_2^3\text{He}$; emitiendo radiación gamma (γ).



3. Finalmente, dos núcleos de helio ${}_2^3\text{He}$ se fusionan, dando como resultado un núcleo de helio estable ${}_2^4\text{He}$ y dos núcleos de hidrógeno.



Estos dos núcleos de hidrógeno reiniciarán el ciclo, junto con otros, autoalimentando así la fusión. Las reacciones de fusión automantenidas solo se pueden presentar en condiciones extremas de presión y temperatura que den a los núcleos la energía suficiente para reaccionar. El interior de las estrellas es el único lugar donde se cumplen estas condiciones.



El resultado neto de todos estos pasos es que 4 núcleos de hidrógeno se transformaron en un núcleo de helio.

La energía que se desprende durante la fusión está relacionada con el defecto de masa que se obtiene al final del proceso. La masa, al comienzo del ciclo, es la suma de las masas de los cuatro núcleos de hidrógeno, equivalente a la masa de cuatro protones:

$$\begin{aligned}m_i &= 4 \cdot m_p = 4 \cdot 1,6734 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\m_i &= 6,6936 \cdot 10^{-27} \text{ kg}\end{aligned}$$

Al final, la masa es la suma de la del núcleo de helio y los dos positrones:

$$\begin{aligned}m_f &= m_{\text{He}} + 2 \cdot m_{e^+} = 6,6459 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\m_f &= 6,6477 \cdot 10^{-27} \text{ kg}\end{aligned}$$

La masa de los núcleos obtenidos es menor a la masa de los núcleos iniciales, y el defecto de masa es de:

$$\begin{aligned}\Delta m &= m_f - m_i = 6,6477 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 6,6936 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\&\Delta m = -4,59 \cdot 10^{-29} \text{ kg}\end{aligned}$$

La energía desprendida para esta masa faltante es de:

$$\begin{aligned}E &= \Delta m \cdot c^2 = -4,59 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2 \\E &= -4,13 \cdot 10^{-12} \text{ J} = -25,81 \text{ Mev}\end{aligned}$$

El signo negativo en los resultados representa que hay masa faltante y que la reacción es exoenergética, es decir que libera energía.

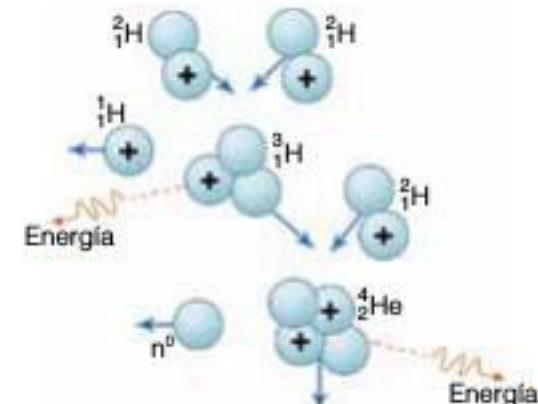
Esta cantidad de energía es la que se obtiene al fusionarse cuatro núcleos de hidrógeno en un núcleo de helio. Al calcular la energía que se obtiene de la fusión de un gramo de hidrógeno, se puede ver que es una cantidad enorme, del orden de $4 \cdot 10^{24}$ Mev o $6,5 \cdot 10^{11}$ J.

La gran cantidad de energía que se libera de esta reacción convierte la manera de lograr la fusión en la Tierra en uno de los objetivos de los físicos actuales. Ninguno de los dos ciclos es posible de realizar porque sus distintas etapas exigen gran cantidad de tiempo. Es por eso que se está estudiando la posibilidad de fusionar directamente deuterio. Como combustible, el deuterio es bastante abundante y económico, ya que se encuentra en los océanos y mares en un porcentaje del 0,15% (aproximadamente unas 10^{15} toneladas).

Una línea de investigación está trabajando en la fusión en frío, es decir, en encontrar una manera de producir las reacciones de fusión por medio del bombardeo con partículas rápidas obtenidas en un acelerador. El problema radica en que, por ahora, el funcionamiento del acelerador consume más energía que la obtenida de los pocos núcleos que dan en el blanco.

Por otro lado, se estudia el diseño de reactores de fusión que empleen gases ionizados a altas temperaturas. En este caso, es necesario usar campos magnéticos como "recipientes" para guardar el gas, ya que otro tipo de materiales no soportarían las temperaturas necesarias para que los núcleos de deuterio tengan la energía suficiente para chocar y fusionarse.

Si bien es una energía muy prometedora, la construcción de los reactores de fusión presenta aún dificultades prácticas y técnicas que dejan el aprovechamiento de este tipo de energía para un futuro.



En la fusión del deuterio, el resultado neto es que 3 núcleos de deuterio se transforman en un núcleo de helio, uno de hidrógeno y un neutrón.

- a)**
- Utilizando los datos de la potencia de una casa y de la potencia instalada de nuestro país que se indican en el capítulo 2, calculen durante cuánto tiempo se puede abastecer a una casa y durante cuánto tiempo se puede abastecer al país con la energía que se libera de la fusión de 1 g de hidrógeno.
 - ¿Cuánta energía se obtiene de la fusión del deuterio en helio? (Masa del deuterio = $3,3442 \cdot 10^{-27}$ kg)



Nebulosa de Cabeza de Caballo.



S Orionis, en la Constelación de Orión, se encuentra en la fase de gigante roja.



Altair, en la Constelación del Águila, es una estrella joven de la secuencia principal.

La vida de las estrellas

¿Cómo es que comienza el proceso de fusión en una estrella? Si el Sol está fusionando millones de toneladas de hidrógeno por segundo, ¿no se va a agotar en algún momento el combustible de la fusión? ¿Qué sucede en una estrella cuando se termina el hidrógeno?

Todo el proceso, desde que comienza la fusión en una estrella hasta que termina, se denomina **evolución estelar**. La vida de una estrella puede durar millones de años y, si bien los cambios son muy lentos, se puede establecer la "edad" de una estrella según el momento en que se encuentre en su evolución.

Hay distintos tipos de estrellas. Las estrellas "normales" son aquellas que se denominan **estrellas de la secuencia principal**. Su origen comienza en las nebulosas, regiones del espacio de polvo y gas, con masas y volúmenes mucho más grandes que los del Sol. En principio, la temperatura de estas nebulosas es de apenas 10 K y, como todo gas, se expande, al mismo tiempo que la atracción gravitatoria entre las partículas lo comprime. Sometida a ambas fuerzas, la nebulosa comienza a tomar forma esférica y a comprimirse, con lo que aumenta su densidad.

Al comprimirse, los choques entre las partículas hacen que la energía potencial gravitatoria se convierta en energía cinética de las partículas, con lo que aumenta la temperatura del gas, y cada vez más. Cuando en algún punto de la nebulosa, la temperatura supera los 10.000 millones K, se enciende la fusión. Es el nacimiento de una estrella.

Durante su "juventud", hay un equilibrio entre las dos fuerzas que actúan sobre la masa de gas de la estrella: la presión del gas interior, que tiende a expandirlo, y la fuerza gravitatoria, que lo atrae hacia su centro. La fusión se realiza solo en el centro de la estrella y el resto solo transmite la energía. Esta etapa de la vida de una estrella dura algunos millones de años. Nuestro Sol se encuentra en la mitad de este estadio; recién ha vivido 4500 millones de años.

A medida que se agota el combustible de hidrógeno, la estrella ya no puede mantener la temperatura tan alta y comienza a disminuir la presión; así comienza expandirse y crece hasta convertirse en una **gigante roja**. En el núcleo de una gigante roja, el helio se fusiona en hierro y otros elementos más pesados, manteniendo las reacciones nucleares. Son más frías y menos brillantes, por eso son de color rojo.

Si el enfriamiento continúa, llega un punto en que se agotan las fuentes de energía necesarias para mantener el equilibrio entre las fuerzas actuantes. Luego de algunos procesos complejos, la estrella vuelve nuevamente a contraerse, alcanzando densidades muy altas. Lo que sucede de ahí en adelante depende de la masa de la estrella.

Constelaciones

Muchos pueblos antiguos imaginaron dibujos en el cielo delimitados por el conjunto de estrellas que observaban en la zona del cielo que era visible por las noches. Así, por ejemplo, un conjunto de estrellas formaba la figura de un león y así se llamaba a ese conjunto de estrellas "Constelación de Leo" o "Constelación del León".

Una constelación es, precisamente, un conjunto de estrellas que se observan en una misma región del cielo. Por lo general, solo tienen eso en común, ya que pueden encontrarse en etapas diferentes y distar cientos de años luz entre ellas.

En 1928, para ordenar los diferentes nombres asignados a las constelaciones, la Unión Astronómica Internacional reconoció y dio nombre a las 88 constelaciones en las que, hoy en día, se ubica a las estrellas en las diferentes regiones del cielo.



Constelaciones de Casiopea y la Osa Mayor, cerca de la Estrella Polar.

Si la estrella es "chica", es decir que tiene una masa de hasta $4 \cdot 10^{30}$ kg (el doble de la solar), luego de contraerse, las capas externas forman un caparazón gaseoso alrededor del núcleo de la estrella. El núcleo es muy pequeño (del tamaño de la Tierra) pero muy caliente, por eso es de color blanco. Esta nueva estrella que forma el núcleo se conoce como **enana blanca**. Seguirá quemando combustible, hasta enfriarse aún más y convertirse en una **enana roja** y, finalmente, apagarse como una **enana negra**.

Si la estrella supera el doble de la masa del Sol, puede colapsar, al contraerse su núcleo, y explota en una **nova** o **supernova**. Este tipo de explosión puede brillar más que una galaxia entera y puede perdurar por cierto tiempo. Luego de la explosión, su núcleo puede derivar en una **estrella de neutrones**, algunas llamadas "pulsar", o en un **agujero negro**, también de acuerdo con la masa del núcleo.

Las estrellas de neutrones se originan en núcleos de supernovas cuya masa es de hasta $6 \cdot 10^{30}$ kg. Su densidad es muy grande, ya que la masa, que es comparable a la del Sol, está confinada a unos pocos kilómetros, puesto que tienen un radio promedio de 10 km. En ella, la materia se encuentra en estado degenerado y el gas que la forma no se comporta como un gas ideal.

Los agujeros negros no son "agujeros" propiamente dichos. Son cuerpos que se forman a partir de núcleos de supernovas con masas mayores a $6 \cdot 10^{30}$ kg. La gran masa aumenta la fuerza gravitatoria, provocando que se contraiga aún más hasta alcanzar radios muy chicos. La fuerza de gravedad es tan grande que toda la materia y la radiación que se encuentre en sus proximidades "desaparece" del universo observable. Nada puede escapar de su atracción, ni siquiera la luz, y en su lugar queda una zona totalmente oscura; de ahí su nombre.



Esquema de la evolución estelar.

El Big Bang

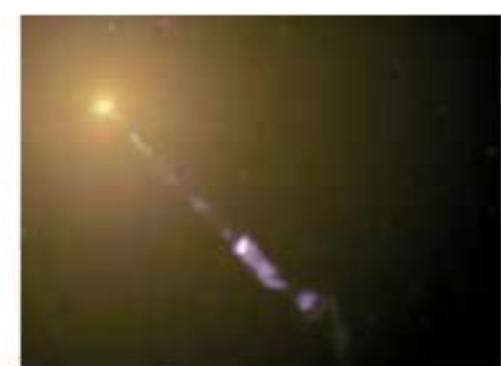
Y el universo, ¿cómo se originó? ¿Hubo un comienzo? Los científicos suponen que sí, que hubo un origen para este universo conocido. Esta suposición la hacen sobre el conocimiento de que el universo está en un proceso de expansión, es decir que todos los objetos celestes se alejan entre sí. Si se acepta esto, entonces, retrocediendo en el pasado, se encontraban cada vez más cerca. De esta manera, es razonable pensar que, en algún momento, los cuerpos celestes estuvieron lo suficientemente cerca como para que toda la materia del universo estuviese concentrada en un mismo punto. Ese momento sería el origen o el comienzo del universo. La teoría que describe el origen del universo se conoce como Teoría del Big Bang, que significa "gran explosión".



Sirio, en la Constelación Can Mayor, es una estrella binaria. Sirio A es la estrella más brillante de todo el cielo visto desde el hemisferio Sur, mientras que Sirio B es una enana blanca.



Cassiopeia A es un remanente de supernova, en cuyo centro se encuentra una estrella de neutrones.



Si bien los agujeros negros son "invisibles" a la observación directa, el telescopio Hubble tomó la imagen del centro de la galaxia M87, donde los restos de materia y polvo ponen en evidencia la presencia de un agujero negro.



1. Averigüen sobre el Big Bang.
- a. ¿Cómo estaba constituida la materia en un principio?
- b. ¿Cómo fue el momento inicial?
- c. ¿Cuántos años se estima que tiene el universo?

Aceleradores de partículas

A lo largo del último siglo, los físicos han logrado describir las partículas fundamentales que constituyen el universo y sus interacciones. Sus modelos, tanto del mundo atómico como del macrocosmos, son cada vez más precisos, pero necesitan su confrontación con la realidad. Las experiencias básicas que permiten descubrir o verificar las distintas partículas subatómicas se basan en el bombardeo de núcleos atómicos.

El método consiste en fabricar proyectiles, por ejemplo protones o neutrones, acelerarlos hasta alcanzar altas velocidades y lanzarlos contra algún núcleo, que será el blanco. El gran impacto logra romper el núcleo y, de esta manera, se puede conocer la estructura última de la materia. Este método se lleva a cabo con **aceleradores de partículas**, que logran que los proyectiles adquieran grandes velocidades y que, con ellas, su energía cinética sea lo suficientemente alta como para romper los núcleos.

Los primeros aceleradores se construyeron en 1930 y lograban acelerar protones que alcanzaban energías cinéticas de entre 1 y 5 Mev. Los aceleradores lineales logran acelerar las partículas a partir de altas diferencias de potencial eléctrico. En cambio, los ciclotrones, o aceleradores circulares, lo hacen a partir de campos magnéticos. Estos últimos, además de ocupar menos espacio, logran energías más altas. Cuanto más alta es la energía cinética que alcanza la partícula, mayor es el impacto sobre el núcleo, y así se puede conocer mejor sus partículas constitutivas.

El Gran Colisionador de Hadrones (LHC)

En Ginebra, justo sobre la frontera entre Suiza y Francia, se construyó el más grande acelerador de partículas: el Gran Colisionador de Hadrones (LHC: Large Hadron Collider), de 27 km de circunferencia. Su construcción, a 100 m bajo tierra, llevó más de 20 años y un costo de más de 5000 millones de dólares.

Los datos que se obtengan de las experiencias realizadas servirán para terminar de comprender lo infinitamente pequeño, el interior del núcleo atómico, así como el origen del universo.

En el LHC, dos haces de hadrones, que son partículas como los protones, circularán en sentido inverso hasta alcanzar energías del orden de 7 Tev ($7 \cdot 10^{12}$ ev) y luego colisionarán. Este impacto permitirá recrear las condiciones que existían justo después del Big Bang. Detectores especiales estudiarán las partículas resultantes de la colisión. Ellas permitirán verificar la existencia de las partículas predichas teóricamente, como es el bosón de Higgs.

Los resultados que surjan de estas experiencias permitirán corroborar el modelo estándar de la materia o abrirá nuevas fronteras a un cambio de paradigma o modelo.



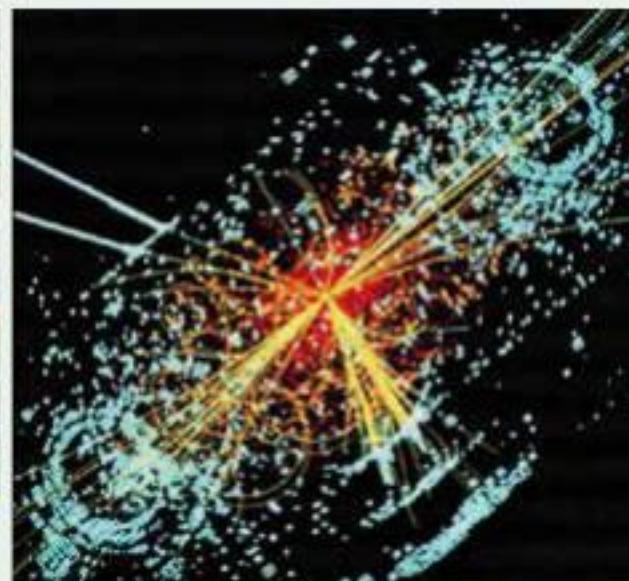
Vista aérea del acelerador Fermilab en las cercanías de Chicago, en Estados Unidos. El largo de su circunferencia es de 6,3 km y en él fueron detectados por primera vez los quarks *bottom*, en 1977, y los *top*, en 1996.



Acelerador argentino Tandar, en el Centro Atómico Constituyentes, provincia de Buenos Aires.



Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en Ginebra. El estudio de las trazas que dejan las partículas resultantes permite reconocerlas o detectarlas.



Radiactividad natural

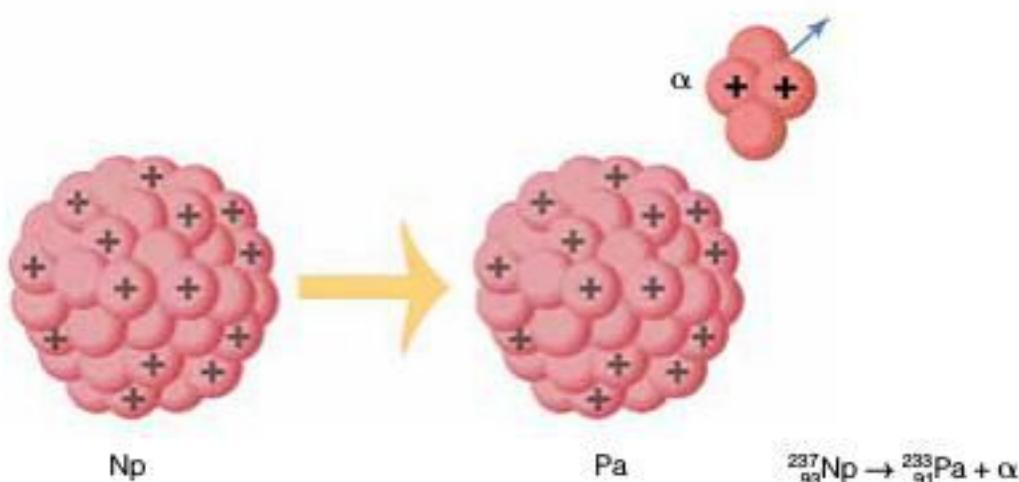
Para que los nucleones se mantengan unidos dentro del núcleo, es necesario que las fuerzas de repulsión eléctrica entre los protones y la interacción fuerte entre los nucleones estén equilibradas. Pero, en núcleos muy pesados, es decir con gran cantidad de protones, la repulsión eléctrica es muy grande, ya que cada protón interactúa con todos los protones del núcleo, y la interacción fuerte se produce solo entre un nucleón y aquellos que lo rodean. Por lo tanto, se hace muy difícil poder compensar la repulsión eléctrica y, así, los núcleos pesados se vuelven inestables, es decir que son propensos a "romperse" o desintegrarse.

En esas condiciones, los núcleos se encuentran en estados energéticos excitados y necesitan regresar a estados de menor energía, es decir, más estables. Para ello, deben liberar energía, ya sea en forma de radiación o de partículas con alta energía cinética. Un núcleo atómico puede liberar esa energía a través de desintegraciones radiactivas espontáneas o naturales. Los tipos de radiaciones son básicamente tres:

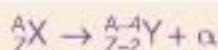
- ▶ Partículas α (alfa): son núcleos de helio ${}^4_2\text{He}$, con una energía cinética de entre 4 y 10 Mev.
- ▶ Partículas β (beta): son electrones procedentes del núcleo, con energía de entre 0,017 y 4 Mev.
- ▶ Rayos γ (gamma): son ondas electromagnéticas de longitud de onda muy corta.

Desintegración alfa

Cuando un núcleo contiene más de 210 nucleones, las fuerzas nucleares fuertes no pueden equilibrar la repulsión entre protones. En esos casos, la emisión de una partícula α es la manera de volver a un estado de más estabilidad. Al perder dos protones y dos neutrones, el núcleo disminuye en 4 su número másico (la cantidad de nucleones) y en 2 el número atómico (la cantidad de protones), con lo cual deja de ser el elemento químico que era para convertirse en otro diferente. Por ejemplo, un átomo de neptunio ${}^{237}_{93}\text{Np}$, al emitir una partícula alfa, tendrá dos protones menos, con lo que su nuevo número atómico será 91 y, además, al perder cuatro nucleones, su número másico será 233. Mirando en la tabla periódica, este nuevo núcleo corresponde a un átomo de protactinio ${}^{233}_{91}\text{Pa}$.



En forma general, para cualquier elemento X que emite una partícula α y queda un núcleo del elemento Y, se simboliza:



Este tipo de radiación, al tener carga eléctrica positiva, se desvía frente a campos electromagnéticos. No es muy penetrante, ya que se frena rápidamente, y por eso es de corto alcance. Sin embargo, al interactuar con los electrones de los átomos del material sobre el que incide, produce fuertes ionizaciones.

Descubrimiento de la radiactividad

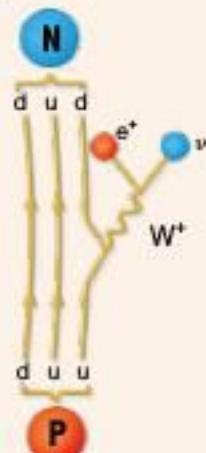
En el año 1896, el físico francés Henri Becquerel (1852-1908) estaba estudiando fluorescencia. Para eso, colocaba minerales al sol y observaba si posteriormente emitían radiación que detectaba mediante una placa fotográfica. Durante algunos días nublados guardó los minerales de uranio junto a las placas fotográficas en un cajón y al sacarlas observó que las placas detectaban radiación aunque no habían sido expuestas al sol. El uranio emitía radiación en forma espontánea. De esa manera, Becquerel descubrió lo que posteriormente se llamó radiactividad.

El neutrino

En 1930, para poder explicar las discrepancias encontradas en el modelo que describía la desintegración β , el físico austriaco Wolfgang Pauli (1900-1958) propuso la existencia de una partícula sin carga y de masa casi nula que se emitía junto con el electrón. La hipótesis del neutrino resultó exitosa, y se comprobó, además, que existen dos tipos de ellos: el neutrino (ν) y el antineutrino ($\bar{\nu}$).

Transformación de protón en neutrón y viceversa

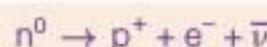
La diferencia entre neutrones y protones es el tipo de quarks que los componen. La fuerza que "une" a los quarks es la interacción nuclear débil, y el bosón mediador de esta interacción es el bosón W o Z. Para que un protón se transforme en un neutrón, debe cambiar uno de sus quarks *up* por un quark *down*. Para ello, se intercambia un bosón W^+ . Este bosón decae rápidamente en un positrón y un neutrino.



De manera similar, el neutrón puede transmutar en un protón, al cambiar un quark *down* por un quark *up*, intercambiando un bosón W^- , que decae en un electrón y un antineutrino.

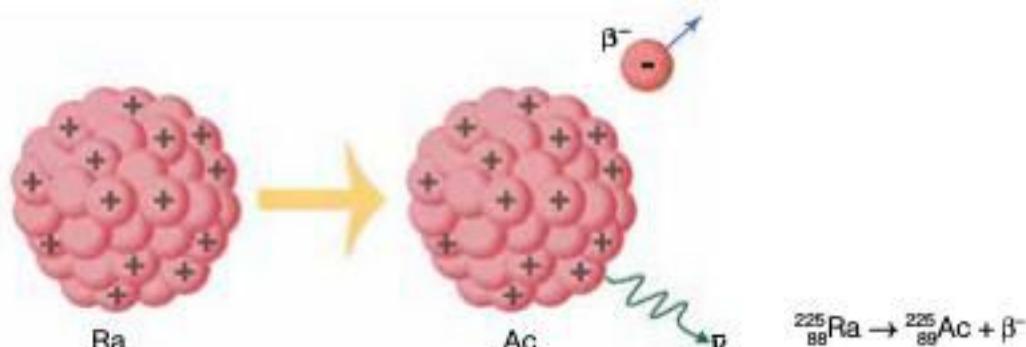
Desintegración beta

La desintegración beta es otra manera en la que un núcleo puede variar la relación entre la cantidad de protones y neutrones, y lograr así mayor estabilidad. Esencialmente, es la transformación espontánea de un neutrón en un protón y un electrón, y aparece, además, una nueva partícula llamada antineutrino. Instantáneamente, el electrón junto con el antineutrino, salen despedidos del núcleo. Este decaimiento se representa con la siguiente ecuación:

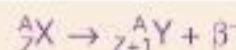


De esta manera, el núcleo queda con un neutrón menos y un protón más, aumentando en uno su número atómico, pero sin cambiar su número masíco. Nuevamente, el núcleo se ha transformado en otro elemento.

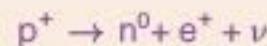
Por ejemplo, si un núcleo de radio $^{226}_{88}\text{Ra}$ emite radiación β , tendrá la misma cantidad de nucleones, ya que el neutrón se habrá convertido en un protón y el total de ellos será el mismo: el número masíco seguirá siendo 226. Pero, al tener un protón más, su número atómico será 89, y así pasará a ser un núcleo de actinio $^{226}_{89}\text{Ac}$.



En general, cualquier elemento X que emita una partícula β^- y quede un núcleo del elemento Y, se simboliza:



También existe la emisión positrónica. En este caso, un protón se transforma en un neutrón, al emitir un positrón y un neutrino:



En este caso, el núcleo tampoco cambia la cantidad de nucleones y, por lo tanto, mantiene el número masíco, pero tiene un protón menos, disminuyendo en uno su número atómico. En general, se simboliza así:



Este tipo de decaimiento es el que se produce, por ejemplo, en el primer paso de la fusión nuclear, descripta en la página 218, en la que dos protones forman un núcleo de deuterio.

Para diferenciar los dos tipos de desintegraciones β , se llama **decaimiento beta negativo** (β^-) al primero, cuando un neutrón se transforma en protón, y **decaimiento beta positivo** (β^+) al segundo, cuando un protón se transforma en neutrón.

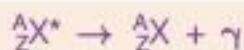
En cualquiera de los decaimientos β , la radiación emitida es afectada fuertemente por campos electromagnéticos, ya que poseen carga eléctrica. Son de mediano alcance ya que, para frenarlos, se necesitan placas metálicas de algunos milímetros de espesor y, por lo tanto, son un poco más penetrantes que las radiaciones α . Pero, a diferencia de estas, su poder de ionización es bajo.

Desintegración gamma

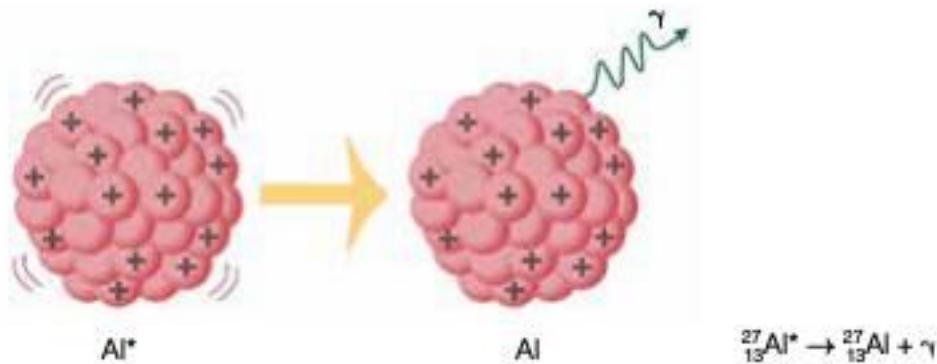
Luego de que un núcleo ha emitido radiación α o β , queda excitado, es decir, con un exceso de energía. Para volver a su estado fundamental, emite radiación gamma γ . Los fotones emitidos tienen la energía correspondiente a la diferencia entre los estados de excitación inicial y final. Esta radiación está formada por ondas electromagnéticas de longitud de onda muy corta, alrededor de 10^{-13} m, y de alta frecuencia, del orden de 10^{21} Hz.

En esta emisión, no hay un cambio en la cantidad de protones ni de nucleones que tiene el núcleo y, por lo tanto, no se modifican ni el número atómico ni el número masico; solo se emite radiación que lo hace energéticamente más estable. Sigue siendo el mismo elemento, pero en un estado fundamental de energía.

El decaimiento γ de cualquier elemento X se puede representar mediante la ecuación:



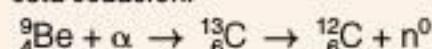
Por ejemplo, luego de que el magnesio ${}_{12}^{27}\text{Mg}$ emite una partícula β , queda aluminio ${}_{13}^{27}\text{Al}$ en estado excitado (Al^*); para volver a su estado fundamental, emite radiación γ con una energía de 1,015 Mev.



Este tipo de radiación no posee carga eléctrica y, por eso, no es afectada por campos electromagnéticos. Por su corta longitud de onda, es altamente penetrante y de largo alcance, por lo que se necesitan espesores considerables de plomo para ser frenada. Pero, como casi no interactúa con la materia, su poder de ionización es muy bajo.

Bombardeando núcleos encontraron al neutrón

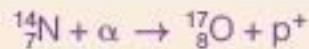
Bombardeando núcleos de berilio ${}_{4}^{9}\text{Be}$ con partículas α , para inducir desintegraciones, los esposos Joliot y Curie obtuvieron una extraña radiación. Su explicación la encontró Chadwick, que propuso la existencia del neutrón. La reacción se representa con esta ecuación:



Radiactividad artificial

A partir del estudio de la radiactividad natural, se empezó a experimentar sobre la forma de inducir la desintegración de núcleos de diversos elementos. Utilizando aceleradores, se bombardean núcleos con partículas que los vuelven inestables, ya que presentan un exceso de energía. Para volver a su estado fundamental de energía, ese núcleo deberá liberar el exceso de energía a través de algún tipo de radiación: partículas α , β , γ o bien protones. Así se provoca que un núcleo estable se desintegre. De esta manera se "construyen" **radioisótopos**, que son isótopos radiactivos que se pueden fabricar a partir de casi todos los elementos y pueden ser utilizados con distintas finalidades.

El primero que realizó experimentos para producir la desintegración de un núcleo artificialmente fue Rutherford, en 1919, bombardeando núcleos de nitrógeno ${}_{7}^{14}\text{N}$ con partículas α . Lo que obtuvo fue la emisión de protones con energía muy alta.



En 1934, Frédéric Joliot (1900-1958) y su esposa Irene Curie (1897-1956) bombardearon núcleos de boro y de aluminio con partículas α . Luego de ser bombardeados, esos núcleos comenzaban a emitir radiación β^+ . Habían "fabricado" los primeros elementos radiactivos artificiales a partir de átomos estables.

Beneficios y peligros de la radiactividad

Actualmente, los radioisótopos tienen infinidad de aplicaciones y la energía nuclear se utiliza en distintas áreas.



El tomógrafo por emisión de positrones permite obtener imágenes anatómicas y funcionales para diagnósticos precisos.



La irradiación de la papa a partir de isótopos radiactivos, reduce o elimina la formación de brotes y permite su mejor conservación, tanto para el consumo interno como para la exportación.

► **Medicina:** los usos de la medicina nuclear son muy variados; básicamente, se puede resumir en tres ramas:

► **Radiofarmacia:** los radiofármacos son sustancias que se implantan en los órganos, huesos o tejidos para detectar anomalías o enfermedades, aun en estadios precoces. Esto permite diagnosticar y tratar diferentes enfermedades.

► **Diagnóstico por imágenes:** los equipos más usados son el tomógrafo, por emisión de positrones, y el centellograma. Permiten obtener imágenes anatómicas y funcionales de la zona que debe analizarse y detectar así tumores, afecciones o mal funcionamiento de ciertos órganos.

► **Radioterapia:** se utilizan radiaciones para el tratamiento de ciertos tumores usando radioisótopos de cobalto, o afecciones cardíacas, con emisión gamma. La radiación no solo destruye las células cancerígenas, sino que, además, impide su reproducción de las mismas. También se utiliza la radiación gamma para la esterilización de material de laboratorio y quirúrgico.

► **Agropecuaria:** se utiliza la energía nuclear proveniente de radiaciones para:

► **Control de plagas:** a través de la radiación, se consiguen machos estériles que, al aparearse, dan huevos infértilles; de esta manera se disminuye la población de la plaga sin utilización de químicos ni producir impacto ambiental.

► **Conservación de alimentos:** al exponer alimentos, especialmente frutas y verduras, a una radiación ionizante, se prolonga su conservación, ya que se inhiben los brotes, en el caso de papas, cebollas, etc., y se eliminan las larvas y huevos de insectos o microorganismos.

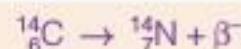
► **Industria:** se utilizan isótopos radiactivos para:

► **Detección de fallas:** al inyectar radioisótopos en cañerías, motores o maquinarias, quedan depositados en sus imperfecciones, lo que permite detectar fácilmente las fisuras o los desgastes de las piezas.

► **Control de espesores:** en la fabricación de productos laminados o películas, se utiliza radiación gamma, que permite controlar el espesor exacto del material.

► **Arqueología:** el uso de distintos isótopos como el carbono 14 (^{14}C) permite deducir la antigüedad de fósiles y objetos arqueológicos.

En el caso del carbono, la técnica se basa en la desintegración espontánea del ^{14}C , que emite radiación β^- , convirtiéndose en un átomo de nitrógeno estable:



Conociendo el tiempo que tarda el carbono 14 en desintegrarse y midiendo su actividad radiactiva en los restos orgánicos en estudio, se puede determinar la antigüedad del objeto estudiado.

a>

1. Divídanse en grupos e investiguen sobre alguna de las técnicas de medicina nuclear.
 - a. Indiquen los principios en los que se basa, el tipo de técnica, las aplicaciones, los beneficios y las contraindicaciones.
 - b. Presenten lo investigado en un informe o exposición gráfica.

Al mismo tiempo que la radiación nuclear se utiliza con fines beneficiosos para el ser humano, sus efectos sobre la salud de un organismo vivo pueden ser nocivos o perjudiciales, si no es utilizada correctamente.

El daño que pueden causar las distintas radiaciones está ligado, principalmente, al poder de ionización que tengan, es decir, a la capacidad que tiene una radiación de interactuar con los electrones de los átomos y, así, modificar sus propiedades químicas. Como resultado de esta interacción, la radiación puede causar modificaciones en la estructura molecular, induciendo, de esta manera, daños en el tejido celular, o bien puede interactuar y dañar directamente el ADN, produciendo alteraciones genéticas.

Cada tipo de radiación interactúa de manera diferente con el cuerpo, ya que tienen diferente poder de ionización aunque los resultados finales son similares.

La importancia del daño va a depender también de la cantidad de energía que transporta la radiación, es decir, de la dosis de radiación recibida y del tiempo de exposición. Los efectos sobre la salud pueden ser inmediatos, como quemaduras, náuseas y malestar, o a largo plazo, como distintos tipos de cáncer y problemas genéticos.

La dosis recibida es la cantidad de energía que se deposita por unidad de masa. Es la cantidad total, acumulada, de radiación recibida. Como cada tipo de radiación tiene efectos diferentes, se usa una unidad de medida llamada equivalente de dosis, que mide la dosis en forma absoluta. Esta magnitud se mide en una unidad llamada **sievert** (Sv) y representa los diferentes efectos que cada tipo de radiación puede causar. Estas unidades son las utilizadas por las entidades reguladoras de la cantidad de radiación liberada y expuesta.

4000 mSv Dosis letal (50% de posibilidades de muerte)

50 mSv Límite anual reglamentario para trabajadores con radiación

20 mSv Límite anual para la tripulación aérea

10 mSv Tomografía computada a todo el cuerpo

6 mSv Radiación de fondo por año a 4000 m sobre el nivel del mar

2 mSv Radiación de fondo por año a nivel del mar

0,08 mSv Rayos X frontales

Dosis de radiación para diferentes actividades normales comparada con la dosis letal acumulada, indicadas en millisievert (mSv).

Una dosis de 4 Sv (o 4000 mSv) recibida en pocos días es letal y causa la muerte de, al menos, la mitad de la población expuesta. Una dosis de entre 0,5 y 2,5 Sv causa malestares por radiación aguda, cuyos síntomas pueden ser náuseas, vómitos, diarrea, quemaduras y pérdida del cabello, pero no necesariamente provoca la muerte. Por debajo de este nivel, no se observan síntomas agudos, aunque existe la posibilidad de que aparezcan efectos retardados a largo plazo, como el acortamiento de la vida o los efectos genéticos.

Para los casos de accidentes, o trabajos de riesgo por exposición a la radiación, las reglas para minimizar la exposición son: menos tiempo, más distancia, mayor blindaje, es decir, acortar el tiempo de exposición a la radiación, permanecer lo más lejos posible de la fuente radiactiva y proporcionar protección entre la fuente y el cuerpo.



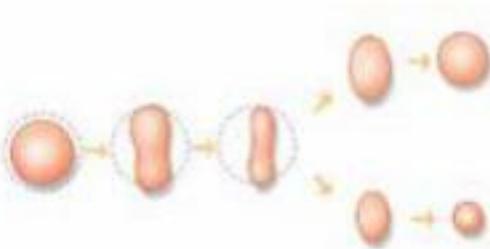
Símbolo utilizado internacionalmente para indicar producción, manipulación o transporte de material radiactivo.

Radiaciones α , β y γ

Las partículas α son muy ionizantes, pero tienen muy corto alcance: son frenadas por la piel. Es por eso que el cuerpo expuesto a radiación α externa sufrirá quemaduras superficiales que pueden ser de importancia, pero no tendrá daños internos. En cambio, la inhalación o ingestión de sustancias con partículas α sí puede provocar graves daños en el organismo, ya que, una vez dentro del cuerpo, interactúa con los órganos y modifica su estructura molecular. Algo similar ocurre con la radiación β : al ser un poco más penetrante, los daños por la exposición son un poco más profundos.

En el caso de la radiación γ , si bien tiene un poder de ionización muy bajo, es muy penetrante y, por eso, provoca siempre graves daños en el organismo.

Fisión nuclear



Cuando, en un núcleo excitado, las fuerzas de repulsión eléctricas superan la interacción fuerte, este se deforma y se divide en dos.

¿Cuándo se descubrió la fisión nuclear?

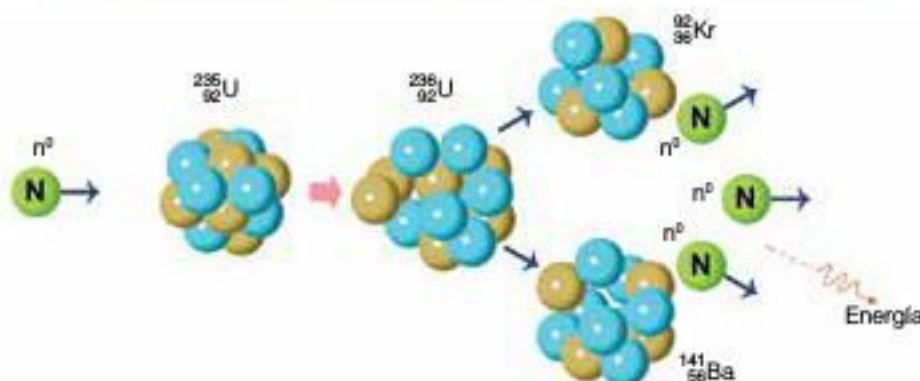
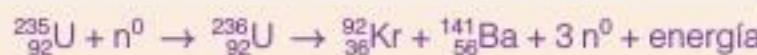
A partir del descubrimiento del neutrón, los físicos dispusieron de proyectiles para bombardear núcleos atómicos. Al bombardear uranio, algunos grupos de investigación encontraron la formación de núcleos más livianos. La física austriaca Lise Meitner, en enero de 1939 publicó la explicación de la ruptura del núcleo atómico en núcleos más livianos y la generación de gran cantidad de energía. A este proceso lo denominó fisión nuclear. Los principales laboratorios ubicados en Alemania y Estados Unidos, beligerantes en esa época en la Segunda Guerra Mundial, comenzaron las investigaciones de la fisión con fines bélicos.



Lise Meitner, física austriaca (1878-1968). Junto con madame Curie, fueron las mujeres que se destacaron en el campo de la Física nuclear durante el siglo xx.

Otra manera de obtener energía en reacciones nucleares es por la fisión nuclear. La **fisión** es una manera de volver a estados de energía fundamentales de los núcleos que tienen más de 230 nucleones ($A > 230$). Cuando la energía de excitación del núcleo es muy grande, la repulsión electrostática provoca una deformación del núcleo que finaliza con su ruptura en dos partes llamadas "fragmentos de fisión".

Rara vez la fisión se produce espontáneamente, sino que es provocada por la captura de un neutrón por parte del núcleo. Solo algunos núcleos pesados son tan inestables que son capaces de fisionarse espontáneamente, aunque es más probable que emitan una desintegración β para recuperar la estabilidad. Pero, al absorber un neutrón, el núcleo se queda con la suficiente energía de excitación como para romperse. El uranio es el más pesado de los elementos naturales. Uno de sus isótopos, el $^{235}_{92}\text{U}$, es utilizado en la fisión. Al capturar un neutrón, queda en $^{236}_{92}\text{U}$, tan inestable que se rompe en dos núcleos, y quedan libres dos o tres neutrones. Los núcleos resultantes pueden ser diversas combinaciones; la más común es la obtención de kriptón $^{92}_{36}\text{Kr}$, bario $^{141}_{56}\text{Ba}$ y 3 neutrones.



Al fisionarse un núcleo y convertirse en núcleos más estables y en estados energéticos fundamentales, se libera la energía "sobrante". Al igual que en la fusión nuclear, esa energía está relacionada con la energía de enlace de los nucleones y se determina por la diferencia de masa entre el núcleo original y los fragmentos de la fisión.

Si se hace el cálculo de la masa para el caso particular de la fisión del uranio en kriptón y bario, al comienzo del proceso es la suma de la masa del uranio-235 y del neutrón:

$$m_i = m_{\text{U235}} + m_{n0} = 3,9026 \cdot 10^{-25} \text{ kg} + 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,919348 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

Al final de la fisión, la masa total es la suma de las masas de los dos fragmentos de fisión más la de los tres neutrones libres:

$$m_f = m_{\text{Kr}} + m_{\text{Ba}} + 3 \cdot m_{n0}$$

$$m_f = 1,52647 \cdot 10^{-25} \text{ kg} + 2,33994 \cdot 10^{-25} \text{ kg} + 3 \cdot 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,916654 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

Se observa que la masa de la suma de los fragmentos de fisión es menor que la masa al comienzo de la reacción, y el defecto de masa es de:

$$\Delta m = m_i - m_f = 3,916654 \cdot 10^{-25} \text{ kg} - 3,919348 \cdot 10^{-25} \text{ kg} = -2,694 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

Para calcular la energía que corresponde a esta diferencia de masa, se utiliza nuevamente la relación establecida por Einstein:

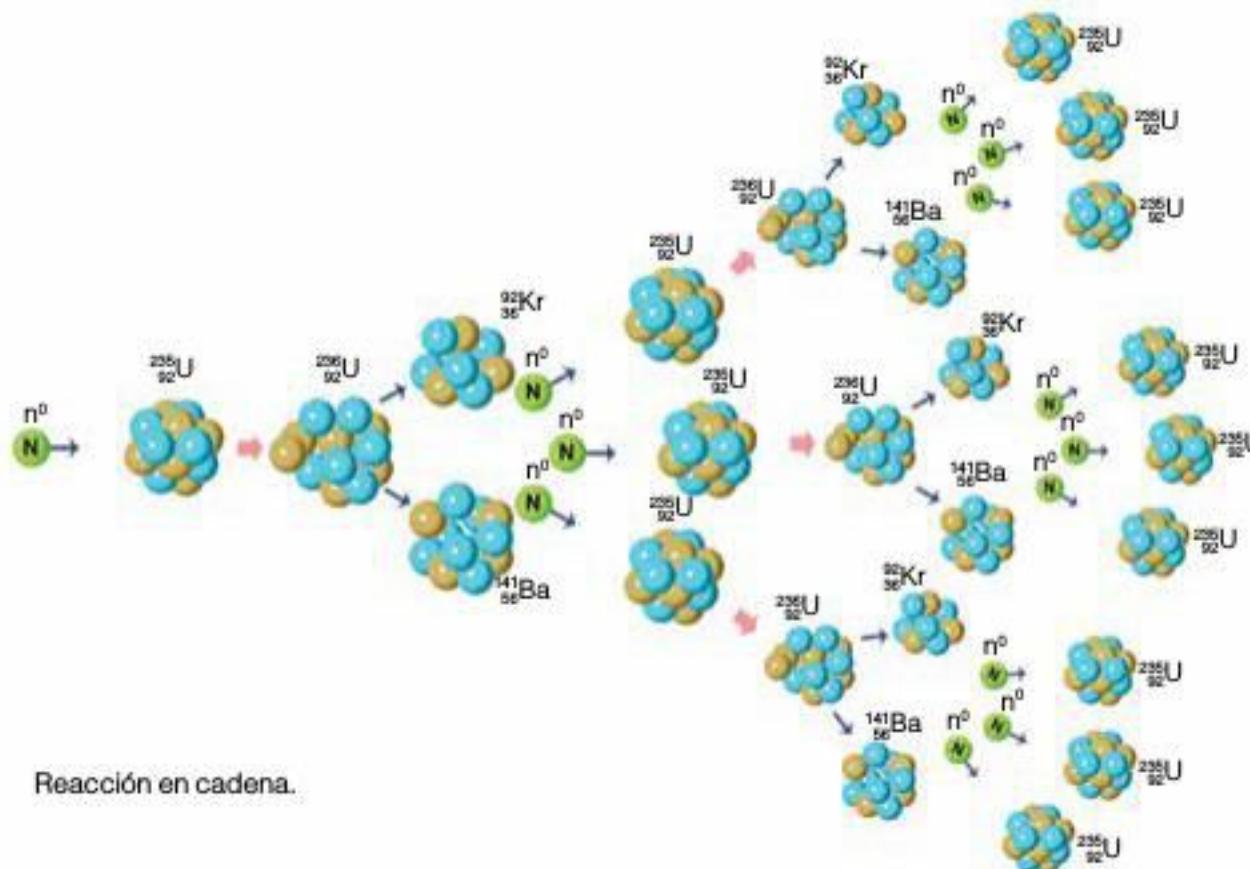
$$E = \Delta m \cdot c^2 = -2,694 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = -2,4246 \cdot 10^{-11} \text{ J} = -151,53 \text{ MeV}$$

Al igual que en la fusión, los signos negativos indican que hay un déficit de masa y una cantidad de energía que se libera.

Al comparar la energía que se libera de la fisión nuclear con la obtenida en otras reacciones nucleares, se observa que es sorprendentemente mayor. Si bien aproximadamente un 15% de esta energía se transforma en energía cinética de los fragmentos de fisión, el resto es energía en forma de radiación γ .

Si se calcula la energía que se obtiene de la fisión de un gramo de uranio, se obtiene $4,89 \cdot 10^{23}$ Mev, es decir, 78300 MJ. Esta cantidad de energía alcanza para abastecer una casa promedio durante, aproximadamente, siete años, ¡con un solo gramo de uranio!

La idea de que un solo neutrón puede inducir la fisión y que de cada fisión quedan dos o tres neutrones libres sugiere pensar en una secuencia de fisión mantenida por sí misma, es decir, que utilice los neutrones libres para desencadenar otras reacciones. Así surgió la idea de provocar una **reacción en cadena**: al fisionarse un núcleo de uranio, se liberan dos o tres neutrones que pueden, a su vez, inducir la fisión de dos o tres nuevos núcleos y así sucesivamente. De esta manera, el proceso es autosostenido, es decir que solo es necesario iniciarla y luego se continúan fisionando todos los núcleos de uranio con los neutrones liberados de cada reacción anterior.



Para que la reacción en cadena se produzca, al menos uno de los neutrones libres de cada fisión debe iniciar otra. A esta situación se la llama situación crítica. La **criticidad** se refiere al equilibrio de neutrones en el sistema. De esta manera, la población de neutrones se mantiene fija y se libera energía en forma constante y sostenida en el tiempo. Un **estado subcrítico** se refiere a un sistema donde la pérdida de neutrones es mayor a la de su producción; en este caso, hay pocos neutrones que inicien fisiones y la reacción comienza a disminuir lentamente hasta detenerse. En cambio, si la producción de neutrones supera su pérdida, la frecuencia de fisiones aumenta, se libera toda la energía más rápidamente y puede, incluso, producirse una explosión; en este caso se denomina **situación supercrítica**.

El uranio es un mineral que se encuentra en la naturaleza en depósitos naturales, en algunas zonas montañosas. En nuestro país hay algunos yacimientos en Salta, Mendoza, Chubut y Catamarca. El uranio natural se encuentra formado básicamente por dos isótopos: un 0,71% de $^{235}_{92}\text{U}$ y el resto es $^{238}_{92}\text{U}$. La fisión ocurre solo en el uranio-235, mientras que el uranio-238 absorbe neutrones sin fisionarse.



Planta industrial de agua pesada ubicada en Arroyito, provincia de Neuquén.

Reactores nucleares

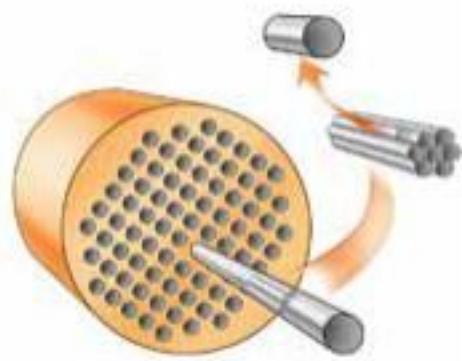
Si bien entre la gente está muy arraigada la idea de vincular la energía nuclear con fines bélicos o perniciosos para el hombre, el aprovechamiento y los usos que se le puede dar a la energía obtenida por fisión nuclear están muy lejos de ello.

Una de las principales aplicaciones es la generación de energía eléctrica, también llamada **energía nucleoeléctrica**. Una central nuclear es muy similar a una central térmica o hidráulica. Como ya se vio en el capítulo 9, en todas ellas hay una fuente primaria de energía que permite mover una turbina y un generador eléctrico para obtener así energía eléctrica.



En las centrales nucleares, la fuente primaria de energía surge de la fisión de núcleos de uranio o plutonio dentro de un **reactor nuclear**. Allí se crean las condiciones especiales para producir una reacción controlada y sostenida.

Hay diferentes tipos de reactores, según el tipo de combustible que utilicen, el elemento moderador y el fluido refrigerante.

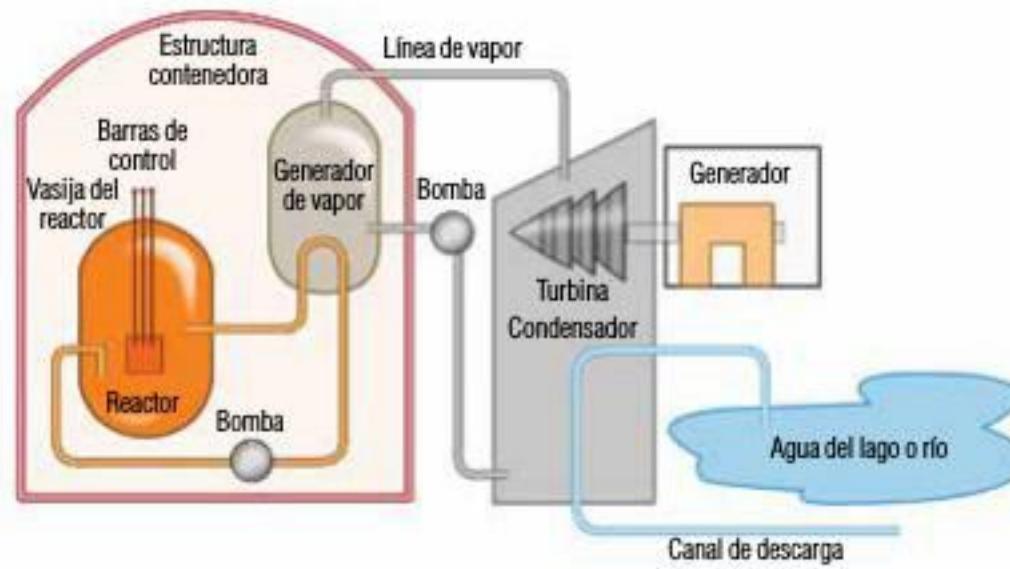


Canales de combustión de un reactor con sus manojo de tubos de zircaloy.

► **Combustible:** puede ser uranio natural, uranio enriquecido (uranio natural con un 3% de $^{235}_{92}\text{U}$) o plutonio $^{239}_{94}\text{Pu}$. El uranio se dispone como dióxido de uranio, en pastillas cilíndricas de aproximadamente 1 cm de diámetro y 1 cm de alto, llamadas pellets, confinadas dentro de tubos de zircaloy (una aleación de zirconio), de 50 cm de largo, herméticamente soldados en sus extremos. Estos tubos son las barras de combustible, que se ensamblan unas con otras y se colocan horizontalmente dentro de canales de refrigeración de 6 m de largo. Este conjunto de canales y tubos forman el núcleo del reactor, que puede llegar a contener 380 canales con 12 manojo en cada uno de ellos.

► **Elemento moderador:** para que los neutrones rápidos generen nuevas fisiones, se debe moderar su velocidad para lograr la reacción. Para ello se utiliza agua pesada, berilio o carbono. Además, posee las barras de control, hechas de boro o cadmio, que absorben algunos neutrones libres. La extracción o inserción de estas barras permite controlar la cantidad de neutrones libres en el reactor y, así, mantener la reacción en estado crítico.

► **Fluido refrigerante:** es el que, además de refrigerar el núcleo del reactor, aprovecha la energía liberada en la reacción y transfiere ese calor hasta las turbinas generadoras de electricidad, a través del circuito secundario de vapor. Se suele utilizar: agua, agua pesada, aire, helio e, incluso, algunos metales fundidos.



Esquema que muestra el funcionamiento de una central nuclear. Se puede observar con animación en www.na-sa.com.ar/centrales/funcionamiento.

En un reactor son imprescindibles los sistemas de protección y blindaje para evitar que tanto los trabajadores de la central, como la población y el medio ambiente de la región, se vean afectados por las radiaciones emitidas.

Los pellets son la primera barrera que retiene algunos de los productos radiactivos de la reacción; la segunda es la carcasa de zircaloy. Todo el núcleo del reactor es colocado dentro de un recipiente de presión construido de acero grueso y diseñado para soportar las altas presiones que puedan ocurrir durante un accidente. Este recipiente, junto con las tuberías y sistemas refrigerantes, es alojado dentro de la cuarta barrera: la estructura de contención, de metal y hormigón, herméticamente cerrada. Finalmente, y como última barrera, el edificio del reactor es el que encierra todas estas estructuras.

Nuestro país cuenta con tres centrales nucleares para la obtención de energía eléctrica:

► **Atucha I:** ubicada en la localidad de Lima, provincia de Buenos Aires. Fue la primera central nuclear del país y fue fundada en 1974. Emplea uranio levemente enriquecido al 0,85%, es refrigerada con agua pesada y su reactor es del tipo PHWR (reactor de agua pesada presurizado). Su núcleo está compuesto de 252 posiciones con canales refrigerantes. El recambio de combustibles se realiza en un promedio de un elemento de combustible por día.

► **Embalse:** ubicada sobre el embalse de Río Tercero, en Córdoba, fue la segunda central nuclear del país y la más grande de Sudamérica. Su reactor es del tipo Candu (Canadian Uranium Deuterium), que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y refrigerante. Además, en este tipo de reactores se produce el isótopo cobalto 60 para su aplicación en la medicina o en la industria.

► **Atucha II:** adyacente a Atucha I, entró en pleno funcionamiento en el año 2015. Es un reactor del tipo PWR (de recipiente de presión) que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y refrigerante.

Además de la producción de energía eléctrica, los reactores se utilizan para realizar tareas de investigación o tecnológicas. Los reactores experimentales de nuestro país son del tipo "pileta", formado por un tanque lleno de agua en el que una disposición de combustible nuclear da lugar a la reacción. Estos reactores son de baja potencia y, en general, usan uranio enriquecido.

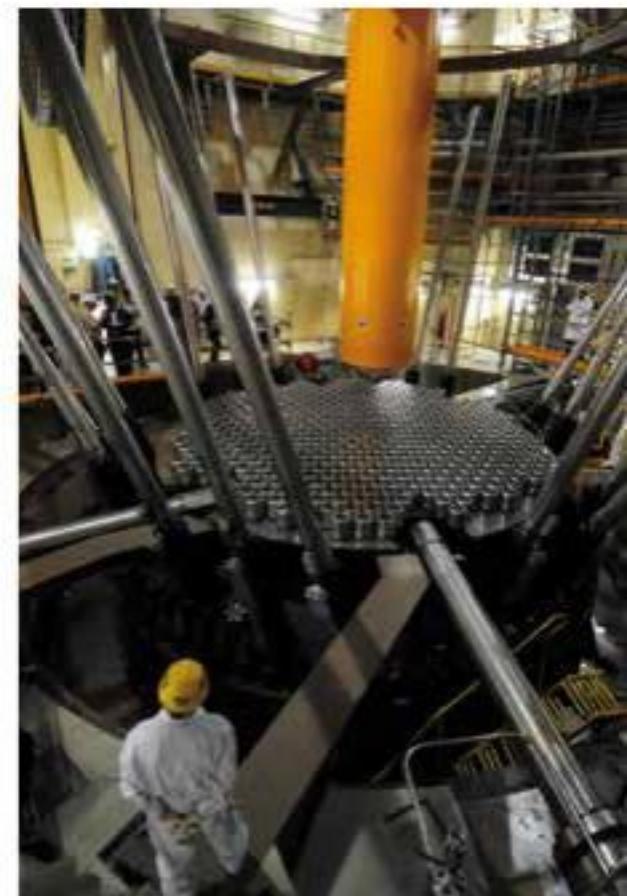
La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) cuenta actualmente con seis reactores de investigación: RA-0, RA-1, RA-3, RA-4, RA-6 y RA-8, ubicados en las provincias de Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y Río Negro. Todos ellos son utilizados tanto para tareas de investigación científica y docente como para la producción de radioisótopos para su uso en la medicina, en la agricultura o en la industria.

En nuestro país se han desarrollado y construido reactores que se utilizan para la investigación y la producción de isótopos útiles en aplicaciones médicas. La empresa estatal Invap, ubicada en Río Negro, no solo ha construido estos reactores, sino que ha exportado otros a países como Perú, Egipto, etcétera.

Actualmente, la Comisión Nacional de Energía Atómica está desarrollando el reactor de potencia CEREM25 que podrá entregar 25 MW y funcionar como una pequeña central eléctrica nuclear.



Reactor RA-6, que se encuentra en el Centro Atómico Bariloche.



Barras de control de un reactor de la central nuclear Atucha I.

Central nuclear	Atucha I	Embalse	Atucha II
Tipo de reactor	PHWR	CANDU	PWR
Combustible	Uranio enriquecido al 0,85%	Uranio natural	Uranio natural
Moderador	Agua pesada	Agua pesada	Agua pesada
Refrigerador	Agua pesada	Agua pesada	Agua pesada
Potencia instalada	357 MW	648 MW	745 MW

Tabla comparativa de las tres centrales nucleares de la Argentina.

La ética en la ciencia actual



"Como resultado de trabajar con sustancias tan tóxicas, nuestras mentes se nublaron tanto que perdimos todo escrúpulo".

Otto Hahn.

La obra teatral "Copenhague", de Michael Frayn, trata sobre el misterioso encuentro de Werner Heisenberg (Alemania, 1901-1976) y Niels Bohr (Dinamarca, 1885-1962), dos de los más grandes científicos de la Física nuclear, producido en 1941, en dicha ciudad y en plena guerra. Hacia el final del primer acto, Heisenberg dice, refiriéndose al equipo de científicos que trabajaron en el operativo Manhattan, liderado por Julius Oppenheimer, y que luego lanzarían la bomba sobre Hiroshima:

"Heisenberg: ¿Acaso uno solo de ellos se detuvo a pensar por un instante qué estaban haciendo? ¿Lo hizo Oppenheimer o alguno de sus colegas? ¿Lo hizo Einstein cuando le escribió a Roosevelt en 1939 urgiéndolo a financiar una investigación sobre la bomba? ¿Lo hiciste vos cuando escapaste de Copenhague dos años más tarde y te uniste al equipo de Los Álamos?"

Bohr: ¡Mi querido Heisenberg, no le estábamos suministrando la bomba a Hitler!

Heisenberg: Tampoco la estaban dejando caer sobre la cabeza de Hitler. La estaban arrojando sobre viejos en la calle, sobre madres con sus hijos.

[...]

Heisenberg: ¿Tiene uno, como físico, moralmente el derecho para trabajar en la explotación práctica de la energía atómica?".

El autor de la obra teatral intenta reconstruir el diálogo nunca revelado entre los dos científicos, abriendo un debate ético sobre el uso de la energía nuclear. Pero este debate también se extiende a todo el conocimiento científico.

El desarrollo científico, como actividad humana que busca explicar y predecir fenómenos de la naturaleza, estuvo acompañado desde siempre por descubrimientos y nuevos conocimientos que permitieron aplicarlos a nuevas tecnologías e investigaciones. Si bien el conocimiento en sí mismo no es ni bueno ni malo, sus aplicaciones y usos son los que determinan si son correctos o no, y hacen que la ética tenga un lugar indispensable dentro de la ciencia. Así, resulta necesaria la existencia de principios éticos que rijan los efectos que el conocimiento científico y la tecnología tienen sobre la sociedad y el ambiente. Estos principios deben estar por encima de los intereses políticos, económicos o de poder y supremacía.

Muchas de las investigaciones del siglo XX fueron desarrolladas sin pensar en sus aplicaciones bélicas. Sin embargo, bajo un clima de guerra y presiones políticas y económicas, algunos científicos se vieron en la obligación moral de desarrollar armas nucleares. Y muchos de ellos, al ver los resultados en Hiroshima y Nagasaki, se arrepintieron y modificaron su postura.

Otto Hahn (1879-1968), químico alemán que desarrolló la fisión nuclear y que colaboró en el fallido esfuerzo alemán para construir una bomba nuclear, al finalizar la guerra, se destacó como un firme opositor al uso de las armas nucleares.

a>

1. Investiguen sobre las bombas lanzadas sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki: el aspecto histórico y político, la cantidad y los tipos de bombas utilizadas, los daños y las consecuencias posteriores.
2. En algún otro momento y lugar, ¿se utilizaron bombas que se basaran en la fisión nuclear?
3. ¿Cuáles son los acuerdos internacionales que restringen el uso de la fisión nuclear y en qué se basan?



Albert Einstein también fue cuestionado muchas veces por la carta que le envió al presidente de los Estados Unidos, en 1939, pidiéndole apoyo financiero para la investigación de la reacción en cadena y, por lo tanto, para el desarrollo de una bomba nuclear. Pero luego, en 1955, junto con el filósofo Bertrand Russell (Gran Bretaña, 1872-1970) y un grupo de científicos, firmó el Manifiesto Russell-Einstein, en el que instaban a los gobiernos a tomar conciencia de las consecuencias del uso de las armas nucleares para toda la población mundial.

Por otro lado, el aspecto ético en la ciencia también se debe tener en cuenta al respetar las normas de seguridad, ya sea en los procedimientos como, por ejemplo, en los sistemas de protección y de control dentro de los reactores nucleares, en el tratamiento de los residuos de algunos procesos nucleares o tóxicos, o en las investigaciones y en las pruebas realizadas, para que no pongan en riesgo a la población.

Existen organismos internacionales que controlan estas medidas de seguridad, tendientes a evitar o minimizar los accidentes y riesgos para el personal de las plantas y los alrededores, pero respetarlas es responsabilidad de los gobiernos y de la comunidad científica.

Muchas veces un accidente es causado por alguna catástrofe natural, pero se pueden minimizar sus efectos sobre la población. Por ejemplo, el terremoto seguido de tsunami producido en la ciudad de Fukushima, en Japón, en marzo de 2011, provocó serios daños en la planta de energía nuclear de dicha ciudad. La construcción y el manejo de la central siguió las medidas de seguridad establecidas, así como el correcto seguimiento de los procedimientos internacionales para situaciones de emergencias, permitió reducir al mínimo los riesgos de este accidente sobre la población. Pero también han ocurrido accidentes nucleares con importantes consecuencias sobre la población y el ambiente. El más grave fue el de la central nuclear de Chernobyl, Ucrania, en 1986, declarado de nivel 7 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES). Luego se descubrió que, además de errores de diseño del reactor, hubo errores humanos que violaron las reglas de operación y seguridad, junto con decisiones político-económicas que llevaron a esa situación.

En definitiva, la ciencia es una actividad humana, llevada adelante por seres humanos, seres individuales con sus propias virtudes y defectos y que, a cada momento, deben tomar decisiones; decisiones que están influenciadas por sus miedos, intereses, dudas, ambiciones y convicciones, decisiones humanas, al fin.

Manifiesto Russell-Einstein

Tres meses después de la muerte de Albert Einstein, el 9 de julio de 1955, se publicó el Manifiesto Russell-Einstein en el que se advertía a los gobiernos del peligro, real en ese momento, de una guerra nuclear.

Además de esa advertencia, se dirigía al rol de los propios científicos en los desarrollos bélicos y la necesidad de que actúen como voceros frente a los políticos, que según este manifiesto, no tenían una conciencia clara de lo que podía significar una guerra nuclear.

En su presentación dice: *En la trágica situación que enfrenta la humanidad, creemos que los científicos deben reunirse en conferencia para evaluar los peligros que han surgido como consecuencia del desarrollo de armas de destrucción masiva, y para discutir una resolución en el espíritu del borrador adjunto.*

Y agrega luego: *Estamos hablando en esta ocasión, no como miembros de esta u otra nación, continente o credo, sino como seres humanos, miembros de la especie Hombre cuya existencia continuada está en duda.*



El accidente en la central nuclear de Fukushima, causado por el terremoto y tsunami del 11 de marzo de 2011, fue declarado de nivel 5 en la escala INES.



Debajo de la escala / Nivel 0
SIN SIGNIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD

La escala INES, establecida por organismos internacionales, se aplica a cualquier suceso asociado con el transporte, el almacenamiento y el uso de materiales radiactivos y de fuentes de radiación, independientemente de que ocurra o no en una instalación.

Actividades finales

1. Los átomos se estudian como cajas negras, analizando "entradas y "salidas". Identifiquen algunas entradas y salidas que permitieron conocer y estudiar el átomo, y completen el esquema.

Entradas:

- -
 -
 -
- Átomos
- -
 -
 -

6. En la página 219 se calculó la energía que se obtiene de la fusión del hidrógeno (alrededor de 25 Mev). ¿Cuántas fusiones son necesarias para liberar la misma energía que aporta un chocolate? Busquen la información necesaria en los datos nutricionales del envoltorio.



2. Realicen una cronología de la evolución del modelo atómico y del modelo nuclear. Para cada modelo, indiquen qué corrige del modelo anterior y qué cosas aún no podía explicar.

3. ¿Podemos decir que el modelo cuántico del átomo y el modelo estándar del núcleo son definitivos? ¿Por qué?

4. La energía de los géiseres, fumarolas y aguas termales es de origen nuclear. ¿De dónde proviene esa energía? ¿Qué tipo de reacción nuclear es la que la origina?

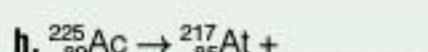
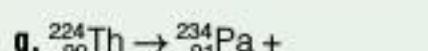
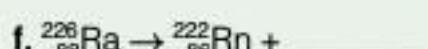
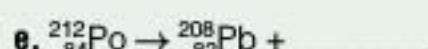
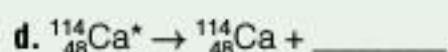
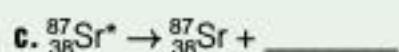
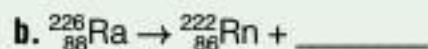
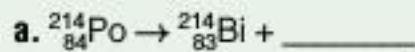


5. El elemento químico más pesado que existe en la naturaleza es el uranio. A partir del número atómico 93, a los elementos se los conoce como transuránicos ("más allá del uranio"). ¿Cómo se obtienen estos elementos? ¿Para qué se los utiliza?

7. Relean la información de las páginas 223 a 225 y completen el cuadro según las características de cada tipo de radiación.

	Partículas α	Partículas β	Rayos γ
Descripción			
Tipo de carga eléctrica			
Interacción con campos electromagnéticos			
Nivel de penetración y alcance			
Poder de ionización			

8. Completén la ecuación de cada desintegración con el tipo de radiación emitida. Como se indica en la página 225, el asterisco (*) significa un estado excitado del núcleo.



9. Luego del terremoto de Fukushima y de los accidentes en los reactores nucleares, las autoridades evacuaron toda la zona de los alrededores a las plantas nucleares y recomendaron a la gente que se encontraba entre 20 y 30 km de distancia que se quedaran dentro de sus casas y minimizaran el tiempo al aire libre. Den una justificación científica a estas medidas.



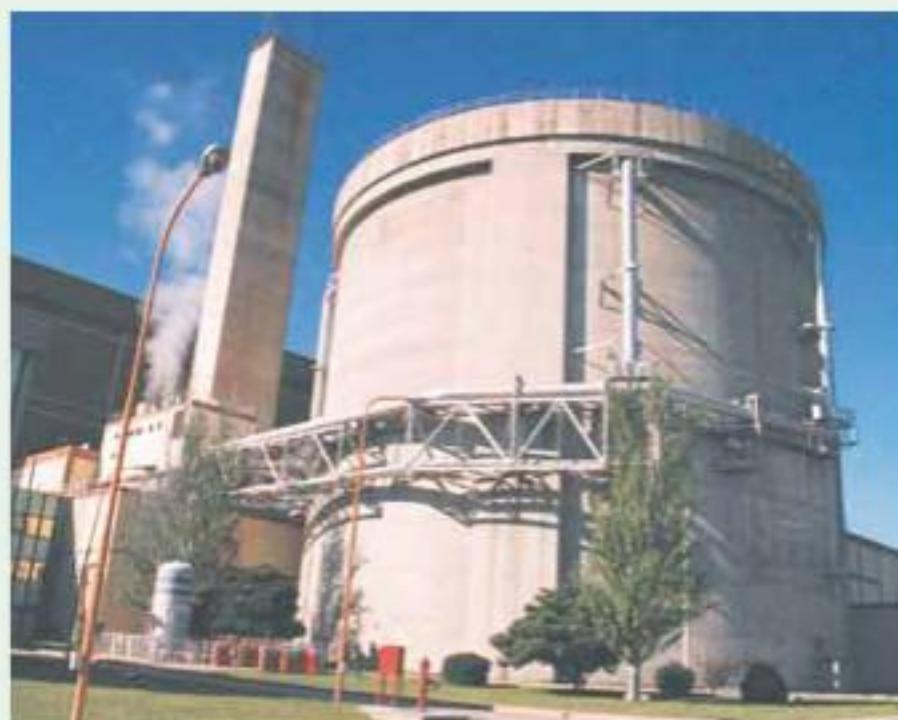
10. Un núcleo de radio $^{226}_{88}\text{Ra}$ emite 5 partículas α y algunas desintegraciones β , y queda plomo $^{206}_{82}\text{Pb}$.

a. Escriban la ecuación correspondiente a la reacción, indicando cuántas desintegraciones β son necesarias.

b. Calculen cuánta energía se libera de la desintegración de un átomo de radio, sabiendo que: $m_{\text{Ra}} = 3,75 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$, $m_{\text{Pb}} = 3,41 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$, $m_{\alpha} = 6,6459 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ y $m_{\beta} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

c. Suponiendo que se pueda utilizar toda la energía liberada de la desintegración del radio para abastecer una casa, ¿para cuánto tiempo alcanza si se desintegra totalmente un gramo de radio?

11. Suponiendo que toda la energía que entrega la central Embalse al sistema interconectado nacional provenga de la fisión de todo el uranio colocado en los elementos combustibles, es decir que no hay pérdidas de energía ni queda ningún átomo de uranio sin fisionarse, ¿cuántos kilos de uranio natural necesitaría la central Embalse por día?



12. a. Averigüen la distancia, medida en años luz, a la que se encuentra la estrella más cercana al Sol.

b. ¿Cuánto tardaría una nave espacial que viajara a una velocidad de 10000 km/h en llegar desde nuestro Sistema Solar hasta las inmediaciones de esa estrella?

13. En la página de Internet de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se puede buscar dentro de "Aplicaciones nucleares" el rubro "Irradiación de alimentos".

a. ¿Qué técnicas se utilizan para irradiar los alimentos?

b. ¿Cuáles son las consecuencias de la irradiación?

c. ¿Qué tipos de alimentos se tratan?

d. ¿Cómo se protege a los operarios que trabajan en la planta de irradiación a partir del cobalto?

e. ¿Qué otras aplicaciones de la energía nuclear describe esta página de Internet?

Actividades finales

14. La luz viaja a una velocidad de 300.000 km/s. Cuando por la noche vemos una estrella ubicada a 100 años luz la estamos viendo en realidad como era hace 100 años, cuando la luz que nos llega hoy partió de ella. Si el Sol se encuentra a 150 millones de kilómetros de la Tierra, cuando lo miramos, lo estamos viendo como era ¿hace cuánto tiempo?



15. Alfred Bernhard Nobel (1833-1896) fue un químico y empresario sueco que, en su testamento, dejó toda su fortuna para que su fundación dé un premio con su nombre. Investiguen sobre la vida de Nobel y sobre la Fundación Nobel y respondan.

- a. ¿Cuáles fueron las causas que motivaron a Nobel a realizar dicho testamento?
- b. ¿En qué ramas se otorga el premio Nobel y cuál es la condición que deben cumplir los elegidos?
- c. ¿Desde qué año se otorga el Premio Nobel y en qué ocasiones se dejó de hacerlo?
- d. El premio que se otorga en el área de Economía, ¿es un Premio Nobel? ¿Por qué?



16. Todos los isótopos radiactivos están caracterizados por un tiempo característico llamado **vida media** (T). En ese tiempo, el número de núcleos de ese isótopo se reduce a la mitad por emisión radiactiva. Los valores de vida media de los isótopos son muy variados. Por ejemplo, el del uranio 238 es de 4500 millones de años, mientras que el del uranio 339 es de 23 minutos. Consultando la página www.portalplaneta-sedna.com.ar/animaciones_fisica.htm realicen la simulación de la muestra radiactiva y observen el gráfico que indica el porcentaje de núcleos no desintegrados en función de la vida media (T) del isótopo.

- a. ¿Puede predecirse qué núcleos de la muestra se van a desintegrar?
- b. ¿Cuántos núcleos quedan sin desintegrar después de que ha transcurrido un tiempo igual a la vida media (T)?
- c. Si se esperara el tiempo suficiente, ¿se desintegrarían todos los núcleos?
- d. Realicen la simulación para determinar cuándo quedan 500 núcleos sin desintegrar de los 1000 iniciales; luego, calculen cuánto tardan en quedar 250 y después cuánto para que queden 125 núcleos.
- e. ¿Cuál es la conclusión de las simulaciones del ítem d?

17. A partir de las conclusiones de la actividad anterior referidas a la vida media que caracteriza a los materiales radiactivos, realicen las siguientes actividades.

- a. Investiguen cómo es posible determinar la antigüedad de los restos de animales, plantas y de algunos objetos confeccionados por el ser humano utilizando la radiactividad del carbono 14, que es un isótopo radiactivo del carbono que se encuentra en los seres vivos.
- b. La vida media del carbono 14 es de 5730 años. ¿Cuál es la antigüedad de un recipiente de madera hallado en una excavación, si el número de núcleos de carbono 14 presentes en el recipiente es la octava parte del valor que tenía originalmente?

18. El isótopo del uranio 238 ($^{238}_{92}\text{U}$) es un emisor de partículas alfa. Al elemento que se forma por esta emisión lo llamamos X_1 , es emisor beta y se transforma en el elemento X_2 . Este último también es emisor beta y se transforma en el elemento X_3 , que es emisor alfa y decae en el elemento X_4 . Identifiquen, mediante el uso de la tabla periódica, los nombres de los elementos X_1 , X_2 , X_3 y X_4 .

Para conocer más

Asimov, I., *Nueva guía de la ciencia (ciencias físicas)*, Barcelona, RBA Editores, 1993.

Hewitt, P., *Física conceptual*, México, Pearson Addison Wesley, México, 2007.

Rousseau, P., *Del átomo a la estrella*, Buenos Aires, El Ateneo, 1978.

► Índice alfabético

aceleración	41, 47, 56, 57	ciclo de carbono	218	los gases ideales	104, 109
acelerador de partículas	222	ciclo de carnot	122, 123	ecuación horaria	55
agua	73, 77, 78, 79, 84, 87, 132, 133, 182	ciclo del agua	79	efecto fotoeléctrico	186, 187, 188
aislante	80, 81, 161	ciclo diésel	127	efecto invernadero	31, 88, 111, 197,
alternador	194	ciclo otto	126		199, 201
ampere (a)	157	ciclo protón-protón	218	efecto joule	162, 202
amperímetro	164, 168	cifras significativas	9	efecto túnel	34
batería	33, 152, 155, 184	circuito eléctrico	154, 163	elasticidad	49
bobina	192, 193, 203	combustible	87, 126, 127, 183	electricidad	33
caída libre	40, 55	combustión	27, 33, 110, 126, 127	electrodinámica	157
caja negra	209	conducción	80, 81, 82, 86, 141, 142,	electromagnetismo	157, 174
calor	16, 17, 54, 63, 64, 65, 72, 73, 80, 96,		143, 145	electrón	34, 156, 186, 187, 188, 212, 214,
	97, 98, 105, 134	conductividad	80		215
calor de fusión	77	conductividad eléctrica	160	electrón de conducción	156, 160
calor específico	73, 74, 75, 78, 96, 106	conductividad térmica	80, 81	electrón-volt (ev)	217
calor latente	77, 78	conexión a tierra	172	energía	14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 32, 33, 46,
caloría	17, 24, 59, 73, 98, 139	conexión en serie	166		50, 52, 60, 91, 131, 140, 141, 144
calórico	72, 97, 119, 134	conexión en paralelo	166, 167	energía cinética	18, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 60
calorimetría	73	conexión mixta	168	energía cinética media	100
cambios de estado	76, 77, 78, 79	constante de gravedad universal	56	energía de enlace	217
campo gravitatorio	48	constante de planck	86, 187, 213	energía de los alimentos	139, 140, 145, 154
campo magnético	156, 190, 192	constante elástica	18, 49	energía eléctrica	15, 26, 30, 31, 58, 151,
carga eléctrica	155, 157, 160	contaminación	7, 37, 79, 132, 153, 184, 199	152, 153, 172, 179, 180, 181, 182, 183, 184,	
celda	155	convección	80, 82, 86, 111, 141, 142		185, 186, 190
celda de combustible	185	corriente	79	energía electromagnética	15
celda electroquímica	184	corriente alterna	159, 172, 194	energía interna	94, 100, 101,
celda fotovoltaica	155	corriente continua	194	energía lumínica	15, 153
celda solar	188	corriente convectiva	82, 84	energía mecánica	15, 50, 51, 52, 53, 190
central	30	corriente eléctrica	156, 173, 192	energía metabólica	58, 59
central eléctrica	30, 31, 180, 182	corriente subterránea	79	energía nuclear	15, 226, 228, 229, 230
central eólica	30, 31, 180, 182, 199	coulomb (c)	155	energía potencial	52, 54, 57, 60, 100, 118,
central fotovoltaica	31, 182, 189	crisis energética	7, 21, 37, 125, 131, 153,		182
central geotérmica	183, 200		179, 201	energía potencial elástica	18, 49, 50, 51, 54
central hidroeléctrica	30, 31, 33,	cuanto	86, 186, 187	energía potencial gravitatoria	46, 48, 50, 57
	180, 182, 195	cuerpo humano	29, 94, 142, 167, 173, 227	energía química	15, 184, 185
central mareomotriz	30, 183, 196	cuerpo negro	85, 86, 210	energía solar	138, 182, 186, 188, 189
central nuclear	30, 31, 33, 179, 180, 182,	densidad	79, 82	energía térmica	32
	198, 230, 231	difracción	213	entropía	125
central olamotriz	196	dilatación	70	equilibrio	13, 51, 64
central reversible	182	dilatación anómala del agua	70	equilibrio térmico	64, 65, 75, 78
central solar	30, 31, 180, 182, 189	dilatación lineal	71	escala celsius	66, 67
central térmica	30, 31, 180, 182, 197	ecología	131	escala fahrenheit	66, 67
central termosolar	189	ecuación calorimétrica	74	escala ines	233
ciclo	105, 113, 121	ecuación general de estado de		escala kelvin	66

escala termométrica	66	gráfico circular	204, 205	luz solar	211
espectro	83, 210, 211,	gráfico de barras	204, 205	magnitudes físicas	8
espectro de absorción	210, 212, 213	gráfico de curva	204	máquina de carnot	122, 123
espectro de emisión	210, 212, 213	gran colisionador de		máquina de herón	92
espectro electromagnético	83, 190	hadrones (lch)	35, 222	máquina de newcomen	93
espectroscopía	210	gravedad	18, 43, 48, 55, 56, 57, 60	máquina de vapor	32, 72, 92, 93, 119, 120
estrellas	207, 218, 220, 221	heladera	123, 128, 129	máquina de watt	93
ética	232	hertz (hz)	83, 159	máquina frigorífica	123, 124
evolución adiabática	110, 111, 113, 122,	huella del carbono	133	máquina térmica	33, 86, 93, 94, 95, 97,
	126, 127	huella ecológica	133		120, 121, 122, 123, 126, 137
evolución cerrada	105	imán	190, 192, 203	masa	17, 41, 46, 48, 56, 57, 74, 217
evolución estelar	220	ímpetu	60	masa atómica	214
evolución isobárica	103, 104, 108, 113	inducción electromagnética	190, 191, 194	materia	11, 60, 76, 99, 100, 137
evolución isocórica	103, 104	inercia	40	mecánica	38, 43, 60
evolución isotérmica	103, 109, 113, 122	intensidad de corriente		mecánica cuántica	34, 209, 213
fisión nuclear	93, 182, 198, 228, 229,	intensidad eléctrica	17, 157, 158, 161, 162,	mecánica ondulatoria	213
	230, 232		164, 168, 169, 170	microscopio de efecto túnel	34
fotón	187	intensidad luminosa	17	microtecnología	35
fotosíntesis	138, 144	interacción fuerte	216	modelo	209
frigoría	24, 63	interacción gravitatoria	56	modelo atómico	212
fuente	154, 155	interacción débil	224	modelo atómico actual	213
fuente electroquímica	155	isótopo	215	modelo atómico de bohr	212
fuerza	16, 19, 38, 39, 60, 97	joule (j)	17, 24, 45, 59, 98, 162	modelo atómico de rutherford	212, 214
fuerza conservativa	50, 52	kilowatt·hora (kw·h)	24	modelo atómico estándar	215
fuerza de rozamiento	40, 54	ley de boyle	103	modelo nuclear	214
fuerza elástica	49, 50, 54	ley de charles y gay lussac	104	motor	28
fuerza electromotriz	155, 157, 193	ley de faraday-lenz	193, 194, 202	motor de combustión interna	28, 93,
fuerza gravitatoria	48, 50, 52, 56, 57	ley de fourier	81		120, 126, 132
fuerza no conservativa	50, 54	ley de gravitación universal	38, 56, 174	motor de dos tiempos	127
fuerza normal	40	ley de ohm	158, 159, 160, 162, 163, 166,	motor diésel	110
fuerza nuclear fuerte	216		167, 168, 169, 171	motor eléctrico	33, 203
fuerza resultante	47	ley de planck	86	motor gasolero	127
fuerza viva	47, 98	ley de stefan-boltzmann	85, 86, 142, 210	motor naftero	126
función armónica	51	ley de wien	86	móvil perpetuo	118, 130
función trabajo	187	leyes de los gases ideales	103	movimiento	38, 39, 41, 44, 45, 46, 55, 60,
fusible	173	leyes de kepler	38		72, 92
fusión	76, 77, 78	leyes de kirchhoff	170	movimiento armónico amortiguado	51
fusión en frío	219	leyes de newton	38, 57, 59, 174	movimiento periódico	51
fusión nuclear	29, 182, 218, 224	líneas de alta tensión	181	movimiento planetario	38, 43
gas	95, 106	líneas de distribución	181	movimiento uniforme	39, 40
gas ideal	100, 103, 104, 105, 112	líneas de fraunhofer	211	multímetro	164, 165
gas natural	32	líneas de inducción	190	neutrón	214, 216, 225, 228, 229
gas natural comprimido (gnc)	126	líneas de tendencia	205	notación científica	23
generador eléctrico	33, 155, 182, 190, 194	líneas espectrales	209, 213	núcleo	216
generador eólico	181	longitud de onda	83, 85, 86, 87, 211	nucleón	215
generador solar	181	luz	68, 83	número atómico	215
gráfico	105, 174, 175, 204, 205	luz visible	83, 85, 87	número másico	215

ohm (Ω)	158		224, 225, 226, 227	temperatura corporal	140, 141, 142, 143
ohmímetro	164, 165	radiación alfa	223, 227	temperatura de ebullición	77
ondas	17, 211, 213	radiación beta	223, 224, 227	temperatura de fusión	77
ondas de radio	33, 83	radiación gamma	83, 214, 223, 225, 227	tensión	171
ondas electromagnéticas	17, 19, 33, 83, 182	radiación electromagnética	186	teorema del trabajo y la	
parque eléctrico	31, 179, 180, 181	radiación infrarroja	83, 85, 87, 142	energía cinética	47
parque eólico	199	radiación natural	223	teoría cinética de los gases	103
pascal (pa)	95	radiación térmica	83	teoría cinético-molecular	65, 76
péndulo	51	radiación ultravioleta	83, 87	teoría cuántica	86
peso	40, 54, 55, 56, 60	radiactividad artificial	225	teoría de ímpetus	60
petróleo	32, 132	radiactividad natural	223	teoría de la relatividad	209
pila	33, 152, 155, 184	radioisótopos	225, 226, 231	teoría de la relatividad especial	217
pila alcalina	184	rayos x	83	teoría del big bang	221
pila de hidrógeno	185	reacción en cadena	229, 233	teoría del calórico	72, 97, 119
pila seca	184	reactor nuclear	33, 182, 198, 230, 231, 233	teoría ondulatoria	186
planetas	56, 57	refrigeración	128, 129	tercera ley de newton	39, 42
planilla de cálculo	55, 175, 205	regla de la mano derecha	190	termodinámica	91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99,
poder calorífico	27	regla de la mano derecha modificada	191		111, 130
polos	190, 193	regulación térmica	141, 142, 143	termómetro	64, 68,
potencia	22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 152	resistencia	158, 160, 161, 165, 166	termorregulación	141
potencia eléctrica	19, 152, 162, 163	resistencia equivalente	166, 167, 168, 169	tesla (t)	190
potencia instalada	30, 31, 180	resistividad	160, 161	trabajo	16, 19, 44, 47, 54, 94, 95, 105
potencia media	26	resorte	18, 49, 51, 54	trabajo exterior	94
potencia motriz	119	rozamiento	50, 51, 52, 53, 55, 58, 72, 94	trabajo físico	141
premio nobel	86, 91, 97, 186, 188	segunda ley de kirchhoff	171	trabajo mecánico	32, 44, 45, 47, 48, 49, 140
presión	70, 76, 95, 96, 103, 104	segunda ley de newton	39, 41	trabajo muscular	141
presión atmosférica	76, 111, 141	segundo principio de la termodinámica		trabajo termodinámico	95
primera ley de kirchhoff	170		117, 119, 120, 122, 123, 125, 130	transferencia de energía	16, 63
primera ley de newton	39, 40	siemens (σ)	160	transformaciones de energía	16, 137
primer principio de la termodinámica	91, 97, 98, 101, 102	sievert (sv)	227	transformador	181, 202
principio cero de la termodinámica	64	simulador	51, 53, 112, 113, 163	transistor	34, 35, 188
principio de conservación de la carga		sistema	10, 94, 95, 96, 99	uma	214
eléctrica	156, 170	sistema abierto	11	variable	12, 174, 175, 204, 205
principio de conservación		sistema adiabático	99	variable de estado	12, 64
de la energía	50, 52, 60, 74, 118	sistema aislado	11, 52, 99, 101	variable dependiente	174, 175, 204
principio de conservación de la		sistema cerrado	11, 99	variable independiente	174, 175, 204
masa-energía	217	sistema complejo	11	velocidad	18, 38, 41
principio de incertidumbre	213	sistema físico	10, 64	velocidad de escape	43
principio de inercia	40	sistema inercial	40	velocidad de la luz	83, 217
principio de masa	41, 57	sistema rígido	99	velocidad de la onda	83
protocolo de kyoto	88	sistema simple	11	velocidad media	9
protocolo de montreal	129	sistema termodinámico	99	vis viva	47, 60
protón	214, 216	sol	29, 85, 87, 111, 138, 208, 210, 214,	volt-ampere (va)	152
punto de ebullición	76		218, 220	voltímetro	164, 165
quark	215	superficie	146, 147	volumen	8, 146, 147
radiación	16, 17, 19, 80, 83, 84, 142, 223,	temperatura	64, 66	watt (w)	23, 25, 81, 152
		temperatura absoluta	100	weber (wb)	192

