



**40**  
Educación  
Media

TEXTO PARA EL ESTUDIANTE

# FÍSICA

Felipe Moncada Mijic • Pablo Valdés Arriagada



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN

**Santillana**

**AÑO 2010**

EDICIÓN ESPECIAL PARA EL  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
PROHIBIDA SU COMERCIALIZACIÓN

TEXTO PARA EL ESTUDIANTE

# FÍSICA

4<sup>o</sup>  
Educación Media

**FELIPE MONCADA MIJIC**

LICENCIADO EN EDUCACIÓN Y  
PROFESOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICA,  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

**PABLO VALDÉS ARRIAGADA**

LICENCIADO EN EDUCACIÓN  
PROFESOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICA,  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
MAGÍSTER EN EDUCACIÓN DE LAS CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA (C),  
UNIVERSIDAD DE TALCA



El material didáctico **Física 4°**, para Cuarto Año de Educación Media, es una obra colectiva, creada y diseñada por el departamento de Investigaciones Educativas de Editorial Santillana, bajo la dirección general de:

**MANUEL JOSÉ ROJAS LEIVA**

COORDINACIÓN DE PROYECTO:  
Eugenia Águila Garay

COORDINACIÓN ÁREA CIENTÍFICA:  
Marisol Flores Prado

AUTORES:  
Felipe Moncada Mijic  
Pablo Valdés Arriagada

EDICIÓN:  
Pablo Valdés Arriagada

AYUDANTE DE EDICIÓN:  
Ana Luisa Herrera Monasterio

REVISIÓN DE ESPECIALISTA:  
Marco Olivares Rubilar

CORRECCIÓN DE ESTILO:  
Isabel Spoerer Varela

DOCUMENTACIÓN:  
Paulina Novoa Venturino  
María Paz Contreras Fuentes

La realización gráfica ha sido efectuada bajo la dirección de  
**VERÓNICA ROJAS LUNA**

COORDINACIÓN GRÁFICA:  
Carlota Godoy Bustos

COORDINACIÓN GRÁFICA LICITACIÓN:  
Xenia Venegas Zevallos

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:  
Sebastián Alvear Chahuan

ILUSTRACIONES DIGITALES:  
Carlos Urquiza Moreno

INFOGRAFÍAS:  
Juan Esteban del Pino Briceño  
Carlos Urquiza Moreno

FOTOGRAFÍAS:  
César Vargas Ulloa

CUBIERTA:  
Xenia Venegas Zevallos

PRODUCCIÓN:  
Germán Urrutia Garín

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución en ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

© 2009, by Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones  
Dr. Aníbal Ariztía 1444, Providencia, Santiago (Chile)  
**PRINTED IN CHILE**  
Impreso en Chile por World Color Chile S.A.  
ISBN: 978-956-15-1574-1  
Inscripción N° 187.405  
[www.santillana.cl](http://www.santillana.cl)



La Física es una ciencia que busca explicar el entorno que nos rodea. Para ello se vale de la observación y de la experimentación, con el fin de establecer leyes, principios y teorías que den cuenta del mundo en el que vivimos. Es una ciencia en constante construcción, cuyo desarrollo ha sido posible gracias a varios factores, como el surgimiento del pensamiento científico, los cambios sociales y culturales que ha experimentado el mundo.

Gracias a los logros de la Física, hoy en día podemos ser testigos de los incontables avances tecnológicos. Áreas como la computación, las telecomunicaciones, la aeronáutica, la medicina, entre muchas otras, deben su importante desarrollo a esta ciencia.

Esperamos que al recorrer las páginas de este texto comprendas que fenómenos naturales, como la electricidad y el magnetismo, están regidos por principios y leyes, y que la ciencia es un prisma a través del que podemos ver y entender nuestro entorno. Es importante que reconozcas el enorme vínculo que existe entre las distintas disciplinas científicas y cómo se nutren unas de otras. Es por ello que debes considerar que el conocimiento científico no surge de forma aislada, sino que es un proceso transversal al ser humano y que, de una u otra forma, todos somos parte de él.

# Organización del texto

El texto de Física 4º se organiza en dos unidades. La primera unidad consta de tres capítulos y la segunda unidad, de dos. A continuación, se describen las características principales de los tipos de páginas que encontrarás en este libro.

## 1. INICIO DE UNIDAD

Doble página inicial, en la que aparece una serie de imágenes representativas de los temas que se tratarán en esta unidad.

### Introducción

Texto que hace una breve presentación de los contenidos de la unidad.



### Aprenderás a

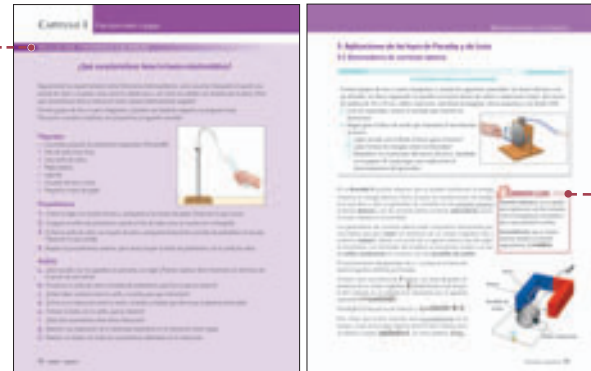
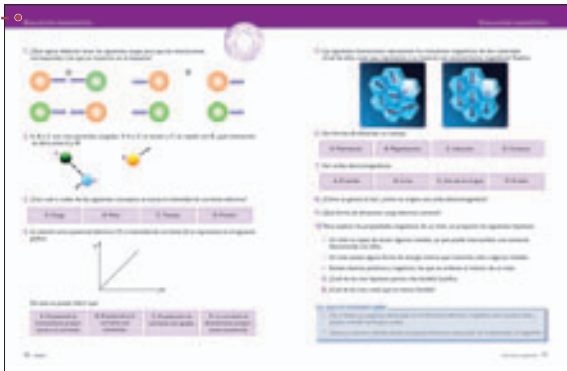
Listado de los aprendizajes esperados de la unidad.

### Actividad inicial

Preguntas relacionadas con las imágenes representativas de la unidad.

## 2. EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

Evaluación inicial destinada a medir los conocimientos previos necesarios para abordar la unidad. Incluye un recuadro "Lo que me gustaría saber" con preguntas factibles de ser respondidas durante la unidad.



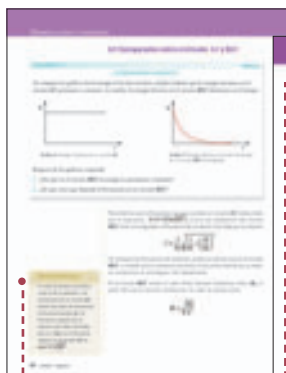
## 3. DESARROLLO DE CONTENIDOS

### Indagación

Actividad exploratoria cuya finalidad es introducir los contenidos mediante la formulación de preguntas y planteamiento de hipótesis.

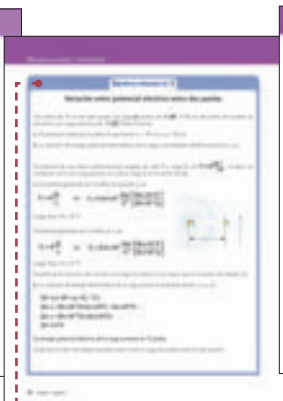
### Conceptos clave

Significado de conceptos o palabras citadas en el texto y cuya definición facilite la lectura comprensiva.



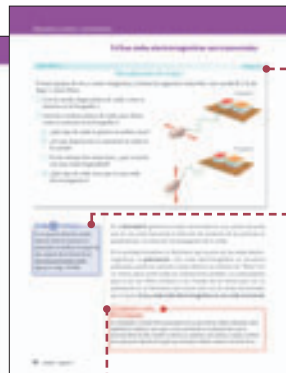
### Ten presente que:

Para aclarar conceptos que puedan tener una interpretación errónea.



### Ejemplo resuelto

Ejercicio tipo resuelto paso a paso.



### Actividad

Destinada a trabajar las habilidades de observación y exploración.

### Inter@ctividad

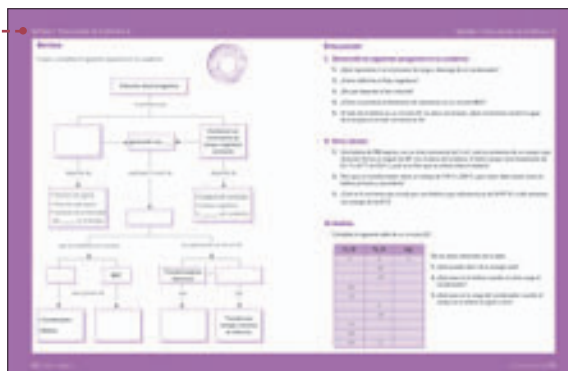
Vínculo con distintas páginas webs en las que se encuentran aplicaciones de los contenidos tratados en la unidad.

### Conexión con

Relaciona los contenidos tratados en la unidad con otras áreas del conocimiento.

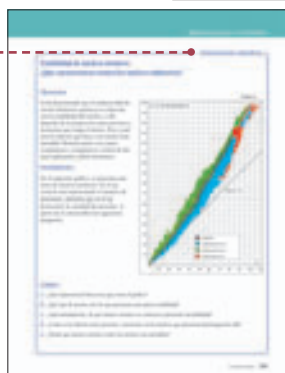
### Síntesis y evaluación de Capítulo

Doble página donde se integran y evalúan los contenidos tratados en cada capítulo.



### Investigación científica

Actividad en la que se trabaja de forma directa el procedimiento científico, ya sea planteando hipótesis, interpretando datos o analizando un experimento famoso.



### ¿Qué sucedería si...?

Actividad destinada al desarrollo de la imaginación.

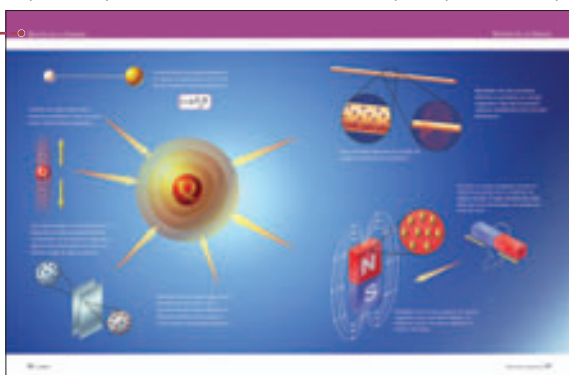
### Reflexionemos

Se proponen temas valóricos transversales, vinculados al quehacer científico.

## 4. PÁGINAS FINALES DE LA UNIDAD

### - Síntesis de la unidad

Resumen gráfico de los contenidos tratados en la unidad, el que incluye una definición breve de los principales conceptos.



### - Física en la historia

Gráfica lineal en la que se ubican de forma cronológica algunos descubrimientos y datos científicos relacionados con la unidad, vinculándolos con hechos históricos relevantes a modo de contextualizar la evolución de la ciencia.

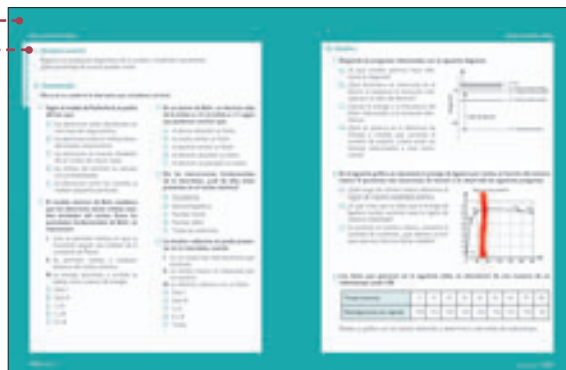


### Evaluación final

Evaluación sumativa de la unidad, incluye tres momentos: comprendo, analizo y aplico.

### ¿Cuánto avancé?

Pequeña actividad al inicio de la evaluación sumativa cuya finalidad es revisar nuevamente la evaluación diagnóstica.



### Proyecto científico

Actividad de carácter autónomo, en la que se aplican los procedimientos del método científico.



## UNIDAD 1

### Electricidad y magnetismo..8

Evaluación diagnóstica .....	10
<b>Capítulo 1. Fuerzas entre cargas .....</b>	<b>12</b>
Indagación. Fenómenos eléctricos .....	12
1. Carga eléctrica .....	13
Investigación científica. Experimento de Coulomb ..	15
2. Fuerza eléctrica .....	16
CTS. ¿Cómo se originan los rayos? .....	18
3. Campo eléctrico .....	19
4. Energía potencial eléctrica .....	23
Síntesis y evaluación de proceso .....	27
5. ¿Es posible almacenar carga eléctrica? .....	28
Investigación científica. Experimento de Millikan .....	30
6. Movimiento de cargas en un campo eléctrico .....	31
7. El campo magnético .....	32
Investigación científica. Experimento de Thomson ..	36
Síntesis y evaluación de Capítulo 1 .....	40

### Capítulo 2. Electromagnetismo y circuitos eléctricos .....

42	
Indagación. Circuito RC (Resistencia-condensación)..	42
1. Carga y descarga de un condensador .....	44
Investigación científica. Transformando movimiento en electricidad .....	46
2. Inducción electromagnética .....	47
3. Aplicaciones de las leyes de Faraday y de Lenz ....	53
Síntesis y evaluación de proceso .....	59
Investigación científica. Variación de corriente en una bobina .....	60
4. Inductancia .....	61
5. Circuitos LC .....	63
6. Circuitos RLC .....	65
7. Aplicaciones de los circuitos LC y RLC .....	67
Síntesis y evaluación de Capítulo 2 .....	68

### Capítulo 3. Ondas electromagnéticas .....

70	
Indagación. Propagación electromagnética .....	70
1. La teoría electromagnética de Maxwell .....	72
Investigación científica. El experimento de Hertz ....	73
2. ¿Cómo se emiten y propagan las ondas electromagnéticas? .....	75
3. Características de las ondas electromagnéticas ...	76
CTS. Veleros espaciales .....	77
4. El espectro electromagnético .....	82
5. Aplicaciones del espectro electromagnético .....	84
Síntesis y evaluación de proceso .....	86
Indagación. Ondas de radio y televisión .....	87
6. Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas .....	88
7. Radios AM y FM .....	91
8. Propagación de las ondas de radio .....	92
9. Ondas de radio provenientes del espacio .....	93
Síntesis y evaluación de Capítulo 3 .....	94

Síntesis de la Unidad .....	96
Física en la historia .....	98
Evaluación final .....	100
Proyecto científico .....	103



## UNIDAD 2

### El mundo atómico ..... 104

Evaluación diagnóstica .....106

**Capítulo 1. El modelo atómico ..... 108**

Indagación. Propiedades de la materia ..... 108

1. Primeras discusiones acerca de la materia .....109

CTS. ¿Qué es lo más pequeño que se puede observar? .....112

2. Primeros experimentos con partículas atómicas..113

Indagación. Observando a través de choques ..... 114

3. El modelo de Rutherford ..... 116

4. Interacción gravitacional y eléctrica .....118

5. Max Planck y la teoría de los cuantos ..... 119

6. El átomo de Bohr .....120

Investigación científica. Las series espectrales .....125

7. El paradigma de las líneas espectrales ..... 127

Síntesis y evaluación de proceso ..... 129

Indagación. La ciencia de la medida ..... 130

8. Física, la ciencia de la medida ..... 131

9. Características de un instrumento de medición ..132

10. Incerteza en la medidas ..... 133

Síntesis y evaluación de Capítulo 1 ..... 138

**Capítulo 2. El núcleo atómico ..... 140**

Indagación. Tamaño del átomo ..... 140

1. Distancias al interior del átomo .....141

2. Características del núcleo .....142

3. Subpartículas atómicas .....145

4. Función de los neutrones ..... 148

Síntesis y evaluación de proceso ..... 150

Indagación. Decaimiento radiactivo ..... 151

5. Radiactividad .....152

6. Características de la desintegración radiactiva ....155

7. Energía en los decaimientos nucleares ..... 159

8. Tipos de emisiones .....160

Investigación científica. Estabilidad de núcleos atómicos ..... 163

9. Fuerza nuclear ..... 164

10. Reacciones nucleares .....165

Investigación científica. Simulación de una reacción en cadena .....167

CTS. Reactores nucleares en Chile ..... 170

11. La fusión nuclear ..... 171

12. Las interacciones fundamentales .....172

Síntesis y evaluación de Capítulo 2 ..... 175

Síntesis de la Unidad ..... 176

Física en la historia ..... 178

Evaluación final ..... 180

Proyecto científico ..... 183

**Solucionario ..... 184**

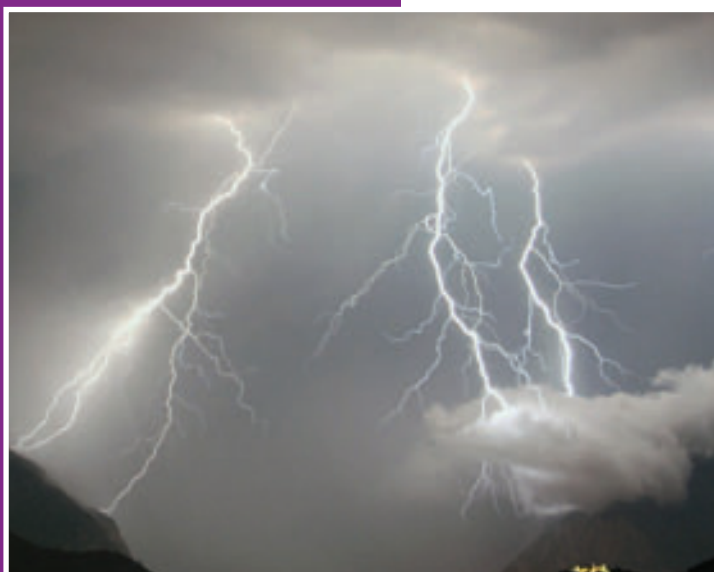
**Bibliografía ..... 192**



Unidad

# 1

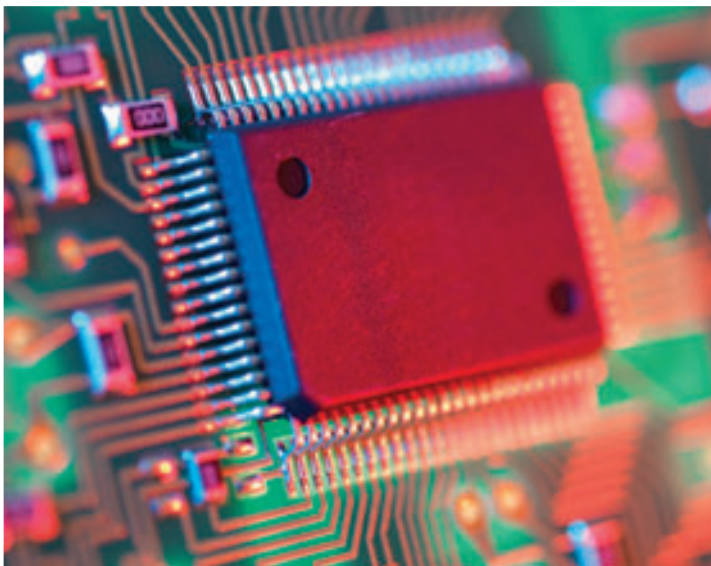
# Electricidad y magnetismo



Los fenómenos eléctricos y magnéticos son sucesos que experimentamos en nuestro entorno en forma cotidiana. Por ejemplo, los electrodomésticos que usamos a diario en nuestras casas tienen motores en los cuales ocurren fenómenos eléctricos y magnéticos. Los aparatos electrónicos, como el televisor y el computador, también funcionan a partir de mecanismos en los que ocurren fenómenos eléctricos y magnéticos. Pero esto no solo es aplicable a las máquinas, sino que también a tu propio cuerpo, ya que el sistema nervioso funciona gracias a señales eléctricas. En la atmósfera, la electricidad se evidencia cada vez que se producen tormentas eléctricas. En esta unidad, veremos que muchos de estos fenómenos son explicados por una rama de la Física llamada electromagnetismo.

## APRENDERÁS A:

- Explicar el concepto de carga eléctrica y los métodos para electrizar un cuerpo.
- Reconocer las principales características de la interacción entre cargas.
- Analizar y describir las trayectorias de cargas en movimiento.
- Explicar el proceso de carga y descarga de un condensador.
- Reconocer cómo se genera una onda electromagnética, sus características y las cantidades físicas asociadas.
- Aplicar los principios del electromagnetismo para explicar el funcionamiento de diferentes aparatos de uso cotidiano.



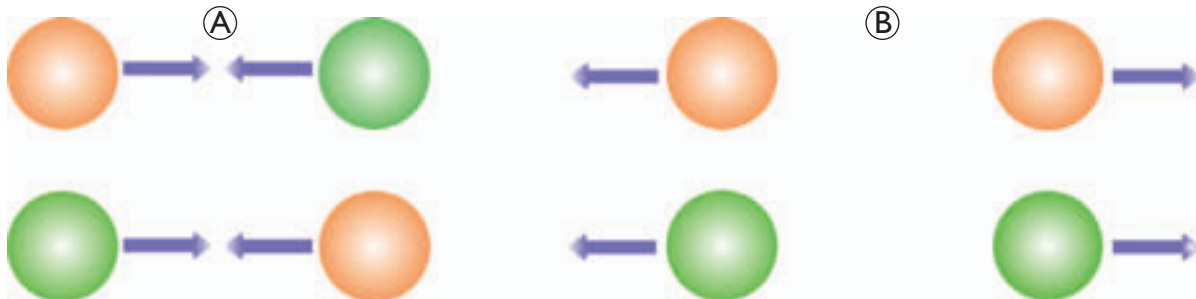
### ACTIVIDAD INICIAL

Formen un grupo de tres compañeros y/o compañeras y respondan las preguntas referentes a las fotografías.

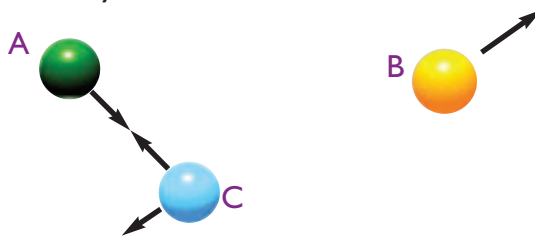
1. ¿De qué están hechos los rayos?, ¿cómo creen que las culturas antiguas se los explicaban?
2. ¿Piensas que existe alguna relación entre la capacidad que tiene un imán de atraer otros metales y la electricidad? Expliquen.
3. ¿De qué formas están presentes en el circuito de un computador los fenómenos eléctricos y magnéticos?, ¿serían posibles los notables avances en tecnología sin los progresos de la Física?
4. Aparte de la luz, ¿qué otro tipo de radiaciones llegan hasta nosotros desde las estrellas?, ¿cuál es su naturaleza?



1. ¿Qué signos deberían tener las siguientes cargas para que las interacciones correspondan a las que se muestran en el esquema?



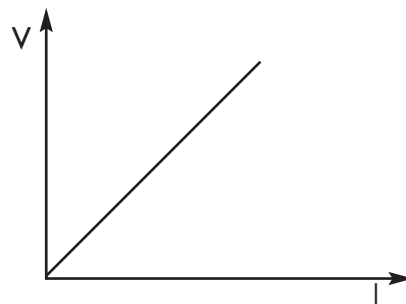
2. A, B y C son tres partículas cargadas. Si A y C se atraen y C se repele con B, ¿qué interacción se daría entre A y B?



3. ¿Con cuál o cuáles de los siguientes conceptos se asocia la intensidad de corriente eléctrica?

A. Carga.	B. Masa.	C. Tiempo.	D. Presión.
-----------	----------	------------	-------------

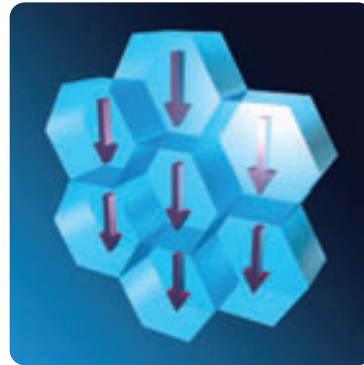
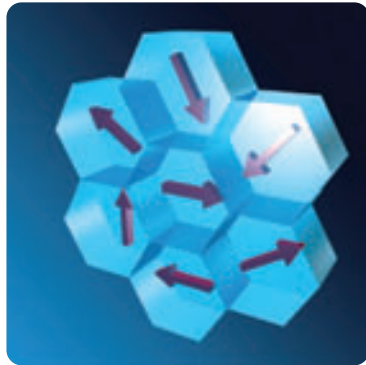
4. La relación entre potencial eléctrico (V) e intensidad de corriente (I) se representa en el siguiente gráfico.



De este se puede inferir que:

A. El potencial es inversamente proporcional a la corriente.	B. El potencial y la corriente son constantes.	C. El potencial y la corriente son iguales.	D. La corriente es directamente proporcional al potencial.
--	--	---	--

5. Las siguientes ilustraciones representan los momentos magnéticos de dos materiales. ¿Cuál de ellos crees que representa a un material con características magnéticas? Explica.



6. Son formas de electrizar un cuerpo:

A. Polarización.

B. Magnetización.

C. Inducción.

D. Contacto.

7. Son ondas electromagnéticas:

A. El sonido.

B. La luz.

C. Una ola en el agua.

D. El calor.

8. ¿Cómo se genera la luz?, ¿cómo se origina una onda electromagnética?

9. ¿Qué forma de almacenar carga eléctrica conoces?

10. Para explicar las propiedades magnéticas de un imán, se proponen las siguientes hipótesis:

- Un imán es capaz de atraer algunos metales, ya que puede intercambiar una sustancia desconocida con ellos.
- Un imán posee alguna forma de energía interna que transmite solo a algunos metales.
- Existen átomos positivos y negativos, los que se ordenan al interior de un imán.

A. ¿Cuál de las tres hipótesis parece más factible? Justifica.

B. ¿Cuál de las tres crees que es menos factible?

### LO QUE ME GUSTARÍA SABER

- Haz un listado con preguntas relacionadas con los fenómenos eléctricos y magnéticos que te gustaría saber y quisieras entender terminada la unidad.
- Observa tu entorno e identifica dónde se presentan fenómenos relacionados con la electricidad y el magnetismo.

### INDAGACIÓN: FENÓMENOS ELÉCTRICOS

#### ¿Qué características tiene la fuerza electrostática?

Seguramente has experimentado ciertos fenómenos electrostáticos, como escuchar chasquidos al sacarte una prenda de vestir, o al peinar varias veces tu cabello seco y ver cómo los cabellos son atraídos por el peine. ¿Pero qué características tiene la interacción entre cuerpos eléctricamente cargados?

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y planteen una hipótesis respecto a la pregunta inicial.

Para poner a prueba la hipótesis, les proponemos la siguiente actividad:

#### Materiales

- Una bolita pequeña de poliestireno expandido (Plumavit®).
- Hilo de seda (muy fino).
- Una varilla de vidrio.
- Regla plástica.
- Soporte.
- Un paño de lana o seda.
- Pequeños trozos de papel.



#### Procedimiento

1. Froten la regla con el paño de lana y acérquenla a los trozos de papel. Observen lo que ocurre.
2. Cuelguen la esfera de poliestireno usando el hilo de seda como se muestra en la fotografía.
3. Froten la varilla de vidrio con el paño de seda y acérquenla lentamente a la bolita de poliestireno sin tocarla. Observen lo que sucede.
4. Repitan el procedimiento anterior, pero ahora toquen la bolita de poliestireno con la varilla de vidrio.

#### Análisis

- a. ¿Qué sucedió con los papelitos al acercarlas a la regla? ¿Podrían explicar dicho fenómeno en términos de la acción de una fuerza?
- b. Al acercar la varilla de vidrio a la bolita de poliestireno ¿qué fue lo que se observó?
- c. ¿Debe haber contacto entre la varilla y la bolita para que interactúen?
- d. ¿Cómo es la interacción entre la varilla y la bolita a medida que disminuye la distancia entre ellas?
- e. Al tocar la bolita con la varilla, ¿qué se observó?
- f. ¿Qué otra característica tiene dicha interacción?
- g. Elaboren una explicación de lo observado basándose en la interacción entre cargas.
- h. Realicen un listado con todas las características detectadas en la interacción.

## 1. Carga eléctrica

El concepto de carga surge de la observación de fenómenos electrostáticos, como aquellos que pudimos observar en la actividad de la página anterior. Todos los cuerpos están formados por átomos que contienen algunas partículas con **carga eléctrica**; esta es una propiedad intrínseca de las partículas elementales, así como de la masa. Fue **Benjamín Franklin** (1706-1790) quien introdujo los conceptos de carga positiva y negativa para poder explicar la interacción electrostática. La carga eléctrica posee las siguientes propiedades:

- Cada tipo de carga repele a las del mismo tipo y atrae a las del tipo opuesto: cargas iguales se repelen y cargas opuestas se atraen.
- La carga eléctrica se conserva. Cuando dos objetos inicialmente neutros se cargan al frotarse entre sí, no se crea carga en el proceso, solo se transfieren cargas negativas de un objeto a otro, siendo la cantidad neta de carga eléctrica igual a cero.
- La carga eléctrica permite cuantificar el estado de electrización de los cuerpos siendo su unidad mínima la carga del electrón ( $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ). Esto significa que la carga eléctrica  $q$  de un cuerpo está **cuantizada** y se puede expresar como  $ne$ , en que  $n$  es un número entero (incluyendo el cero) y  $e$  es la carga del electrón.

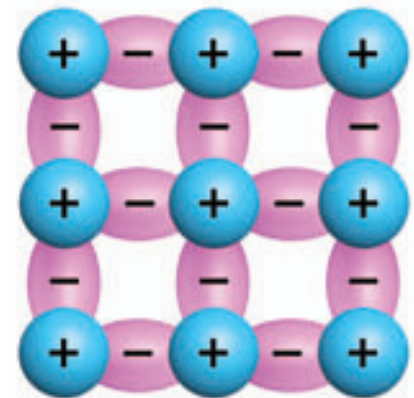
En el SI la carga eléctrica se mide en **coulomb** (C) en honor al físico francés **Charles Coulomb** (1736-1806) y donde 1 C es la carga obtenida al reunir  $6,24 \times 10^{18}$  electrones. También se usan con mayor frecuencia los submúltiplos del coulomb: el microcoulomb ( $\mu\text{C}$ ), que equivale a  $10^{-6} \text{ C}$ , o el picocoulomb ( $\text{pC}$ ), que corresponde a  $10^{-12} \text{ C}$ .

### 1.1 Conductores y aislantes

Existen materiales por los que pueden circular libremente cargas eléctricas y otros cuyas características impiden la libre circulación de estas.

Un material es **conductor** cuando sus átomos poseen algunos electrones débilmente ligados y estos se pueden mover con libertad dentro del material. Estos electrones reciben el nombre de **electrones libres** o **electrones de conducción**. Dos cuerpos se transferirán carga a través de un conductor hasta que se alcance un equilibrio eléctrico entre ellos. Los materiales que, como los metales, poseen electrones libres y permiten el desplazamiento de carga eléctrica a través de ellos son buenos conductores eléctricos.

Un material es **aislante** cuando en sus átomos los electrones están fuertemente ligados y, por lo tanto, la carga se mueve con gran dificultad. Algunos ejemplos de materiales aislantes son el vidrio, la goma, la porcelana, el plástico, entre otros.



En un material aislante, los electrones se encuentran fuertemente ligados a sus átomos respectivos, ya que forman parte de los enlaces atómicos que configuran su estructura interna. En consecuencia, los electrones no se pueden mover, por lo que no existen electrones libres, y esto impide que pueda pasar la corriente eléctrica a través de dicho material.

## 1.2 Formas de electrizar un cuerpo

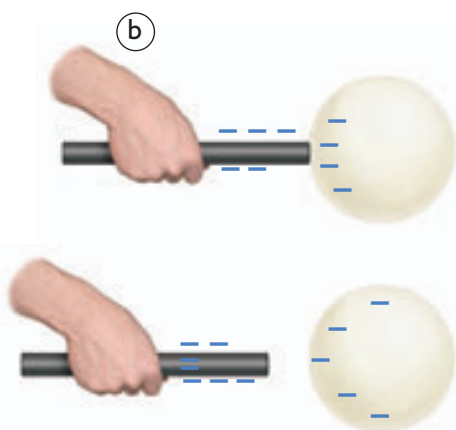
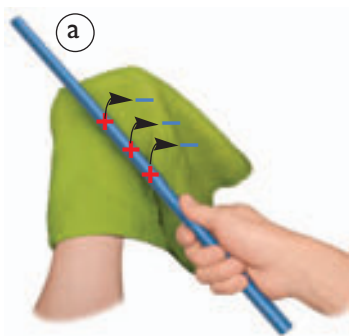
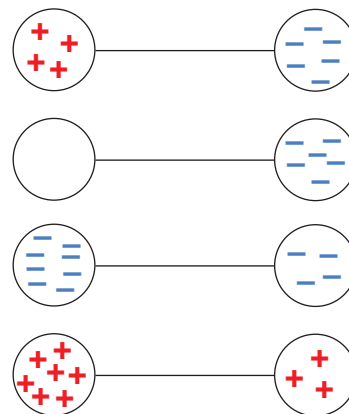
## Actividad 1

## ANALIZAR

## FLUJO DE CARGA ELÉCTRICA

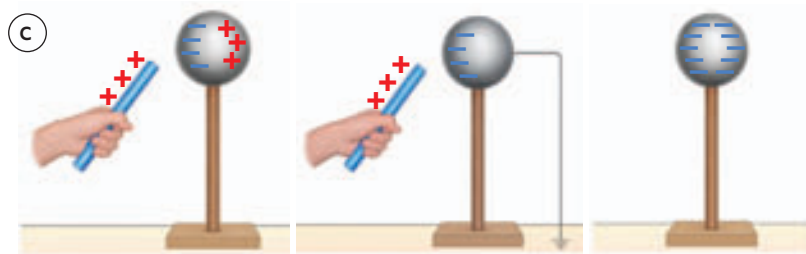
Los siguientes diagramas muestran dos cuerpos (conductores) cargados relativamente y unidos por un conductor.

1. Señala en cada caso el sentido del flujo de las cargas hasta que se logre un equilibrio eléctrico.
2. Responde las siguientes preguntas:
  - a. ¿Hacia dónde deben moverse las cargas?
  - b. ¿Pueden moverse las cargas positivas? Explica.



Un cuerpo eléctricamente neutro se electriza cuando gana o pierde electrones. Para que esto ocurra, debe existir en algunos casos un flujo de cargas similar a los analizados en la **Actividad 1**. En la **Indagación** (página 12), aplicamos las tres formas básicas de modificar la carga neta de un cuerpo: electrización por **frotamiento**, **contacto** e **inducción**. En todos estos mecanismos siempre está presente el principio de conservación de la carga.

- a. **Frotamiento.** En la electrización por fricción, el cuerpo menos conductor saca electrones de las capas exteriores de los átomos del otro cuerpo, quedando cargado negativamente; y el que pierde electrones, queda cargado positivamente.
- b. **Contacto.** En la electrización por contacto, el cuerpo que tiene exceso de electrones (carga  $-$ ) traspasa carga negativa al otro, o el cuerpo que tiene carencia de ellos (carga  $+$ ) atrae electrones del otro cuerpo. Ambos quedan con igual tipo de carga.
- c. **Inducción.** Al acercar un cuerpo cargado (inductor) a un conductor neutro, los electrones de este último se mueven de tal manera que se alejan o aproximan al cuerpo cargado siguiendo la regla fundamental de la electrostática, de tal manera que el conductor queda polarizado. Si se hace contacto con tierra en uno de los extremos polarizados, el cuerpo adquiere carga y una vez retirado el contacto a tierra el cuerpo quedará electrizado con carga distinta a la del cuerpo inductor.



## Experimento de Coulomb

En la **Indagación** de la página 12, pudimos observar que la interacción (fuerza) entre cuerpos cargados posee ciertas características, las mismas ya habían sido observadas durante siglos, hasta que el físico e ingeniero militar francés **Charles Coulomb** (1736-1806) trató de caracterizar dicha interacción electrostática.

Coulomb desarrolló la balanza de torsión, con la que determinó las propiedades de la fuerza electrostática. Este instrumento consistía en una barra que colgaba de una fibra capaz de torcerse (ver ilustración). Al girar la barra, la fibra tendía a regresar a su posición original, por lo que, conociendo la fuerza de torsión que la fibra ejerce sobre la barra, es posible determinar la fuerza ejercida en un punto de la barra.

En la barra de la balanza, Coulomb colocó una pequeña esfera cargada y, a continuación, a diferentes distancias, posicionó otra esfera también cargada. Luego midió la fuerza entre ellas observando el ángulo en que giraba la barra.

Dichas mediciones permitieron determinar que:

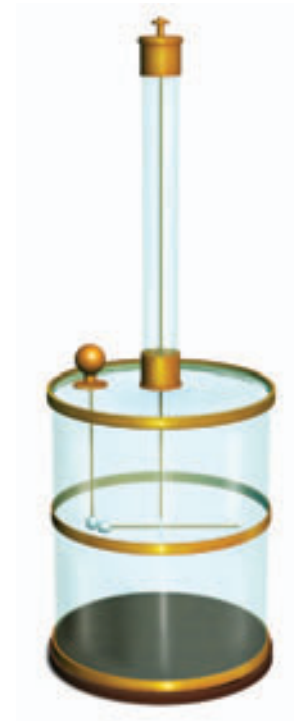
La fuerza de interacción entre dos cargas  $q_1$  y  $q_2$  duplica su magnitud si alguna de las cargas dobla su valor; la triplica si alguna de las cargas aumenta su valor en un factor de tres, y así sucesivamente. Concluyó, entonces, que el valor de la fuerza era proporcional al producto de las cargas:

$$F \propto q_1 \text{ y } F \propto q_2 \Rightarrow F \propto q_1 \cdot q_2$$

Además, Coulomb planteó que si la distancia entre las cargas ( $r$ ) aumentaba en ciertos factores, la fuerza  $F$  disminuía en otros, como se muestra en la siguiente tabla:

### Análisis

- Realiza un gráfico con los datos de la tabla. ¿Qué relación puedes establecer entre fuerza y distancia?
- Propón una relación matemática entre la fuerza y la distancia.
- Indica ahora una relación matemática que considere fuerza, cargas y distancia.



Distancia ( $r$ ) aumenta en un factor de:	Fuerza ( $F$ ) disminuye en un factor de:
2	4
3	9
4	16



## 2. Fuerza eléctrica

### 2.1 La ley de Coulomb

Al analizar el experimento de Coulomb vimos, cómo la fuerza eléctrica entre dos cargas depende de la magnitud de cada una de ellas y de la distancia que las separa. A partir de los resultados de su experimento, Coulomb enunció una ley que describe la fuerza de atracción o repulsión entre cargas, la que es conocida como **ley de Coulomb**, y es un principio fundamental de la electrostática. Es importante notar que esta ley solo es aplicable al caso de cargas en reposo.

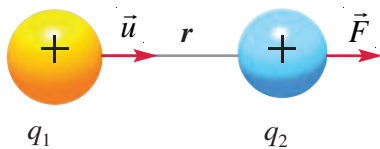
La ley de Coulomb sostiene que: **la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales ( $q_1$  y  $q_2$ ), separadas una distancia  $r$ , es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa**, es decir, va disminuyendo rápidamente a medida que se alejan las cargas entre sí. Esta ley se puede expresar de la siguiente forma:

$$\vec{F} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}$$

Donde la fuerza  $\vec{F}$  sobre  $q_2$ , debido a  $q_1$ , tiene la dirección del vector unitario  $\vec{u}$  que coincide con la línea recta que une el centro de ambas cargas. Su sentido podrá ser atractivo o repulsivo dependiendo del signo de las cargas.  $K$  es la constante de proporcionalidad, su valor aproximado en el SI es  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

También se calcula como:  $K=1/(4\pi\epsilon_0)$ , en que  $\epsilon_0$  se denomina **permitividad eléctrica en el vacío** y su valor en el SI es  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ .

Es importante destacar que en la ley de Coulomb solo se considera la interacción entre dos cargas puntuales a la vez; la fuerza que se determina es aquella que ejerce una carga  $q_1$  sobre otra  $q_2$ , sin considerar otras cargas que existan alrededor.



El signo de las cargas nos indicará si la fuerza es de atracción (cargas con distinto signo) o de repulsión (cargas con igual signo).

#### Actividad 2

#### ASOCIAR-DIFERENCIAR

### LEY DE NEWTON Y LEY DE COULOMB

Una conocida fuerza a distancia es la fuerza de atracción gravitacional, la que fue formulada por Isaac Newton en la ley de gravitación universal y cuya representación matemática es:

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

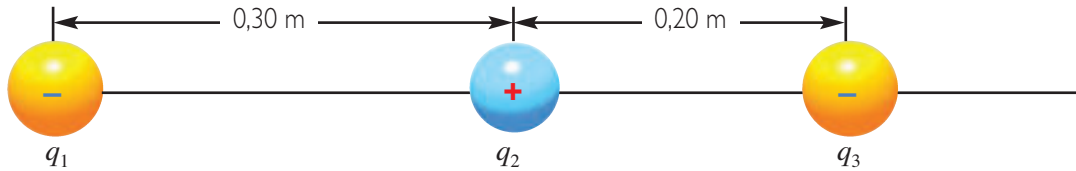
Donde  $F$  es la fuerza medida en N;  $G$  es la constante de gravitación universal, cuyo valor en el SI es de  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ ;  $M_1$  y  $M_2$  son las masas de los cuerpos, y  $r$  es la distancia entre ellos.

A través de una equivalencia entre las variables, establece un paralelo entre la fuerza de atracción gravitacional y la fuerza eléctrica. ¿Cuál de las dos fuerzas crees que, comparativamente, tiene mayor magnitud?

## EJEMPLO RESUELTO 1

## Aplicando la ley de Coulomb

Tres cargas están distribuidas como muestra la figura. La carga  $q_1$  tiene un valor de  $-10 \mu\text{C}$ ; la carga  $q_2$ , de  $5 \mu\text{C}$  y la carga  $q_3$ , de  $-6 \mu\text{C}$ . Calcular la fuerza electrostática resultante sobre la carga  $q_3$  debido a las dos cargas.



La fuerza resultante sobre la carga  $q_3$  es la suma vectorial de la fuerza  $\vec{F}_{31}$  (fuerza de  $q_1$  sobre  $q_3$ ) y la fuerza  $\vec{F}_{32}$  (fuerza de  $q_2$  sobre  $q_3$ ).

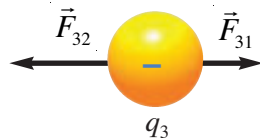
La magnitud de estas dos fuerzas se calcula mediante la ley de Coulomb como:

$$F_{31} = K \frac{q_3 \cdot q_1}{(r_{31})^2} \quad F_{31} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(6 \times 10^{-6} \text{ C}) \cdot (10 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0,5 \text{ m})^2} \Rightarrow F_{31} = 2,2 \text{ N}$$

$$F_{32} = K \frac{q_3 \cdot q_2}{(r_{32})^2} \quad F_{32} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(6 \times 10^{-6} \text{ C}) \cdot (5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0,2 \text{ m})^2} \Rightarrow F_{32} = 6,8 \text{ N}$$

Este es solo el valor del módulo de las fuerzas. La dirección se obtiene considerando que la fuerza  $\vec{F}_{31}$  es repulsiva, por lo tanto, está dirigida hacia la derecha(+), y la fuerza  $\vec{F}_{32}$ , que es atractiva, dirigida hacia la izquierda(-).

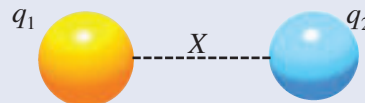
La fuerza resultante sobre  $q_3$  es, entonces:  $\vec{F}_R = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} \quad F_R = 2,2 \text{ N} - 6,8 \text{ N} \Rightarrow F_R = -4,6 \text{ N}$



La fuerza resultante tiene una magnitud de  $4,6 \text{ N}$  y está dirigida hacia la izquierda.

## PARA TRABAJAR

¿Cuál debe ser la distancia entre dos cargas  $q_1 = 5 \mu\text{C}$  y otra  $q_2 = 8 \mu\text{C}$  para que el módulo de la fuerza entre ellas sea de  $5,3 \text{ N}$ ?

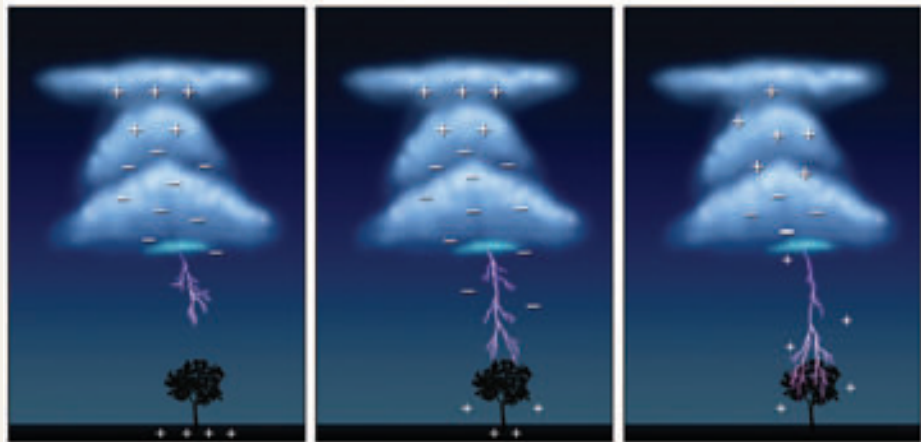


## ¿Cómo se originan los rayos?

El fenómeno de las tormentas eléctricas es uno de los más frecuentes en la Tierra. Si observáramos el cielo antes de una tormenta eléctrica, podríamos reconocer unas nubes enormes con forma de yunque, en cuyo interior se generan los rayos. El espesor de estas nubes es de varios kilómetros y están a una altura media de dos kilómetros sobre el suelo. Al interior de estas nubes, donde hay gotas de agua o cristales de hielo, se produce una separación de cargas eléctricas generada por diversos fenómenos de convección y de electrización. Generalmente la parte superior, formada por cristales de hielo, se carga positivamente, mientras que la parte inferior queda con carga negativa. A menudo, en la parte negativa de la nube se encuentra un sector positivo que aún no tiene explicación.

Un rayo es una poderosa descarga electrostática natural, esta va acompañada por la emisión de luz (relámpago), y que se debe a la ionización de las moléculas de aire por el paso de la corriente eléctrica, y por el sonido del trueno, el que se origina cuando la corriente eléctrica calienta y expande rápidamente el aire.

Habitualmente, los rayos son producidos por la presencia de cargas negativas en la tierra y cargas positivas en las nubes, estas últimas atraen a las cargas negativas de la tierra, dando origen a un rayo. Esto está asociado a un efecto de ida y vuelta, es decir, las cargas al subir regresan casi de forma instantánea, es por este motivo que visualmente parece que el rayo baja de la nube a la tierra. Los rayos pueden producirse desde la tierra a las nubes, de las nubes a la tierra y entre nubes. También suelen producirse rayos dentro de nubes de ceniza en erupciones volcánicas o nubes de polvo en violentos incendios forestales.



Fuente: Archivo Editorial

### Trabajemos con la información

A partir de la lectura anterior, responde las siguientes preguntas:

- ¿Qué conceptos ya estudiados se incluyen en la explicación del origen de los rayos?
- ¿De dónde proviene la energía que genera los rayos eléctricos?
- ¿Crees que este tipo de fenómeno atmosférico tiene un efecto regulador en el clima? Investiga.

### 3. Campo eléctrico

#### Actividad 3 (Demostrativa)

#### DESCRIBIR-ANALIZAR

#### OBSERVANDO LA ACCIÓN DE UN CUERPO CARGADO

A continuación se propone una actividad demostrativa, basta que uno o dos grupos al interior del curso realicen la actividad junto con su profesor o profesora. El resto de los estudiantes debe observar cuidadosamente el procedimiento y luego responder las preguntas de análisis.

#### Materiales

- Un televisor o monitor de computador.
- Papel aluminio.
- Un frasco de vidrio pequeño con tapa plástica.
- Un trozo de alambre de cobre.
- Cable conector.
- Aceite.
- Sémola.
- Cinta adhesiva.

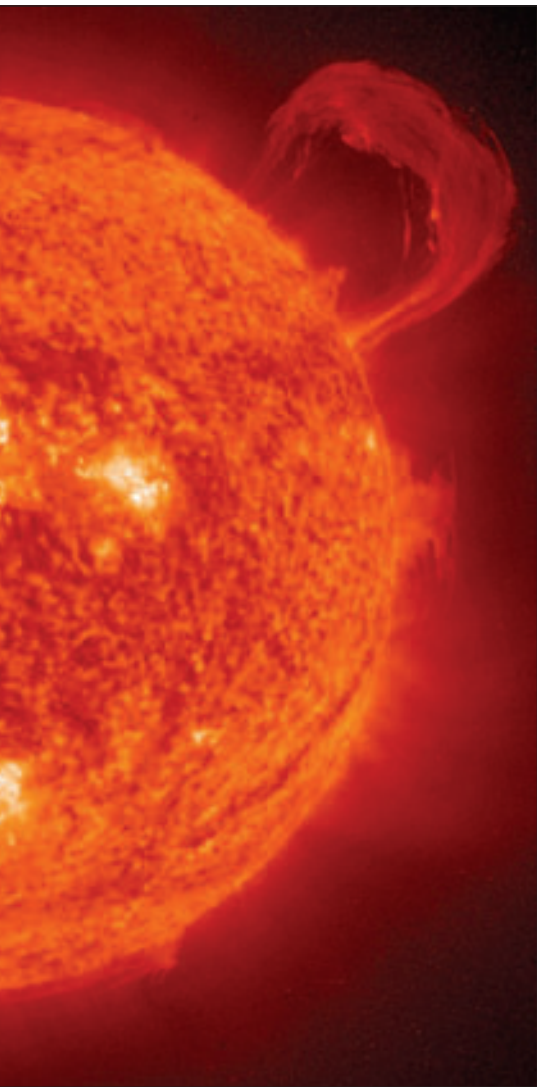
#### Procedimiento

1. Con el frasco, el trozo de alambre y una pelotita de papel aluminio, realicen el montaje que muestra la fotografía 2.
2. Llenen el frasco con aceite y agréguele un poco de sémola procurando que se distribuya de manera uniforme.
3. Cubran completamente la pantalla del televisor o del monitor con papel de aluminio, fijenlo con cinta adhesiva.
4. Realicen el montaje que se muestra en la fotografía 3.
5. Enciendan la pantalla y observen con atención lo que ocurre al interior del frasco.



#### Análisis

- a. Describan detalladamente lo que observaron.
- b. Propongan una explicación a lo que se observó.
- c. ¿Qué creen que sucedió alrededor de la bolita de papel aluminio?
- d. ¿Cómo llamarían a la región que circunda la bolita?
- e. ¿Piensan que es necesario un medio (aceite) para que se produzca este fenómeno?



Al poseer una gran masa, el Sol afecta gravitacionalmente a una gran región del espacio que lo rodea, y cuya intensidad aumenta a medida que nos acercamos a su centro de masa. Lo mismo sucede con un cuerpo cargado, este afecta eléctricamente el espacio que le rodea, y su intensidad depende de la magnitud de su carga y de la distancia a ella.

### 3.1 Intensidad del campo eléctrico

En la **Actividad 3**, pudiste observar que las cargas al distribuirse alrededor de un cuerpo producen alteraciones eléctricas en el espacio que la rodea. Algo similar sucede con la Tierra, ya que en el espacio que la circunda se producen alteraciones gravitacionales.

Fue **Michael Faraday** (1791-1867) quien introdujo la noción de **campo** en la Física para poder explicar la interacción a distancia (interactuar sin tocarse) que ocurre entre cuerpos, como sucede, por ejemplo, al aproximar dos imanes, suceso que Newton no pudo aclarar. En Física, el concepto de campo señala un sector del espacio en el que, a cada punto de él, se le puede asociar una magnitud física la cual puede ser vectorial o escalar. De esta forma, una partícula cargada  $Q$ , llamada **carga generadora**, produce un **campo eléctrico** a su alrededor. Este campo se puede detectar si colocamos una pequeña **carga de prueba**  $+q_0$  puesta en el punto del espacio donde se desea medir. En ese punto, la **intensidad del campo eléctrico**  $\vec{E}$  es igual a la fuerza eléctrica por unidad de carga y tiene la misma dirección y sentido que la fuerza si  $q_0$  es positiva; por tanto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $\vec{F}$  se obtiene según la ley de Coulomb,  $q_0$  es la carga de prueba suficientemente pequeña, por lo que su campo eléctrico es despreciable respecto de la carga  $Q$  (como el campo gravitacional de una manzana respecto al de la Tierra). La unidad de medida de la intensidad del campo eléctrico  $\vec{E}$  en el SI es N/C. Es importante notar que el campo eléctrico no depende de la presencia ni del valor de la carga de prueba, es una propiedad del espacio que rodea a la carga generadora  $Q$ .

Al comparar la intensidad del campo gravitatorio y del campo eléctrico, queda en evidencia que depende también del cuerpo que genera dicho campo. La intensidad del campo gravitatorio es igual a  $\vec{g} = \vec{P} / m$  (cuyo valor en la superficie de la Tierra es  $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Este valor depende de la masa de la Tierra y de la distancia desde donde se mide el campo hasta el centro de masa de la Tierra: como la masa de la Luna es menor que la de la Tierra, la intensidad del campo en la superficie de ella es solo  $g_L = 1,6 \text{ m/s}^2$ , y como la masa del Sol es mucho mayor que la de la Tierra, la intensidad de su campo gravitatorio en su superficie es  $g_S = 273,7 \text{ m/s}^2$ .

### 3.2 Campo eléctrico de una partícula puntual

#### Actividad 4

#### ANALIZAR-INFERIR

#### ANALIZANDO GRÁFICAMENTE EL CAMPO ELÉCTRICO

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de la intensidad del campo eléctrico  $E$  con respecto a la distancia  $r$  ( $r$  es la distancia que va desde donde se mide el campo hasta el centro de la carga generadora). Obsérvalo y, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la relación funcional entre campo eléctrico y distancia?
- ¿Qué sucede con la intensidad del campo a medida que la distancia es más pequeña?
- ¿Qué valor tiene la intensidad del campo eléctrico si la distancia es igual a cero?, ¿tiene sentido dicho valor?
- ¿Qué ocurre con la magnitud de la intensidad del campo cuando la distancia aumenta de forma significativa?

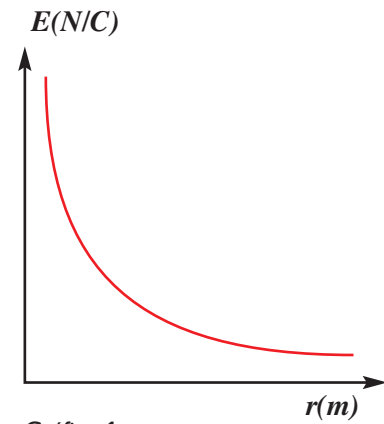
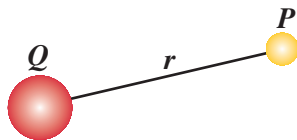


Gráfico 1

Lo observado gráficamente en la actividad anterior se puede representar matemáticamente mediante la definición de campo eléctrico y la ley de Coulomb. Para obtener el módulo del campo eléctrico  $E$  en el punto  $P$ , que se encuentra a una distancia  $r$  de la carga generadora  $Q$ .



Como la fuerza que experimenta una carga de prueba  $q_0$  en  $P$  se obtiene de la forma:

$$\vec{F} = K \frac{Q \cdot q_0}{r^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Al reemplazar  $\vec{F}$  en la ecuación 1, obtenemos una expresión que representa el módulo del campo eléctrico  $E$  en un punto  $P$  a una distancia  $r$  de  $Q$ :

$$E = K \frac{Q}{r^2}$$

La expresión nos dice que la intensidad del campo generado por una carga puntual disminuye con el cuadrado de la distancia desde la carga. Cualquier campo eléctrico que varíe con la distancia se denomina **campo eléctrico variable**, y su intensidad solo depende de la carga generadora y de la distancia entre esta y el punto del espacio donde se calcula, independiente de que haya o no una carga de prueba en ese punto. Si se quiere determinar el campo eléctrico sobre un punto del espacio debido a la acción de varias cargas generadoras, el campo neto resultante corresponde a la suma vectorial de los campos producidos por cada una de las cargas.

#### INTER@CTIVIDAD

En la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) ingresa los códigos 10F4021a y 10F4021b. En la primera encontrarás una animación a través de la cual se muestra una representación del campo eléctrico generado alrededor de una carga puntual. En la segunda encontrarás otra animación, que muestra el vector campo eléctrico sobre un punto debido a la acción de dos cargas de igual signo.

### 3.3 Líneas del campo eléctrico

#### Actividad 5 (Demostrativa)

#### OBSERVAR-EXPLICAR

#### OBSERVANDO LA FORMA DE UN CAMPO ELÉCTRICO

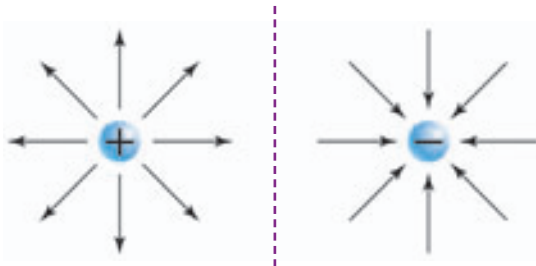
Al igual que en actividad de la página 19, se propone esta actividad demostrativa con los mismos materiales de la Actividad 3 y realizando el montaje que se muestra en la fotografía.

1. Describan detalladamente lo que pudieron observar.
2. Dibujen la forma que adquirieron los granitos de sémola.
  - a. ¿Por qué creen que se orientan en dicha forma?
  - b. ¿Cómo son las cargas de cada una de las pelotitas?
  - c. Expliquen lo observado en términos del tipo de cargas que adquirieron las pelotitas de papel aluminio.



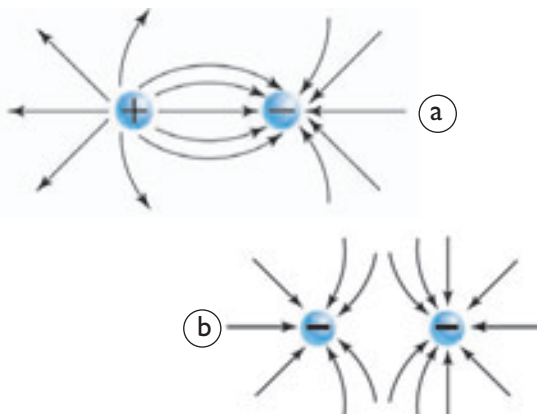
En la **Actividad 5**, observaste que el campo entre dos cuerpos cargados adquiere una forma característica. Es posible representar el campo eléctrico gráficamente a través de las líneas de campo o de fuerza, las que indican la dirección, el sentido y la intensidad del campo. Estas líneas se dibujan de modo que en cada punto sean tangentes a la dirección del campo eléctrico en dicho punto. Las líneas de campo eléctrico señalan o representan las posibles trayectorias que describiría una carga de prueba positiva liberada en presencia de una carga generadora.

#### Cargas puntuales aisladas



Para el caso de cargas puntuales, las líneas de campo eléctrico son radiales, con sentido hacia fuera en una carga positiva y hacia la carga, en el caso de ser negativa. Por tanto, una carga de prueba positiva es rechazada si se ubica en el campo de una carga generadora positiva, y es atraída si se ubica en el campo de una negativa.

#### Cargas puntuales situadas a cierta distancia



En **a**, las líneas de campo se dirigen desde la carga positiva hacia la carga negativa. Una carga de prueba positiva en esta región se movería hacia la carga negativa. En **b**, el campo eléctrico es generado por cargas iguales, donde las líneas de campo se curvan debido a que se rechazan. Es importante notar que las líneas de campo eléctrico nunca se intersecan ni se cruzan en ningún punto del espacio, y además son perpendiculares a la carga. La cantidad de líneas por unidad de área es proporcional a la intensidad del campo en un punto.

## 4. Energía potencial eléctrica

Cuando levantas un objeto desde el suelo hasta cierta altura, requieres efectuar un trabajo sobre él para vencer la fuerza de gravedad debida al campo gravitacional terrestre. También acumulamos energía potencial elástica sobre un resorte al efectuar un trabajo mecánico y comprimirlo. La energía potencial la relacionamos con la capacidad de producir movimiento.

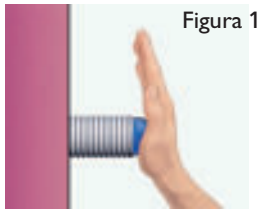


Figura 1

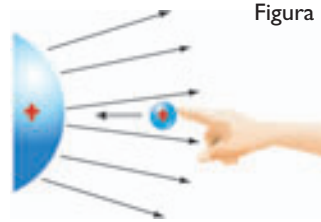


Figura 2

De forma análoga a lo que ocurre con un resorte (figura 1), si se quiere mover una carga de prueba  $q$  hasta cierto punto dentro de un campo eléctrico generado por una carga  $Q$ , desde una región alejada, donde el potencial eléctrico de la carga generadora es prácticamente nulo, es necesario una fuerza ejercida mediante un agente externo, y por tanto, realizar un trabajo contra las fuerzas eléctricas. Así la carga de prueba adquiere una cierta energía potencial eléctrica ( $U$ ).

Considerando que muy lejos de  $Q$ ,  $U=0$ , tenemos que la energía potencial eléctrica que adquiere una carga puntual  $q$  a una distancia  $r$  de una carga generadora  $Q$  es:

$$U = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

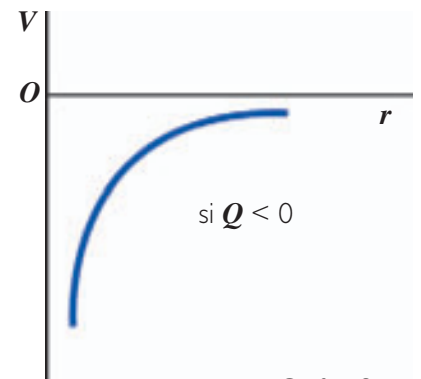
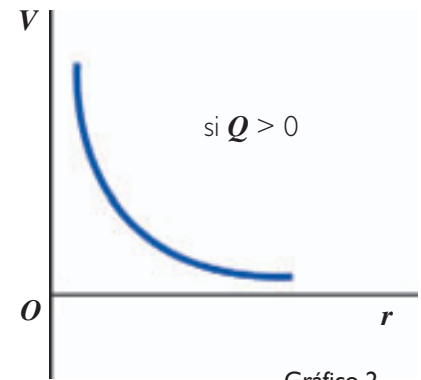
Como toda forma de energía, la unidad de la energía potencial eléctrica en el SI es el joule ( $J$ ) y será positiva cuando la fuerza sea repulsiva.

### 4.1 Potencial eléctrico

Si una carga eléctrica  $q$  situada en un punto de un campo eléctrico se duplica, triplica o aumenta  $n$  veces, la energía potencial eléctrica aumentará en la misma cantidad, respectivamente. Sin embargo, es más frecuente considerar, en dicho punto, el potencial eléctrico ( $V$ ) que corresponde a la energía potencial eléctrica por unidad de carga, ya que este valor será el mismo, independiente de la cantidad de cargas o incluso si no hay cargas (es una propiedad del espacio). Por lo tanto:

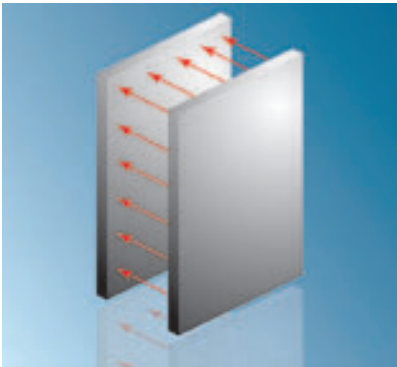
$$V = \frac{U}{q} = K \frac{Q}{r}$$

La unidad de medida del potencial eléctrico es el **volt**, en honor del físico italiano **Alessandro Volta** (creador de la pila eléctrica), que corresponde a  $J/C$ . Por ejemplo, un potencial de 220 V significa que en ese punto una carga de 1 C adquiere una energía de 220 J.



El potencial, cerca de una carga positiva, aumenta a medida que la distancia disminuye, todo lo contrario de lo que ocurre con el potencial cerca de una carga negativa.





En un campo eléctrico uniforme, por ejemplo, entre dos placas cargadas, la diferencia de potencial entre dos puntos al interior del campo está dada por la expresión:  $\Delta V = E \cdot \Delta x$ .

## 4.2 Diferencia de potencial eléctrico

Como sabes, la energía potencial gravitatoria de un cuerpo cambia si se ubica a diferentes alturas respecto del suelo. De este modo, entre dos alturas diferentes existe una diferencia de energía potencial gravitatoria. Análogamente, esto también ocurre en el campo eléctrico: la energía potencial eléctrica por unidad de carga o potencial eléctrico varía de acuerdo a la distancia respecto de una carga generadora. Por lo tanto, existe una **diferencia de potencial eléctrico ( $V$ )** entre dos puntos ubicados a diferentes distancias de la carga generadora de un campo eléctrico.

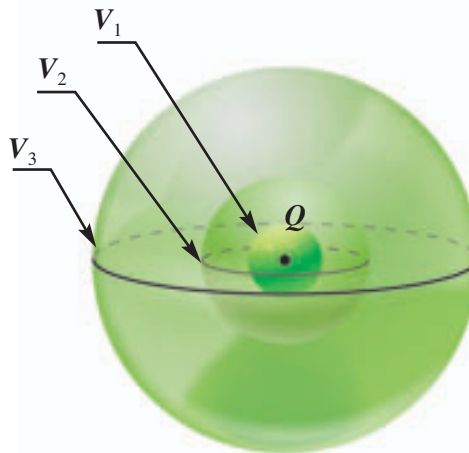
La diferencia de potencial eléctrico se define como el trabajo ( $W$ ) realizado por un agente externo por unidad de carga, independientemente de la trayectoria seguida. Luego, la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico está dada por:

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$

En términos de la variación de la energía potencial eléctrica podemos escribir la relación:

$$\Delta U = q \cdot \Delta V$$

Así, una carga  $q$  que se mueve entre dos puntos del espacio que están a diferente potencial, cambia su energía potencial en  $q \cdot \Delta V$ .



Los puntos que están a un mismo potencial definen lo que se llama superficies equipotenciales, las que pueden tener distintas formas. Para una carga puntual, las superficies equipotenciales son esferas concéntricas en cuyo centro está la carga. Una partícula eléctrica que se mueve en una misma superficie equipotencial no experimenta cambios de energía potencial. Las líneas de campo son perpendiculares a ellas.

## Actividad 6

## OBSERVAR-EXPLICAR

## CONSTRUYENDO UNA PILA NATURAL

La mayoría de los cuerpos se encuentran en estado neutro. Pero ¿qué debe ocurrir al interior de un cuerpo para que se produzca una diferencia de potencial que origine un movimiento de cargas? Para responder esta pregunta, se propone la siguiente actividad.

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y reúnan estos materiales:

- Tres limones.
- Tres cintas de cobre y tres de zinc.
- Dos diodos LED.
- 50 ml de solución de ácido clorhídrico (HCl), dicha solución debe constar de 2 ml de ácido clorhídrico y 48 ml de agua.
- Un vaso de precipitado de 100 ml.
- 30 cm de cable de cobre.
- Diez clips.

## Precauciones

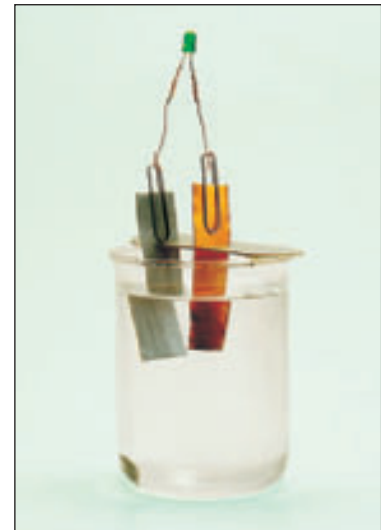
Al preparar la solución de ácido clorhídrico viertan sobre los 48 ml de agua el ácido clorhídrico (nunca al revés). Para manipular el ácido clorhídrico, procuren estar en un lugar ventilado o con campana de extracción, utilicen una pipeta, guantes y gafas.

## Procedimiento

1. Inserten en el limón la cinta de cobre y de zinc en forma alternada y coloquen un clip en los extremos libres de cada una de ellas en el LED, tal como se ve en la fotografía.
2. Propongan una manera de conectar simultáneamente los tres limones de modo de encender los dos diodos.
3. Retiren la cinta de cobre y la de zinc del limón, con sus respectivos cables y clips.
4. Unan los cables al LED y sumerjan las cintas en los 50 ml de ácido clorhídrico. Observen lo que sucede.

## Análisis

- a. ¿En cuál de las conexiones existió una mayor diferencia de potencial entre las cintas? Explica.
- b. ¿Qué propiedad común tiene el limón y el ácido clorhídrico?, ¿creen que se relaciona con la diferencia de potencial que se produce entre las cintas?
- c. ¿Se obtendrán los mismos resultados si las dos cintas son del mismo metal?
- d. Investiguen el tipo de reacción química que está asociada al fenómeno que observaron.
- e. Elaboren un informe en el que se detalle el proceso a través del cual se produce la diferencia de potencial. Expliquen de manera análoga el funcionamiento de la batería de un auto.



## EJEMPLO RESUELTO 2

## Variación de potencial eléctrico entre dos puntos

Una esfera de 10 cm de radio posee una carga  $Q$  positiva de  $80 \mu\text{C}$ . A 40 cm del centro de la esfera se encuentra una carga puntual  $q$  de  $-30 \mu\text{C}$ . Determinemos:

- El potencial creado por la esfera en posiciones  $r_1 = 40 \text{ cm}$  y  $r_2 = 50 \text{ cm}$ .
- La variación de energía potencial electrostática de la carga  $q$  al trasladarla desde la posición  $r_1$  a  $r_2$ .

El potencial de una esfera uniformemente cargada, de radio  $R$  y carga  $Q$ , es:  $V = K \frac{Q}{R}$ ; es decir, se comporta como una carga puntual con toda la carga  $Q$  en el centro de ella.

- El potencial generado por la esfera en posición  $r_1$  es:

$$V_1 = K \frac{Q}{r_1} \quad \Rightarrow \quad V_1 = 9,0 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \left[ \frac{80 \times 10^{-6} \text{C}}{40 \times 10^{-2} \text{m}} \right]$$

Luego,  $V_1 = 18 \times 10^5 \text{ V}$

El potencial generado por la esfera en  $r_2$  es:

$$V_2 = K \frac{Q}{r_2} \quad \Rightarrow \quad V_2 = 9,0 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \left[ \frac{80 \times 10^{-6} \text{C}}{50 \times 10^{-2} \text{m}} \right]$$

Luego,  $V_2 = 14 \times 10^5 \text{ V}$

El potencial en el punto más cercano a la carga  $Q$  positiva (1) es mayor que en el punto más alejado (2).

- La variación de energía electrostática de la carga puntual al trasladarla desde  $r_1$  a  $r_2$ , es:

$$\Delta U = q \cdot \Delta V = q \cdot (V_2 - V_1)$$

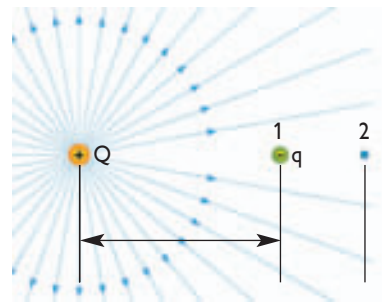
$$\Delta U = -30 \times 10^{-6} \text{C} (14 \times 10^5 \text{V} - 18 \times 10^5 \text{V})$$

$$\Delta U = -30 \times 10^{-6} \text{C} (-4,0 \times 10^5 \text{V})$$

$$\Delta U = 12 \text{ J}$$

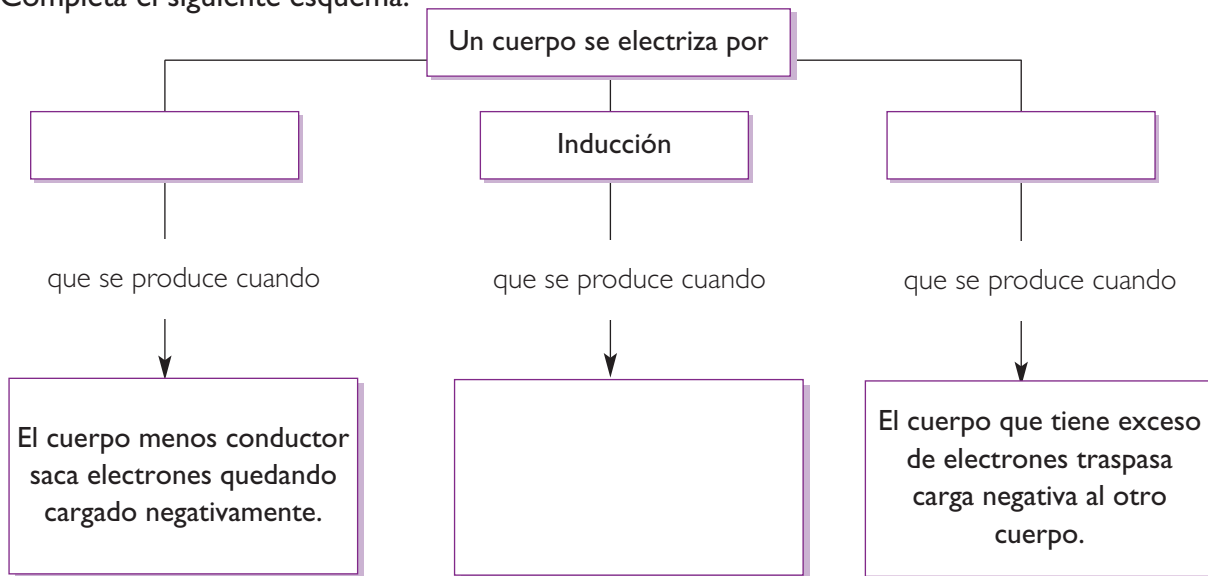
La energía potencial eléctrica de la carga aumenta en 12 joules.

¿Cuál será el valor del trabajo necesario para mover la carga de prueba entre los dos puntos?



SÍNTESIS

Completa el siguiente esquema:



Completa la siguientes oraciones:

- La fuerza eléctrica entre dos cargas es \_\_\_\_\_ al producto entre ellas e \_\_\_\_\_ a la distancia al cuadrado.
- Una carga produce en sus proximidades un \_\_\_\_\_.
- Para trasladar una carga de prueba de un potencial a otro se debe \_\_\_\_\_ igual a: \_\_\_\_\_.

EVALUACIÓN

Lee y responde las siguientes preguntas.

- Dos cargas puntuales de  $q_1 = 7 \mu\text{C}$  y  $q_2 = -5 \mu\text{C}$  se encuentran separadas a una distancia de 40 cm.
  - Realiza un diagrama vectorial de las fuerzas.
  - Calcula el módulo de la fuerza entre las cargas.
  - Indica si la fuerza es atractiva o repulsiva.
- Dibuja las líneas de campo eléctrico entre las dos cargas:
 

a.	○	○	b.	○	○
	+q	+q		+q	+2q
- Determina el punto entre dos cargas puntuales de  $2 \mu\text{C}$  y  $5 \mu\text{C}$  en que el campo eléctrico es nulo. Ambas cargas se encuentran a 1 m de distancia.

## 5. ¿Es posible almacenar carga eléctrica?

### Actividad 7

### OBSERVAR-INFERIR

#### ACUMULANDO CARGA ELÉCTRICA

Necesitarán dos láminas de papel aluminio de 40 cm x 5 cm, un papel mantequilla o diamante de 41 cm x 6 cm, dos trozos de alambre de 5 cm, cinta adhesiva, una batería de 9 V y un diodo LED.

- Formen un sándwich con las láminas de papel aluminio y de papel mantequilla. Dejen el papel mantequilla entre las láminas de papel aluminio; procuren que las láminas de papel aluminio no se toquen.
- Fijen uno de los extremos del alambre a cada una de las láminas de papel aluminio y enrollen las cintas formando un cilindro. Envuélvanlo con cinta adhesiva.
- Conecten durante 10 s los dos alambres de su cilindro a la batería. Luego, conecten los alambres al diodo LED.
  - ¿Qué fue lo que se observó?
  - Propongan una hipótesis que la explique.

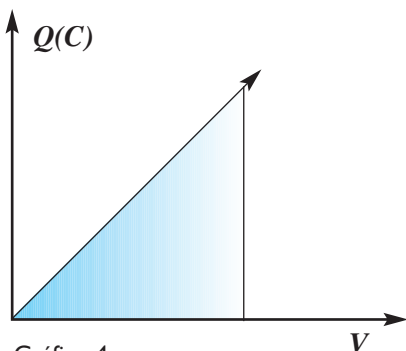
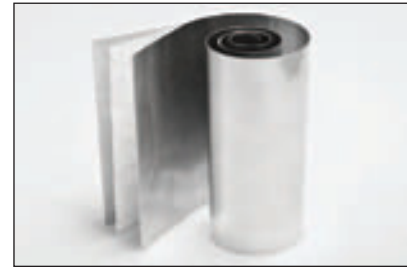


Gráfico 4

En un gráfico de carga eléctrica acumulada  $Q$  vs. voltaje  $V$ , el área bajo la curva corresponde a la energía eléctrica acumulada. Su expresión es:

$$U = \frac{V \cdot Q}{2} = \frac{1}{2} C \cdot V^2$$



Los condensadores son usados en circuitos electrónicos (computadores, televisores, equipos de video, etc.).

Acabamos de realizar una actividad en la que se pudo almacenar carga eléctrica en un dispositivo construido a base de dos placas de papel aluminio. Este tipo de dispositivos recibe el nombre de **condensador** o **capacitor**. Un condensador es un sistema de dos placas conductoras no conectadas entre sí y separadas mediante un material **dieléctrico** (aislante). Estas placas tienen la misma cantidad de cargas, pero con signo contrario. Todos los computadores, televisores y equipos de música tienen en su interior condensadores capaces de almacenar carga eléctrica. La presencia de ellos se evidencia, por ejemplo, cuando se “corta la luz” o se desenchufan; algunos artefactos electrónicos mantienen su programación o mantienen encendidas algunas luces por varios minutos.

Un condensador plano consiste en dos placas metálicas separadas entre sí por una distancia  $d$ . Si se conecta una batería a las placas del condensador, se le transfiere una cantidad de carga  $Q$  que es directamente proporcional a la diferencia de potencial ( $V$ ) suministrada por la batería o voltaje:

$$Q = C \cdot V$$

La constante de proporcionalidad  $C$ , denominada **capacidad del condensador**, indica cuánta carga  $Q$  puede almacenar el condensador sin variar el voltaje. La capacidad de un condensador es:

$$C = \frac{Q}{V}$$

En el SI, la capacidad  $C$  se expresa en una unidad llamada farad (F) en memoria de Michael Faraday. Esta corresponde a:  $1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}$

## 5.1 ¿De qué depende la capacidad de un condensador?

En la **Actividad 7**, pudimos construir un condensador de placas paralelas. ¿Pero qué ocurriría con la cantidad de carga que puede almacenar si el área de las placas aumenta? Claramente, al ser mayor el área de las placas, se puede almacenar un número superior de cargas en ellas. ¿De qué factores depende la capacidad de un condensador para almacenar carga? La capacidad de un condensador de caras planas y paralelas depende de tres factores:

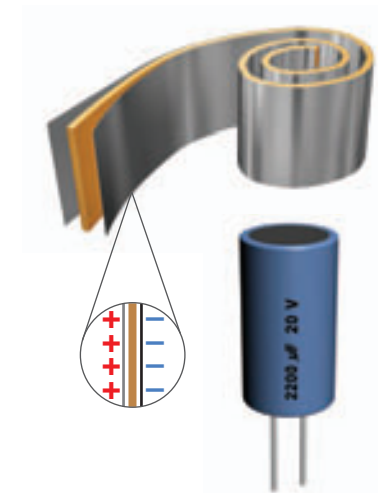
- El área de las placas. A mayor área mayor será la cantidad de carga que podrá almacenar.
- La separación entre las placas. A menor distancia de separación, mayor será la cantidad de carga que podrá almacenar.
- El dieléctrico que separa las placas. Mientras mayor sea el poder aislante del dieléctrico, mayor será la capacidad del condensador.

La relación entre todas estas variables se puede resumir en la siguiente expresión:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad \text{con: } \epsilon = k \cdot \epsilon_0$$

Donde  $\epsilon_0$  es la permitividad eléctrica en el vacío y  $k$  es la **constante dieléctrica**, adimensional y que es característica para cada material. La introducción de un material dieléctrico en un condensador aislado tiene las siguientes consecuencias:

- Disminuye el campo eléctrico entre las placas del condensador.
- Aumenta la diferencia de potencial máxima que el condensador es capaz de resistir sin que salte una chispa entre las placas (ruptura dieléctrica).
- Aumenta la capacidad eléctrica del condensador en  $k$  veces.



Al interior de un condensador se encuentran enrolladas dos placas metálicas separadas por un material dieléctrico y cubiertas con un material aislante. Esta disposición tiene como objetivo maximizar el área de las placas en un espacio reducido. Cuando una de las placas adquiere cargas negativas, la presencia de estas inducen cargas de signo contrario sobre la otra placa. Así cada una de las placas del condensador queda con igual número de cargas pero de signo contrario.

### Actividad 8

#### MATERIALES DIELECTRICOS

Con respecto a la Tabla 1, responde:

- ¿Qué significa que un dieléctrico posea una  $k$  de valor bajo?
- A medida que el valor de  $k$  es mayor, ¿aumenta o disminuye la probabilidad de una ruptura dieléctrica?
- Calcula el valor de  $\epsilon$  para el poliestireno y para el agua.
- ¿Cuántas veces mayor es la capacidad de un mismo condensador con un dieléctrico de titanio de estroncio que con uno de papel?

#### COMPARAR- INFERIR

Tabla 1: Constantes dieléctricas a temperatura ambiente	
Material	Constante (k)
Aire (seco)	1,0006
Poliestireno	2,56
Papel	3,7
Caucho	6,7
Agua	80,0
Titanio de estroncio	233,0

Fuente: Seway, Raymond A. *Física para ciencias e ingeniería*.

## Experimento de Millikan

A comienzos del siglo XX, Robert Millikan (1868-1953) diseñó un montaje experimental para determinar la carga del electrón. El experimento consistía básicamente en un condensador de placas planas separadas a una distancia  $d$  y conectadas a una batería que suministraba una diferencia de potencial variable. A través de un pequeño orificio practicado en la placa superior, era posible, mediante un pulverizador, introducir diminutas gotas de aceite cargadas por fricción al espacio entre las placas. Gracias a un microscopio dotado de un retículo se podía medir el desplazamiento que una gota realizaba en cierto tiempo.

Regulando apropiadamente la diferencia de potencial entregada por la batería y considerando gotas con carga positiva, fue posible lograr que las gotas de aceite se movieran con velocidad constante debido a la acción de dos fuerzas en equilibrio: su peso  $\vec{P}$  y la fuerza eléctrica  $\vec{F}_e$ .

Suponiendo que las gotas están en equilibrio traslacional, entonces las fuerzas que actúan son iguales y opuestas, y la ecuación del movimiento será:

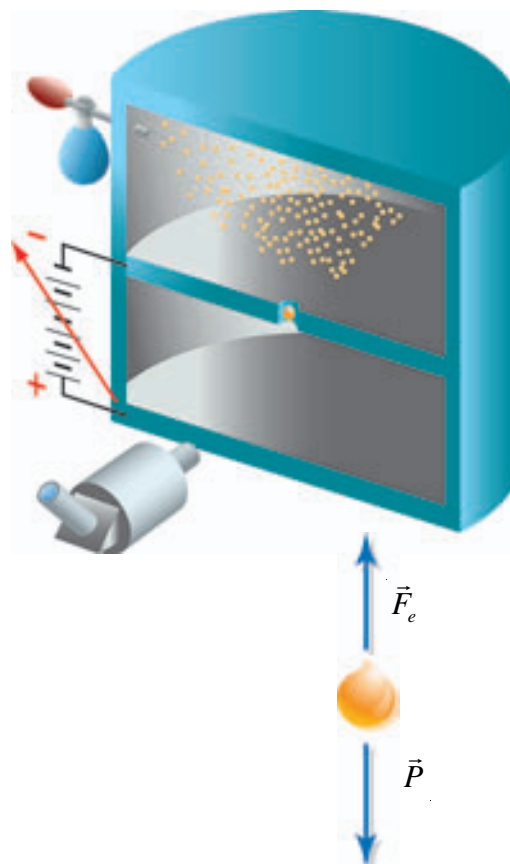
$$\vec{F}_e = \vec{P}$$

Mediante un análisis matemático, Millikan midió el valor de la carga de cada gotita de aceite y supuso que el valor debía ser un múltiplo entero de la carga elemental ( $e$ ), es decir:  $q = n \cdot e$  con  $n$  número entero ( $n=1,2,3,\dots$  etc.).

Supongamos que algunos de los valores medidos por Millikan para varias gotitas fueron los siguientes:

### Análisis de los resultados

- Ordena los resultados de forma ascendente.
- ¿Puedes expresar los valores de  $q$  como el producto entre un valor fijo  $e$  y un número entero  $n$ ? Recuerda que el valor de  $e$  debe ser mismo para todas las gotitas.
- ¿Cuál fue el valor que obtuviste para la carga  $e$ ?
- ¿Qué importancia crees que tuvo este experimento para la Física?



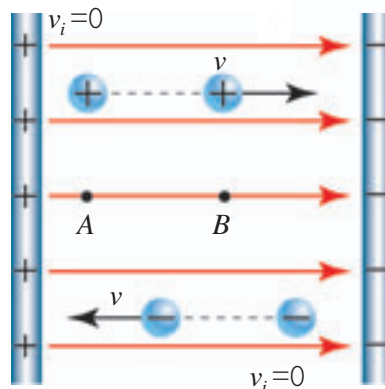
$q$ ( $\times 10^{-19}$ C)
6,4
9,6
4,8
17,6
3,2
8,0
12,8

## 6. Movimiento de cargas en un campo eléctrico

Cuando un futbolista lanza el balón de un extremo de la cancha al otro, podemos observar que este recorrido describe una trayectoria curva. La trayectoria del balón se debe a que este se mueve en presencia del campo gravitacional terrestre. A su vez, si el mismo balón se suelta desde cierta altura, el campo gravitacional hace que adquiera una trayectoria rectilínea dirigida hacia el centro de la Tierra. Algo muy similar ocurre con el movimiento de partículas cargadas en presencia de un campo eléctrico, en dicho movimiento se pueden dar dos situaciones: que las partículas ingresen en forma paralela a las líneas de campo (análogo a soltar el balón de cierta altura) o que lo hagan en forma perpendicular a estas líneas (análogo a lanzar el balón de un extremo de la cancha al otro).

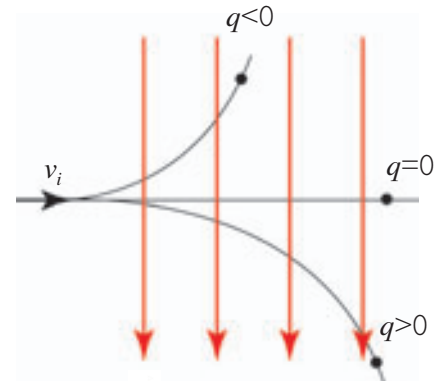


- a. En un campo eléctrico uniforme, en que  $V_A > V_B$ , una carga positiva inicialmente en reposo se moverá de mayor a menor potencial, mientras que una carga negativa se moverá de menor a mayor potencial. Así, los protones se mueven en la dirección en que disminuye el potencial eléctrico y los electrones lo hacen en la dirección en que el potencial aumenta. Sin embargo, ambas cargas describirán una trayectoria rectilínea con un movimiento uniformemente acelerado paralelo a las líneas de campo.



Las imágenes que observamos en los monitores de un televisor o de un computador se producen por el movimiento de electrones en su interior, que chocan con la superficie interna de la pantalla.

- b. Cuando la velocidad inicial de la partícula es perpendicular a las líneas del campo eléctrico, estas describen trayectorias parabólicas con un movimiento uniformemente acelerado, curvándose en el sentido de las líneas de campo si son positivas, y en sentido contrario, si son negativas, esto ocurre por la acción de una fuerza eléctrica, cuya dirección y sentido depende de signo de la carga en movimiento. Este procedimiento es útil para determinar la carga eléctrica y la masa de muestras radiactivas, como la radiación cósmica, etc.



La fuerza eléctrica consigue que una de las partículas ( $q < 0$ ), describa una trayectoria más cerrada que la otra ( $q > 0$ ). Esto se debe a que la masa de la carga negativa, es menor que la masa de la carga positiva.

### INTER@CTIVIDAD

En la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) ingresa el código 10F4031. En ella encontrarás una animación que representa la trayectoria seguida por una partícula cargada al interior de un campo eléctrico uniforme. Modifica los valores del campo y de la carga y observa lo que sucede.



## 7. El campo magnético

El fenómeno del magnetismo es una propiedad que se manifiesta en forma natural en ciertas sustancias como el hierro, cobalto y níquel, principalmente, y que se caracteriza por la aparición de fuerzas de atracción o de repulsión entre imanes.

### Actividad 9

RELACIONAR

### OBSERVANDO EL CAMPO MAGNÉTICO

Necesitarás dos imanes rectos, una hoja blanca y polvo o limadura de hierro.

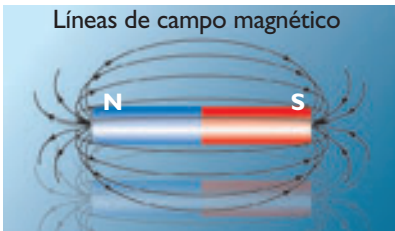
- Coloca el imán sobre una mesa, y sobre él un papel blanco. Espolvorea la limadura de hierro sobre la hoja golpeándola suavemente con un dedo para que se acomode. Dibuja en tu cuaderno la “figura” que se forma.
- Repite la actividad poniendo bajo la hoja dos imanes en distintas posiciones y dibuja en tu cuaderno las formas que adoptan las limaduras de hierro.

Responde las siguientes preguntas:

- ¿Cómo puedes relacionar lo observado con el campo eléctrico?
- ¿Cómo llamarías la zona en que se forman las figuras?
- ¿En qué parte del imán están más concentradas las líneas?
- ¿Se pueden identificar los polos de los imanes?



Líneas de campo magnético



Al igual que una carga crea un campo eléctrico en su entorno y una masa crea un campo gravitatorio, un imán crea un **campo magnético** a su alrededor, que se detecta por la aparición de fuerzas magnéticas, y se puede representar mediante **líneas de campo magnético** o de **fuerza magnética**. Los polos de un imán son aquellas regiones desde la que salen (polo norte) y entran las líneas de campo magnético (polo sur). Al separar un imán en dos, siempre resultan dos nuevos imanes, con dos polos cada uno.

### CONEXIÓN CON... ● BIOLOGÍA

Las aves migratorias pueden orientarse debido a la capacidad que poseen para detectar la intensidad y la dirección del campo magnético terrestre. Dicha capacidad se explicaría por cristales de magnetita en el cráneo de las aves. Recordemos que la magnetita posee propiedades magnéticas que la hacen comportarse como una brújula.



El campo magnético se mide en cada punto mediante el vector **intensidad de campo magnético** ( $\vec{B}$ ), que es tangente a las líneas de campo magnético. Estas líneas tienen las siguientes propiedades:

- En el exterior del imán, cada línea se orienta desde el polo norte al polo sur.
- A diferencia de las líneas de campo eléctrico, las líneas de campo magnético son cerradas y no se interrumpen en la superficie del imán.
- El vector de campo magnético en cada punto del espacio es tangente a la línea de campo que pasa por ese punto.
- La cantidad de líneas por unidad de área en la vecindad de un punto es proporcional a la intensidad del campo en dicho punto.
- Las líneas nunca se intersecan ni se cruzan en ningún punto del espacio.

La intensidad de campo se mide en Tesla (T), donde:  $1 \text{ T} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$

## 7.1 Electricidad y magnetismo

### Actividad 10

INFERIR

#### RELACIONANDO FENÓMENOS

Consigan una batería de 9V, un trozo de alambre de cobre grueso y una brújula.

1. Ubiquen la brújula sobre la mesa y el alambre recto sobre ella apuntando en la dirección norte-sur.
2. Conecten la batería a los extremos del alambre.
  - a. ¿Hacia dónde se desvía la aguja de la brújula?
  - b. ¿Qué creen que sucede alrededor del cable?
  - c. ¿Cómo asociarían lo que sucede alrededor con un imán?
  - d. Rodeen la brújula con el cable y dibujen las líneas de campo.
  - e. ¿Qué sucederá si se invierte el sentido de la corriente?



Lo que pudimos observar en la actividad anterior fue lo que el profesor de Física danés **Hans Christian Oersted** (1777-1851) descubrió en forma casual durante una clase: notó que cerca de un cable por el que circulaba corriente eléctrica la aguja de una brújula se desviaba de la dirección norte-sur. A partir de esta experiencia, concluyó que el magnetismo no solo es causado por los imanes, sino que también puede ser producido por una corriente eléctrica. Este hecho se conoce como el **efecto Oersted** y fue el primer paso para llegar a determinar la conexión entre electricidad y magnetismo, en un área que posteriormente se llamó electromagnetismo. Poco tiempo después, **André-Marie Ampère** descubrió la relación entre las magnitudes de campo magnético y corriente, la que es conocida como **ley de Ampère**.

## 7.2 Campo magnético creado por una corriente eléctrica

En un conductor recto muy largo, por el que circula una corriente  $i$ , el campo magnético alrededor de él es perpendicular a la corriente, y las líneas del campo toman la forma de anillos concéntricos en torno al alambre, donde la dirección del vector campo magnético es tangente en cada punto a esas líneas.

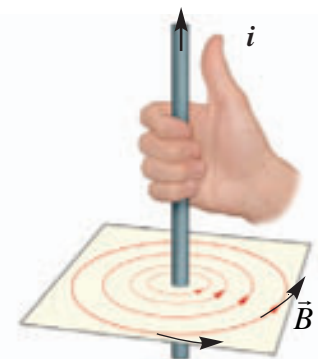
Su intensidad (módulo) ( $B$ ) en un punto ubicado a una distancia ( $r$ ) se obtiene aplicando la ley de Ampère, resultando la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r}$$

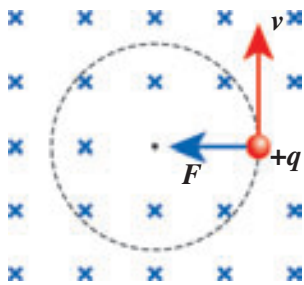
El valor de  $\mu_0$  corresponde a la permeabilidad magnética en el vacío y es de  $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ .

### ¿? CONCEPTOS CLAVE

**Brújula:** es un instrumento utilizado para la orientación geográfica y su fundamento se basa en el comportamiento de las agujas imantadas. Estas utilizan como medio de funcionamiento el magnetismo terrestre. La aguja indica la dirección del campo magnético terrestre, apuntando hacia los polos norte y sur geográficos (opuestos a los polos magnético de la aguja).

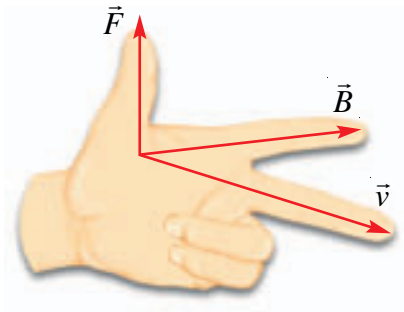


Para determinar el sentido de las líneas de fuerza de un campo magnético, se utiliza la llamada "regla de la mano derecha". Esta consiste en apuntar el pulgar derecho en el sentido de la corriente, y la dirección de los demás dedos que se cierran corresponderá al del campo magnético.



Una partícula cargada en presencia de un campo magnético uniforme experimenta una fuerza magnética que obliga a desarrollar un movimiento de trayectoria circular.

Convención para representar el campo magnético	
En el plano de la página.	↑
Entrando a la página.	×
Saliendo de la página.	•

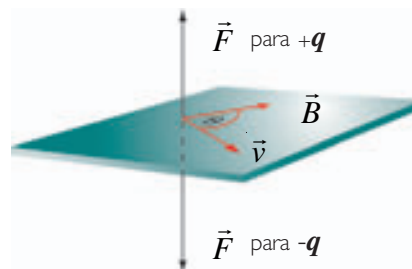


La regla de la mano izquierda indica la relación que existe entre la fuerza magnética (dedo pulgar), el campo eléctrico (dedo índice) y la corriente eléctrica (dedo mayor). Esta regla sirve para comprender la dirección y el sentido de cada uno de esos vectores.

### 7.3 Fuerza magnética sobre una carga eléctrica

Cuando una partícula cargada se encuentra quieta dentro de un campo magnético, no experimenta ninguna fuerza de origen magnético. Pero si está en movimiento en una dirección distinta de las líneas de campo magnético, recibe una fuerza magnética que la desviará de su curso. Esta fuerza ejercida por un campo magnético sobre una carga (que pertenece a un grupo de cargas) en movimiento es proporcional a la carga  $q$  y a la componente de la velocidad de la carga en la dirección perpendicular a la dirección del campo magnético.

El sentido de esta fuerza, para una carga positiva, se puede determinar mediante la aplicación de la “regla de la mano izquierda”, ubicando el dedo mayor en el sentido de la velocidad y el dedo índice en el sentido de  $\vec{B}$ . La posición en que queda el dedo pulgar ubicado perpendicularmente a los otros dos, señala el sentido de  $\vec{F}$ . Si la carga es negativa, se invierte el sentido de la fuerza.



La dirección de la fuerza magnética es perpendicular tanto al campo magnético como a la velocidad de la partícula. Su intensidad se puede calcular mediante la siguiente relación escalar:

$$F = qvB\sin\theta$$

En ella,  $\theta$  es el ángulo formado por los vectores velocidad de la partícula y campo magnético.

Al examinar la relación anterior, podemos ver que la fuerza es máxima cuando los vectores velocidad y campo magnético son perpendiculares entre sí, mientras que es nula si ambos vectores son paralelos.

Cuando una partícula se mueve en una región en la que hay un campo magnético y un campo eléctrico, el módulo de la fuerza total sobre ella es la suma de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética. Esto es:

$$F = q(E + vB\sin\theta)$$

La expresión anterior se conoce como fuerza de Lorentz, llamada así debido a que fue identificada por primera vez por **Hendrik Lorentz** (1853-1928).

## EJEMPLO RESUELTO 3

### Trayectoria descrita por una partícula cargada al ingresar a un campo magnético

Una partícula de masa  $m$  y carga  $q$  se mueve al interior de un campo magnético  $B$  con una velocidad  $v$  perpendicular al vector campo magnético. Esta partícula describe una trayectoria circular de radio  $r$ , debido a la fuerza magnética que actúa como fuerza centrípeta (recuerda que la expresión que representa la fuerza centrípeta es:  $F_c = mv^2 / r$ ); es decir:

$$m \frac{v^2}{r} = qvB$$

Si despejamos  $r$ , vemos que el valor del radio de la trayectoria circular descrita por la carga queda dado por la relación:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

## EJEMPLO RESUELTO 4

Un electrón entra a un campo magnético uniforme perpendicular a la velocidad. Si el radio de la trayectoria que describe el electrón es de 10 cm, calcula la velocidad  $v$  del electrón si el campo magnético es  $5 \times 10^{-4} \text{T}$ . Encuentra también el período del movimiento circular del electrón.

La fuerza magnética es la que causa la trayectoria circular y corresponde a la fuerza centrípeta, por lo tanto:

$$m \frac{v^2}{r} = qvB$$

entonces, despejando  $v$  resulta:

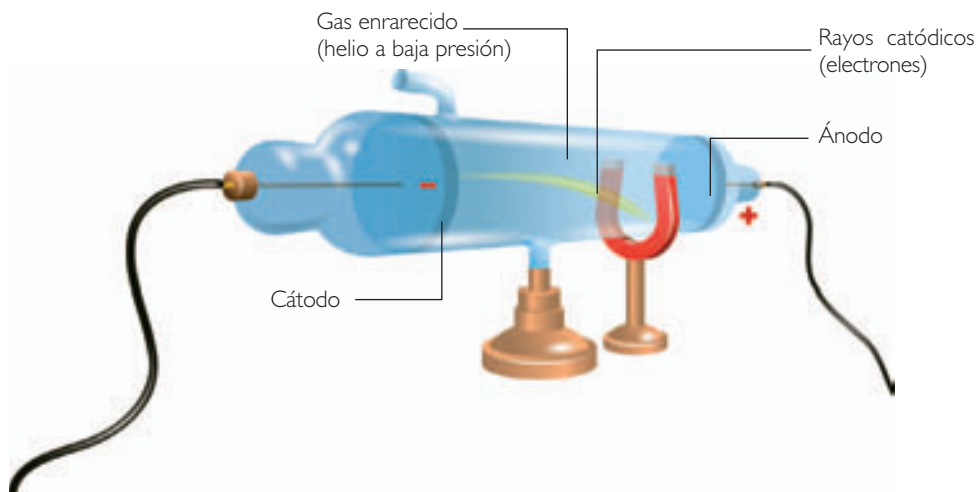
$$v = \frac{qrB}{m} = 8,79 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Recordando el movimiento circular, podemos calcular el período a través de la expresión:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = 7 \times 10^{-8} \text{ s}$$

Finalmente, la velocidad es de  $8,79 \times 10^6 \text{ m/s}$ , y el período es de  $7 \times 10^{-8} \text{ s}$ .

### Experimento de Thomson



El norteamericano Joseph John Thomson (1856-1940), haciendo uso de un tubo de rayos catódicos, encontró experimentalmente la razón entre la carga y la masa del electrón  $e/m$  (carga específica).

La figura representa el experimento de Thomson donde los electrones, acelerados desde el cátodo mediante una diferencia de potencial  $V_a$ , eran desviados por un campo magnético perpendicular a la trayectoria de los electrones.

Midiendo el voltaje o diferencia de potencial  $V_a$  entre las placas, el radio  $r$  de la trayectoria descrita por el electrón y la intensidad del campo magnético aplicado ( $B$ ), Thomson obtuvo un valor (módulo) para la carga específica del electrón:

$$\frac{e}{m} = 1,76 \times 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Algunas de las conclusiones a las que llegó Thomson después de su experimento fueron:

- los rayos catódicos estaban hechos de partículas a las que llamó "corpúsculos",
- los átomos estaban constituidos de partículas más pequeñas.

#### Análisis de los resultados

- A partir de los resultados y conclusiones que obtuvo Thomson, plantea dos posibles hipótesis factibles de haber sido puestas a prueba por su experimento.
- ¿Qué observación en el experimento puede constituir un argumento a favor de la divisibilidad de los átomos?
- Utilizando los resultados del experimento de Millikan (página 30) y el de Thomson, determina la masa del electrón.

## 7.4 Fuerza magnética sobre una corriente eléctrica

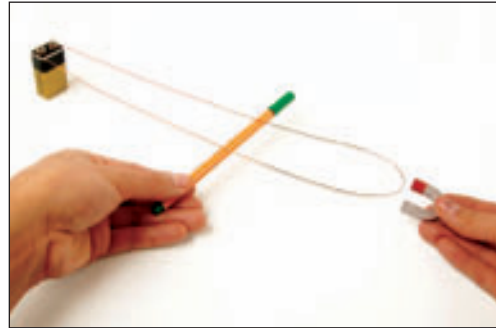
### Actividad 11

### OBSERVAR-INFERIR

#### FUERZA SOBRE UN CONDUCTOR

Necesitarán una batería de 9 V, un cable delgado y un imán, en lo posible de herradura, o dos imanes enfrentados por sus polos opuestos.

- Arma el sistema como muestra la figura y luego conecta y desconecta la corriente varias veces.
1. ¿Se desvía el alambre con corriente que está dentro del campo magnético?, ¿en qué dirección?
  2. ¿Qué pasa si se invierte el sentido de la corriente eléctrica que pasa por este conductor?
  3. ¿Cómo podrían explicar lo que acaban de observar?
  4. ¿De qué creen que depende la fuerza que experimenta el cable conductor?



En la actividad que acabamos de realizar, pudimos observar que un conductor eléctrico se ve afectado por el campo magnético generado por un imán. Así como una carga eléctrica en movimiento (en una dirección que no es paralela a la de  $\vec{B}$ ) es afectada por una fuerza magnética, es natural que esta fuerza también afecte a una corriente eléctrica considerada como un gran número de cargas en movimiento, y al conductor que las contiene. Un conductor recto de longitud  $l$  que porta una intensidad de corriente  $i$  en forma perpendicular a un campo magnético  $\vec{B}$ . La expresión que da cuenta del módulo de la fuerza magnética se deduce de la siguiente manera:

Sabemos que: 
$$F = qvB\sin\theta$$

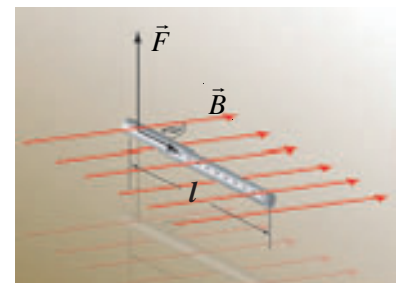
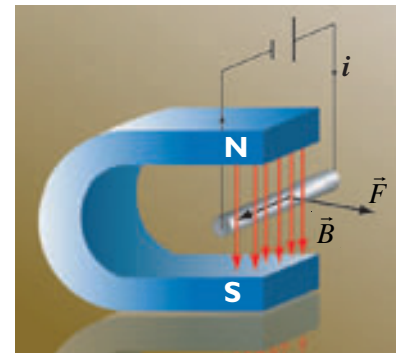
Como la corriente  $I = q / \Delta t$  (carga circulante en cierto intervalo de tiempo), y la velocidad  $v = \Delta l / \Delta t$ . Al reemplazar dichas expresiones en la fuerza obtenemos:

$$F = (I\Delta t) \frac{\Delta l}{\Delta t} B\sin\theta$$

considerando que el ángulo entre la velocidad y el campo es igual a  $90^\circ$ . El módulo de la fuerza magnética sobre una sección de longitud  $l$  del conductor está dado por la relación:

$$F = ilB$$

La fuerza es nula si el conductor es paralelo al campo y máxima si es perpendicular. La dirección de esta fuerza es perpendicular al plano formado por el conductor y las líneas de fuerza magnéticas, y su sentido se puede determinar utilizando la "regla de la mano izquierda".



Un conductor por el que circula una corriente, ubicado en un campo magnético, experimenta una fuerza perpendicular a la corriente y al campo magnético, desviándolo hacia un lado u otro, dependiendo del sentido de la corriente y de la polaridad del imán.

## 7.5 Fuerza magnética entre dos conductores paralelos

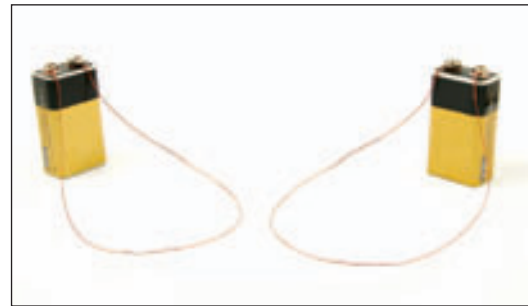
### Actividad 12

### OBSERVAR-INFERIR

#### FUERZA ENTRE CONDUCTORES

Necesitarán dos baterías de 9V y dos trozos largos de alambre esmaltado.

1. Conecten los extremos de cada trozo de alambre a los polos de las baterías, de modo que las corrientes que circulan tengan la misma dirección y sentido.
2. Acerquen los alambres en forma paralela, como se ve en la fotografía.
  - a. ¿Pueden observar alguna interacción entre los alambres?
  - b. Si se invierte el sentido de una de las corrientes, ¿hacia dónde tienden a moverse ambos alambres cuando las acercan?
  - c. ¿De qué creen que depende la interacción entre los alambres? Enumeren las variables que participan de dicha interacción.

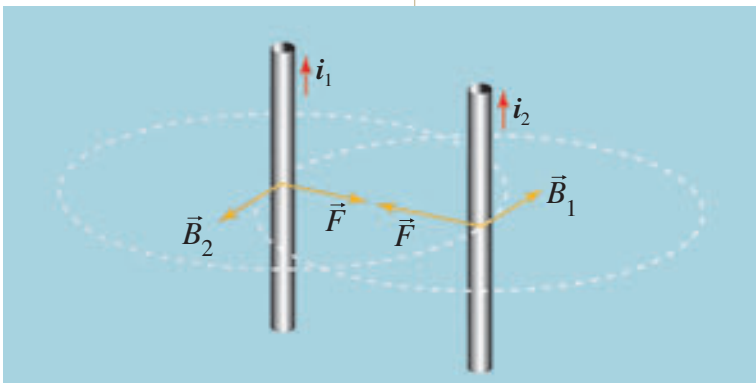


En la actividad anterior, pudimos observar que cuando dos conductores eléctricos que portan corriente se encuentran próximos entre sí, experimentan una fuerza atractiva o repulsiva, esto es debido a la interacción entre los campos magnéticos generados por las corrientes que circulan por ellos.

El módulo del campo magnético  $B_1$  creado por un conductor largo y recto, de longitud  $l$ , que porta una corriente  $i$  a una distancia  $r$  de él, está dado por:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2\pi r}$$

El sentido del campo magnético se determina aplicando la regla de la mano derecha (el dedo pulgar indica el sentido de la corriente y la punta del resto de los dedos indica el sentido de  $B$ ). Si un segundo conductor de la misma longitud, que porta una corriente  $i_2$ , es colocado a una distancia  $r$  y paralelo al conductor anterior, experimentará una fuerza magnética  $\vec{F}$ , cuyo módulo está dado por:  $F = i_2 l B_1$



Cuando las corrientes recorren los conductores en el mismo sentido, estos se atraen; si las corrientes tienen sentido opuesto, se repelen.

o en forma equivalente:  $F = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{2\pi r}$

Si determinamos la fuerza producida por  $i_2$  sobre  $i_1$ , resulta una fuerza  $F'$  del mismo módulo y dirección que  $F$ , pero de sentido opuesto.

## 7.6 Aplicaciones de la fuerza eléctrica y magnética

### El motor eléctrico de corriente continua (c.c.)

#### Actividad 13

EXPLICAR

#### CONSTRUYENDO UN MOTOR

Para esta actividad necesitarán los siguientes materiales: una batería de 9 V, dos clips, alambre de cobre esmaltado y un imán.

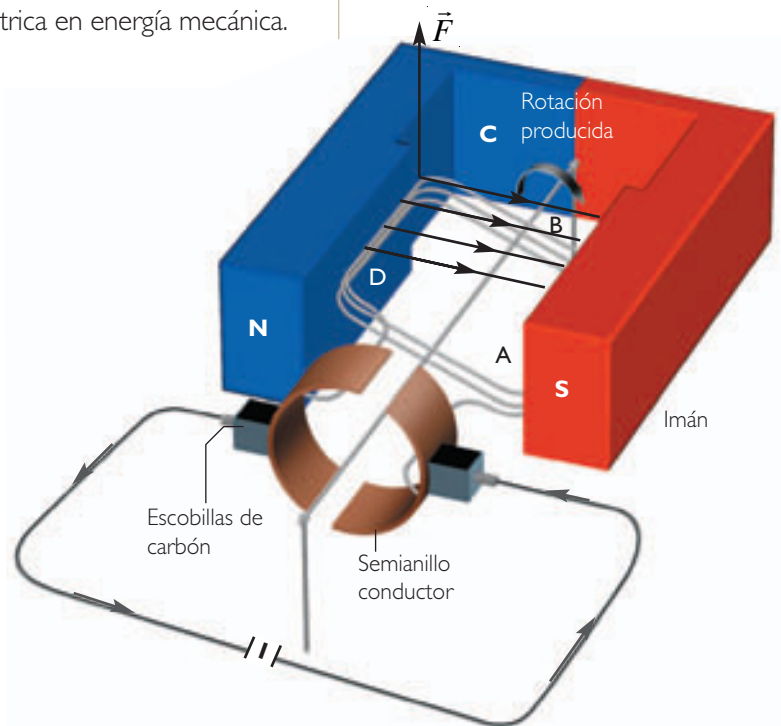
1. Enrollen el alambre de cobre, dejando que sus extremos sobresalgan.
2. Lijen los extremos de los alambres de cobre (no por completo), de manera que hagan contacto.
3. Con el resto de los materiales, realicen el montaje que muestra la fotografía.
4. Acerquen el imán al alambre de cobre y observen.
  - a. ¿Qué sucede con el alambre al acercar el imán?
  - b. Den una explicación tentativa al fenómeno observado.



Lo realizado en la **Actividad 13** corresponde a una de las aplicaciones más útiles de la fuerza experimentada por un conductor eléctrico en presencia de un campo magnético perpendicular a él. Esta aplicación es conocida como el **motor eléctrico**, y este transforma energía eléctrica en energía mecánica.

El desarrollo del motor eléctrico propició una gran cantidad de avances en el campo de la industria y la electrónica.

El campo magnético es generado por un imán permanente en el que se encuentra una bobina (conjunto de espiras de un conductor), cuyos extremos están unidos a un par de semianillos conmutadores de la corriente que al girar lo hacen apoyados en escobillas de carbón que están fijos. Al conectar las escobillas con una fuente de poder o pila, la corriente circulará en la bobina en un sentido por AB y en sentido opuesto en CD (ver figura), de manera que la fuerza sobre cada tramo será tal que causará un giro en la bobina. Para evitar el movimiento de vaivén debido al sentido único de la corriente (al dar media vuelta la corriente tendrá sentido opuesto respecto de B), los conmutadores se interrumpen, como se ve en la figura, y así se mantiene el movimiento de rotación de la bobina.

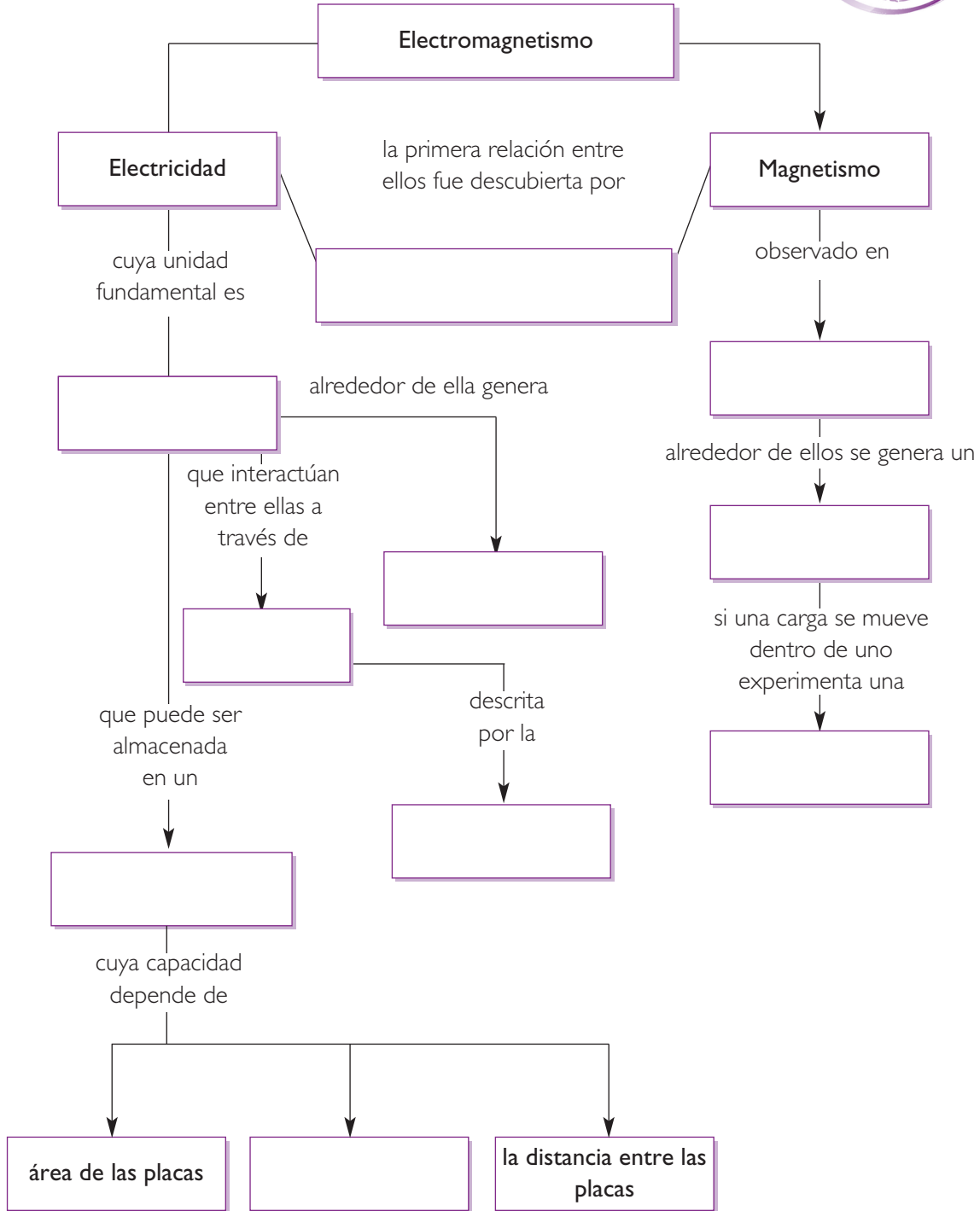




SÍNTESIS



Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



## EVALUACIÓN

### I. Desarrolla las siguientes preguntas en tu cuaderno

1. ¿Qué propiedades posee una carga eléctrica?
2. ¿Cuál es la diferencia entre un material conductor y uno aislante?
3. Si se acerca un cuerpo cargado positivamente a un conductor neutro aislado, sin tocarlo, ¿qué tipo de electrización se produce?, ¿con qué carga neta queda el conductor?
4. ¿De qué factores depende la capacidad de un condensador para almacenar carga?
5. ¿En qué consiste el efecto Oersted?
6. ¿Qué características poseen las líneas de campo eléctrico entre dos cargas positivas?

### II. Para calcular

1. Dos cargas de  $2 \times 10^{-6} \text{C}$  se encuentran separadas 2 cm. Determina la fuerza electrostática sobre cada una de ellas. Dibuja el sentido de la fuerza para cada una de las cargas.
2. Por un cable delgado y recto circulan 0,03 A. ¿Cuál es el valor del vector campo magnético creado por la corriente a 3 cm del cable?
3. Un ion  $\text{K}^+$ , se encuentra a 100 nm de distancia de un ion  $\text{Ca}^{++}$ . ¿Cuál es la fuerza eléctrica entre los iones?

### III. Análisis

1. ¿Por qué crees que es más probable tener una descarga electrostática en clima seco que en húmedo? Explica.
2. Considera un sistema de dos cargas puntuales  $q$ , separadas una de la otra por una distancia  $l$ . Si una de las cargas cambia de signo y la distancia se acorta hasta  $1/2 l$ , entonces:
  - I. el módulo de la fuerza disminuye a la mitad.
  - II. la fuerza cambia de sentido, convirtiéndose en atractiva.
  - III. el módulo de la fuerza aumenta cuatro veces.
  - IV. la fuerza cambia de sentido, convirtiéndose en repulsiva.

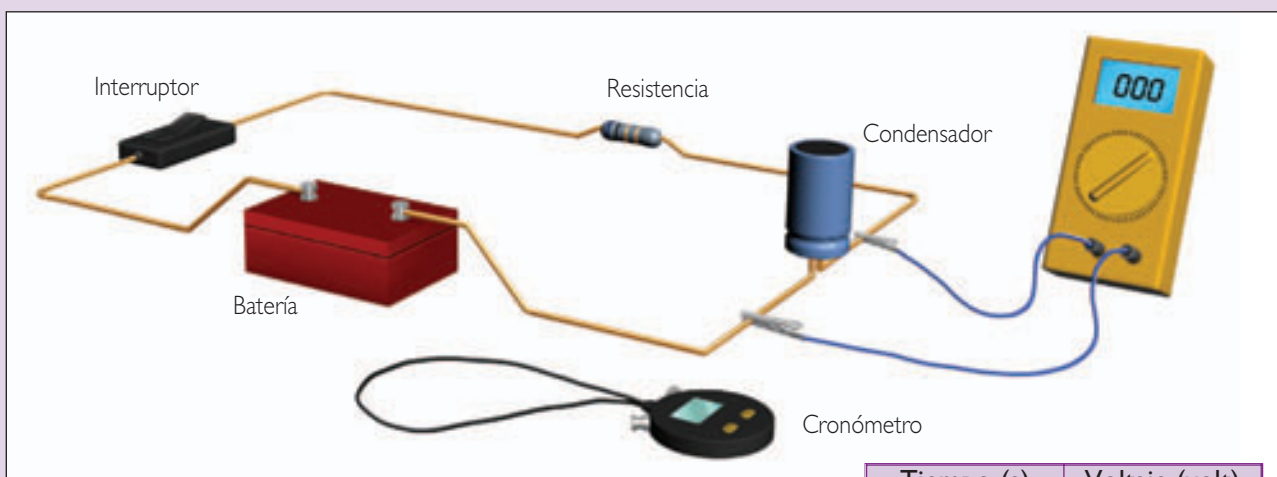
De la afirmaciones, son correctas:

- A. I y II
- B. II y III
- C. I y IV
- D. II y IV

INDAGACIÓN: CIRCUITO RC (RESISTENCIA-CONDENSADOR)

¿Qué factores intervienen en el proceso de carga y descarga de un condensador?

Para analizar el proceso de carga y descarga de un condensador, se monta un circuito que consta de lo siguiente: una fuente de poder (o batería) de 12 V, la que proporciona la diferencia de potencial necesaria para que circule corriente eléctrica; un condensador de  $200 \mu\text{F}$ , que acumula carga eléctrica; una resistencia de  $50 \text{ k}\Omega$ , que regula el paso de la corriente hacia el condensador; un voltímetro, que permite medir el potencial acumulado en el condensador, y un cronómetro, para medir dicho potencial en el tiempo.



Tiempo (s)	Voltaje (volt)
3	3,12
6	5,45
9	7,16
12	8,35
15	9,30
18	10,03
21	10,52
24	11,00
27	11,21
30	11,43

• **Carga del condensador**

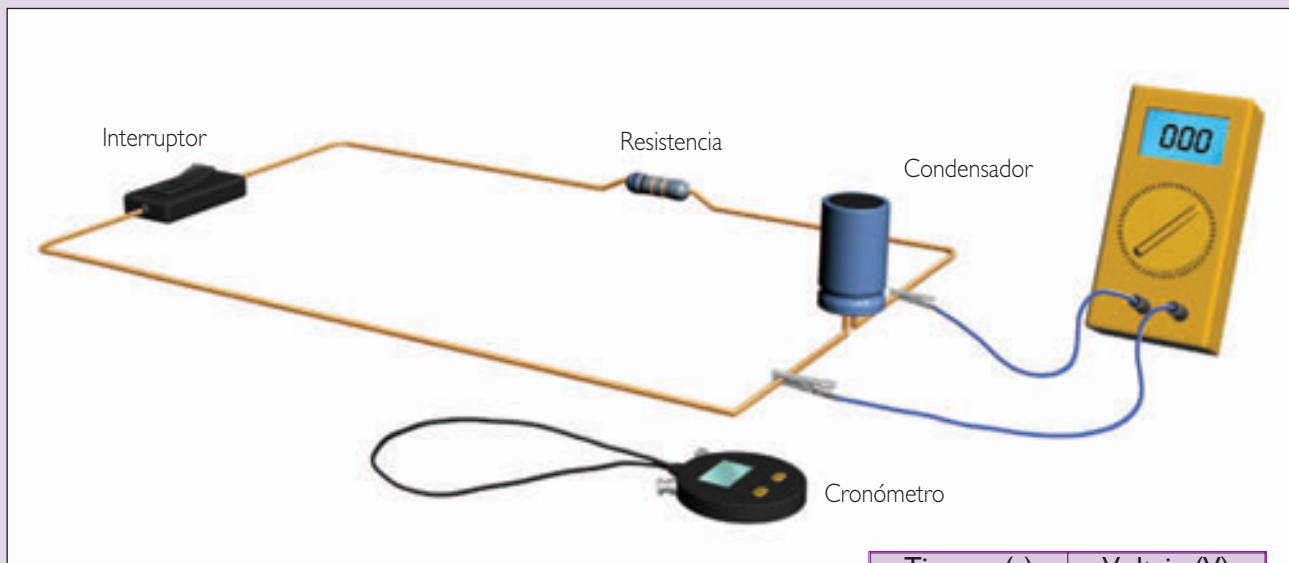
Al abrir el paso de la corriente al circuito utilizando el interruptor y medir el potencial acumulado cada 3 segundos, se obtienen los siguientes registros:

**Análisis del proceso de carga**

1. ¿Qué ocurre con la carga del condensador al conectarlo a la batería?
2. En tu cuaderno realiza un gráfico **V vs. t**.
3. ¿Es un proceso lineal?, ¿conoces alguna función que dé cuenta de dicho comportamiento gráfico?
4. ¿Qué elemento del circuito regula el paso de la corriente eléctrica?
5. ¿Puedes hacer una estimación del tiempo en que el condensador adquiere el 63% de su carga total?

## • Descarga de un condensador

Para analizar el proceso de descarga del condensador, se realiza el siguiente montaje:



Al conectar el interruptor, los datos medidos por el voltímetro en intervalos de tres segundos son los siguientes:

Tiempo (s)	Voltaje (V)
3	8,91
6	6,59
9	4,85
12	6,63
15	2,68
18	2,00
21	1,45
24	1,09
27	0,81
30	0,62

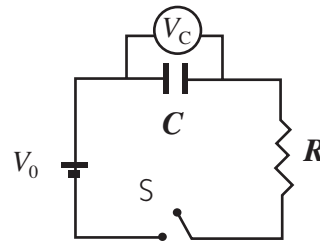
### Análisis del proceso de descarga del condensador

1. ¿Qué ocurre en este caso con la carga en el condensador?
2. ¿Cuál debería ser el potencial inicial  $V_0$  del condensador?
3. Con los datos de la tabla, realiza en tu cuaderno un gráfico  $V$  vs.  $t$ .
4. ¿Es un proceso lineal?, ¿cómo lo clasificarías?
5. Si mantenemos el valor de la resistencia y aumentamos la capacidad del condensador, ¿cuánto crees que sería el tiempo total de la descarga?
6. Si mantenemos el valor del condensador, pero aumentamos el valor de la resistencia, ¿cuánto sería ahora el tiempo total de la descarga?
7. Representa en un mismo gráfico la carga y descarga de un condensador.
8. ¿De qué factores crees que depende el proceso de carga y descarga de un condensador?

# 1. Carga y descarga de un condensador

## 1.1 Carga del condensador

En la actividad de **Indagación**, trabajamos en el análisis del proceso de carga y descarga de un condensador basándonos en datos simulados de una experiencia. Uno de los aspectos que pudimos observar es que el tiempo de carga en dicho fenómeno depende del valor de la resistencia y de la capacidad del condensador. Para cargar el condensador, necesitamos aplicar a sus placas un voltaje continuo suministrado por una fuente de poder.



En el proceso de carga de un condensador, se pueden distinguir las siguientes etapas:

- Al conectar el interruptor **S**, la corriente comienza a circular por el circuito.
- A medida que se produce la carga del condensador, la corriente disminuye y el voltaje en el condensador aumenta proporcionalmente a su carga.
- La carga máxima que puede almacenar el condensador corresponde a  $Q = V_0 \cdot C$ .

El proceso en que la corriente disminuye y el voltaje del condensador aumenta es denominado **régimen transiente de la corriente**, y las curvas que caracterizan el proceso de carga del condensador en función del tiempo se representan en los siguientes gráficos:

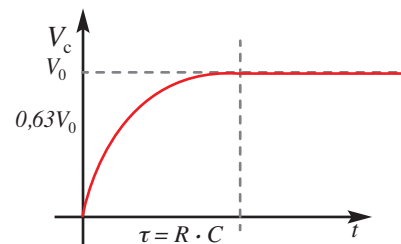


Gráfico 1

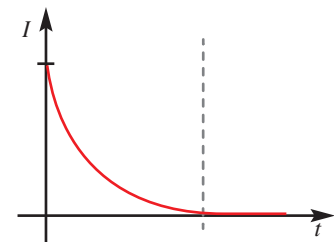
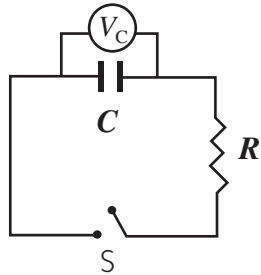


Gráfico 2

El tiempo en que la carga del condensador alcanza el 63% de su capacidad máxima se denomina constante de tiempo del circuito y se representa por la letra  $\tau$  (tau), donde  $\tau = R \cdot C$ . Si  $\tau$  es pequeño, la carga máxima se alcanza con mucha rapidez; pero, si  $\tau$  es grande, puede pasar mucho tiempo hasta que el condensador se cargue completamente.

## 1.2 Descarga del condensador

Supongamos que el condensador está inicialmente cargado con una carga  $Q$ . Cuando el interruptor  $S$  se encuentra desconectado, el voltaje en el condensador es  $Q/C$  y no hay corriente en el circuito.



Al conectar el interruptor, el condensador se descarga a través de la resistencia. Durante este proceso, el voltaje del condensador disminuye proporcionalmente a la carga. Las curvas que caracterizan el proceso de la descarga del condensador en el tiempo se representan en los siguientes gráficos:

Gráfico 3

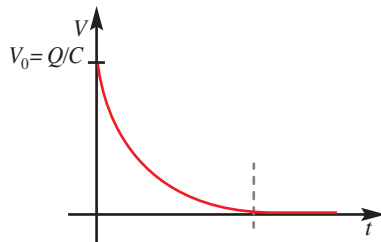
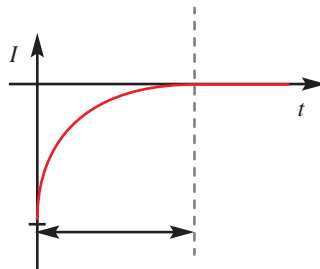


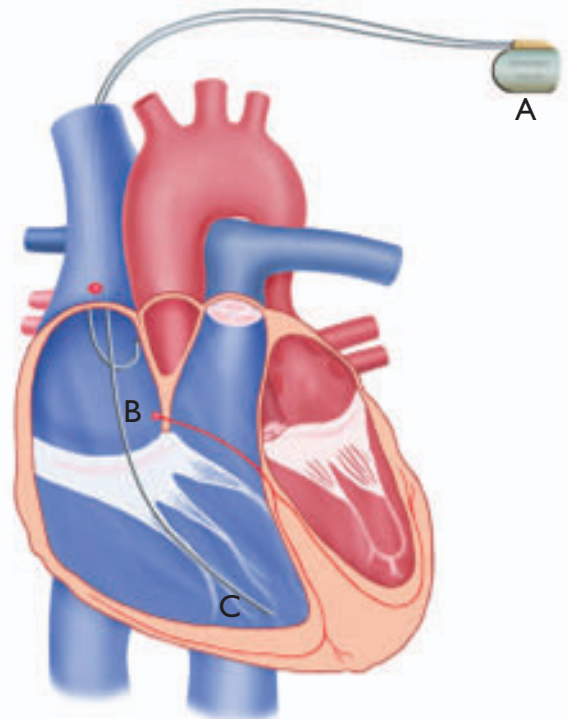
Gráfico 4



Un marcapasos (A) es básicamente en un circuito  $RC$ , cuando la batería del marcapasos carga al condensador, este se descarga a través de un par de electrodos (B y C) el corazón.

## 1.3 Aplicaciones del circuito RC

La carga y descarga en un circuito  $RC$  se puede usar para producir pulsos de voltaje a una frecuencia regular. Una forma simple de iniciar la descarga de un condensador es con el uso de un tubo lleno de gas, generalmente gas neón, que durante el proceso de carga y descarga produce una luz titilante. El mismo principio se utiliza en los marcapasos cardiacos: ellos producen descargas eléctricas regulares a través de un par de electrodos conectados al corazón; estas descargas mantienen el ritmo cardiaco. (Ver ilustración)



## Transformando movimiento en electricidad

### Observación

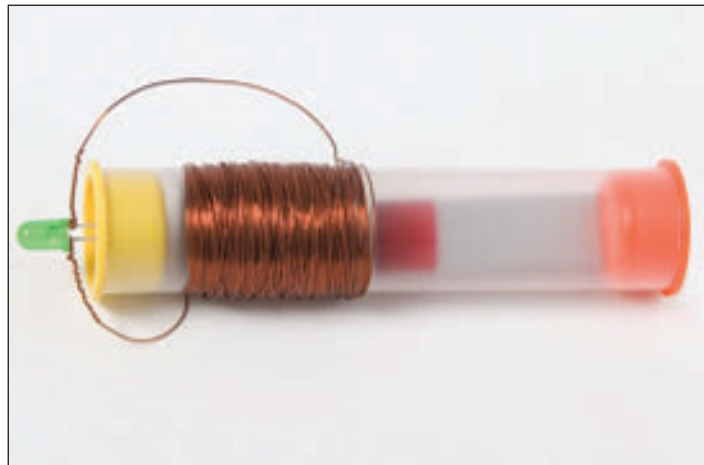
Seguramente sabes que las centrales hidroeléctricas transforman el movimiento del agua en electricidad; también el movimiento de la rueda de una bicicleta es capaz de generar electricidad suficiente para encender un foco. Pero ¿cómo ocurre esta transformación de energía? Formen grupos de tres o cuatro integrantes y planteen una hipótesis que responda esta pregunta. Reúnan los siguientes materiales y realicen el siguiente procedimiento experimental que les permitirá poner a prueba su hipótesis.

### Materiales

- Un tubo plástico o de cartón de 15 cm de largo y no más de 2 cm de radio.
- Diez a doce metros de alambre de cobre fino y esmaltado (se puede conseguir en cualquier ferretería).
- Un imán cilíndrico o dos imanes de neodimio.
- Un diodo LED de alta luminosidad.
- Dos topos de goma.
- Cinta adhesiva.

### Procedimiento

1. Sobre el tubo plástico, enrollen entre 600 y 700 vueltas de alambre. Pueden turnarse para enrollar el alambre procurando no perder la cuenta.
2. Dejen libre al menos 15 cm de alambre en cada extremo de la bobina.
3. Coloquen dentro del tubo el imán y sellen firmemente sus extremos utilizando cinta adhesiva y los topos de goma. (ver fotografía).
4. Conecten el LED a los extremos de la bobina.
5. Agiten el tubo plástico de modo que el imán se mueva al interior de este.



### Análisis

- a. ¿Qué ocurrió con el diodo LED al agitar el imán dentro del tubo?
- b. ¿Cómo se relaciona la luminosidad del diodo con la rapidez con que se mueve el imán dentro del tubo?
- c. Mencionen las variables y conceptos involucrados en el fenómeno.
- d. Propongan al menos dos explicaciones alternativas al fenómeno observado en la experiencia.

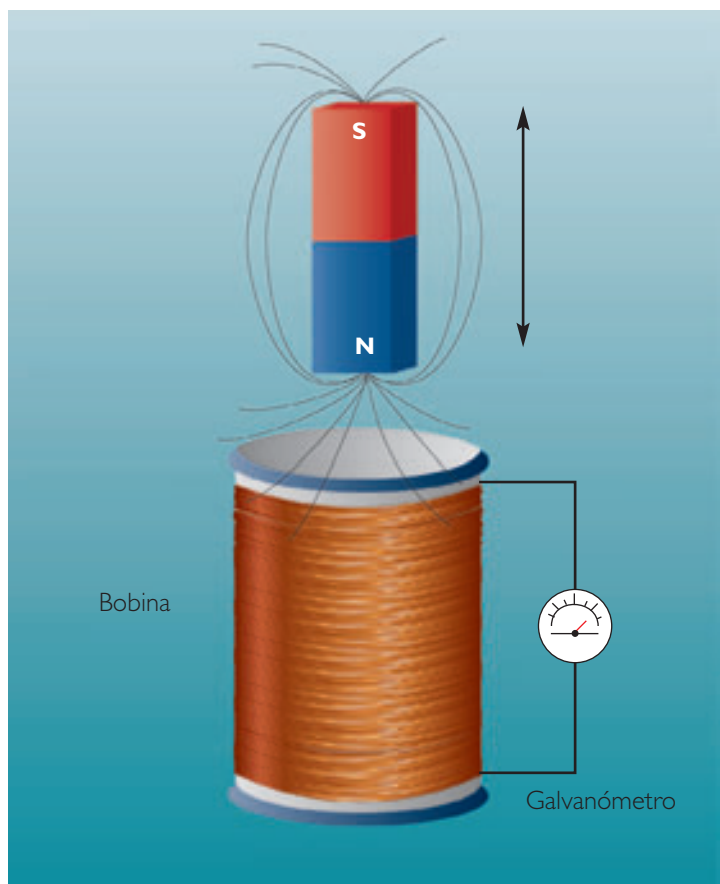
## 2. Inducción electromagnética

En la investigación científica, pudiste observar que cuando el imán se movió al interior de la bobina se generó una corriente eléctrica; la presencia de esta se hizo evidente al encenderse el diodo. Este fenómeno fue observado en 1831 por el inglés **Michael Faraday** (1791-1867) y por el estadounidense **Joseph Henry** (1797-1878). Ellos comprobaron que es posible obtener una corriente eléctrica a partir de un flujo magnético variable; a dicho fenómeno se le llamó **inducción electromagnética**. Este descubrimiento, además de ser fundamental para el desarrollo del electromagnetismo, permitía, por primera vez, generar corriente sin depender de reacciones químicas, como las producidas en una pila.

### Experimento de Faraday

Faraday construyó una bobina (carrete de alambre de cobre) y conectó los terminales a un galvanómetro. Este instrumento detecta el paso de la corriente eléctrica y su aguja, ubicada en el centro, puede girar hacia la izquierda o derecha, indicando el sentido de la corriente. En el interior de la bobina, introdujo un imán de barra que hizo entrar y salir (ver figura). Faraday notó que la aguja del galvanómetro no se movía cuando el imán estaba en reposo en el interior de la bobina; sin embargo, se producía un golpe eléctrico al introducir el imán y otro, en sentido contrario, al sacar el imán. El resultado fue que al introducir el imán se produce una diferencia de potencial eléctrico conocida como fuerza electromotriz o fem ( $\epsilon$ ). Esta diferencia de potencial genera un golpe de corriente, cuya dirección depende del sentido del movimiento de este.

La interpretación que dio Faraday a este experimento es que la aparición de la corriente se debía a la variación en el número de líneas de campo magnético que se producía al mover el imán.



### INTER@CTIVIDAD

En la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) ingresa el código 10F4047. En ella encontrarás una animación sobre la inducción eléctrica en una espira debido al movimiento de un imán.



## 2.1 Flujo magnético

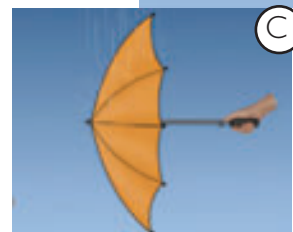
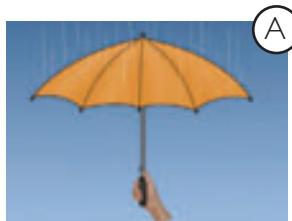
### Actividad 1

ANALIZAR

#### LLUVIA SOBRE UN PARAGUAS

Observa con atención las siguientes ilustraciones y responde las siguientes preguntas:

1. ¿En cuál de las posiciones el paraguas recibe una mayor cantidad de gotas de agua?, ¿en qué posición recibe menos?
2. ¿Podrías relacionar el ángulo de inclinación del paraguas con la cantidad de agua que recibe?
3. Si tuvieses que definir el concepto de “flujo” de gotas de agua, ¿cuál sería tu definición?, ¿en qué posición el paraguas recibe un mayor flujo de gotas?



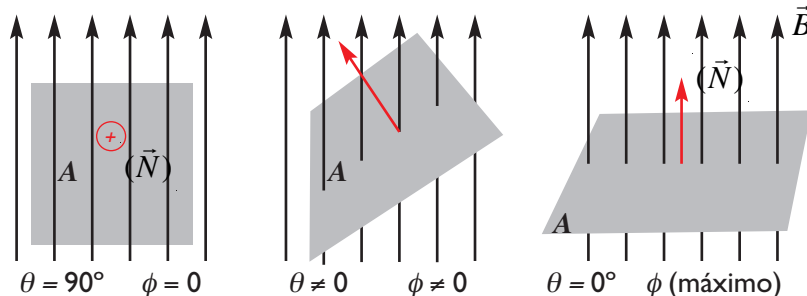
El concepto de flujo lo introdujo el matemático y físico alemán **Carl Friedrich Gauss** (1777-1855) y fue aplicado por Faraday para explicar los fenómenos de inducción a partir de los cambios que experimentaban las líneas de campo magnético. De esta manera, el flujo magnético corresponde al número de líneas de campo magnético que atraviesan una determinada superficie (como la cantidad de gotas de lluvia que chocan contra el paraguas en distintas posiciones de la **Actividad 1**). Se designa con la letra griega  $\phi$  y se expresa de la siguiente forma:

$$\phi_m = B \cdot A \cos \theta$$

En que  $A$  es el área de la superficie,  $\vec{B}$  es el campo magnético uniforme y donde la superficie se encuentra inmersa,  $\theta$  es el ángulo formado entre el vector campo magnético y el vector normal a la superficie. En el SI, la unidad de medida para el flujo magnético es el weber (Wb), en honor al físico alemán **Wilhelm Weber** (1804-1891), y corresponde a:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Tm}^2$$

Como lo realizado en la **Actividad 1**, el flujo depende en cada caso del ángulo  $\theta$ :



## 2.2 Fem inducida en un circuito

A partir de sus experimentos, Faraday demostró que si el flujo magnético cambia bruscamente (por ejemplo, al mover un imán rápidamente), la intensidad de corriente inducida aumenta. Para cuantificar lo anterior, Faraday propuso una expresión que es conocida como **ley de inducción** o **ley de Faraday**, que sostiene que la fem (fuerza electromotriz) inducida ( $\varepsilon$ ) es proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético ( $\Delta\phi / \Delta t$ ) que atraviesa un circuito:

$$\varepsilon \propto \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

En el SI, la fem inducida se mide en volts. Por tanto:  $1V = 1Wb/s$ .

Si tenemos una bobina de  $N$  espiras, la ley de Faraday (en estricto rigor, ley de Faraday y Lenz) resulta:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

### Actividad 2

### INTERPRETAR

#### ANALIZANDO LA LEY DE FARADAY

La expresión  $\varepsilon = -N(\Delta\phi / \Delta t)$  es la representación matemática de la ley de Faraday. Respecto de dicha expresión, responde las siguientes preguntas:

- ¿Qué gráfico crees que representa a la fem vs. rapidez de cambio del flujo?
- ¿Cómo será la relación entre fem inducida y el número de espiras de la bobina?
- ¿Cómo interpretarías el signo negativo de la fem?
- ¿Qué necesitarías para producir un valor alto de la fem? Explica.

### CONEXIÓN CON... ● MÚSICA

A lo largo de la historia, los avances de la técnica y la artesanía han producido una gran variedad de instrumentos musicales de diferentes formas y tamaños. Pero, con el desarrollo de la ciencia, los instrumentos musicales adquirieron nuevas posibilidades. En el año 1920, con la invención del amplificador, nació la guitarra eléctrica. Uno de los fenómenos que se pueden observar en ella se produce cuando sus cuerdas vibran, ya que dicha vibración induce una fem en una bobina, la que finalmente se transforma en sonido. De esta manera, en el uso de este instrumento se manifiesta la ley de Faraday.

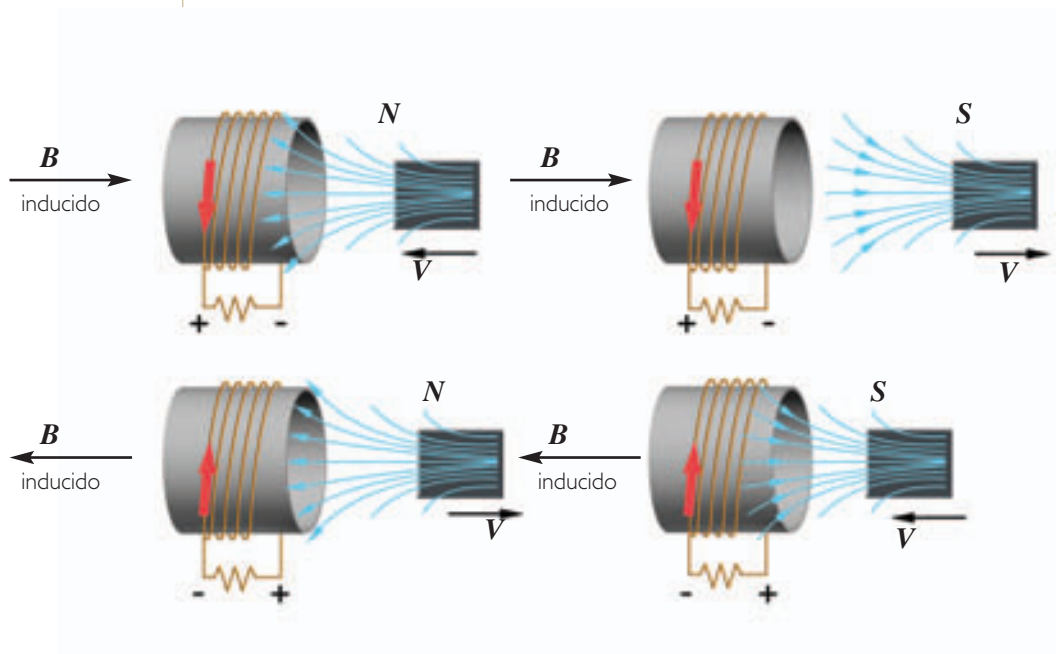


### 2.3 Sentido de la corriente inducida

En el año 1834, el físico estonio **Heinrich Friedrich Lenz** (1804-1865) logró formular una ley que permite predecir el sentido de la corriente inducida en una espira conductora cuando se produce una variación del flujo magnético externo a ella. La **ley de Lenz** está fundada en el principio de conservación de la energía y sostiene que: la fem inducida produce una corriente cuyo sentido es tal que el campo magnético que genera se opone a la variación del flujo magnético que la provoca.

Consideremos un imán que se mueve hacia una bobina. En este caso, el flujo magnético a través de la bobina aumenta y se induce una corriente cuya finalidad es crear otro flujo magnético que se oponga al crecimiento del campo externo.

En el caso de que el imán se mueva alejándose de la bobina, ocurre el proceso inverso, es decir, la corriente adquiere un sentido contrario al anterior para apoyar el flujo magnético externo que se debilita.



Las leyes de Faraday y de Lenz que definen, respectivamente, el valor de la fem inducida en un circuito y el sentido de la corriente inducida, pueden ser unificadas en la expresión:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Donde el signo menos (-) indica la oposición de la fem inducida a la causa que la genera.

## EJEMPLO RESUELTO 1

## La fem inducida en una bobina

Un imán se introduce en una bobina de 100 espiras, que tiene un área transversal de  $0,05 \text{ m}^2$ . Al ingresar el imán en la bobina, el campo magnético es perpendicular al plano de la bobina que varía linealmente desde  $0$  a  $0,4 \text{ T}$  en  $0,5 \text{ s}$ . ¿Cuál es la fem inducida en la bobina?



- El cambio de intensidad del campo ocurre de manera lineal, de modo que la variación del flujo se calculará de la forma:

$$\Delta\phi = \phi_f - \phi_i$$

- Como  $\phi = B \cdot A \cos \theta$  y  $\theta = 90^\circ$ , la expresión para flujo queda  $\phi = B \cdot A$ , ya que  $\cos 90^\circ = 1$ .

$$\phi_f = B_f \cdot A = 0,4 \text{ T} \cdot 0,05 \text{ m}^2 = 0,02 \text{ Wb}$$

$$\phi_i = B_i \cdot A = 0 \text{ T} \cdot 0,05 \text{ m}^2 = 0 \text{ Wb}$$

- Luego, la rapidez de cambio de flujo magnético será:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{-0,02 \text{ Wb}}{0,5 \text{ s}} = -0,04 \text{ V}$$

Por lo tanto, la fem inducida en la bobina de 100 espiras será de  $100 \cdot \varepsilon = -4 \text{ V}$ .

## PARA TRABAJAR

Se introduce un imán en una bobina de área transversal  $0,03 \text{ m}^2$ . Al ingresar el imán en la bobina, el campo magnético es perpendicular al plano de la bobina. El campo varía linealmente de  $0$  a  $0,9 \text{ T}$  en  $0,3 \text{ s}$ . Si se desea inducir una fem de  $-18 \text{ V}$ , ¿cuántas espiras debe tener la bobina?

## 2.4 Fuerza electromotriz inducida en un conductor en movimiento

### Actividad 3

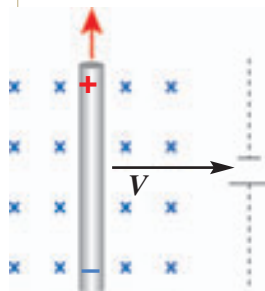
### OBSERVAR-INFERIR

#### CONDUCTOR EN MOVIMIENTO

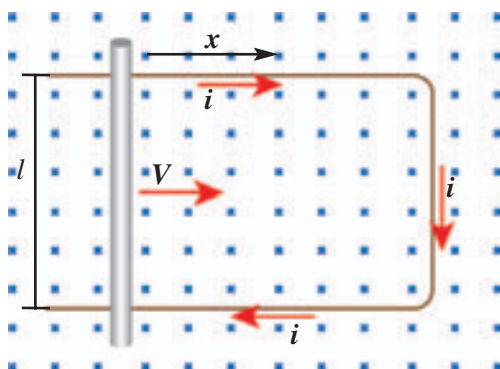
Con los mismos materiales de la **Investigación científica** (página 46), realiza la siguiente experiencia:

1. Conecta los terminales de la bobina al diodo LED.
2. Deja quieto el imán y mueve la bobina alrededor de él.
3. Haz variar la velocidad de la bobina en torno del imán y observa.
  - a. ¿Qué ocurre con el diodo al mover la bobina?
  - b. ¿Su luminosidad depende de la velocidad con que se mueve la bobina?
  - c. ¿Cómo explicarías lo observado?

De la **Actividad 3** podemos inferir que también se induce una fem, debido a la variación del flujo que se genera por el movimiento del conductor (movimiento relativo de la bobina respecto del imán).



Cuando un conductor recto se mueve en presencia de un campo magnético (ver figura), se induce una fem producto de la fuerza magnética que experimentan las cargas dentro del conductor. Así, las cargas positivas experimentarían una fuerza hacia arriba, mientras que las cargas negativas experimentarían una fuerza hacia abajo. Esto produce la diferencia de potencial equivalente a la fem.



Si una barra conductora de longitud  $l$  se mueve hacia la derecha con velocidad constante  $\vec{v}$  y recorriendo una longitud horizontal  $x$ , sobre dos rieles conductores fijos y de resistencia despreciable, en presencia de un campo magnético  $\vec{B}$ , perpendicular al plano. El flujo magnético en un instante dado a través de la espira es:  $\phi = B l x$ , luego según la ley de Faraday la fem será:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = Bl \frac{x}{\Delta t} = B l v$$

Esta expresión permite obtener la fem para el conductor móvil de una espira. ¿Cómo será la corriente inducida si el sentido de la velocidad cambia?

### 3. Aplicaciones de las leyes de Faraday y de Lenz

#### 3.1 Generadores de corriente alterna

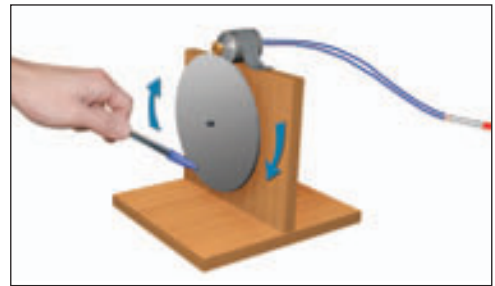
##### Actividad 4

##### CONSTRUIR-EXPLICAR

#### CONSTRUYENDO UN GENERADOR

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y reúnan los siguientes materiales: un motor eléctrico con eje dentado, un disco engranado (se pueden encontrar dentro de radios o impresoras viejas), dos trozos de madera de 10 x 10 cm, cables conectores, una latita rectangular, clavos pequeños y un diodo LED.

1. Con los materiales, armen el montaje que muestra la ilustración.
2. Hagan girar el disco de modo que transmita el movimiento al motor.
  - a. ¿Qué sucede con el diodo al hacer girar el motor?
  - b. ¿Qué formas de energías están involucradas?
  - c. Basándose en el principio del motor eléctrico, detallado en la página 39, propongan una explicación al funcionamiento del generador.



En la **Actividad 4**, pudiste observar que es posible transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Dicho proceso de transformación de energía es la que lleva a cabo un generador de corriente: los de corriente continua se llaman **dinamos**, y los de corriente alterna se llaman **alternadores** (como el motor utilizado en la actividad).

Los generadores de corriente alterna están compuestos básicamente por una bobina que gira (**rotor**) en presencia de un campo magnético fijo y uniforme (**estator**), debido a la acción de un agente externo que dé origen al movimiento. Los terminales de la bobina se encuentran unidos a un par de **anillos conductores** en contacto con dos **escobillas de carbón**.

El funcionamiento del generador de a. c. se basa en la inducción electromagnética definida por Faraday.

Al hacer rotar una bobina de  $N$  espiras, con áreas  $A$  iguales, en presencia de un campo magnético  $\vec{B}$  perpendicular al eje de giro, la fem inducida en un instante  $t$  se representa por la siguiente expresión:  $\varepsilon = \varepsilon_0 \text{sen}(2\pi ft)$ .

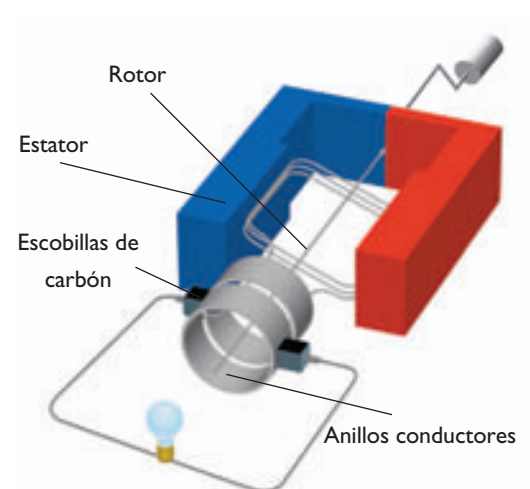
Donde  $f$  es la frecuencia de rotación y  $\varepsilon_0 = (2\pi f)N \cdot B \cdot A$ .

Esto indica que la fem inducida varía sinusoidalmente en el tiempo. ¿Cuál será el valor máximo de  $\varepsilon$ ? El valor máximo de  $\varepsilon$  se obtiene cuando  $\text{sen}(2\pi ft) = 1$ , en otras palabras  $\varepsilon = \varepsilon_0$ .

#### CONCEPTOS CLAVE

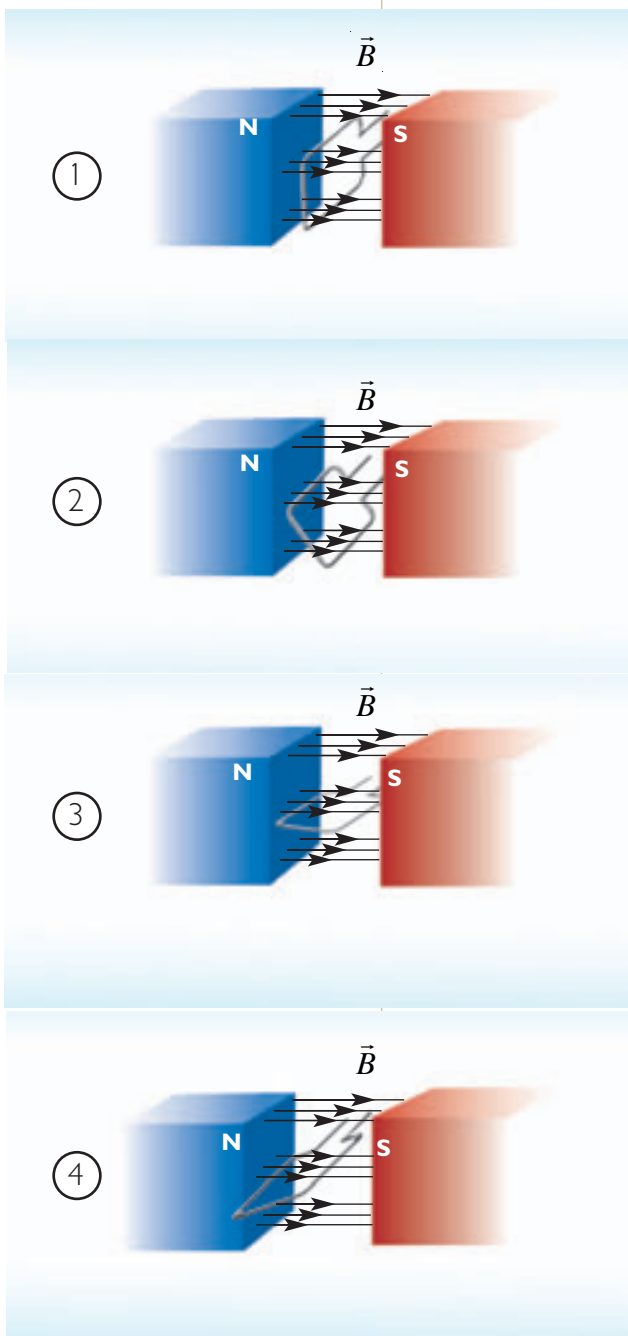
**Corriente continua (c. c.):** es aquella que se genera por una fem constante, como la entregada por una batería o pila y cuya polaridad no cambia.

**Sinusoidalmente:** que su comportamiento obedece a la función trigonométrica  $y = \text{sen}(x)$ .



Para simplificar el análisis del funcionamiento de un generador, supongamos que tenemos una bobina de una espira que gira en un campo magnético constante. Cuando la espira rota, hay un cambio en el número de líneas de campo que pasan por ella, el flujo del campo magnético está dado por la relación  $\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} \cos \theta$ , donde el área ( $\mathbf{A}$ ) expuesta y el ángulo  $\theta$  está cambiando. Consecuencia de ello, se produce una variación del flujo magnético a través de la superficie, generando una corriente inducida alterna.

La rotación de un circuito en un campo magnético es uno de los métodos para producir una fuente de fem alterna.



El flujo  $\phi$  sobre la espira es máximo, ya que el ángulo entre el campo y una norma al plano de la espira es igual a  $0^\circ$ .

Al girar la espira, cambia el número de líneas de campo que encierra.

Cuando el ángulo entre el campo y la normal al plano de la espira es igual a  $90^\circ$ , el valor del flujo es  $\phi = 0$ .

El área efectiva de la espira sobre la que actúa el campo varía cuando esta sigue rotando.

## 3.2 Transformadores

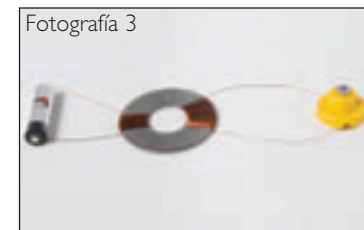
### Actividad 5

### EXPLICAR

#### AUMENTANDO LA FUERZA ELECTROMOTRIZ

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y consigan los siguientes materiales: dos pilas alcalinas (AA) de 1,5 V, 6 m de alambre esmaltado muy fino, una golilla metálica de al menos 2 cm de radio y una ampolleta de 3 V.

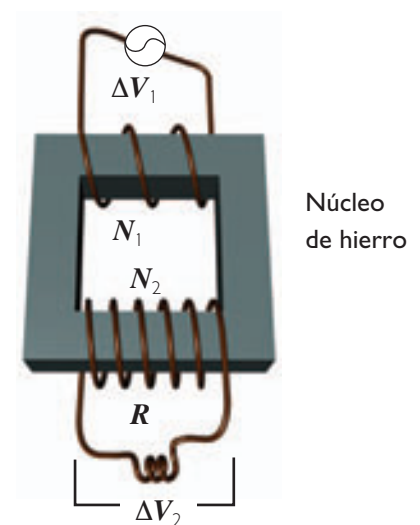
- En cada una de las mitades de la golilla enrollen el alambre, de modo que en la primera mitad realice cincuenta vueltas y en la otra cien (ver fotografía 1).
- Conecten la pila a la ampolleta, como se muestra en la fotografía 2, y observen lo que sucede.
- Utilicen ahora el dispositivo realizado con la golilla para hacer la conexión de la ampolleta, como se muestra la fotografía 3, y observen lo que sucede.
  - ¿Qué sucedió con la ampolleta cuando la conectaron directamente a la pila? Expliquen.
  - ¿Que sucedió con la ampolleta al utilizar el dispositivo para conectarla a la pila?
  - Planteen una hipótesis respecto de lo que observaron.



En la **Actividad 5**, pudiste observar que al conectar de forma directa una pila de 1,5 V a una ampolleta de 3 V, esta no se enciende o lo hace muy débilmente. Pero, al conectar el dispositivo fabricado con la golilla, es posible encender la ampolleta de 3 V con una pila de 1,5 V. Este dispositivo se llama **transformador** y permite convertir una fem pequeña en una grande, o viceversa. En su forma más simple, este consta de dos alambres conductores enrollados alrededor de un núcleo de hierro, como se observa en la figura.

- La bobina conectada a la fuente de voltaje de entrada tiene  $N_1$  vueltas y se conoce como **devanado primario** o simplemente **primario**.
- La otra bobina tiene  $N_2$  vueltas conectadas a un resistor de carga  $R$ , se llama **secundario**.

Los transformadores son una de aplicaciones más importantes de las leyes de Faraday y de Lenz y están presentes en la mayoría de los artefactos eléctricos como: radios, televisores, refrigeradores, etc.





### Análisis matemático de un transformador

En un transformador, el núcleo de hierro conduce las líneas de campo magnético de forma que la mayoría de ellas pasan a través de las dos bobinas.

Dado que la intensidad del campo magnético y el área transversal del núcleo es igual para ambas bobinas, la diferencia de potencial medida a través de ambos enrollados difiere solo a causa del número de vueltas de cada uno. De acuerdo a la ley de inducción de Faraday, el voltaje  $\Delta V_1$  de la bobina en el primario, por el cambio de flujo magnético a través de cada vuelta, es:

$$\Delta V_1 = -N_1 \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad (\text{considera que: } \varepsilon_1 = \Delta V_1)$$

De forma similar, la fem inducida a través de la bobina secundaria será:

$$\Delta V_2 = -N_2 \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Determinando el cociente de ambas expresiones, puesto que la variación de flujo magnético es la misma en el primario y el secundario, resulta la ecuación del transformador:

$$\Delta V_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \Delta V_1$$

Cuando  $N_2 > N_1$ , el voltaje de salida  $V_2$  excede al de entrada  $V_1$ , por lo que el transformador es un **elevador**, y cuando  $N_2 < N_1$ , el voltaje de salida es menor que el voltaje de entrada, por lo que es un transformador **reductor**.

Análogamente, como la potencia en primario y el secundario son iguales, se puede establecer la siguiente relación entre las corrientes:

$$i_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot i_2$$

### Transmisión de energía eléctrica

Los transformadores son útiles en la transmisión de la energía eléctrica a largas distancias. Esto se debe a que son capaces de disminuir o aumentar el voltaje de corriente alterna.

Por razones económicas, la transmisión de energía eléctrica a grandes distancia se realiza a un voltaje elevado y baja corriente, así se evitan las pérdidas en las líneas de transmisión por calor. En la estación generadora se eleva el voltaje; luego, se reduce en una estación de distribución, y finalmente se vuelve a reducir en los postes eléctricos. Esto se hace para ser llevado a los hogares, a las industrias, entre otros sectores. En nuestro país, el voltaje domiciliario es de 220 V.



Un sistema de transmisión de energía de una ciudad tiene la función de bajar el voltaje para poder ser distribuido a los hogares.

## EJEMPLO RESUELTO 2

## Aplicando la ecuación del transformador

Un cargador de celular es usado en una línea de 220 V para proveer una diferencia de potencial de 12 V. Si el primario tiene 1000 vueltas, ¿cuántas vueltas deberá tener el secundario?

- Debemos aplicar la ecuación  $\Delta V_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \Delta V_1$ , de ella se obtiene que  $N_2$  es igual a:

$$N_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} \cdot N_1$$

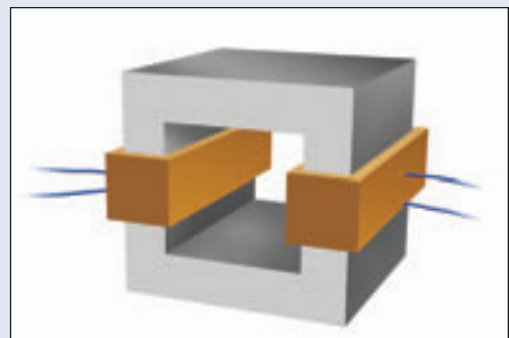
- Sustituyendo los siguientes valores:  $\Delta V_2 = 12 \text{ V}$ ,  $\Delta V_1 = 220 \text{ V}$  y  $N_1 = 1000$  vueltas, en la expresión, nos queda:

$$N_2 = \frac{12 \text{ V}}{220 \text{ V}} \cdot 1000 \text{ vueltas} \approx 54 \text{ vueltas}$$

Por lo tanto, para que un transformador de 1000 vueltas en el primario convierta 220 V en 12 V, debe tener 54 vueltas en la bobina secundaria.

## PARA TRABAJAR

1. Un transformador tiene 300 espiras en el primario y 90 000 en el secundario. Si el primario se conecta a un generador de 60 V, ¿cuál será la fem en el secundario?
2. La siguiente ilustración muestra un transformador del que se sabe que transforma 110 V en 2400 V.
  - a. ¿Cuál debe ser la razón entre las espiras de las respectivas bobinas?
  - b. Si en el secundario hay 7000 espiras, ¿cuántas hay en el primario?



## Actividad 6

## CONSTRUIR-EXPLICAR

## LOS PELIGROS DE LAS RED ELÉCTRICA DOMICILIARIA

En muchos de los experimentos asociados a la electricidad y al magnetismo, es posible que se requiera utilizar la red eléctrica domiciliaria. Pero ¿qué peligros existen en su uso?, ¿cuáles son las precauciones que se deben tomar al momento de usar la red domiciliaria?

Formen grupos de cuatro o cinco integrantes y realicen un listado con las precauciones que hay que tener al momento de usar la red eléctrica domiciliaria.

Para saber cuándo un terminal porta corriente eléctrica, consigan un detector de fase (es un destornillador comúnmente llamado probador de corriente) y realicen la siguiente actividad:

## Procedimiento

1. Pidan a su profesor o profesora que verifique el estado del probador de corriente que consiguieron.
2. Desarmen el probador y describan sus componentes.
3. Vuelvan a armar el probador (siempre consultando a su profesor o profesora) y, con mucho cuidado, introdúzcanlo en cada uno de los orificios de un terminal de corriente (dejen puesto el pulgar en el extremo del probador como se muestra en la fotografía 1).



**Precaución: este paso solo debe ser realizado con la supervisión de su profesor o profesora.**

4. Con un metro de alambre aislado y huincha aisladora, realicen el montaje que muestra la fotografía 2. Una vez que uno de los extremos del alambre esté conectado a la terminal de corriente, y sosteniendo el probador, den un salto y observen lo que sucede.

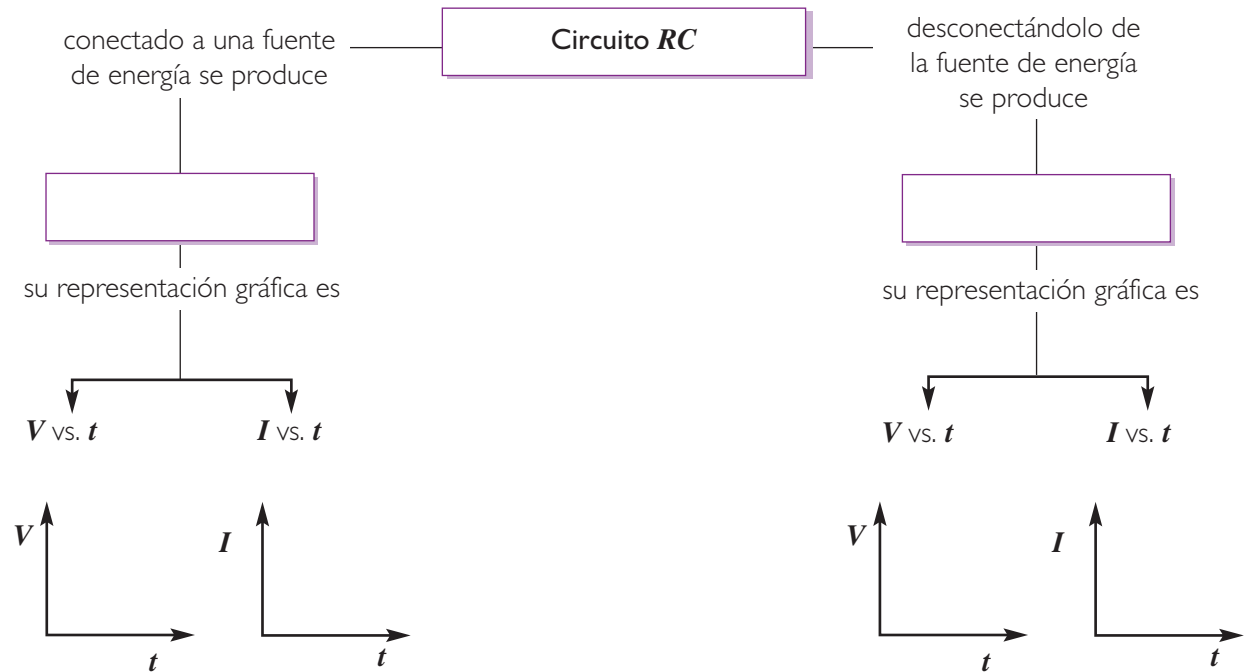


## Análisis

- a. ¿Cómo funciona el probador de corriente?
- b. ¿Por qué no sienten los efectos de la corriente eléctrica al poner el dedo en el extremo del probador?
- c. ¿En qué orificio del terminal de corriente el interior del probador se enciende?, ¿cuál es la razón para que ocurra esto?
- d. ¿Qué observaron al saltar con el probador en la mano?, ¿cómo lo explicarían?
- e. Basándose en lo anterior, ¿por qué las aves no se electrocutan cuando se posan en los cables de los postes del alumbrado público?

SÍNTESIS

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno.



Completa las siguientes oraciones:

- La variación del flujo magnético al interior de una bobina induce una \_\_\_\_\_; dicha inducción se explica a través de \_\_\_\_\_.
- El flujo magnético sobre una superficie depende del \_\_\_\_\_ magnético, del \_\_\_\_\_ entre ese campo y la normal a la superficie, y del área de la superficie.
- El signo menos (-), presente en la expresión propuesta por Faraday, es explicado por la \_\_\_\_\_.
- Una de las aplicaciones de la ley de Faraday que permite transformar energía mecánica en eléctrica es: \_\_\_\_\_; y otras que permiten convertir una fem pequeña en una grande son los \_\_\_\_\_.

EVALUACIÓN

Lee y responde las siguientes preguntas.

- Una bobina de 200 espiras, que tiene un área cuadrada transversal de 4 cm de lado, se encuentra en presencia de un campo magnético perpendicular al plano de la bobina y que varía linealmente desde los 0,1 T hasta los 0,9 T en 0,23 s. ¿Cuál es la fem inducida en la bobina?
- Un transformador tiene 6000 espiras en el secundario. Si el voltaje de entrada es de 50 V y el de salida es de 1000 V, ¿qué cantidad de espiras tiene la bobina primaria?

### Variación de corriente en una bobina

#### Observación

Como vimos en la página 44, en el proceso de carga y descarga del condensador en un circuito **RC**, se podían observar cambios en la corriente. ¿Pero existirán variaciones similares en la corriente si en lugar de un condensador se utiliza una bobina? Formen grupos de tres o cuatro integrantes y propongan una hipótesis que responda esta pregunta.

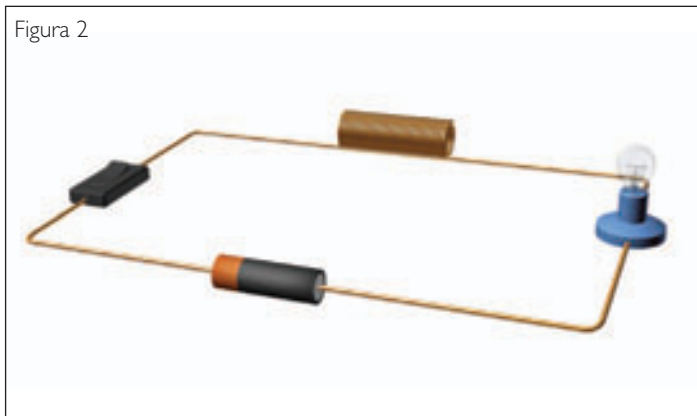
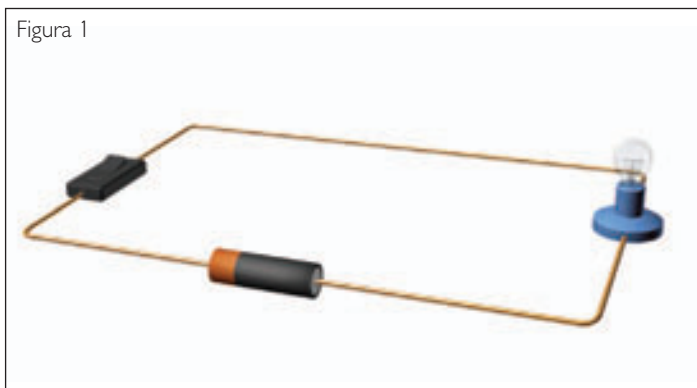
Consigan los materiales indicados y realicen el procedimiento experimental que les permitirá poner a prueba su hipótesis

#### Materiales

- Un bobina de 50 espiras.
- Cables conectores.
- Una ampollita de 1,5 V.
- Dos pilas de 1,5 V.
- Un interruptor.

#### Procedimiento

1. Armen el circuito que se muestra en la figura 1, conecten la ampollita a las pilas y cierren el interruptor. Observen con atención la ampollita y consideren el tiempo que demora en encenderse.
2. Utilizando la bobina, armen el circuito que se muestra la figura 2. Observen lo que ocurre con el tiempo de encendido de la ampollita (de no contar con una bobina, pueden construir una con alambre esmaltado y usando un tubo de PVC para poder enrollarlo).



#### Análisis

- a. ¿Qué se observó al abrir el paso de la corriente en el primer montaje?
- b. ¿Existe una diferencia significativa entre el tiempo en que se cerró el interruptor y en el que se encendió la ampollita?
- c. ¿Cómo fue el encendido de la ampollita en el segundo montaje?
- d. ¿Cómo podrías explicar en términos de la fem lo que observaste?
- e. ¿Existirá alguna relación entre el campo magnético de la bobina y la variación de la corriente?
- f. ¿Verificaron su hipótesis? Expliquen.

## 4. Inductancia

Cuando en una bobina circula corriente, se produce una oposición a las variaciones de ella. A la medida de dicha oposición se le denomina **inductancia**.

### 4.1 Inductancia mutua

Cuando dos bobinas están unidas por un núcleo de hierro (ver figura), al producirse en la primera un cambio en la corriente, la variación consecuente del campo magnético que genera produce una fuerza electromotriz en la segunda, la que es proporcional a la tasa de cambio de flujo magnético que la atraviesa. Como el campo magnético generado por la primera bobina es proporcional a la corriente que circula por ella, entonces la fuerza electromotriz en la segunda bobina también será proporcional a la tasa de cambio de esta corriente ( $\Delta I/\Delta t$ ).

De acuerdo a la ley de Faraday, considerando una bobina de  $N$  espiras la fem será:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

La constante  $M$  es la **inductancia mutua del sistema**; este factor depende de la geometría y la orientación de los conductores.

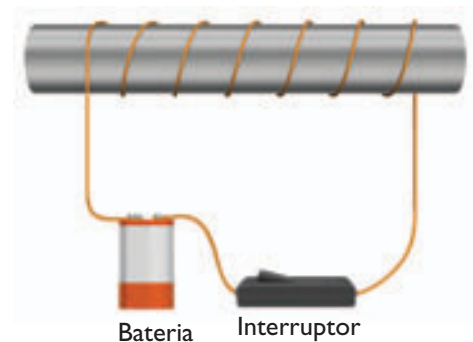
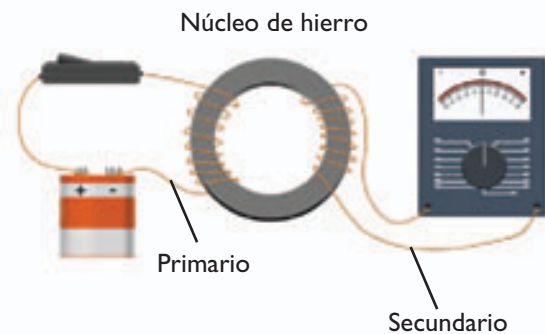
### 4.2 Autoinductancia

Cuando por una bobina aislada pasa una corriente variable en el tiempo (ver ilustración), se produce un flujo magnético variable en su interior, lo que induce a la vez una fem que se opone al cambio de flujo, y como la corriente aumenta al pasar por la bobina, se produce el crecimiento del flujo magnético, de modo que se genera una fem que se opone a la corriente y retarda su aumento. Cuando la corriente cambia en el tiempo, en ella se autoinduce un fem:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Donde  $L$  es la **autoinductancia** de la bobina o simplemente inductancia, y es la medida de la oposición en la bobina al cambio de la corriente. La unidad de inductancia del SI es el henry, en honor al físico norteamericano Joseph Henry.

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$



### 4.3 Energía almacenada en una bobina

Del concepto de inductancia es posible determinar el valor de la energía almacenada en el campo magnético del inductor (bobina). Cuando la corriente es  $I$ , la energía almacenada está dada por la expresión:

$$U = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

Esta expresión es similar a la que se obtiene para la energía almacenada en el campo eléctrico de un condensador o capacitor. Para el caso de la bobina, la mayor parte de la energía es almacenada en su espacio interior (núcleo), y en ambas situaciones se requiere trabajo para establecer un campo.

#### Actividad 7

DEDUCIR

#### ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA ENERGÍA

Como sabes, la energía en el Sistema Internacional se expresa en J (joule).

1. Determina, haciendo un análisis dimensional de la expresión para energía almacenada en una bobina, la unidad en que se mide. Considera que la inductancia se mide en H (henry) y que la corriente se mide en A (ampere), además de sus respectivas equivalencias.
2. ¿Qué relación puedes establecer entre la energía almacenada por un condensador y una bobina?

#### EJEMPLO RESUELTO 7

#### Energía en una bobina

Sobre una bobina cuya inductancia es de  $3 \times 10^{-3}$  H, circula una corriente de 0,5 A. ¿Cuánta es la energía que almacena la bobina?

- Reemplazando los valores en la ecuación de energía, resulta:

$$U = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = \frac{1}{2} (3 \times 10^{-3} \text{ H}) \cdot (0,5 \text{ A})^2$$

$$U = 3,75 \times 10^{-4} \text{ J}$$

Luego la energía almacenada en la bobina es de  $3,75 \times 10^{-4}$  J.

PARA TRABAJAR

Usando los datos del ejemplo anterior: ¿cuál debe ser la corriente que tiene que circular por la bobina para que la energía almacenada por ella sea de 0,05 J?

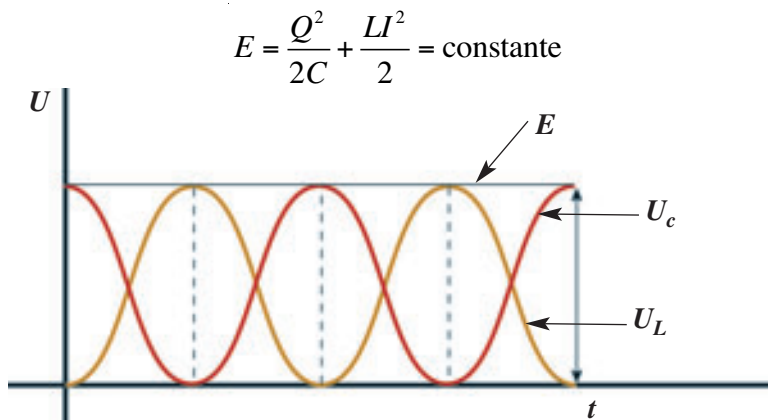
## 5. Circuito LC

El modelo más simple de un circuito de corriente alterna es aquel que se obtiene al conectar un condensador cargado de capacidad  $C$ , y una bobina de inductancia  $L$ . Estos circuitos se denominan circuitos oscilantes o simplemente  $LC$ . Suponiendo que la resistencia del circuito es despreciable, la corriente  $I$  y el voltaje  $V$  comienzan a oscilar indefinidamente, de modo que cuando  $I$  es máximo,  $V$  es nulo, y viceversa. Esta oscilación tiene una frecuencia propia de:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Debido a las oscilaciones producidas en estos circuitos, la energía llamada electromagnética total se conserva, transfiriéndose sucesivamente desde el campo eléctrico del condensador al campo magnético de la bobina.

Como ya vimos, en un condensador de capacidad  $C$ , la energía almacenada por él se representa por:  $U_c = CV^2/2$ , y en términos de la carga  $U_c = Q^2/2C$ . Mientras que en una bobina de inductancia  $L$ , dicha energía es:  $U_L = LI^2/2$ . Como la energía electromagnética tiende a conservarse, la energía total ( $E$ ) del circuito se mantiene constante.



La suma de la energía almacenada por el condensador y la bobina se mantiene constante.

Gráfico 5

### Actividad 8

### DEDUCIR

#### ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA CONSTANTE

A continuación, te planteamos el siguiente desafío matemático: supón que las expresiones que representan la carga y la corriente están dadas por:

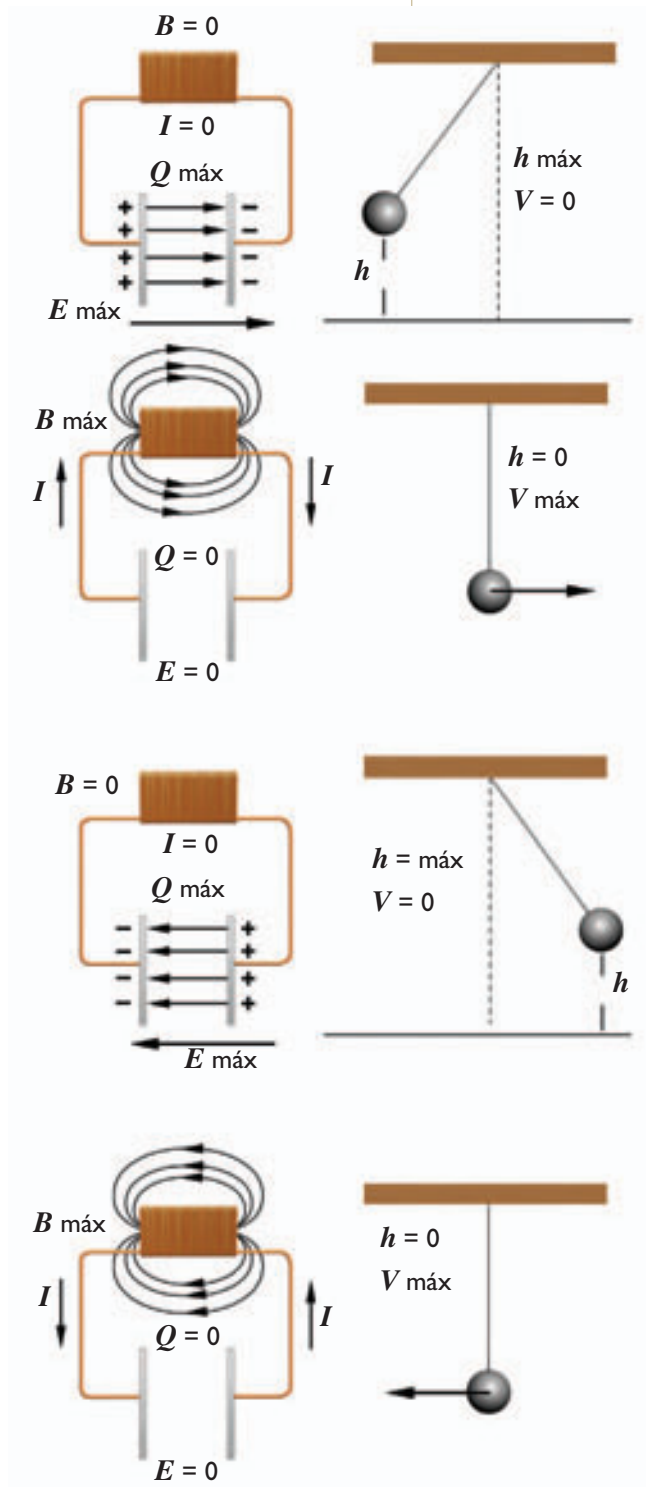
$$Q = CV_0 \cos(2\pi ft) \quad \text{e} \quad I = 2\pi fCV_0 \sin(2\pi ft) \quad ; \text{ respectivamente.}$$

Prueba que dichas expresiones mantienen el valor de la energía constante e igual a  $CV_0^2/2$ .



## 5.1 Equivalente mecánico de un circuito $LC$

El movimiento oscilatorio de un péndulo simple resulta ser una analogía desde el punto de vista de la energía de un circuito  $LC$ , ya que las transferencias de energía que ocurren en ambos casos son muy similares.



El condensador se encuentra en su máxima carga y energía, siendo la corriente igual a cero. No hay campo magnético generado ni energía en la bobina. Este estado es equivalente a la masa de un péndulo en su mayor altura, por lo que su energía potencial es máxima; y su velocidad, cero (no hay energía cinética).

El condensador comienza a descargarse a través de la bobina. Cuando el condensador ha perdido toda su carga, la corriente tiene su máximo valor y la energía se encuentra almacenada en la bobina. Esto es análogo a lo que ocurre en el péndulo cuando comienza a aumentar su velocidad y su energía potencial se ha vuelto totalmente cinética.

Por inercia, el péndulo continúa su movimiento, disminuyendo su velocidad hasta que se detiene. En este momento, toda su energía vuelve a ser potencial. Análogamente, en el circuito, la corriente comienza a disminuir hasta que el condensador se encuentra totalmente cargado, pero con polaridad opuesta.

Nuevamente, el condensador se descarga en la bobina, almacenando esta toda la energía del circuito. Análogamente, el péndulo solo posee energía cinética. Pero ahora la velocidad cambió de sentido.

Este proceso se repite de forma cíclica.

## 6. Circuito $RLC$

### Actividad 9

### COMPARAR-RELACIONAR

#### ESTABLECIENDO ANALOGÍAS

En la página anterior, se estableció una analogía entre un proceso mecánico y uno electromagnético. En Física es usual utilizar analogías para comprender fenómenos que no resultan simples de observar. A continuación, les proponemos la siguiente actividad a modo de establecer ciertas analogías con fenómenos electromagnéticos. Formen grupos de tres o cuatro integrantes y reúnan los siguientes materiales: un resorte (puede ser el utilizado para anillar, o bien ser reemplazado por un elástico), un peso, un soporte y un vaso transparente con agua en su interior.

1. Cuelguen el resorte del soporte, con el peso en uno de sus extremos (ver fotografía 1). Hagan oscilar el peso estirando el resorte y soltándolo de forma repentina.
2. Repitan el procedimiento, pero esta vez sumerjan el peso al interior del vaso con agua (ver fotografía 2).
  - a. ¿Qué relación en términos de transferencias y de conservación de energía pueden establecer entre el cuerpo oscilando libremente y el circuito  $LC$ ? ¿Es similar la relación establecida con el péndulo mecánico?
  - b. Cuando el cuerpo oscila dentro del agua, ¿qué sucede en términos de la energía?
  - c. ¿En qué se transforma la energía disipada?
  - d. ¿Qué componente debería tener el circuito  $LC$  para que fuera una analogía del cuerpo oscilando dentro del agua?

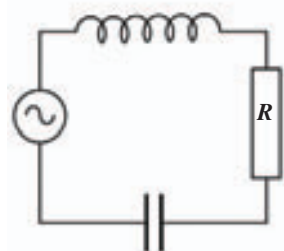


Fotografía 1

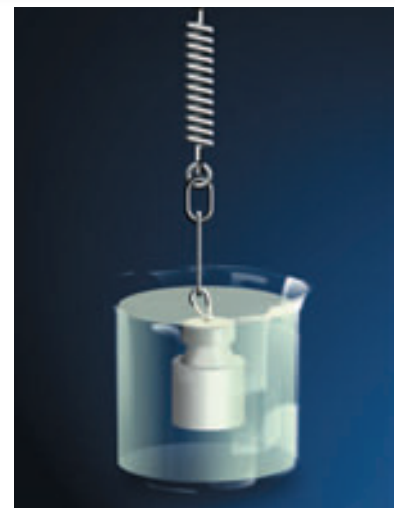


Fotografía 2

En la **Actividad 9**, observaste que el proceso en que el resorte oscilaba libremente es análogo, en términos de la energía, a un circuito  $LC$  (como el caso del péndulo de la página 64). Cuando el resorte oscila en un medio de mayor viscosidad, como el agua, el proceso vibratorio dura un menor tiempo; estas vibraciones se conocen como **vibraciones amortiguadas**, y su análogo electromagnético es el circuito  $RLC$  (es un circuito  $LC$  más una resistencia  $R$ ). La resistencia eléctrica equivale a la oposición del agua a la oscilación del cuerpo suspendido del resorte y, en ambos casos, la energía del sistema es disipada en forma de calor.



Esquema circuito  $RLC$



Al igual que las oscilaciones del resorte se detienen por efecto de la resistencia del agua, las oscilaciones en el circuito  $RLC$  son frenadas por la resistencia eléctrica.

6.1 Comparación entre el circuito  $LC$  y  $RLC$ 

## Actividad 10

## ASOCIAR

## COMPARANDO ENERGÍAS

Al comparar los gráficos de la energía en los dos circuitos, resulta evidente que la energía eléctrica en el circuito  $LC$  permanece constante: en cambio, la energía eléctrica en el circuito  $RLC$  disminuye en el tiempo.

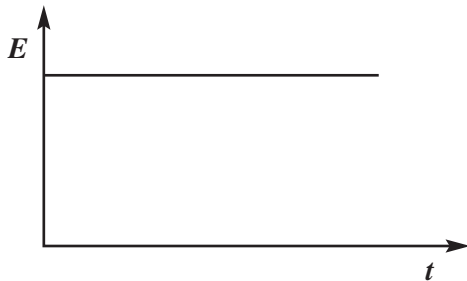


Gráfico 6: Energía eléctrica en un circuito  $LC$ .

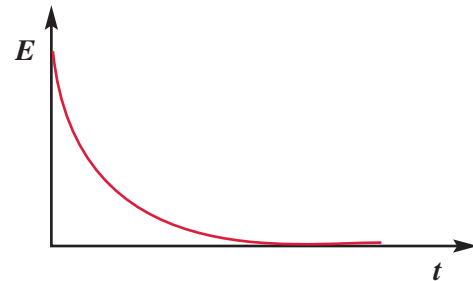


Gráfico 7: Energía eléctrica en función del tiempo en un circuito  $RLC$  amortiguado.

Respecto de los gráficos, responde:

1. ¿Por qué en el circuito  $RLC$  la energía no permanece constante?
2. ¿De qué crees que depende la frecuencia en un circuito  $RLC$ ?

Recordemos que la frecuencia con que oscilaba un circuito  $LC$  estaba dado por la expresión:  $f = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$ . Como las oscilaciones del circuito  $RLC$  están amortiguadas, la frecuencia de oscilación está dada por la relación:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

Al comparar las frecuencias de oscilación, podemos afirmar que en el circuito  $RLC$ , a medida que la resistencia aumenta, la frecuencia disminuye, es decir, las oscilaciones se amortiguan más rápidamente.

En el circuito  $RLC$  existe un valor límite, llamado resistencia crítica ( $R_c$ ), a partir del cual no ocurren oscilaciones. Su valor se calcula como:

$$R_c = \sqrt{\frac{4L}{C}}$$

## Ten presente que:

- En todo movimiento periódico, como el de un péndulo o las oscilaciones de un circuito  $LC$ , existen dos tipos de frecuencias: la frecuencia propia ( $f$ ) y la frecuencia angular ( $\omega$ ); la relación entre ellas está dada por  $\omega = 2\pi f$ , así la frecuencia angular de un circuito  $LC$  es  $\omega = 1 / \sqrt{LC}$ .

## 7. Aplicaciones de los circuitos $LC$ y $RLC$

El circuito  $LC$  tiene múltiples aplicaciones en la electrónica, al ser un circuito oscilador: puede ser empleado en circuitos digitales (relojes) y en identificadores a distancia, como los utilizados en los controles de alarma de los autos.

Para mantener al circuito con una oscilación constante, generalmente se le acopla un amplificador que inyecta energía en el sistema. Otra aplicación importante de los circuitos  $LC$  es la sintonización de frecuencias de radio en amplitud modulada (AM).

En los circuitos  $RLC$  se presenta el fenómeno de **resonancia**; este se produce cuando la frecuencia del voltaje aplicado coincide con la frecuencia propia del oscilador. La resonancia en un circuito  $RLC$  es el fundamento del proceso de sintonía de las emisoras de radio, pues consiste esencialmente en regular los valores de un condensador de capacidad variable unido al dial del sintonizador para que la frecuencia natural del circuito coincida con la frecuencia de la emisora que se desea sintonizar.

En un circuito resonante, la corriente alcanza su máximo valor cuando la frecuencia corresponde a la de resonancia  $f_0$ ; en torno de dicha frecuencia se establece un intervalo  $\Delta f = f_2 - f_1$  (ver gráfico 8) llamado ancho de resonancia o ancho de banda.

El valor del ancho de resonancia expresado en términos de la resistencia es:

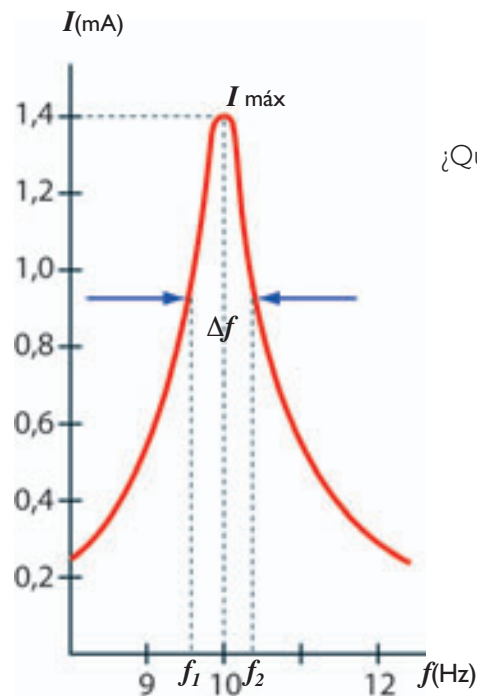


Gráfico 8

$$\Delta f = \frac{R}{4\pi L}$$

¿Qué crees que sucederá si  $R = 0$ ?

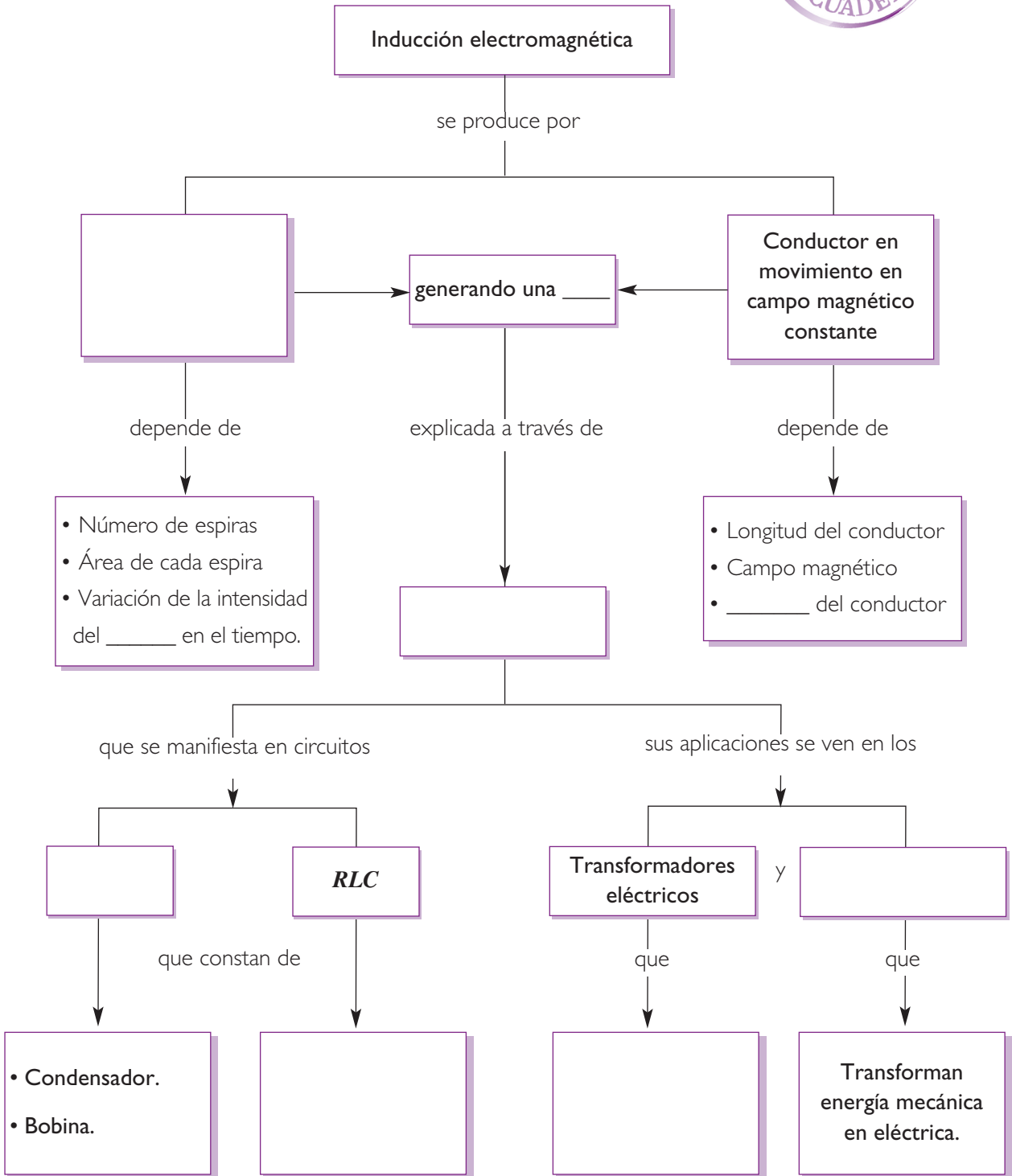


**Condensador variable**

Muchos radios y televisores tienen como parte de sus componentes condensadores variables; estos son útiles para sintonizar determinadas frecuencias.

**SÍNTESIS**

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



## EVALUACIÓN

### I. Desarrolla las siguientes preguntas en tu cuaderno

1. ¿Qué representa  $\tau$  en el proceso de carga y descarga de un condensador?
2. ¿Cómo definirías el flujo magnético?
3. ¿De qué depende la fem inducida?
4. ¿Cómo se produce el fenómeno de resonancia en un circuito *RLC*?
5. Al lado de la bobina en un circuito *LC* se ubica una brújula. ¿Qué movimiento tendrá la aguja de la brújula al circular corriente en él?

### II. Para calcular

1. Una bobina de 900 espiras, con un área transversal de  $2 \text{ cm}^2$ , está en presencia de un campo cuya dirección forma un ángulo de  $60^\circ$  con el plano de la bobina. Si dicho campo varía linealmente de  $0,1 \text{ T}$  a  $0,7 \text{ T}$  en  $0,21 \text{ s}$ , ¿cuál es la fem que se induce sobre la bobina?
2. Para que un transformador eleve un voltaje de  $110 \text{ V}$  a  $220 \text{ V}$ , ¿qué razón debe existir entre la bobina primaria y secundaria?
3. ¿Cuál es la corriente que circula por una bobina cuya inductancia es de  $5 \times 10^{-3} \text{ H}$ , si ella almacena una energía de  $2 \times 10^{-2} \text{ J}$ ?

### III. Análisis

Completa la siguiente tabla de un circuito *LC*:

$U_C \text{ (J)}$	$U_L \text{ (J)}$	$E \text{ (J)}$
5	0	5
	0,2	
	1,9	
2,6		
1,2		
	5	
	3,4	
1,5		
2,8		
3,9	1,1	

De los datos obtenidos de la tabla:

1. ¿Qué puedes decir de la energía total?
2. ¿Qué pasa en la bobina cuando no tiene carga el condensador?
3. ¿Qué pasa en la carga del condensador cuando el campo en la bobina es igual a cero?

## INDAGACIÓN: PROPAGACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

### ¿Existirán ondas asociadas a los fenómenos eléctricos y magnéticos?

Como seguramente sabes, la luz se comporta como una onda, cuyo origen se encuentra al interior de los átomos. Pero ¿existen otras ondas similares? y, de ser así, ¿cuáles serán su naturaleza y características? A continuación se propone una actividad demostrativa, basta que un grupo al interior del curso realice la actividad, asistidos por su profesor o profesora. El resto de los estudiantes debe observar cuidadosamente el procedimiento y luego responder las preguntas de análisis.

#### Materiales

- Una batería de automóvil de 12 V.
- Un alambre de cobre grueso de 40 cm de largo.
- Una brújula.
- Papel aluminio.
- Cables conectores.
- Un monitor de computador o pantalla de televisión.
- Alambre de cobre fino y flexible.
- Un soporte.
- Guantes aisladores

#### Procedimiento

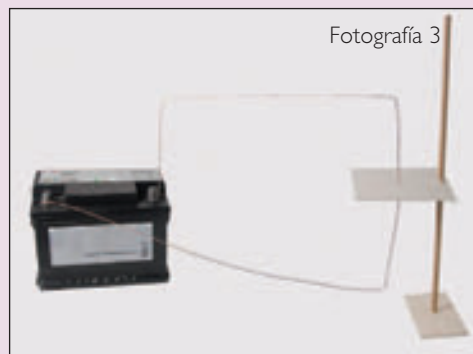
1. Con el papel de aluminio, el alambre de cobre fino y el soporte, construyan el péndulo que muestra la fotografía 1.
2. Cubran el monitor con el papel de aluminio y conecten el péndulo al monitor, como se muestra en la fotografía 2.
3. Utilizando la batería de automóvil, el alambre de cobre grueso y los cables conectores, construyan el montaje que muestra la fotografía 3 (utilicen en todo momento los guantes aisladores y no conecte aún la batería).



Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3



Fotografía 4

4. Acerquen los dos montajes a una distancia de unos 20 cm y pongan la brújula bajo el péndulo. (ver fotografía 4).
5. Carguen eléctricamente el péndulo, encendiendo y apagando el monitor de televisión.
6. Conecten por un par de segundos, y con mucho cuidado, el terminal de la batería que se encuentra desconectado. Observen lo que ocurre con el péndulo y la brújula.
7. Cambien la ubicación del péndulo y la brújula, manteniendo la distancia, y repitan el procedimiento.

### Análisis

- a. ¿Qué ocurrió con el péndulo y la brújula al conectar la corriente de la batería?
- b. ¿Qué se propagó en el espacio entre los dos montajes?
- c. ¿En qué dirección creen que se propagó la “perturbación” producida?
- d. ¿Qué hecho observado en el experimento les permitiría afirmar que en dicha perturbación hay transporte de energía?
- e. ¿A qué velocidad piensan que se propagó dicha perturbación?, ¿podrían medirla?
- f. ¿Habría ocurrido lo mismo si la fuente hubiese sido de corriente continua? Basándose en la diferencia entre las fuentes, elaboren una explicación del fenómeno observado.
- g. ¿Verificaron la hipótesis planteada?



**Precaución:** al manipular la batería de automóvil, deben estar siempre asistidos por su profesor o profesora.



## 1. La teoría electromagnética de Maxwell

En la actividad indagatoria de la página anterior, pudiste observar que una corriente alterna genera a su alrededor una perturbación que se transmite en el espacio que la circunda. Fue el escocés **James Clerk Maxwell** (1831-1879) quien pudo explicar fenómenos como este y otros similares, los que solo habían sido descritos o explicados de forma parcial.

A través de su **teoría electromagnética**, Maxwell estableció una síntesis de todos los descubrimientos anteriores: los de Oersted, Ampère, Gauss, Faraday, entre otros, unificando los fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos. Sus resultados se resumen en **cuatro ecuaciones** tan fundamentales para la Física como lo son las leyes de Newton.

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos teóricos que se desprenden de cada ecuación.

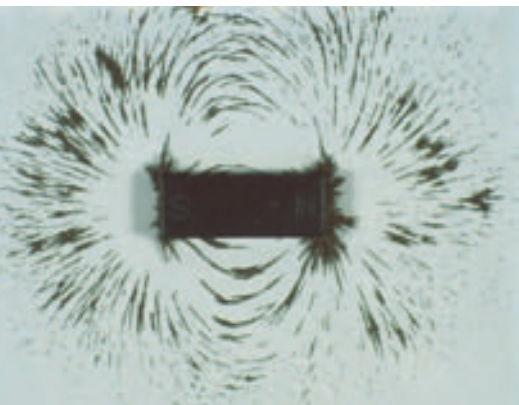
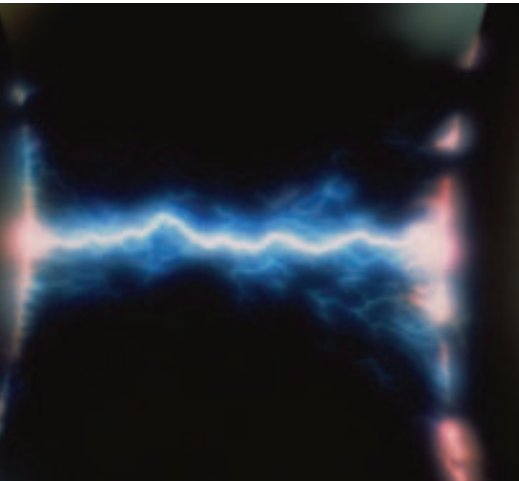
Ecuación	Significado teórico
Primera ecuación	Las cargas eléctricas generan campos eléctricos cuyas líneas de fuerza tienen comienzo y fin.
Segunda ecuación	No es posible aislar los polos magnéticos debido a que las líneas de campo son cerradas sobre sí mismas, sin inicio ni fin.
Tercera ecuación	Un campo magnético variable induce un campo eléctrico variable.
Cuarta ecuación	Un campo magnético puede ser producido por una corriente eléctrica o por un campo eléctrico variable.

### ¿Qué postula la teoría de Maxwell?

Maxwell planteó en su teoría la existencia de un campo electromagnético, formado por campos eléctricos y magnéticos, que se propagaría por el espacio. Entre los supuestos de esta teoría destacan dos:

- Existen **ondas electromagnéticas** que se caracterizan por propagarse a la velocidad de la luz.
- Las ondas electromagnéticas son emitidas por **cargas eléctricas aceleradas**.

Maxwell murió sin haber podido comprobar de manera experimental la veracidad de sus predicciones. Estas se comprobarían en forma empírica diez años después de su muerte.



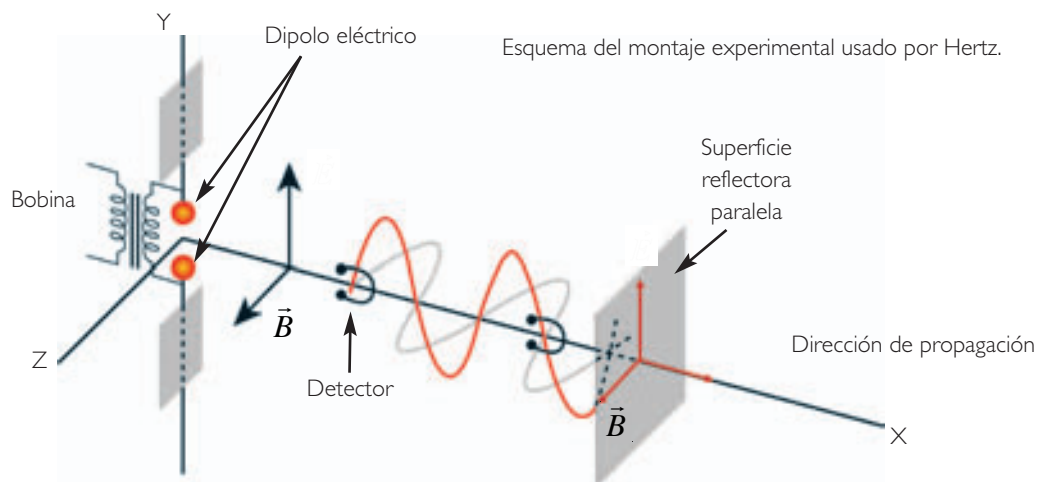
Las ecuaciones de Maxwell permiten relacionar y explicar fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos.

## El experimento de Hertz

### Procedimiento

Hacia 1887, el físico alemán **Heinrich Hertz** (1857-1894), utilizando fuentes eléctricas, logró generar y detectar ondas cuyas características se ajustaban a las predichas por la teoría electromagnética de Maxwell.

Para emitir las ondas, Hertz utilizó un circuito oscilante del tipo **LC**, de frecuencia conocida. El circuito emisor consistía en un grueso alambre rectilíneo de cobre, de 3 m de longitud, en cuyos extremos había placas que eran cargadas a través de un transformador. El alambre estaba interrumpido en su parte media por un espacio de menos de 1 cm (espacio en que se producían chispas), donde había dos esferitas de latón conectadas a una bobina formando un dipolo eléctrico, (este es un sistema formado por dos cargas de signo opuesto y de igual magnitud, las que se encuentran cercanas entre sí).



Para detectar las ondas, Hertz utilizó un alambre doblado en forma de herradura con un pequeño espacio entre sus extremos.

Hertz puso el detector a cierta distancia del emisor, en un plano  $xy$  perpendicular al campo magnético  $\vec{B}$ , y observó que se producían chispas débiles debido a la fem inducida por la variación de flujo magnético. Al variar la frecuencia del emisor, las chispas se intensificaron a medida que la frecuencia de emisión se acercaba a la frecuencia natural del detector.

Al rotar el detector hasta colocarlo en un plano  $xz$  paralelo al campo magnético  $\vec{B}$ , y a pesar de variar la frecuencia del emisor, no logró observar ninguna chispa en el detector.

### Análisis

- ¿Por qué creen que Hertz utilizó un circuito **LC** para su experimento?
- ¿Qué podrían inferir respecto de la propagación del campo magnético al variar el plano del detector?
- ¿En qué parte del experimento es posible detectar el fenómeno de resonancia?

## 1.1 Conclusiones del experimento de Hertz

Para comprobar la naturaleza ondulatoria de las interacciones observadas, Hertz agregó una superficie metálica reflectora a su experimento, de modo de generar una onda estacionaria con nodos y antinodos. Después de su experimento, Hertz llegó a las siguientes conclusiones:

- El oscilador emisor emite energía que se propaga hasta el detector en forma de ondas.
- Estas ondas tienen una frecuencia y una longitud de onda tales que su velocidad de propagación es la misma con la que se propaga la luz en el vacío.

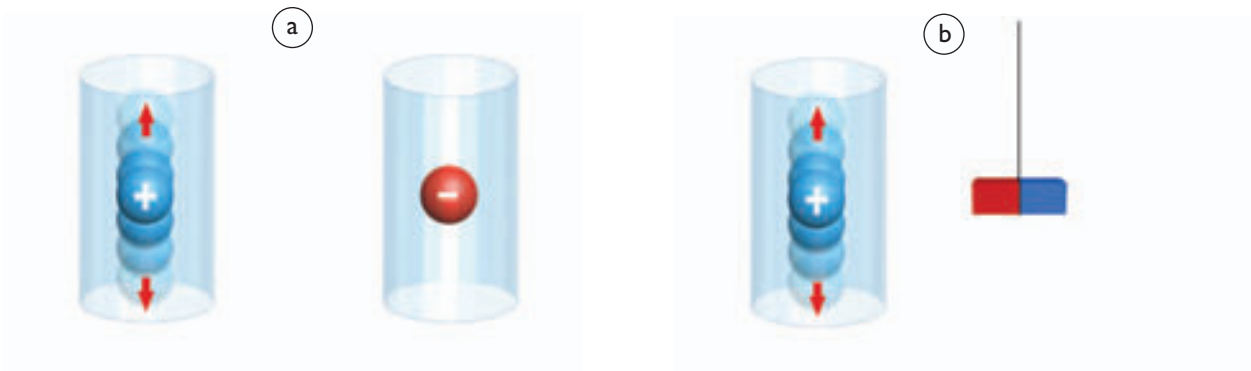
Los resultados experimentales obtenidos por Hertz coincidían plenamente con las predicciones teóricas de Maxwell. Hertz había comprobado la existencia de las **ondas electromagnéticas**.

### Actividad 1

### RELACIONAR-INFERIR

#### CARGA ELÉCTRICA OSCILANTE

En la siguiente ilustración, se muestra una carga eléctrica aislada que se encuentra oscilando a un período constante.



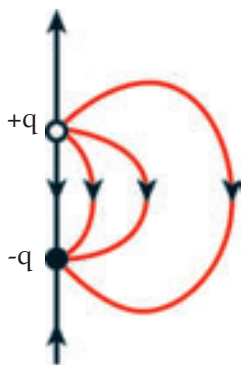
- ¿Qué tipo de corriente crees que se origina producto del movimiento de la carga?
- ¿Por qué la oscilación de la carga afecta a otra carga que se encuentra en sus inmediaciones (a)?
- ¿Afectará este movimiento de la carga a un imán cerca de ella (b)? Explica.
- ¿Qué efectos se generan al oscilar la carga?; ¿se pueden separar dichos efectos cuando la carga oscila?

## 2. ¿Cómo se emiten y se propagan las ondas electromagnéticas?

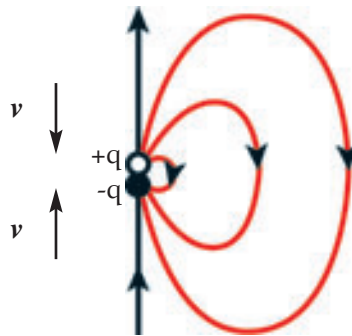
### 2.1 Emisión de ondas electromagnéticas

En la **Actividad 1**, pudiste inferir que la oscilación de una carga produce que el vector campo eléctrico varíe periódicamente. Estas variaciones continuas del campo eléctrico son las que generan las ondas electromagnéticas.

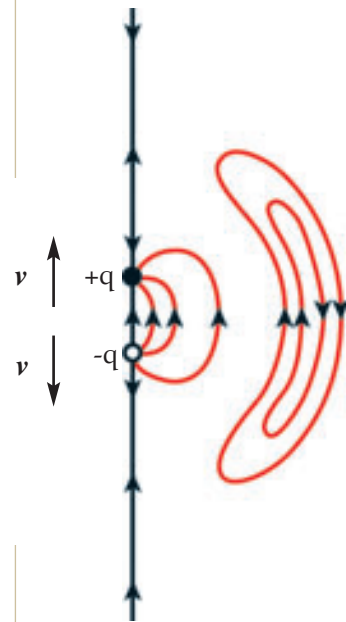
A continuación, analizaremos lo que ocurre con las líneas de campo eléctrico cuando una carga ( $q$ ) oscila con relación a otra con velocidad  $v$ .



Las líneas de campo eléctrico formadas entre dos cargas opuestas.



Al oscilar las cargas, las líneas se van cerrando sobre sí mismas.



Las líneas cerradas sobre sí mismas se alejan de las cargas, mientras que el sentido de las líneas entre las cargas cambia.

### 2.2 Propagación del campo electromagnético

La propagación del campo electromagnético se produce a través de sucesivas inducciones de campos magnéticos y eléctricos en forma alternada.

Si en un punto del espacio existe un campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) que varía con cierta frecuencia a medida que transcurre el tiempo, según las ecuaciones de Maxwell, en otro punto próximo al anterior se genera un campo magnético ( $\vec{B}$ ) que varía con la misma frecuencia. Este campo magnético generará, a su vez, un nuevo campo eléctrico variable de igual frecuencia, y así sucesivamente.

La variación del campo eléctrico inicial se propaga desde un punto a otro del espacio en forma de una onda electromagnética que seguirá propagándose, debido a la inducción alterna de campos, aunque las cargas que lo emitieron dejen de acelerar. Toda carga acelerada emite radiación electromagnética; un electrón, al orbitar el núcleo, posee aceleración debido a su movimiento circular. Pero ¿emite radiación electromagnética? Esto no ocurre, ya que los átomos naturalmente no emiten ondas electromagnéticas. Esto llevó a replantear el modelo, como estudiaremos más adelante.



Una planta utiliza la energía electromagnética proveniente del Sol para realizar fotosíntesis.

Existen muchas formas de aprovechar la energía que transportan las ondas electromagnéticas provenientes del Sol. Una de ellas es utilizando pantallas reflectoras; estas concentran la energía en un área pequeña, permitiendo el funcionamiento de una turbina, la que a su vez transforma el movimiento en energía eléctrica utilizable.

### 3. Características de las ondas electromagnéticas

#### 3.1 Las ondas electromagnéticas transportan energía

En la **Indagación** de la página 70, observaste que una onda electromagnética era capaz de hacer oscilar un péndulo o mover la aguja de una brújula; para que esto ocurra, la onda debe transportar energía. También habrás observado, más de una vez, cómo aumenta la temperatura de un objeto que permanece por un tiempo bajo la luz del Sol. Esto ocurre porque la luz proveniente del Sol también es una onda electromagnética que transporta energía.

El físico John Henry Poynting (1852-1914) desarrolló una expresión vectorial que permite determinar la dirección y la cantidad de energía que pasa cada segundo a través de una superficie perpendicular a la dirección en que se propaga la onda electromagnética. Esta expresión se llama **vector de Poynting** ( $\vec{S}$ ) y su módulo se representa de la forma:

$$S = \frac{1}{\mu_0} E \cdot B$$

La unidad en que se mide  $S$  es el  $J/sm^2$ , en tanto  $S$ ,  $E$  y  $B$  corresponden a los módulos de los valores instantáneos.

Más tarde, el físico alemán **Max Planck** (1858-1947) postuló que la energía electromagnética estaba cuantizada, es decir, era emitida de manera discreta, en forma de “paquetes de energía” a los que posteriormente se les denominó **fotones**.

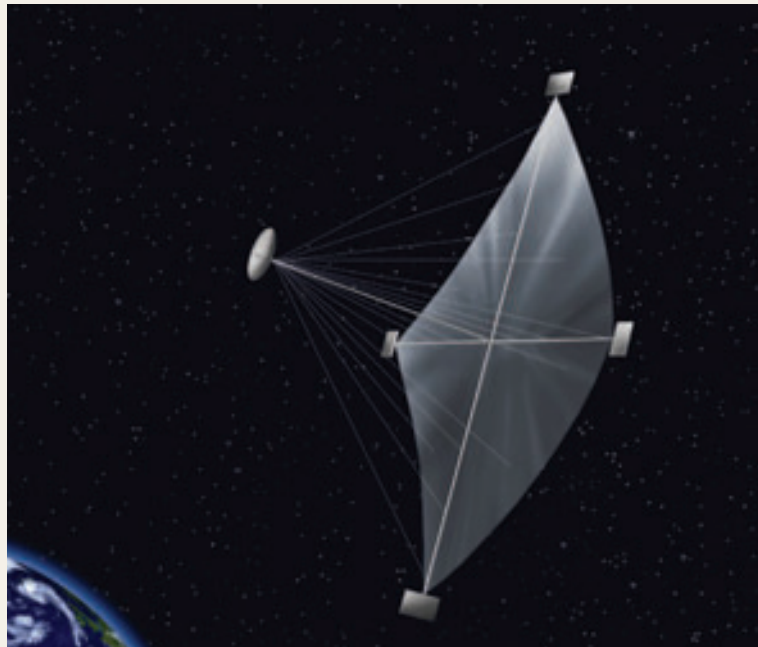


## Veleros espaciales

Cuando un barco a vela se encuentra en el mar, la energía que lo impulsa proviene del viento. Pero existe otra energía actuando sobre las velas: la energía electromagnética proveniente del Sol. Esta energía corresponde a los choques de los fotones contra las velas. En comparación con la energía que provee el viento, esta es insignificante; sin embargo, si pudiésemos imaginar una vela lo suficientemente grande y un medio sin roce, esta energía podría impulsar un cuerpo.

Este año 2010, la NASA planea lanzar una enorme nave espacial a vela. Será la más grande y la más veloz jamás construida. Pero, al mismo tiempo, será un aparato extremadamente simple: un módulo con instrumentos científicos anexo a una vela cuadrada de cientos de metros de diámetro. Y nada más. No tendrá motores, ni cohetes; entonces, ¿cómo funcionará? Es simple: la colosal vela estará cubierta por un aluminio altamente reflectante, y será empujada y acelerada por la presión de los fotones de la luz solar. Así podrá alcanzar velocidades de más de 300 000 km/h.

Esta “Misión precursora” (como la han bautizado muchos científicos de la NASA) será un primer paso, ya que su principal misión es evaluar la factibilidad de la propulsión solar. Una de las principales ventajas de esta forma de propulsión es su bajo costo, ya que la mayor parte de la energía la provee el Sol. Además, por la alta velocidad, podrá abarcar grandes distancias, lo que permitiría explorar las fronteras del Sistema Solar.



Fuente: Archivo editorial.

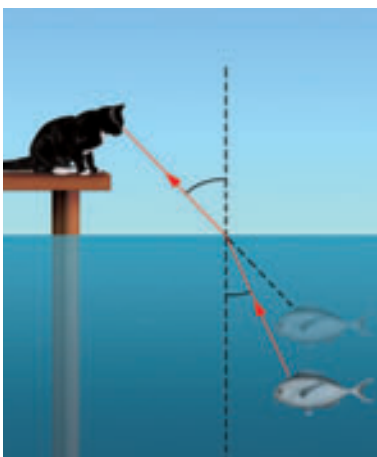
### Trabajemos con la información

Respecto de la lectura, responde las siguientes preguntas:

- ¿Crees que es factible la propulsión solar?
- ¿Qué ventajas tendría una nave espacial propulsada por el “viento solar” respecto de otra que utiliza combustible convencional?
- ¿Qué desventajas crees que tiene este tipo de propulsión?
- Menciona al menos tres principios o conceptos físicos que distingas en esta forma de propulsión.

### CONCEPTOS CLAVE

**Refracción:** es un fenómeno que experimenta la luz y toda onda electromagnética al pasar de un medio a otro, cambiando su velocidad y variando el ángulo de incidencia.



Debido a la refracción de la luz, los objetos bajo el agua tienen en apariencia otra posición.

## 3.2 Velocidad de propagación de una onda electromagnética

A partir de las ecuaciones de Maxwell, se deduce que la rapidez de la propagación de una onda electromagnética es una constante de proporcionalidad  $c$  entre el campo magnético y el campo eléctrico. Dicho valor puede ser calculado de forma teórica como:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

Al sustituir las constantes de permitividad eléctrica ( $\epsilon_0$ ) y permeabilidad magnética ( $\mu_0$ ) del vacío, se obtiene:

$$c = 2,99 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Este valor corresponde a la velocidad de una onda electromagnética predicha por las ecuaciones de Maxwell, y es muy similar al que obtuvo el francés **Armand Fizeau** en 1848 para la velocidad de la luz, en su famoso experimento de la rueda dentada que seguramente analizaste en 1º medio. Por lo tanto, **las ondas electromagnéticas se propagan con la misma rapidez que la luz**. Esto explica por qué la luz visible para el ser humano no es otra cosa que radiación electromagnética de una determinada frecuencia. Cuando una onda electromagnética se propaga a través de un medio, lo hace con menos energía y velocidad. Esto queda en evidencia cuando la luz se refracta al entrar a un determinado medio.

Hasta comienzos del siglo XX se pensaba que la luz necesitaba de un medio para su propagación, de la misma forma que una onda generada por la caída de una piedra en el agua necesita de un medio físico para propagarse. A dicho medio se le denominó **éter cósmico**. Más tarde, los físicos **Albert Michelson** y **Edward Morley** realizaron un ingenioso experimento que suponía la existencia del éter, pero como resultado del experimento se demostró que el éter no existía, y, en consecuencia, que **la luz y toda radiación electromagnética se propaga en el vacío**.

### Actividad 2

### EXPLICAR

#### DESCRIBIENDO EL EXPERIMENTO DE MICHELSON Y MORLEY

Reúnanse en grupos de tres o cuatro integrantes y realicen una investigación que describa el experimento realizado por A. Michelson y E. Morley. Su investigación debe señalar los siguientes aspectos:

- Hipótesis de trabajo del experimento.
- Descripción y diseño experimental.
- Conclusiones y consecuencias del experimento.

### 3.3 Una onda electromagnética posee longitud ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $f$ )

#### Actividad 3

#### RELACIONAR

#### ONDAS MECÁNICAS

Una onda mecánica es aquella que necesita de un medio para su propagación. La rapidez de una onda mecánica se determina a través de la siguiente relación:  $v = \lambda \cdot f$ .

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda medida en m y  $f$  es la frecuencia medida en Hz.

A partir de esta expresión, responde las siguientes preguntas:

- ¿Será aplicable esta relación a una onda electromagnética? De ser así, ¿cómo sería la relación?
- Para el caso de una onda mecánica, como el sonido, ¿será la velocidad siempre la misma?, ¿de qué dependerá?
- En el caso de una onda electromagnética, ¿será la velocidad siempre la misma?

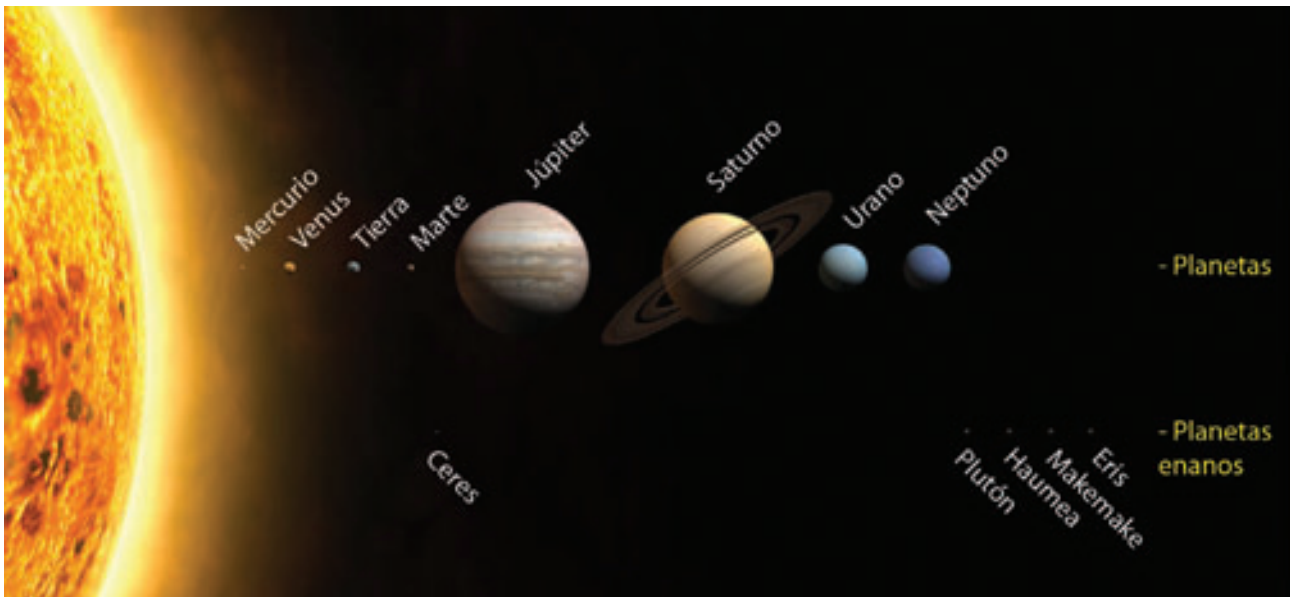
Al igual que para una onda mecánica, la expresión que relaciona la rapidez de una onda electromagnética ( $c$ ) con su longitud ( $\lambda$ ) y su frecuencia ( $f$ ) está dada por:

$$c = \lambda \cdot f$$

La diferencia radica en que en una onda mecánica la velocidad puede ser variable, es decir, tomar muchos valores distintos. En cambio, en una onda electromagnética, la velocidad  $c$  (en el vacío) es una constante universal. En medios materiales, la velocidad de una onda electromagnética es menor y queda determinada por el índice de refracción de cada medio.

En la propagación de una onda electromagnética, la intensidad de esta disminuye a razón del cuadrado de la distancia; es decir, al aumentar al doble la distancia, la intensidad será cuatro veces menor.

Una onda electromagnética que nace del Sol disminuye su intensidad en proporción al cuadrado de la distancia. Si llega a la Tierra con una intensidad "A", ¿con qué intensidad llegará a Júpiter?





### 3.4 Las ondas electromagnéticas son transversales

#### Actividad 4

OBSERVAR

#### POLARIZACIÓN DE ONDAS

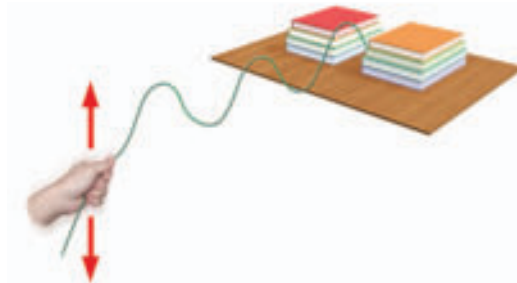
Formen grupos de tres o cuatro integrantes y reúnan los siguientes materiales: una cuerda de 2 m de largo y varios libros.

1. Con la cuerda, hagan pulsos de onda, como se muestra en la fotografía 1.
2. Vuelvan a realizar pulsos de onda, pero ahora como se muestra en la fotografía 2.
  - a. ¿Qué tipo de onda se generó en ambos casos?
  - b. ¿En qué disposición se transmitió la onda en la cuerda?
  - c. En las mismas dos situaciones, ¿qué ocurrirá con una onda longitudinal?
  - d. ¿Qué tipo de onda crees que es una onda electromagnética?

Fotografía 1



Fotografía 2



#### INTER@CTIVIDAD

En la siguiente dirección, podrás observar cómo se comporta un polarizador al modificar el ángulo de este respecto de la fuente de luz.  
[www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web),  
 ingresa el código 10F4080.

En la **Actividad 4**, generamos ondas transversales en una cuerda (recuerda que en una onda transversal, la dirección de oscilación de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda).

En la actividad simulamos un fenómeno que ocurre con las ondas electromagnéticas: la **polarización**. Una onda electromagnética se encuentra polarizada cuando los vectores campo eléctrico se orientan (se “filtran”) en un mismo plano entre todas las orientaciones posibles. Los polarizadores para la luz son filtros similares a los cristales de los lentes para sol. La polarización es un fenómeno que ocurre solo con las ondas transversales; por lo tanto, **la luz y toda onda electromagnética es una onda transversal**.

#### CONEXIÓN CON... ● FOTOGRAFÍA

En la fotografía, se utilizan filtros polarizadores de luz para eliminar reflejos indeseados sobre superficies no metálicas, como agua o cristal, permitiendo la visualización de lo que se encuentra detrás de ellas. También es efectivo en superficies como plástico y madera. El efecto de la polarización depende del ángulo que mantenga el objetivo respecto a la fuente de luz.

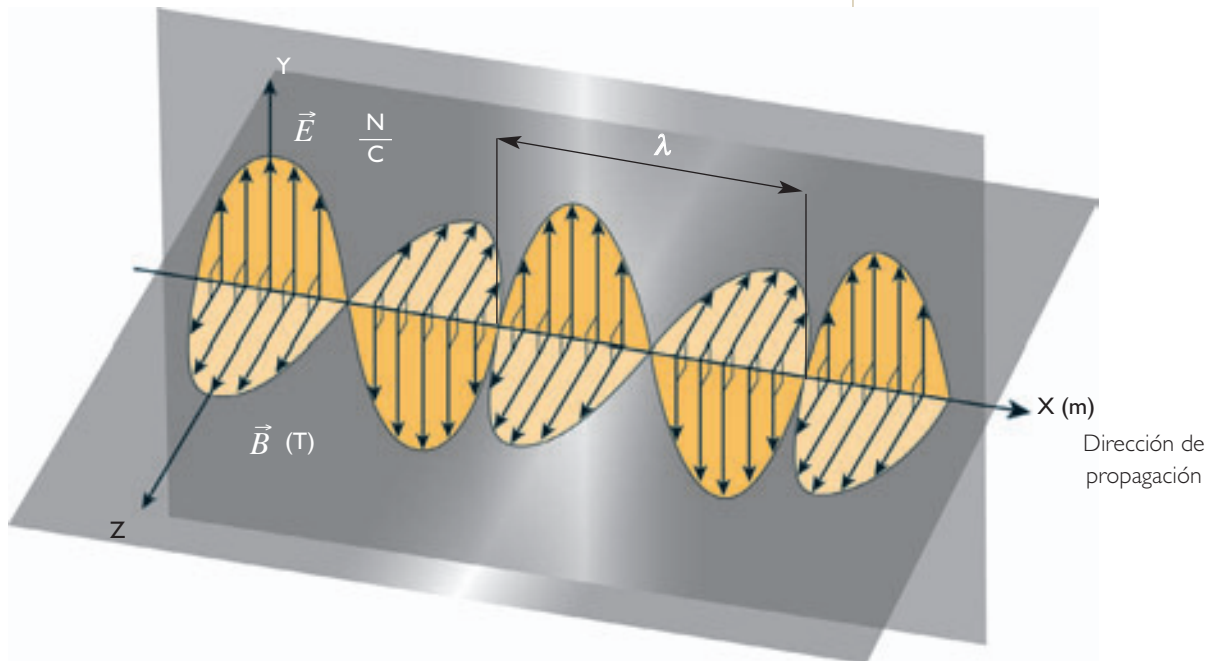
### 3.5 Las ondas electromagnéticas son sinusoidales

Cuando el espacio es perturbado por una carga oscilante, se genera una onda electromagnética. La onda electromagnética está formada por un campo eléctrico y un campo magnético que son perpendiculares entre sí y, a su vez, ambos son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

#### INTER@CTIVIDAD

Conéctate a la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) e ingresa el código 10F4081.

Allí encontrarás la animación de una onda electromagnética polarizada que se propaga en dirección del eje x.



En las ondas mecánicas, las partículas del medio vibran a medida que se propaga la onda. En las ondas electromagnéticas, son los vectores campo eléctrico  $\vec{E}$  y campo magnético  $\vec{B}$  los que oscilan a medida que se propaga la onda. Dicha variación ocurre con la misma frecuencia con que oscila la carga que genera la onda. La forma con que se produce la variación de cada uno de estos campos es sinusoidal.

#### Actividad 5

COMPARAR

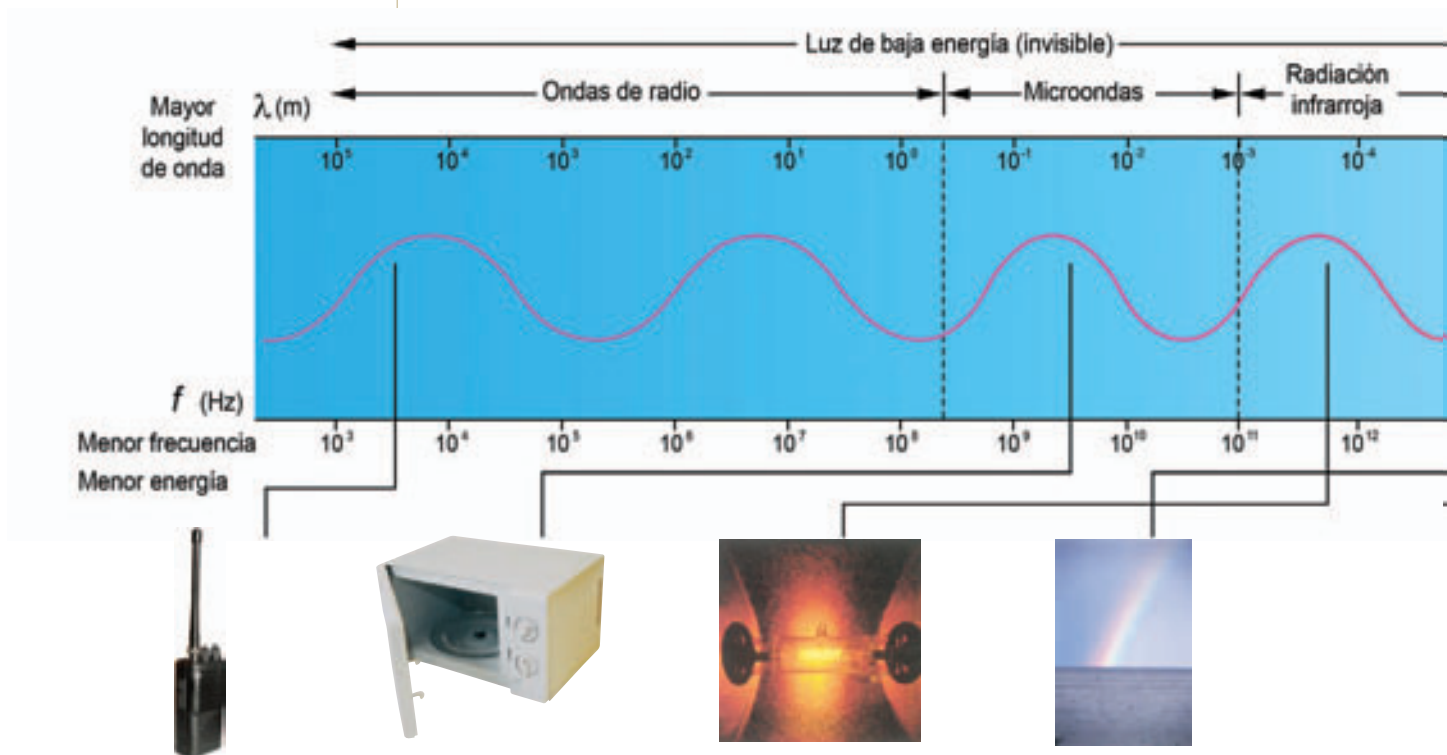
#### ONDAS MECÁNICAS Y ELECTROMAGNÉTICAS

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y trabajen en torno a la siguiente actividad.

1. Realicen un cuadro resumen en el que se señalen las diferencias y semejanzas que se hayan mencionado, hasta ahora, entre las ondas mecánicas y electromagnéticas.
2. Investiguen en libros de física y en Internet qué otras diferencias y semejanzas existen entre estas ondas.
3. Completen su cuadro resumen compartiendo los resultados de su investigación con otros grupos al interior de su curso.

## 4. El espectro electromagnético

En la época de Maxwell, los únicos tipos de radiación electromagnética conocidos eran la luz y las radiaciones infrarroja y ultravioleta. A partir de entonces, los investigadores comienzan a buscar otras ondas electromagnéticas invisibles para el ojo humano. En los últimos cien años se ha demostrado que existe una variedad de ondas electromagnéticas que solo se diferencian en su frecuencia y, por lo tanto, en su longitud de onda, pero que se propagan a la misma velocidad: la velocidad de la luz. El amplio conjunto de ondas se agrupan ordenadamente en el llamado **espectro electromagnético**.



### Las ondas de radio

Tienen una longitud de onda mayor que 1 m y pueden alcanzar los 100 km. Pueden ser producidas por electrones que oscilan en alambres de circuitos eléctricos. El Sol es la fuente externa más intensa, cuyas emisiones pueden interferir con las señales de radio y televisión de la Tierra.

### Microondas

Pueden considerarse como ondas cortas de radio con longitudes de onda comprendidas entre 1 mm y 1 m. Las producen los circuitos eléctricos oscilantes, como en el caso de los hornos de microondas.

### Radiación infrarroja (I.R.)

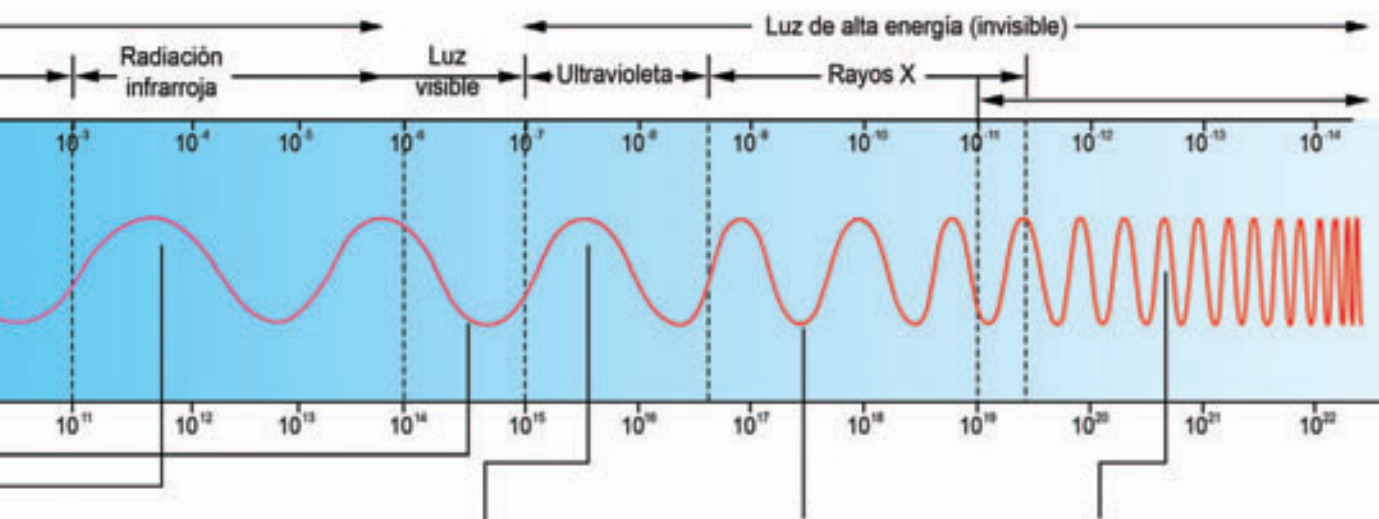
Estas ondas fueron descubiertas por Herschel en 1800. Corresponden a la porción del espectro con longitudes de onda comprendidas entre los  $10^{-3}$  m y los  $7 \times 10^{-6}$  m, aproximadamente. Son generadas por átomos o moléculas cuando modifican su movimiento rotacional o vibratorio.

### Radiación visible

Se denomina radiación visible a la pequeña región del espectro electromagnético, usualmente llamada luz, que los seres humanos somos capaces de ver. Cada uno de los siete colores que componen la radiación visible posee una longitud de onda bien determinada, desde los 700 nm para el color rojo y los 400 nm, aproximadamente, para el color violeta.

## CONEXIÓN CON... BIOLOGÍA

Muchos animales son capaces de percibir ondas electromagnéticas distintas a las que podemos percibir los seres humanos con la vista. Por ejemplo, algunas serpientes pueden percibir la radiación infrarroja que emiten animales de "sangre caliente". Hay insectos como las abejas que pueden percibir la luz ultravioleta, situación que les sirve para buscar alimentos. Es curioso pensar que ante una misma realidad, por ejemplo, el polen de una flor, distintos seres vivos son capaces de distinguir aspectos diferentes, que se relacionan de alguna forma con su supervivencia.



### La radiación ultravioleta

Esta porción del espectro electromagnético fue descubierta en 1801 por **Johann Ritter**, y sus longitudes de onda se encuentran entre los  $10^{-7}$ m hasta los  $10^{-8}$ m, aproximadamente. Pueden ser producidas por los electrones de los átomos y también por fuentes térmicas.



### Los rayos X

Este tipo de radiación fue descubierta en 1895 por el alemán **Wilhelm Roentgen**. Su longitud de onda está comprendida entre los  $10^{-11}$ m y  $10^{-8}$ m, aproximadamente. Se producen por transiciones de los electrones o por desaceleración de partículas cargadas como los electrones. La radiación X es muy energética y muy penetrante, razón por la cual su administración médica debe ser realizada por especialistas.

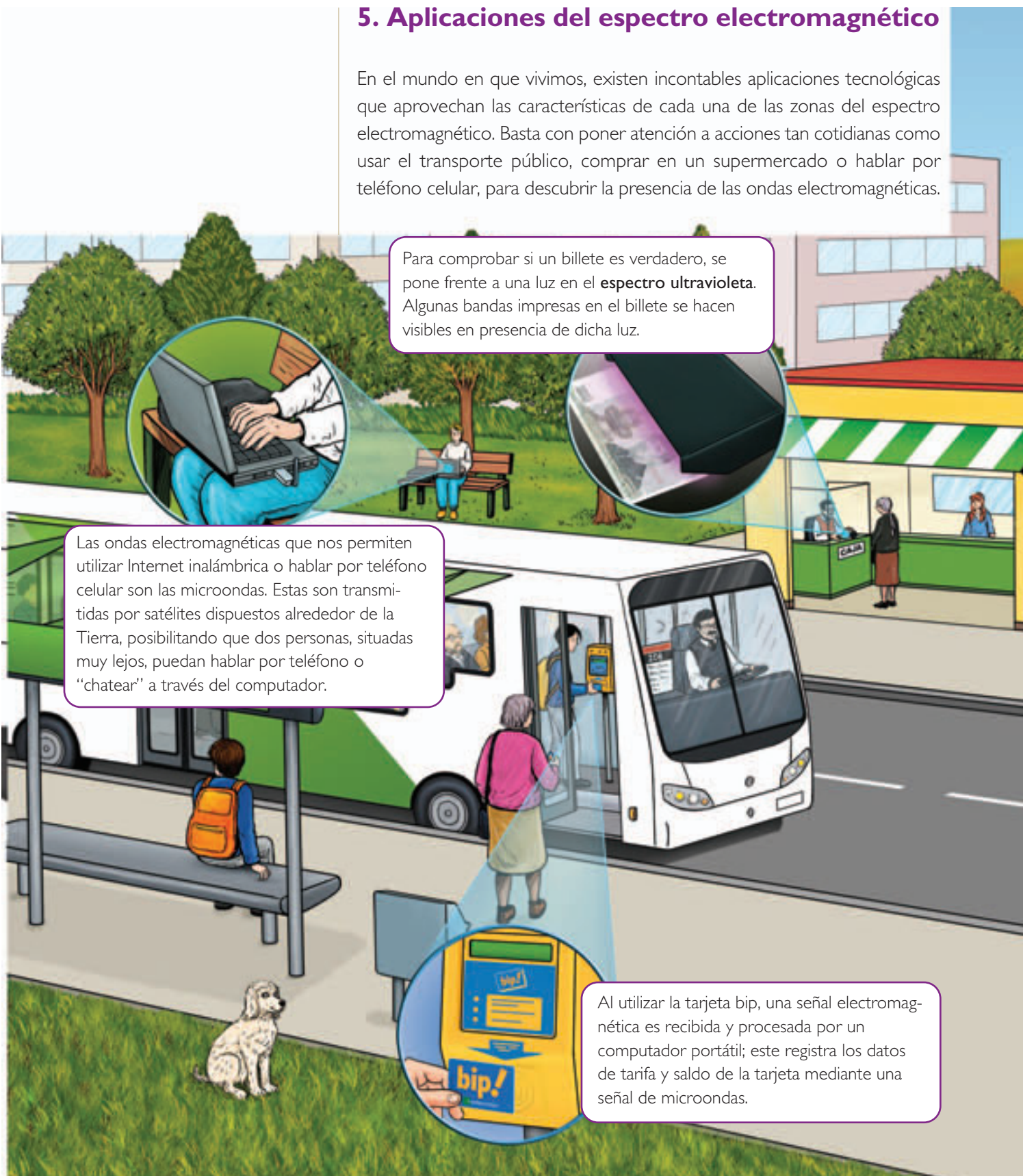


### Los rayos gamma

Este rango de espectro corresponde a las ondas electromagnéticas de mayor energía conocidas y las más penetrantes; sus longitudes de onda son menores que los  $10^{-11}$ m. La exposición intensa a ellas puede causar efectos nocivos en el cuerpo humano.

## 5. Aplicaciones del espectro electromagnético

En el mundo en que vivimos, existen incontables aplicaciones tecnológicas que aprovechan las características de cada una de las zonas del espectro electromagnético. Basta con poner atención a acciones tan cotidianas como usar el transporte público, comprar en un supermercado o hablar por teléfono celular, para descubrir la presencia de las ondas electromagnéticas.



Para comprobar si un billete es verdadero, se pone frente a una luz en el **espectro ultravioleta**. Algunas bandas impresas en el billete se hacen visibles en presencia de dicha luz.

Las ondas electromagnéticas que nos permiten utilizar Internet inalámbrica o hablar por teléfono celular son las microondas. Estas son transmitidas por satélites dispuestos alrededor de la Tierra, posibilitando que dos personas, situadas muy lejos, puedan hablar por teléfono o “chatear” a través del computador.

Al utilizar la tarjeta bip, una señal electromagnética es recibida y procesada por un computador portátil; este registra los datos de tarifa y saldo de la tarjeta mediante una señal de microondas.

Un horno de microondas genera ondas electromagnéticas de alta intensidad, haciendo vibrar las moléculas de agua presentes en los alimentos. Esto sucede porque la molécula de agua es un dipolo eléctrico.

Al subir el volumen del televisor o cambiar de canal, el control remoto emite una señal en el espectro infrarrojo. Un sistema similar permite que las puertas de un supermercado se abran al acercarse una persona.

Una de las principales aplicaciones de los rayos X es en la medicina, pues son ondas electromagnéticas de alta energía que pueden atravesar la piel humana, haciendo una impresión en una placa fotográfica de la estructura ósea o de ciertos órganos.

Las ondas de radio son transmitidas desde una estación emisora y recibidas por un receptor de radio. Estas son ondas de baja energía y corresponden al mismo espectro de las ondas de televisión.

## Actividad 6

CLASIFICAR

### APLICACIONES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Utilizando diferentes fuentes, como libros de física e Internet, averigua qué otras aplicaciones tienen las ondas electromagnéticas. Investiga algunas aplicaciones de las ondas de alta energía, como los rayos gamma. Con la información recabada, elabora un esquema en tu cuaderno como el propuesto a continuación:

Ondas electromagnéticas	Aplicaciones



## SÍNTESIS

Copia y completa las siguientes oraciones en tu cuaderno.

- Las ondas electromagnéticas fueron predichas por: \_\_\_\_\_. Su existencia fue confirmada por el experimento de \_\_\_\_\_.
- Una onda electromagnética es generada por cargas \_\_\_\_\_. Su propagación se produce por inducciones consecutivas del \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_.
- Una onda electromagnética se propaga a la velocidad de \_\_\_\_\_. La expresión que relaciona su frecuencia con longitud de onda es \_\_\_\_\_.

## EVALUACIÓN

- ¿Qué parámetros permiten clasificar las distintas ondas en el espectro electromagnético?
- ¿Qué característica de las ondas electromagnéticas permite afirmar que son ondas transversales? Explica.
- Si una onda electromagnética tiene una longitud de onda de  $5 \times 10^{-14}$  m, entonces, ¿cuál es su frecuencia?
- El espectro visible está comprendido en longitudes de onda entre los 400 nm y los 700 nm. ¿Cuáles son los rangos de frecuencia de este espectro?
- Completa la siguiente tabla determinando los valores de frecuencia y longitud de onda para los distintos colores del espectro visible.

Color	Frecuencia ( $\times 10^{12}$ Hz)	Longitud de onda ( $\times 10^{-9}$ m)
Rojo	428	
Naranja	492	
Amarillo	580	
Verde		520
Azul	638	
Índigo		450
Violeta		400

## INDAGACIÓN: ONDAS DE RADIO Y TELEVISIÓN

## ¿Cómo puede transmitirse el sonido o una imagen a través de una onda electromagnética?

¿Cómo un partido de fútbol o una entrevista que se realiza en otro país puede ser visto en directo desde tu casa? Una de las claves en la transmisión y recepción de las señales radiales y televisivas es la codificación y la decodificación de los datos. Reúnanse en grupos de cuatro integrantes y traten de explicar cómo una imagen puede ser convertida en datos y transmitida. Para que entiendan mejor este proceso, consigan los materiales y desarrollen la siguiente actividad.

### Materiales

- Dos hojas de cuaderno cuadriculado.
- Lápiz y regla.



### Procedimiento

1. Numeren los cuadros orientados verticalmente y asignen una letra a los cuadros orientados horizontalmente.
2. Dos de ustedes tomarán una de las hojas y dibujarán, ennegreciendo los cuadros, alguna figura que sea reconocible (una casa o un barco, por ejemplo). Los otros dos compañeros o compañeras deben estar alejados, de modo de no ver la figura dibujada.
3. Una vez hecha la figura, las coordenadas de los cuadros deben ser transmitidas verbalmente a los integrantes del grupo que tienen la cuadrícula en blanco; estos deberán ennegrecer los cuadros correspondientes.

### Análisis

- a. ¿Cómo resultaron las dos figuras?
- b. ¿Quiénes hacían el papel de emisores (codificadores) y el de receptores (decodificadores)?
- c. ¿En qué debió ser convertido cada cuadro ennegrecido (imagen) para poder ser transmitido?
- d. ¿Qué debería ocurrir para que se pudiesen transmitir imágenes de mayor complejidad y detalle?
- e. Con los nuevos antecedentes, respondan nuevamente la pregunta inicial.

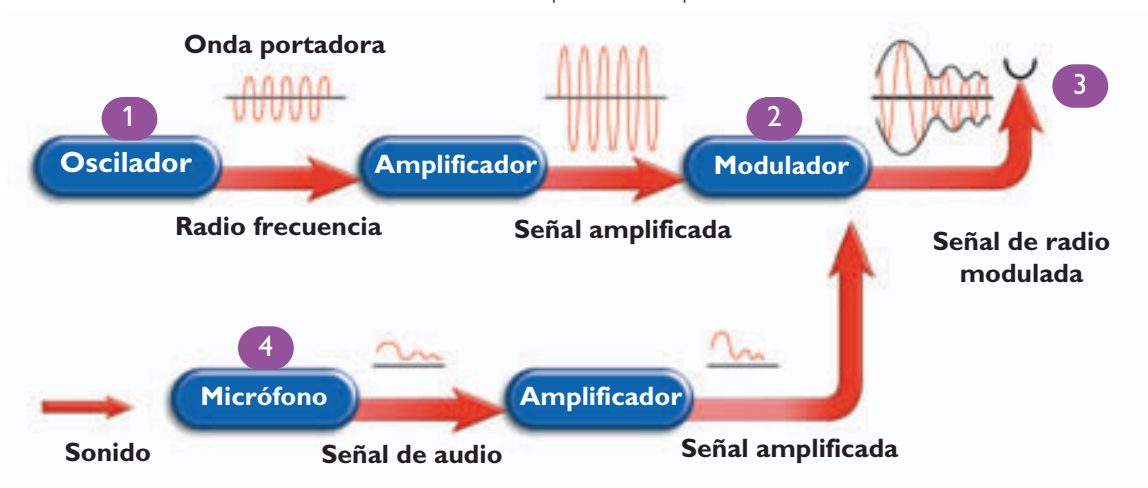


## 6. Transmisión y recepción de ondas electromagnéticas

### 6.1 Transmisión de ondas de radio

En la **Indagación** de la página anterior, pudiste inferir que en la transmisión de datos es fundamental la codificación de estos. Las señales utilizadas por las radioemisoras para transmitir sus programas están formadas por dos componentes diferentes: la señal de audio del mensaje que se desea transmitir y la onda encargada de transmitirlo, denominada onda portadora.

Las ondas acústicas que escuchamos tienen frecuencias relativamente bajas (entre 20 y 20 000 Hz) si las comparamos con las frecuencias de la luz visible, por ejemplo, que son del orden de  $10^{14}$  Hz. El siguiente diagrama explica en detalle cómo se produce el proceso de **emisión de las ondas de radio**.



1 En un sistema transmisor de ondas, un **oscilador** produce una corriente eléctrica de muy alta frecuencia, llamada onda portadora o radiofrecuencia, cuyos valores están entre  $3 \times 10^4$  y  $3 \times 10^8$  Hz. Luego, esta corriente se amplifica y se envía a un **modulador**

2 En el modulador se hacen interferir las dos corrientes con baja y alta frecuencia para formar la **onda de radio** (modulada), produciendo una corriente de alta frecuencia modulada en su amplitud. Esta corriente lleva incorporadas las características de la señal acústica.

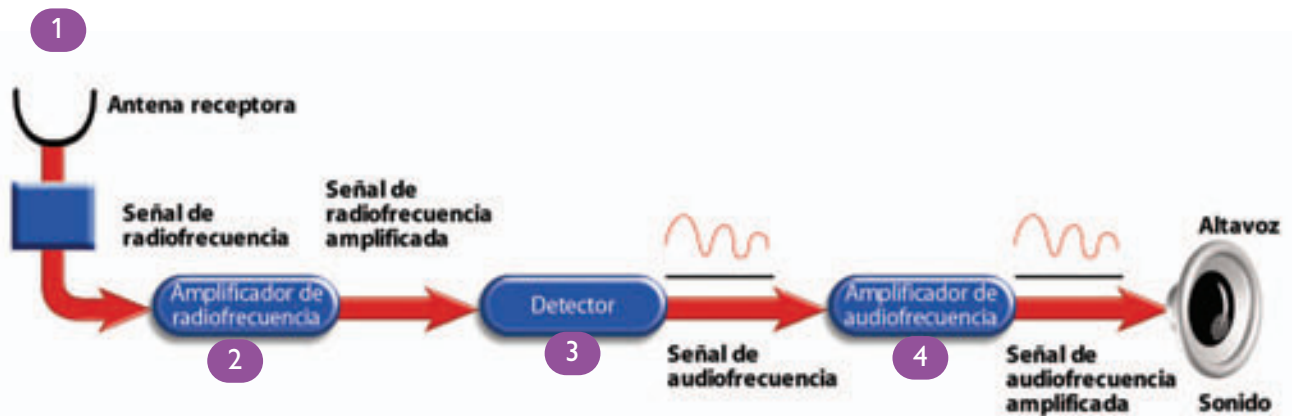
3 La corriente se hace pasar por la **antena** que emite ondas electromagnéticas con la misma frecuencia y amplitud que tiene la corriente que la alimentó: en particular, la amplitud de las ondas emitidas va

cambiando con la misma frecuencia de la señal de baja frecuencia. De esta forma, se emiten ondas electromagnéticas en las que va incorporada la señal de la voz. La frecuencia de la estación de radio que emite de esta manera es precisamente la frecuencia que produce el oscilador.

4 Una señal con frecuencias acústicas como las de una voz o las de la música, llamada **señal de audio**, se transforma por medio de un micrófono en una corriente eléctrica alterna que tiene frecuencias de valor muy pequeño, comparadas con la radiofrecuencia generada por el oscilador. Después de **amplificar** la señal que sale del **micrófono**, se envía al modulador.

## 6.2 Recepción de ondas de radio

En el siguiente diagrama, se muestra cómo es el proceso de recepción de las ondas de radio.



**1** Las ondas electromagnéticas emitidas por el transmisor se propagan en todas direcciones y son captadas por medio de una antena. Estas ondas inducen en la antena una corriente eléctrica que tiene las mismas características de frecuencia y amplitud de las ondas, y así la corriente inducida en la antena lleva la señal.

**2** La onda que recibe la antena tiene muy poca intensidad, por lo que produce una corriente muy débil que es necesario amplificar. La corriente alterna inducida por la señal en la antena es amplificada al ingresar al circuito, por el fenómeno de resonancia.

**3** Luego, se hace pasar la corriente por el filtro o detector, que elimina el componente de alta frecuencia y solamente deja pasar la onda de baja frecuencia, que es precisamente la señal.

**4** La onda de audio es amplificada electrónicamente, mediante un amplificador, y llevada al parlante. En el parlante, una membrana vibradora transforma los impulsos eléctricos en mecánicos, generándose así la onda sonora que puedes percibir.

Si solamente hubiese una sola transmisión en el área geográfica en que está ubicado el receptor, entonces la señal recibida sería la que envió el transmisor. Sin embargo, esto no sucede así, ya que en muchos lugares hay más de una emisora radial. Como cada emisión se hace con diferente frecuencia, la antena capta todas las emisiones que se hacen en la región en ese instante y la corriente que se induce en ella está compuesta de todas estas frecuencias. Por este motivo, se hace pasar la corriente de la antena por un aparato llamado sintonizador, formado por circuito oscilante RLC, cuya frecuencia se ajusta moviendo el dial hasta que coincida con la frecuencia que deseas captar.

## Actividad 7

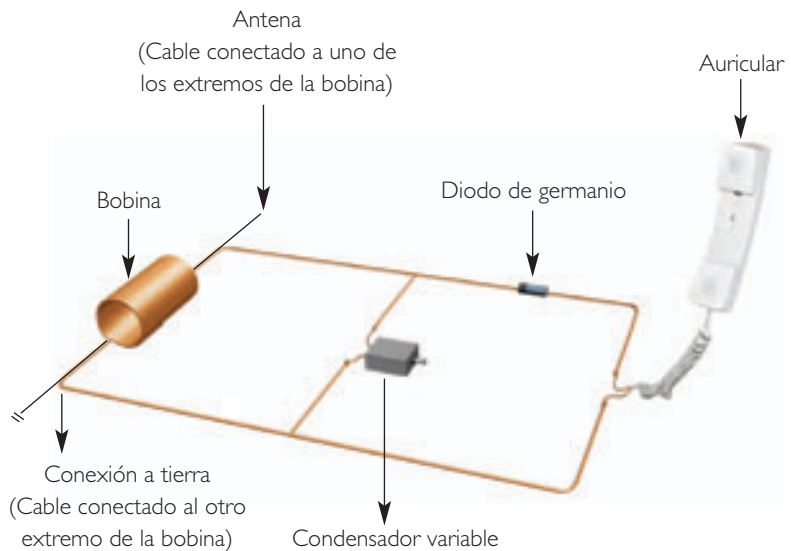
## CONSTRUCCIÓN DE UN RECEPTOR DE RADIO

Formen grupos de cuatro o cinco compañeros o compañeras y reúnan los siguiente materiales:

- Un auricular de teléfono.
- Un diodo de germanio (1N42).
- Alambre de cobre esmaltado de 0,2.
- Cables conectores.
- Un tubo de PVC de 3 a 4 cm de diámetro.
- Un condensador variable (puede ser el de una radio vieja).

## Procedimiento

1. Con el tubo de PVC y el alambre de cobre, construyan una bobina de 150 espiras.
2. Utilizando todos los materiales, armen el circuito que se muestra en la ilustración.
3. Dejen una conexión a tierra (esta puede ser conectada a una tubería de cobre bien limpia) y un cable a modo de antena (ver ilustración).



## Análisis

- a. Aplicando lo aprendido en el capítulo anterior, expliquen a qué tipo de circuito corresponde el que acaban de realizar.
- b. ¿Cuál es la función del diodo? Investiguen.
- c. ¿Cuál es la función del condensador variable en el circuito?
- d. ¿Cuántas frecuencias pudieron captar?
- e. ¿Cómo podrían aumentar el volumen con que se escucha la señal? Investiguen.

## 7. Radios AM y FM

Ya sabemos que la modulación es el efecto de “añadir” una señal de baja frecuencia (información) a otra de alta frecuencia o portadora. Hay a lo menos dos métodos básicos de modular la portadora: la **modulación en amplitud** y la **modulación en frecuencia**.

Las emisoras de radio **AM** usan ondas portadoras con frecuencias entre 540 kHz y 1600 kHz, separadas por intervalos de 10 kHz. La abreviatura AM corresponde a ondas de radio de amplitud modulada. La onda portadora no modulada es sinusoidal y tiene una frecuencia constante, por lo que no sería posible transmitir ninguna información a través de ella. Para transmitir los mensajes, la amplitud de la onda portadora es modulada por señales de audio; esto permite transmitir una gran gama de frecuencias. La principal desventaja de las ondas AM es que son muy susceptibles de experimentar distorsiones de ruido.

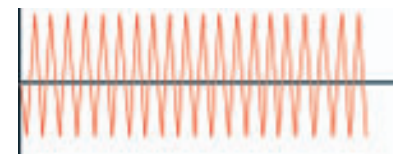
Una radio **FM** corresponde a ondas de radio de frecuencia modulada. En este caso, la señal de audio modula la frecuencia de la onda portadora, manteniendo su amplitud constante. Las emisoras FM usan ondas portadoras con frecuencias entre 88 MHz y 108 MHz, separadas por intervalos de 200 kHz o 0,2 MHz (ancho de banda).

### AM

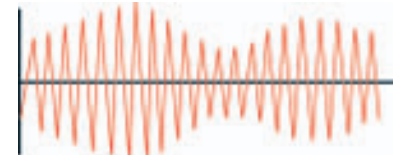
Señal moduladora



Onda portadora

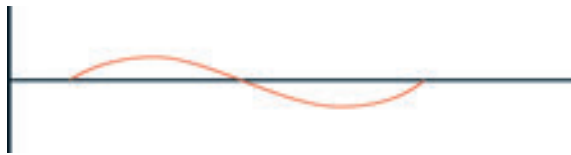


Onda de amplitud modulada

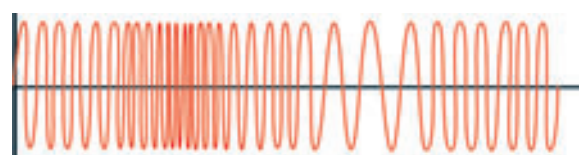


### FM

Señal moduladora



Onda de frecuencia modulada



### Actividad 8

CLASIFICAR

#### HISTORIA DE LA RADIO

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y realicen una investigación bibliográfica sobre la historia de la radio en el mundo y en Chile. Es importante que en esta investigación desarrollen los siguientes aspectos:

- El inventor de la radio y la primera experiencia radial de la historia.
- El desarrollo técnico y tecnológico asociado a la evolución de la radio.
- El impacto social y cultural originado a partir del desarrollo de esta tecnología.

Comuniquen los resultados de su investigación al resto de su curso, a través de un informe escrito y/o una presentación.

## 8. Propagación de las ondas de radio

Una vez que la onda de radio llega a la antena transmisora, haciendo vibrar sus electrones, las ondas electromagnéticas emitidas comienzan a propagarse a través del espacio en todas las direcciones, llevando el mensaje que se desea difundir. En la actualidad, se utilizan tres “rutas” diferentes para la propagación de las ondas de radio. De acuerdo a la ruta utilizada, se distinguen las ondas directas, las ondas cortas y las ondas largas.

### Ondas directas

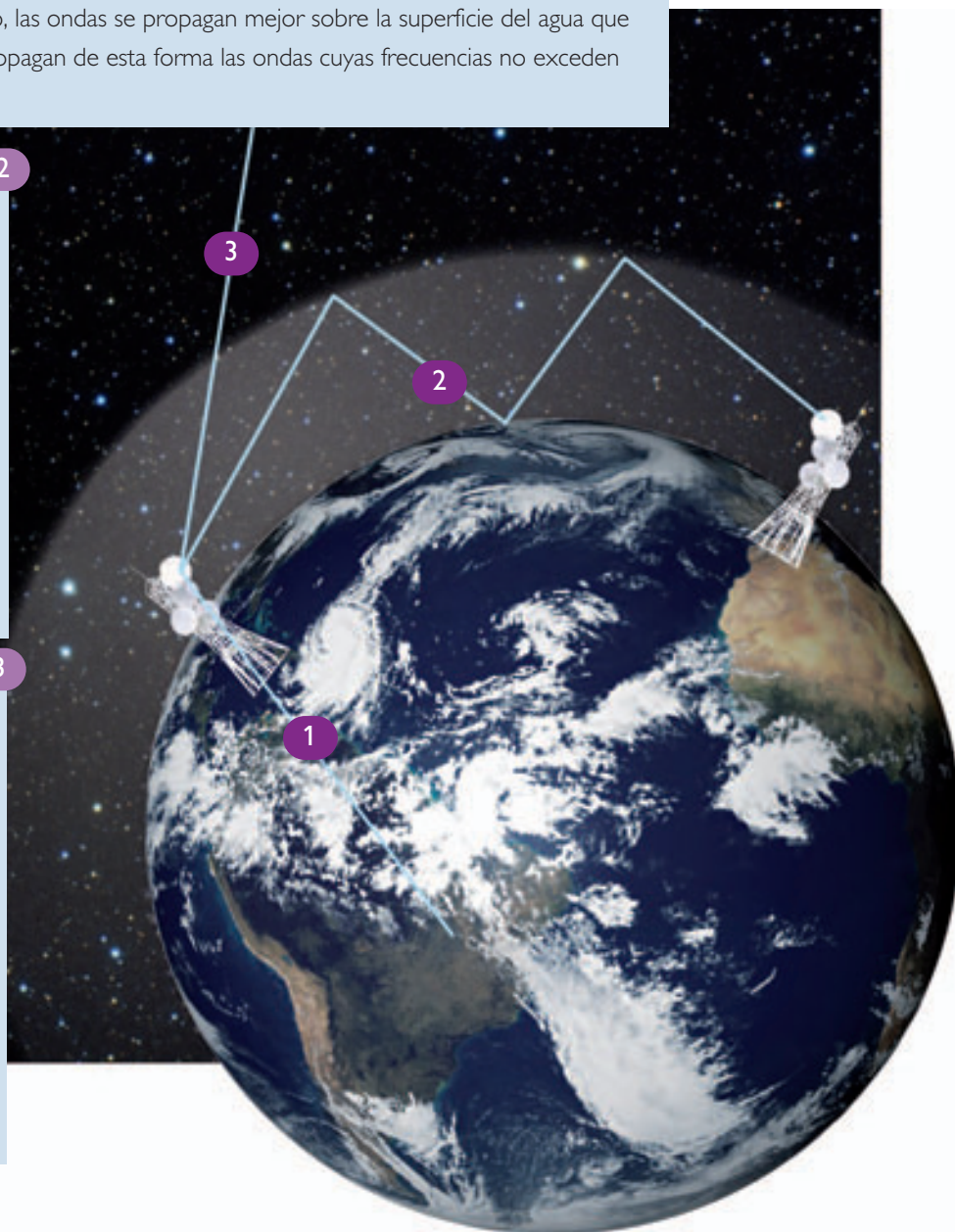
Las ondas directas se propagan a través de la superficie terrestre, alcanzando distancias máximas de unos 1000 km. La cantidad de ondas que se propaguen superficialmente dependerá de la calidad conductiva del terreno. Por ejemplo, las ondas se propagan mejor sobre la superficie del agua que sobre la arena. Normalmente se propagan de esta forma las ondas cuyas frecuencias no exceden los 2 MHz.

### Onda corta

Esta es la principal forma de propagación para ondas de radio con frecuencias entre los 3 y los 30 MHz. Las ondas cortas, también denominadas ondas aéreas, pueden recorrer miles de kilómetros, propagándose a través de todo el planeta mediante sucesivas reflexiones en la ionosfera y en la superficie terrestre, sin requerir de una gran potencia emisora.

### Onda larga

Estas ondas tienen frecuencias superiores a los 30 MHz y atraviesan la ionosfera emergiendo hacia el espacio exterior, sin reflejarse. Se emplean en las transmisiones satelitales y son utilizadas por las naves espaciales. También se utilizan en algunas transmisiones televisivas, donde se requiere de estaciones repetidoras enlazadas directamente unas con otras.



## 9. Ondas de radio provenientes del espacio

### 9.1 Radioastronomía

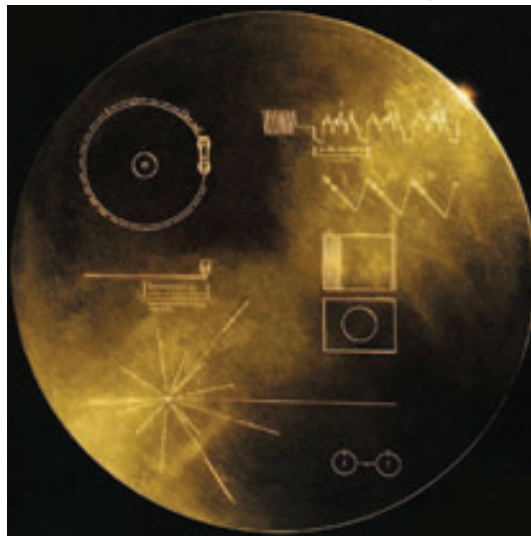
Sabemos que en el Universo los cuerpos emiten radiaciones de diversa longitud de onda, muchas de las cuales no son visibles al ojo humano. Por esto, se han desarrollado instrumentos que permiten captar una mayor cantidad de emisiones electromagnéticas. La radioastronomía tuvo su origen entre los años 1931 y 1932, captando señales débiles provenientes de la constelación Sagitario.

Un radiotelescopio funciona de manera similar a una radio. El receptor es una antena, que habitualmente se ubica sobre una superficie parabólica, la que actúa como un espejo colectando y enfocando la radiación. La energía de la radiación recibida es transformada en una señal eléctrica, que se presenta como una débil variación de voltaje, que es amplificada millones de veces. Los radiotelescopios captan ondas dentro del rango de longitud de onda que va desde 30 m hasta 1 mm.

### 9.2 En busca de vida inteligente

En el año 1906, el ser humano realizó la primera transmisión radial de la historia. Cuando esto ocurrió, una parte de las ondas electromagnéticas de la transmisión salieron de la atmósfera alejándose de la Tierra a la velocidad de la luz. Hoy en día, dicha transmisión se encuentra a una distancia de más de 100 años luz de nuestro planeta. Imaginemos que una civilización extraterrestre a esa distancia posee la tecnología y puede escuchar esa transmisión radial. Basándose en este razonamiento, el proyecto **SETI**, de búsqueda de vida inteligente, tiene como misión captar posibles señales de radio provenientes del espacio y cuya fuente sean civilizaciones de otros mundos.

Para que algo así ocurriese, dicha civilización debería haber alcanzado un desarrollo tecnológico que le permitiera manejar y transmitir ondas electromagnéticas. En nuestra corta historia moderna, hemos dado muestras de nuestra presencia en el Universo enviando señales de radio al espacio, además de varias sondas de exploración como las sondas *Pioneer* y *Voyager*.



El *Voyager 1* lleva un disco de oro con una inscripción en una de sus caras, en donde señala su proveniencia (tercer planeta del Sistema Solar). Si una civilización extraterrestre tuviera la tecnología para reproducirlo, lo primero que escucharía sería el primer movimiento del concierto Brandeburgués N° 2, de J. S. Bach.



Radiotelescopio, Arecibo, Puerto Rico.

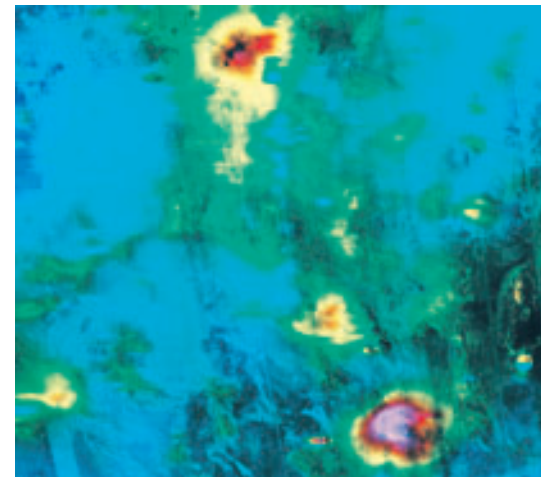
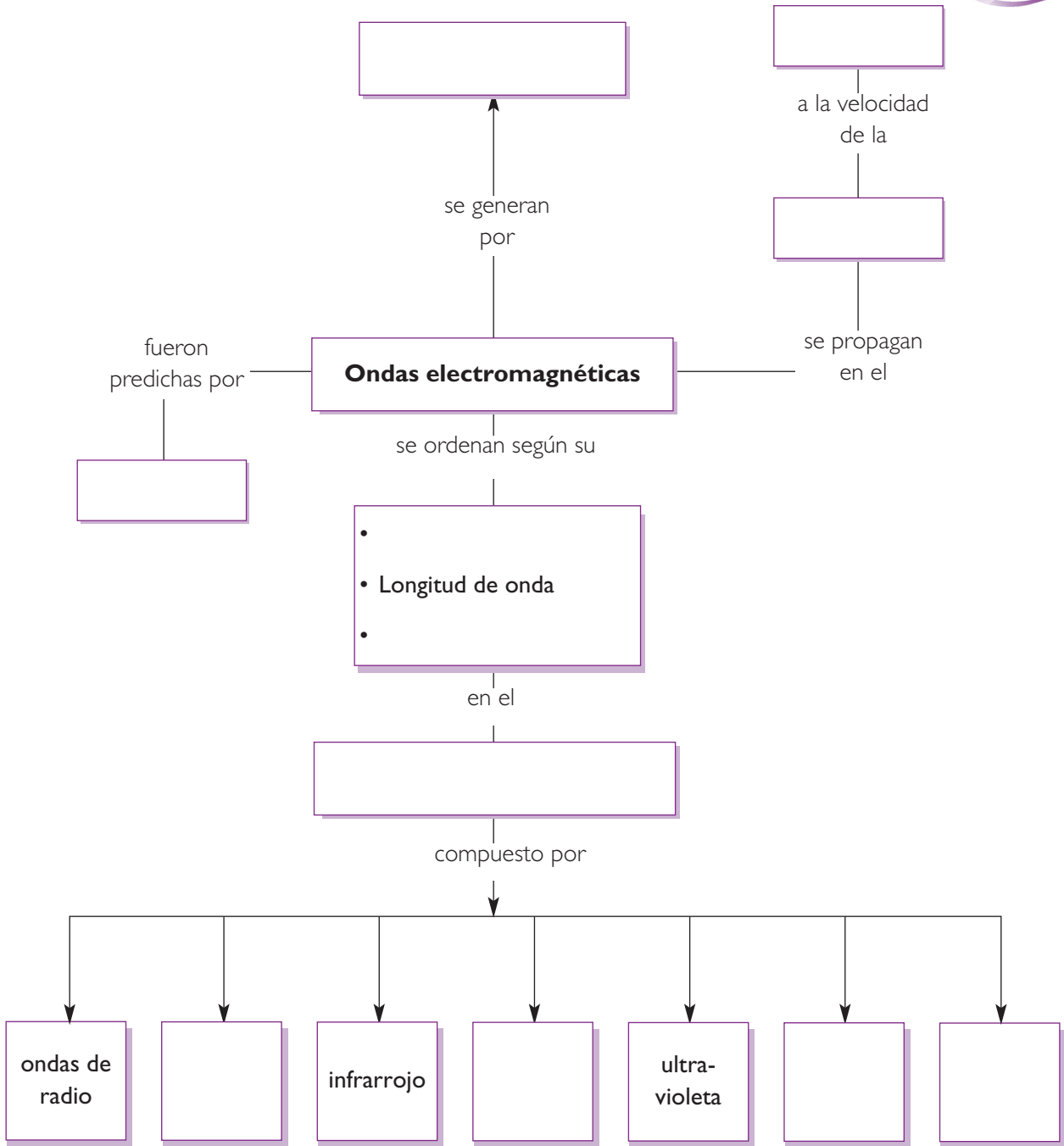


Imagen en ondas de radio de los volcanes de Venus.

**SÍNTESIS**

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno.



## EVALUACIÓN

### I. Desarrolla las siguientes preguntas en tu cuaderno.

1. Un electrón que orbita el núcleo de un átomo, ¿debería generar una onda electromagnética? Explica.
2. ¿Cuáles son los postulados de la teoría electromagnética de Maxwell?
3. ¿Cómo es la dirección de propagación de una onda electromagnética respecto de los vectores campo eléctrico y magnético?
4. ¿Entre qué longitudes de onda puede situarse una onda de radio?
5. ¿Por qué los rayos X pueden hacer una impresión de los huesos en una placa fotográfica?
6. ¿Cómo es la frecuencia en una onda de radio AM?

### II. Para calcular

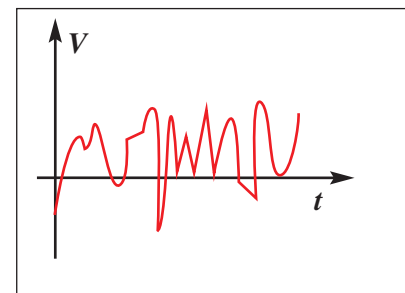
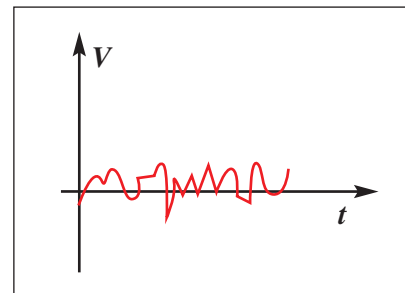
1. Si la longitud de onda de las microondas están comprendidas entre lo 1 mm y 1 m, ¿a qué frecuencia corresponden dichas longitudes?
2. ¿Cuál es la magnitud del vector de Poynting asociado a una onda electromagnética cuya componente magnética tiene una magnitud de  $1,5 \times 10^{-3} \text{ T}$  y la componente eléctrica tiene una magnitud de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ N/C}$ ?
3. ¿Cuál es la longitud de una onda de radio cuya frecuencia es de 30 MHz?

### III. Análisis

Los siguientes gráficos muestran la misma onda de radio.

Respecto de ellos, responde:

- a. ¿Qué característica de la onda varía entre los dos gráficos?
- b. ¿Qué característica se mantiene inalterada?
- c. ¿Cuál es el proceso que se representa entre los dos gráficos?







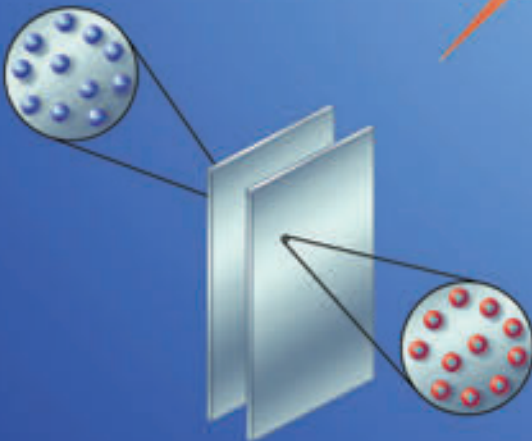
La fuerza entre dos cargas puntuales y en reposo se representa a través de la ley de Coulomb, cuya formulación es:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Cuando una carga oscila, esta se encuentra acelerada, lo que hace que emita radiación electromagnética.



Las cargas pueden ser almacenadas en un dispositivo de placas paralelas llamado condensador. Al acumularse cargas de un signo en una de las placas, en la otra se inducen cargas de signo contrario.



Alrededor de una carga se genera una perturbación del espacio que la circunda, llamada campo eléctrico. A diferentes distancia de la carga, se tienen distintos potenciales eléctricos.



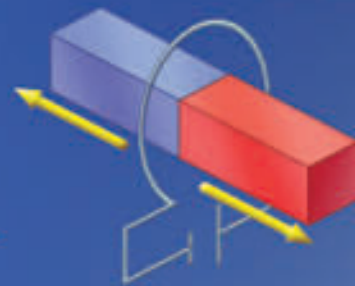
Una corriente eléctrica es un flujo de cargas a través de un conductor.

Alrededor de una corriente eléctrica se produce un campo magnético. Esta fue la primera relación establecida entre los dos fenómenos.



Alrededor de un imán se genera un campo magnético; este se produce debido a la alineación de los momentos dipolares al interior del metal.

Al variar un campo magnético (mover el imán) en presencia de un conductor se induce una fem. El valor de dicha fem está dado por la ley de Faraday y el sentido por la ley de Lenz.





Ch. Coulomb



A. Volta



H. C. Oersted



A-M. Ampère

**siglo XVIII**

**Charles Coulomb (1736-1806)**

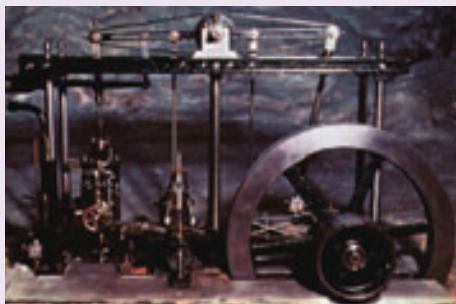
Describió y modeló matemáticamente la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales y en reposo. Los resultados de su trabajo fueron análogos a los de Newton, al describir otra fuerza de acción a distancia, la gravitacional. En su honor la unidad de carga eléctrica lleva el nombre de coulomb (C).

**Alessandro Volta (1745-1827)**

Produjo por primera vez una corriente continua a través del desarrollo de un invento de gran trascendencia, la batería eléctrica. Desde el año 1881, la unidad de fuerza electromotriz lleva el nombre de volt en su honor.

**En el mundo...**

La Ilustración se encuentra en pleno apogeo. El mundo vive la transición entre la época moderna y la época contemporánea. Acontecimientos como la invención de la máquina a vapor, la Independencia de los Estados Unidos y la Revolución francesa marcaron el Siglo de las Luces.



**Hans Christian Oersted (1777-1851)**

Relacionó por primera los fenómenos eléctricos y magnéticos al observar cómo una aguja imantada era desviada en presencia de una corriente eléctrica.

**André-Marie Ampère (1775-1836)**

Desarrolló junto con Oersted el electromagnetismo. Sus teorías e interpretaciones sobre la relación entre electricidad y magnetismo se publicaron en 1822, en su colección de observaciones sobre electrodinámica y en 1826, en su teoría de los fenómenos electrodinámicos.

**En el mundo...**

En el siglo XIX el mundo vive revoluciones en todos los ámbitos. La ciencia y la economía comienzan una importante retroalimentación, en donde la economía sufrirá dos grandes revoluciones industriales. En la política, el siglo anterior sentaría las bases para las revoluciones burguesas, las que se expandirían por todo el mundo.





M. Faraday



H. Lenz



J. C. Maxwell



H. Hertz



N. Tesla

## siglo XIX

**Michael Faraday** (1791-1867)

Al igual que **Joseph Henry** (1797-1878), descubrió la inducción electromagnética, que ha permitido la construcción de generadores y motores eléctricos, y de las leyes de la electrólisis, por lo que es considerado como el verdadero fundador del electromagnetismo y de la electroquímica.

**Heinrich Lenz** (1804-1865)

Complementó el descubrimiento realizado por Faraday y enunció una ley que describía el sentido de la fuerza electromotriz inducida.

**James Clerk Maxwell** (1831-1879)

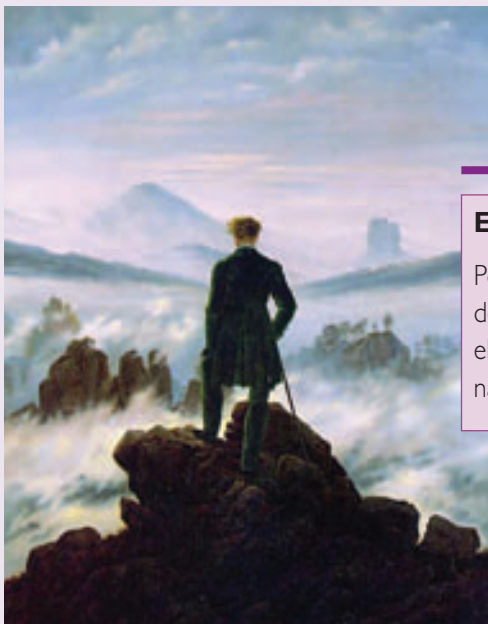
Desarrolló la teoría electromagnética clásica, sintetizando las observaciones y los experimentos de Oersted, Ampère, Gauss y Faraday. Las ecuaciones de Maxwell demostraron que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz son manifestaciones del mismo fenómeno. Nació, entonces, el concepto de onda electromagnética.

**Heinrich Hertz** (1857-1894)

Demostó experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas predichas en la teoría de Maxwell.

**Nikola Tesla** (1856-1943)

Desarrolló las bases para la generación de corriente alterna. La unidad de inducción del campo magnético del Sistema Internacional lleva el nombre de tesla (T) en su honor.

**En el mundo...**

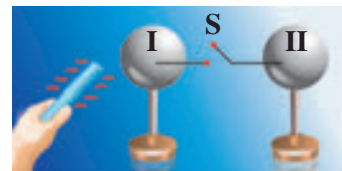
Por aquella época, en la filosofía surgirían los principios de la mayor parte de las corrientes de pensamiento contemporáneas: corrientes como el idealismo absoluto, el materialismo dialéctico, el nihilismo y el nacionalismo.

**I. ¿Cuánto avancé?**

Regresa a la evaluación diagnóstica y resuelve nuevamente.  
¿Qué porcentaje de avance puedes notar?

**II. Comprendo**

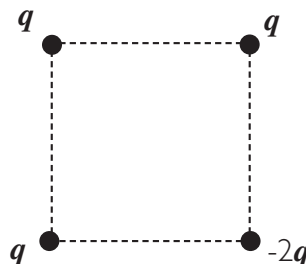
1. Dos esferas metálicas aisladas están en contacto entre sí a través de un interruptor S. Se cierra y acerca una varilla dieléctrica cargada negativamente. Luego S se abre y la varilla se retira.



Después del procedimiento:

- A. las esferas están descargadas.
  - B. las esferas están cargadas positivamente por inducción.
  - C. las esferas están cargadas negativamente por inducción.
  - D. la esfera I está cargada positivamente; y la esfera II, negativamente.
  - E. la esfera I está cargada negativamente; y la esfera II, positivamente.
2. Dos partículas con cargas iguales están separadas 10 cm. Calcula a qué distancia deben colocarse ambas para que la fuerza entre ellas sea:
    - a. el doble.
    - b. cuatro veces mayor.
    - c. nueve veces menor.
  3. Cuatro partículas cargadas se encuentran en los vértices de un cuadrado de lado  $a$ , como se indica en la figura. Si  $F = Kq^2/a^2$ , el módulo de la fuerza neta sobre la carga  $-2q$  es:

- A.  $3F$
- B.  $2F$
- C.  $F$
- D.  $F(2\sqrt{2} - 1)$
- E.  $F(2\sqrt{2} + 1)$



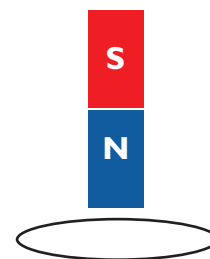
4. ¿Qué diferencia de potencial existe entre dos puntos A y B si el campo eléctrico realiza un trabajo de 100 J para mover una carga de 20 C entre ambos?, ¿cuál de ellos tiene un mayor potencial?

## III. Análisis

1. Analiza las siguientes frases:
  - I. Toda carga eléctrica crea un campo magnético.
  - II. Toda corriente eléctrica crea un campo magnético.
  - III. Toda carga eléctrica en movimiento crea un campo eléctrico y magnético.
  - IV. Todo campo magnético origina una corriente eléctrica.
 Son correctas:
  - A. I, II y III.
  - B. II, III y IV.
  - C. II y III.
  - D. Todas.
  - E. Ninguna.
  
2. De las siguientes características de las ondas electromagnéticas, la única **incorrecta** es:
  - A. las ondas electromagnéticas son ondas transversales.
  - B. las ondas electromagnéticas transportan energía.
  - C. las ondas electromagnéticas son sinusoidales.
  - D. las ondas electromagnéticas se propagan a velocidad  $c$  en el vacío.
  - E. las ondas electromagnéticas no viajan en el vacío.

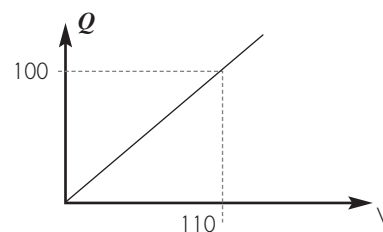
3. Un imán recto cae por el centro de la espira circular.  
La corriente eléctrica inducida en el conductor, antes y después de atravesar la espira, circula, respectivamente, observada desde arriba:

- A. en sentido antihorario, en sentido horario.
- B. en sentido horario, en sentido antihorario.
- C. en sentido antihorario, en sentido antihorario.
- D. en sentido horario, en sentido horario.
- E. en ningún sentido antihorario: es cero antes y después.



4. La luz es una onda electromagnética, y se propaga en el vacío a una velocidad ( $c$ ) de  $299\,792\,458$  m/s, donde el coeficiente de permitividad eléctrica del vacío ( $\epsilon_0$ ) es  $8,85 \times 10^{-12}$ . A partir de la expresión de velocidad de propagación de una onda electromagnética, calcula el coeficiente de permitividad magnética ( $\mu_0$ ).

5. El gráfico muestra la variación de la carga eléctrica almacenada en un condensador en función de la diferencia de potencial aplicada. Calcula la energía electrostática que es capaz de almacenar el condensador.



**IV. Aplico**

1. La membrana celular de una neurona tiene un espesor de  $120 \times 10^{-10}\text{m}$ . El medio interior de la célula se encuentra a un potencial de  $-36\text{ mV}$ . Calcula el módulo del campo eléctrico aplicado a la membrana.
2. Una gota de aceite, cargada negativamente, tiene un peso de  $8,5 \times 10^{-15}\text{N}$ . La gota se suspende en el aire cuando se le aplica un campo eléctrico uniforme de  $5,3 \times 10^3\text{N/C}$ .
  - a. ¿Cuánta carga tiene la gota de aceite?
  - b. ¿Qué cantidad de electrones tiene en exceso la gota?
3. Dos alambres paralelos distan  $12\text{ cm}$  entre sí, y conducen corrientes de igual intensidad. Si la intensidad del campo magnético en el punto medio entre ambos conductores es de  $3,14 \times 10^{-4}\text{T}$ :
  - a. ¿qué intensidad de corriente circula en cada conductor?
  - b. ¿las corrientes circulan en sentido opuesto o igual?, ¿por qué?
4. Un transformador ideal se construye con una bobina primaria de  $5000$  espiras y una secundaria de  $7000$  espiras. Si la bobina primaria se le aplica un voltaje alterno de  $220$  volts efectivos, calcula el voltaje efectivo de la bobina secundaria.
5. En cierta región del espacio, existe un campo magnético constante paralelo al eje  $Y$ , cuya intensidad es de  $200\text{ T}$ . Una partícula de  $1\text{ C}$  entra al campo con una velocidad de  $100\text{ m/s}$  formando un ángulo de  $30^\circ$  con el campo. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza magnética?
6. Supongamos que deseamos establecer una comunicación con ondas de radio con habitantes de un planeta hipotético que gira alrededor de nuestra estrella más cercana, Alfa Centauro, la que se encuentra a  $4,3$  años-luz de distancia. ¿Cuánto tiempo tardaría su respuesta?

## Investigación bibliográfica

### Situación problema

Como habrás visto, la Física es una ciencia en constante construcción; cada aporte realizado por los científicos constituye una pieza de un gran rompecabezas, el que, a medida que se arma, nos permite ver cuán cerca y a la vez cuán lejos nos encontramos de dar respuestas a todas nuestras interrogantes. En el desarrollo del electromagnetismo, ¿cuáles fueron las piezas que Maxwell y Hertz aportaron?, ¿cuáles fueron las consecuencias de su trabajo?

### 1. Objetivo

El objetivo de tu proyecto es realizar una investigación bibliográfica para generar un documento escrito y/o audiovisual referente a los aportes para el desarrollo de la Física de James Maxwell y Heinrich Hertz.

### 2. Planificación

Siempre es conveniente utilizar un método para resolver un problema; una manera de ordenar tu trabajo es planteándote pequeñas metas, tales como:

- Definir cuáles serán las preguntas que van a guiar la investigación.
- Planificar cuáles serán los libros consultados, las personas consultadas o el tipo de página web que se proponen visitar para encontrar información confiable.
- Definir el formato que tendrá su documento final, la estructura, la función de las imágenes y la bibliografía.
- Fijarse un plazo para la recolección de la información y organizar una sesión de trabajo para ordenarla.
- También es importante que el trabajo escrito sea preparado siguiendo el esquema habitual de un trabajo científico: título y nombre del autor, breve resumen, cuerpo del trabajo y conclusiones.

### 3. Ejecución

Una vez planificado el trabajo, puedes realizar la experiencia, teniendo especial cuidado en las mediciones, al igual que en otros factores que puedan incidir y que no habías pensado. Registra tus resultados.

### 4. Evaluación y análisis

Una vez planificado el trabajo, pueden reunirse a realizarlo. Es recomendable que definan una pauta de trabajo que los guíe en las acciones, aunque lo ideal es que sea flexible y moldeable a las circunstancias con que se vayan encontrando.

### 5. Proyección

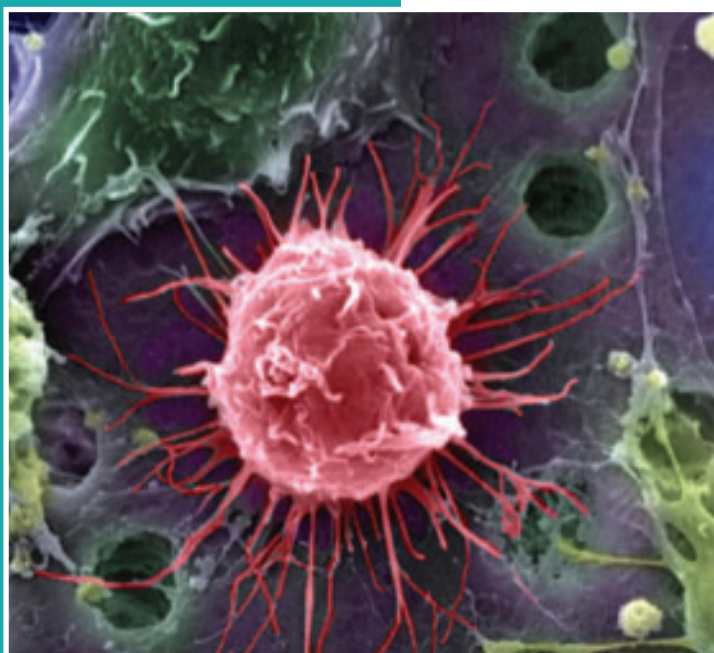
Una vez finalizada la recolección de los datos, concéntrense en darle al informe final una coherencia temática y una estructura que facilite la lectura. Pueden intercambiar el informe con el de sus compañeros y compañeras y evaluar en conjunto cuáles son los atributos y deficiencias de cada uno.



Unidad

# 2

# El mundo atómico



Saber de qué está constituida la materia ha sido una inquietud permanente del ser humano. Una montaña, una roca, una manzana: ¿qué tienen en común?, ¿qué propiedades tienen en su interior que los hace distintos?

Desde tiempos muy remotos, sabios y pensadores han propuesto teorías acerca de la composición de la materia, pero no ha sido sino hasta la época contemporánea, en que, gracias al desarrollo del método científico, se han podido verificar y rechazar hipótesis sobre la composición íntima de la materia.

En esta unidad, revisaremos las ideas antiguas, para luego enterarnos de los ingeniosos experimentos que permitieron a los científicos acercarse al mundo de lo pequeño e “invisible” utilizando las herramientas de la observación y el razonamiento científico.

## APRENDERÁS A:

- Describir los constituyentes del átomo y reconocer el contexto histórico en que se fueron consolidando los distintos modelos atómicos.
- Aplicar el modelo atómico de Bohr a la descripción del átomo de hidrógeno.
- Enunciar, explicar e interpretar el principio de incertidumbre de Heisenberg.
- Reconocer que en el ámbito atómico el comportamiento es diferente al de los objetos en el mundo macroscópico.
- Reconocer las características físicas del núcleo atómico.
- Comprender y aplicar los conceptos de radiactividad y vida media de un núcleo atómico.
- Asociar la energía liberada por el núcleo atómico con las fuerzas que actúan a esa escala.
- Identificar algunos isótopos de importancia en la medicina y otros ámbitos de aplicación pacífica.
- Identificar y reconocer las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza.



### ACTIVIDAD INICIAL

En estas páginas, hay una serie de fotografías. Reúnete con un par de compañeras y compañeros y trabajen en torno a las siguientes preguntas que aluden a las imágenes.

1. De los objetos representados en las fotografías, ¿cuál de ellos es el que se encuentra más cercano a la escala humana?, ¿cuál más alejado?
2. Menciona cuerpos que sean más pequeños aún, ¿hasta qué límite se podría llegar?
3. Ya sabes que todos los cuerpos de las fotografías son afectados por la fuerza de gravedad, pero ¿qué fuerzas actúan para mantener unida la materia de la que están compuestos?
4. ¿De qué manera se podría averiguar de qué está constituido cada uno de los cuerpos de las imágenes?



1. La materia está formada por átomos de diferentes cualidades; las características que determinan átomos diferentes son:

A. La carga eléctrica que posean sus partículas.

B. El número de partículas elementales que posea el átomo.

C. El peso que tengan sus neutrones.

D. La distancia a la que se encuentren los electrones del núcleo.

2. ¿Cuál de las siguientes explicaciones es la más adecuada para comprender cómo se mantienen unidas las moléculas?

A. El núcleo de los átomos atrae al núcleo de los átomos cercanos, de manera que las moléculas se unen por fuerzas nucleares.

B. Los átomos comparten electrones, de modo que las moléculas tienden a tener un equilibrio eléctrico.

C. Los protones atraen a los protones de los átomos cercanos, y fruto de esa interacción se conforman las moléculas.

3. Asocia cada partícula con las características que le correspondan.

Nombre de la partícula	Característica
A. Protón	a. Resulta de la unión de dos o más átomos debido a fuerzas eléctricas.
B. Electrón	b. Es una partícula que no posee carga eléctrica.
C. Núcleo atómico	c. Posee carga eléctrica positiva.
D. Neutrón	d. Es la partícula del átomo que tiene menor masa y la que está en su corteza externa.
E. Molécula	e. Está formado por las partículas de mayor masa del átomo.

4. Las siguientes ilustraciones representan distintos modelos atómicos. Relaciona cada ilustración con el personaje que planteó dicho modelo.



A. Thomson.

B. Demócrito.

C. Dalton.

D. Rutherford.

5. A continuación, aparece una serie de afirmaciones. Determina cuáles son falsas y conviértelas en verdaderas.
- Las fuerzas que actúan a nivel atómico son solamente atractivas.
  - Las fuerzas que actúan al interior del átomo pueden ser atractivas o repulsivas.
  - La dureza o la elasticidad de una sustancia depende de las fuerzas con que se atraen sus moléculas.
  - El color y el olor de una sustancia dependerá de la cantidad de electrones de los átomos que la conforman.

6. ¿Cómo se origina la luz?

A. Por choques entre las moléculas de un elemento.

B. Cuando un determinado material entra en combustión.

C. Por saltos de los electrones al interior del átomo.

D. Por el decaimiento atómico.

7. ¿De dónde proviene la energía atómica que se produce en una planta nuclear?

A. Al dividir núcleos atómicos de elementos pesados.

B. Al hacer colisionar partículas pequeñas.

C. Al hacer colisionar átomos de algunos elementos.

D. Al liberar la fuerza intermolecular.

## INDAGACIÓN: PROPIEDADES DE LA MATERIA

### ¿Hasta dónde se puede dividir la materia?

Seguramente has cortado un trozo de pan con un cuchillo o partido una fruta por la mitad. Pero ¿se puede dividir indefinidamente la materia? Formen grupos de tres o cuatro integrantes y propongan una hipótesis a la pregunta inicial. Luego realicen la siguiente actividad.

#### Materiales

- Tijeras.
- Papel.
- Cuchillo cartonero.
- Plasticina.
- Una lupa.
- Regla.



#### Procedimiento

1. Recorten un rectángulo de papel de  $1 \times 5$  cm.
2. A partir del mismo rectángulo, corten trozos de largo 1 cm, tratando de que el ancho sea el más fino que se pueda lograr con la tijera.
3. Amasen un cubito de plasticina de  $1 \text{ cm}^3$ .
4. Con el cuchillo, subdividan el cubito en otros más pequeños, de la menor medida posible.
5. Midan los trozos de papel y plasticina utilizando la regla; ayúdense con la lupa si fuera necesario.

#### Análisis:

- a. ¿Cuántos trozos obtuvieron de cada una de las figuras originales (el rectángulo y el cubo)?
- b. ¿Se pueden medir los nuevos objetos utilizando la regla?; si no es así, ¿qué podrían hacer para medir las nuevas longitudes?
- c. ¿Qué sería necesario para seguir dividiendo las figuras en otras más pequeñas?
- d. ¿Qué propiedades debieran tener los instrumentos de corte y de medida para el caso anterior?
- e. De tener instrumentos ideales, ¿creen que se podría subdividir infinitamente la materia?, ¿con qué dificultades se encontrarían? Elaboren una hipótesis y expónganla ante el curso.
- f. Investiguen cuáles son las condiciones que debe tener una hipótesis para ser considerada un “modelo”. Averigüen el significado de esa palabra en Física.

## 1. Primeras discusiones acerca de la materia

En la actividad anterior, pudiste replicar un proceso similar al realizado por los primeros pensadores que indagaron acerca de la naturaleza de la materia. Fueron los filósofos griegos quienes comenzaron a interrogarse racionalmente, tratando de buscar explicaciones o principios que explicaran la naturaleza (*physis*) de las cosas. Por ejemplo, **Tales de Mileto**, que vivió entre los siglos V y VI a. C. y es considerado el fundador de la escuela jónica, postulaba que la sustancia fundamental del Universo era el agua, que a partir de ella era posible explicar la constitución de todas las cosas.

Una visión diferente tuvo **Empédocles** (siglo V a. C.), quien, sumando distintas tradiciones, sostenía que eran cuatro las sustancias fundamentales: el agua, el aire, el fuego y la tierra, y que de la mezcla de ellas se podían obtener todos los elementos de la naturaleza.



### CONCEPTOS CLAVE

**Escuela jónica:** movimiento filosófico de la Grecia Antigua fundado por Tales de Mileto y cuyos principales exponentes fueron: Quilón de Lacedemonia, Solón de Atenas, Pítaco de Mitilene, entre otros.

#### Actividad 1

#### COMPARAR-CLASIFICAR

### ¿SE PUEDE RELACIONAR LA MATERIA CON LOS NÚMEROS?

Una de las discusiones que se daban en el mundo antiguo en relación a la materia, era si esta era siempre divisible (continua), o si tenía un límite (discreta). Estos conceptos también se utilizan en matemática, la siguiente actividad te permitirá comprender las diferencias de ambos conceptos.

1. Consigue una calculadora y realiza la siguiente operación: 1 dividido por 2.
2. Vuelve dividir por dos, muchas veces, ¿qué ocurre?
  - a. ¿Crees que exista un límite en el que un número no pueda volver a ser dividido? ¿La división en los números reales la clasificarías como continua o discreta?
  - b. ¿Si divides un número natural, el resultado es otro número natural?
  - c. Bajo la división, ¿son los números naturales continuos o discretos?

También en el siglo V a. C. se sostenía otra discusión entre los pensadores de la época sobre la naturaleza de la materia. Mientras algunos postulaban que era **continua**, es decir, que siempre se podía seguir subdividiendo, como los números de la actividad 1, otros sostenían que era discreta, es decir, que había un límite en la que aquella no podía seguir subdividiéndose (como los puntos en una cuadrícula). Ese límite, o partícula fundamental, fue llamada **átomo** (sin división).

Los principales defensores de esta idea fueron **Demócrito de Abdera** y **Leucipo de Mileto** (ambos filósofos griegos que vivieron en el siglo V a. C.).

### INTER@CTIVIDAD

Si quieres averiguar más sobre la filosofía en la Grecia Antigua, puedes ir a la siguiente dirección: [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web), ingresa el código 10F4109 para acceder al contenido.



## 1.1 Los atomistas

Imagina que partes una manzana por la mitad con un cuchillo; luego esa mitad la vuelves a partir, y así sucesivamente (como lo realizaste en la **Indagación** de la página 108). Obviamente, llegará un momento en que no puedes continuar, pero aquello ¿será debido al instrumento que ocupas?, ¿o será que solo se puede llegar a un cierto punto, aunque se posea una herramienta infinitamente pequeña?

La última posibilidad es la que defendieron los filósofos atomistas Demócrito y Leucipo; ellos creían que la materia tenía una distribución discreta (como una red de puntos, con vacío intermedio) y que las partículas fundamentales, pequeñísimas, indivisibles y sin estructuras, eran la base de toda la materia.

### Actividad 2

### RECONOCER-COMPARAR

#### POSTULADOS DE LA TEORÍA ATOMISTA

Los postulados de la teoría atomista se resumen en los siguientes puntos.

1. Toda la materia está constituida por átomos, y ellos están en el vacío.
2. Los átomos son pequeñas partículas caracterizadas por su dureza, forma y tamaño. Otras cualidades de la materia, como el color, el sabor y la temperatura, serían solamente impresiones subjetivas.
3. De la combinación de los átomos se pueden formar los cuatro elementos mencionados por Empédocles (agua, aire, fuego y tierra), que a su vez forman todos los elementos mediante ligaduras.
4. La combinación de los átomos podría generar una cantidad infinita de formas y universos.

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y lean cada uno de los postulados.

- a. ¿Qué argumentos podrían exponer/plantear a favor o en contra de ellos?
- b. ¿Cuáles de estos postulados ya están obsoletos según el conocimiento que manejan ahora? Expliquen.

#### ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

Uno de los argumentos en contra de la teoría atomista provenía nada menos que del gran filósofo Aristóteles, quien negaba la existencia del vacío entre las partículas, argumentando que la naturaleza sentía un "horror al vacío" (*horror vacui*). ¿Qué ocurriría si aquello fuera cierto, por ejemplo, en las grandes estructuras cósmicas?, ¿cómo serían las galaxias?, ¿qué aspecto presentaría el Universo a gran escala?

## 1.2 El aporte del pensamiento científico

### Actividad 3

### ORDENAR-SINTETIZAR

#### LÍNEA DEL TIEMPO EN EL ÁTOMO

Formen grupos de cinco integrantes y realicen una investigación sobre los principales aportes a la evolución de la idea del átomo.

1. Consideren desde la época de los atomistas griegos, investigando qué ocurrió con la tradición de los alquimistas, hasta las primeras concepciones científicas (Dalton, Thomson, Rutherford) del átomo. Utilicen fuentes como enciclopedias, libros de física e Internet.
2. Elaboren un afiche o línea de tiempo que resuma la investigación y puedan ponerla en el diario mural del colegio o en los muros de la sala o del laboratorio.

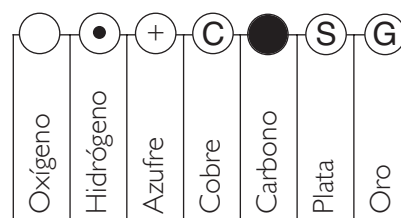
Las ideas de los filósofos atomistas griegos tienen el mérito de acercarse a la realidad mediante los atributos del pensamiento: la observación, la imaginación y el raciocinio. Sin embargo, les faltó dar el gran paso que sí lo dio el pensamiento científico: la experimentación.

**Galileo Galilei** (1564-1642) fue quien priorizó el método experimental para poner a prueba ciertas apreciaciones sobre la naturaleza. En el ámbito del estudio de la materia, también destaca el físico y químico irlandés **Robert Boyle** (1627-1691), quien estableció el concepto de elemento químico para aquella sustancia que no está formada por otras, y sugirió que su número debía ser mayor de cuatro, destacando la idea de Empédocles.

El primer modelo del átomo de la era científica fue establecido por el químico inglés **John Dalton** (1766-1844), quien, basándose en mediciones de masa y proporciones de sustancias, publicó en el año 1808 un tratado en que se podían leer las siguientes ideas:

- Los elementos químicos están formados por partículas muy pequeñas e indivisibles.
- Todos los átomos de un mismo elemento químico son iguales.
- Las masas de los átomos de distintos elementos químicos son diferentes.
- Los átomos son indestructibles y mantienen su identidad en los cambios químicos.
- Los átomos tienen forma esférica y se combinan entre ellos en proporciones simples (1:2, 2:3, 2:4, etc.) para formar elementos químicos.

Para sintetizar sus descubrimientos, Dalton usó el lenguaje matemático y, además, inventó una simbología para poder escribir los cambios químicos.



Símbolo asignados por Dalton a algunos elementos.



## CIENCIA-TECNOLOGÍA-SOCIEDAD

## ¿Qué es lo más pequeño que se puede observar?

El instrumento más sencillo para ver un objeto de mayor tamaño es la lupa, de cuya presencia ya se tiene noticia desde la Antigüedad. Mucho tiempo después, alrededor del año 1600, se inventa el microscopio óptico, mediante el cual se abrió todo un nuevo universo de tejidos, células y microorganismos, lo que hizo evolucionar de una manera enorme la biología y la medicina.

El próximo salto importante en la historia de los microscopios fue en 1931, cuando se inventó el microscopio electrónico de transmisión, utilizando un haz de electrones en vez de luz visible, y es que la longitud de onda de la luz visible nos pone un límite de observación, a pesar de que bajo su tamaño siguen existiendo estructuras.

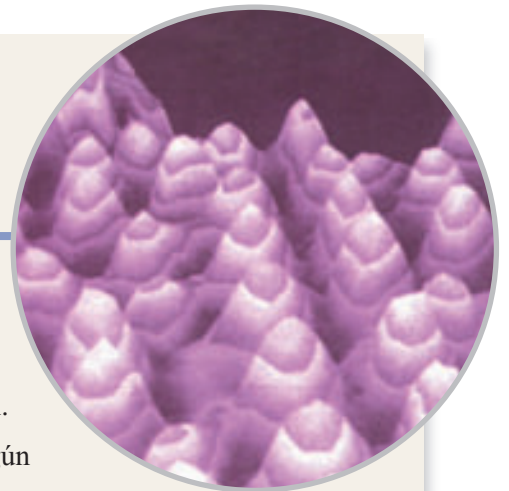
En 1942, se inventó el microscopio electrónico de barrido, en el que un haz de electrones realiza un barrido en zigzag sobre una muestra recubierta de una finísima capa

metálica, producto de la interacción de los electrones del haz con los de la capa metálica se realiza un registro, que es la imagen tridimensional.

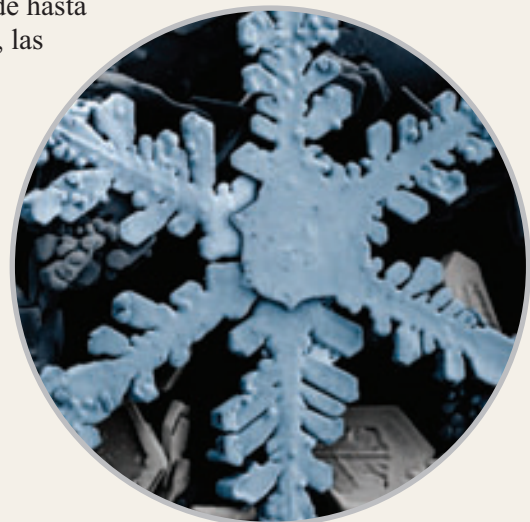
Pero ¿podremos llegar a ver algún día algo tan pequeño como los átomos o los electrones? En la actualidad, las estructuras más pequeñas que se han logrado ver han sido captadas por microscopios de efecto túnel; estos instrumentos funcionan gracias a principios de la Física cuántica y permiten llegar a distinguir estructuras de hasta  $0,05 \text{ \AA}$ . Generalmente, las imágenes que se han obtenido mediante ese microscopio son de estructuras de simetría atómica en las últimas capas de superficies limpias.

Cristales de nieve vistos con un microscopio electrónico de barrido y coloreados digitalmente.

Fuente: Archivo editorial



Átomos de silicio observados con un microscopio de efecto túnel. El aumento es de mil millones de veces.



### Trabajemos con la información

A partir de la lectura anterior, responde las siguientes preguntas:

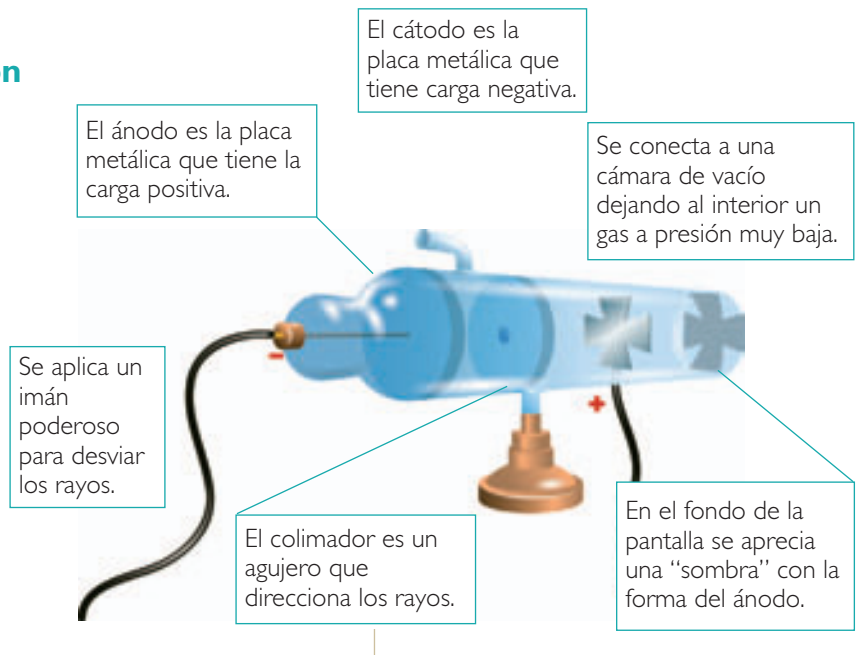
- ¿Qué importancia tiene la Física en el desarrollo de los aparatos ópticos? Explica.
- ¿Qué relación crees que pueda tener el avance del conocimiento del átomo con la capacidad de observar estructuras muy pequeñas?
- ¿Crees que alguna vez se lleguen a ver estructuras más pequeñas, o la naturaleza tendrá un límite visible? Investiga.

## 2. Primeros experimentos con partículas atómicas

### 2.1 El experimento de Thomson

Durante el siglo XIX, los científicos comenzaron a experimentar con “tubos de rayos catódicos”. Estos consisten en un tubo de vidrio con un gas a muy baja presión al interior, y donde se colocan dos placas metálicas llamadas cátodo y ánodo, conectadas a una diferencia de potencial.

El físico inglés **Joseph Thomson** (1856-1940) estudió en profundidad los llamados “rayos catódicos” en 1897, utilizando un montaje como el que se ilustra a continuación.



#### Actividad 4

#### INFERIR

### OBSERVACIONES DE THOMSON

A continuación, se presentan algunas de las evidencias experimentales observadas por Thomson, y luego algunas conclusiones que obtuvo. Identifica qué evidencia corresponde a cada una de las conclusiones.

#### Evidencias:

- Los rayos producen sombra.
- Los rayos se desvían al pasar por un campo magnético.
- Los rayos van siempre de la placa negativa (cátodo) a la placa positiva (ánodo).

#### Conclusiones:

- Son partículas con carga eléctrica.
- Se propagan en línea recta.
- Tienen carga eléctrica negativa.

En resumen, Thomson encontró que los rayos catódicos eran partículas con carga eléctrica negativa y que él consideró como fragmentos del átomo. Como la carga eléctrica de la materia es, en general, neutra, dedujo que la otra parte del átomo tenía carga positiva. Finalmente, al hacer cálculos de masa, encontró que la mayor cantidad de masa es la parte con carga positiva. Con todos sus hallazgos, Thomson estableció un modelo de átomo en el cual los electrones están incrustados en una masa de carga positiva, de manera similar a las pasas de un pan de pascua.



En el modelo de Thomson, los electrones eran partículas de carga negativa incrustados en una masa mayor, de carga positiva.

## INDAGACIÓN: OBSERVANDO A TRAVÉS DE CHOQUES

## ¿Cómo determinar las características geométricas de un objeto, sin verlo directamente?

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y elaboren una hipótesis para la pregunta planteada. Para poner a prueba su hipótesis, realicen la siguiente actividad:

### Materiales

- Bolitas de cristal.
- Dos tablas de madera de 10 x 50 cm y dos de 10 x 30 cm.
- Un trozo de cartón de 20 x 20 cm.
- Varios cuerpos geométricos de madera (de base circular, triangular, rectangular y también alguno de base irregular como una estrella).
- Una paleta de pimpón o trozo de madera.

### Procedimiento

1. Con las tablas construyan una especie de caja, como la que se muestra en la figura (también pueden ocupar libros u otra superficie sólida, a manera de muros).
2. Coloquen la figura de madera en el centro de la caja y tápenla con el cartón, de manera que no se aprecie directamente su forma.
3. Tomen una bolita y lánzenla repetidas veces contra el objeto, y vayan registrando la manera en que rebota.
4. Túmense, de manera que cada integrante del grupo anticipe la forma de un objeto (los demás deben preparar la caja, sin que él o ella sepa de qué figura se trata).



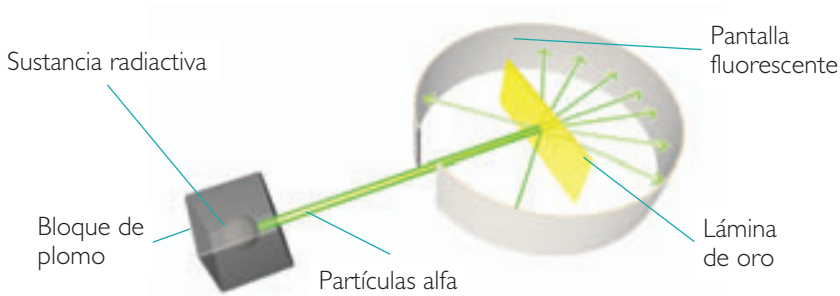
### Análisis

- a. ¿Qué relación tiene la manera en que rebotan las bolitas con la forma del objeto?
- b. ¿Qué figuras son más fáciles de predecir, las regulares (como círculos o rectángulos) o las irregulares?, ¿a qué se debe lo anterior?
- c. ¿De qué manera se podría hacer más preciso el experimento, es decir, anticipar con mayor precisión la forma de los objetos?
- d. ¿Podrían utilizar luces y sombras para determinar la forma del objeto? Expliquen.
- e. ¿Qué sería necesario para determinar la forma de objetos mucho más pequeños?

## 2.2 El experimento de Rutherford

En la actividad de **Indagación** de la página anterior, pudiste observar que es posible determinar las características de un objeto mediante una observación indirecta. La técnica de lanzar partículas contra un objetivo y analizar los resultados se denomina *scattering* y es muy útil en la física del átomo, pues, debido al tamaño reducido del objeto de estudio, no se puede observar por medios ópticos.

En el año 1911, el físico inglés **Ernest Rutherford** (1871-1937), aplicando la técnica de *scattering*, realizó el siguiente experimento: bombardeó una delgadísima lámina de oro con partículas alfa (núcleos de helio), como lo muestra el siguiente esquema.



De una fuente radiactiva salían las partículas alfa, las que mediante un colimador se dirigían a la lámina de oro. Al otro lado de la lámina, se dispuso de una pantalla que registraba con una fluorescencia el impacto de las partículas; por lo tanto, daban testimonio de la trayectoria de ellas luego de pasar por la lámina de oro.

Rutherford observó que la mayoría de las partículas pasaban en línea recta desde la fuente de partículas alfa hasta la pantalla, unas pocas se desviaban en pequeños ángulos, mientras que algunas (en pocos casos) se desviaban en un gran ángulo, llegando incluso a devolverse.

### Actividad 5

### EXPLICAR

#### ANALIZANDO EL EXPERIMENTO DE RUTHERFORD

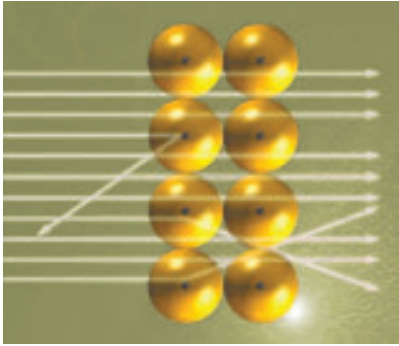
Respecto del experimento realizado por Rutherford, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué obstáculos crees que podrían encontrar las partículas alfa en su trayectoria?
2. ¿Qué significa que la mayoría de las partículas pasen sin desviarse?
3. Una partícula alfa moviéndose a gran velocidad lleva una gran cantidad de energía.  
¿Qué características piensas que tendrá un obstáculo para que la partícula lanzada se devuelva?
4. Elabora una hipótesis sobre la composición atómica de la lámina de oro a partir de los resultados.



#### CONCEPTOS CLAVE

**Partículas alfa:** son núcleos ionizados de helio. Estos núcleos están formados por dos protones y dos neutrones. Al carecer de electrones, su carga eléctrica es positiva. Las partículas alfa se generan habitualmente en reacciones nucleares o procesos de desintegración radiactiva.



Mientras la mayor cantidad de partículas tienen trayectoria rectilínea, algunas sufren desviaciones (las que pasan muy cerca de un núcleo), mientras que otras, las que dan de lleno en un núcleo, se devuelven.

### 3. El modelo de Rutherford

Lo que más llamó la atención de Rutherford fue el hecho de que algunas partículas alfa se devolvieran en  $180^\circ$  con respecto al lanzamiento. El mismo científico comentó que era tan sorprendente como si se lanzaran balas de cañón contra una hoja de papel y algunas de ellas rebotaran.

Lo anterior hizo suponer al físico que la mayor parte de la masa de los átomos debía estar confinada en un espacio muy reducido, que él denominó núcleo. Gracias a sus observaciones, postuló un modelo de átomo basado en las siguientes características:

- El átomo posee un núcleo donde se concentra más del 99% de la masa.
- El núcleo posee carga positiva.
- El radio del núcleo es unas cien mil veces más pequeño que el radio del átomo, es decir, alrededor de  $10^{-15}$  m.
- En la corteza exterior del átomo se encuentran los electrones de carga negativa y pequeña masa.
- Los electrones están en movimiento, a gran velocidad, alrededor del núcleo.

#### Ten presente que:

- Como los tamaños de los átomos son muy pequeños, las unidades con las que trabajamos comúnmente para medir longitud (metros o centímetros) no resultan prácticas en escalas tan reducidas. Por ello se definió la unidad llamada ángstrom ( $\text{\AA}$ ), en que  $1 \text{\AA} = 10^{-10}$  m, ya que el tamaño de los átomos varía entre 1 y  $2 \text{\AA}$ .

#### Actividad 6

#### COMPARAR-APLICAR

### MODELO PLANETARIO DE RUTHERFORD

Por el hecho de que los electrones giren en torno al núcleo, al modelo de Rutherford también se le conoce como modelo planetario. Reúnete con dos o tres compañeros y compañeras, lean atentamente las características del modelo atómico y realicen las siguientes actividades:

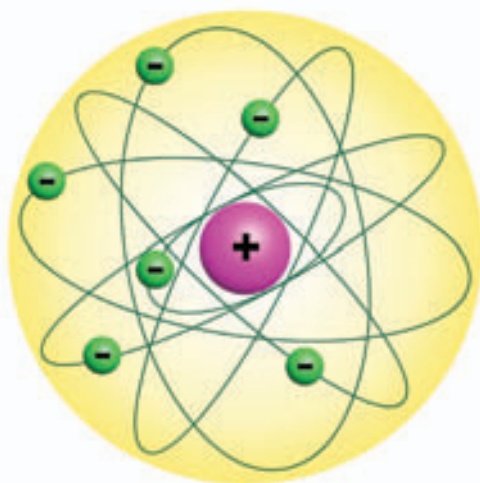
1. Si el radio del átomo fuera del tamaño del patio de la escuela o de una plaza cercana, ¿de qué tamaño tendría que ser el núcleo?
2. Si la masa del electrón fuera el de una bolita de vidrio de 20 g, ¿qué masa debería tener un cuerpo para poder representar el núcleo?
3. Busquen los materiales y el espacio necesario y realicen una maqueta estática del átomo de Rutherford.

### 3.1 Debilidades del modelo de Rutherford

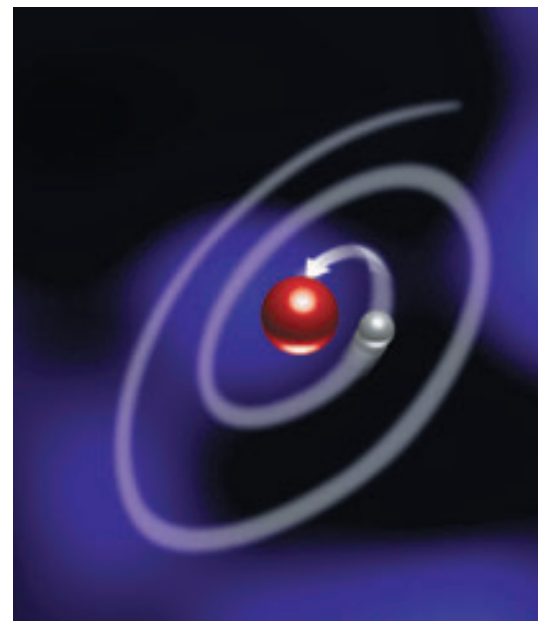
Un modelo científico apuesta principalmente a explicar los fenómenos observados y, a pesar de que el de Rutherford constituyó un gran avance frente al de Thomson, ya que explicaba cosas que el modelo de Thomson no podía, deja algunos fenómenos sin explicar.

En el modelo atómico de Rutherford, los electrones se mantienen a cierta distancia del núcleo, moviéndose alrededor de él. Al estar en movimiento, sus velocidades están cambiando y, por lo tanto, poseen aceleración centrípeta. Tal como estudiamos en la Unidad 1, una carga acelerada emite radiación electromagnética.

Si suponemos que los electrones están acelerados, estos deberían emitir radiación y, por lo tanto, perder energía y caer en espiral hacia el núcleo. Esta situación haría que el átomo fuera muy inestable, lo que no ocurre en realidad.



Pese a que el modelo atómico de Rutherford fue desechado, la imagen clásica que tenemos del átomo proviene de dicho modelo.



#### ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

Imagina que en la materia que forma un cuerpo, por ejemplo, una manzana, en un determinado momento comenzaran a actuar las leyes de la mecánica clásica en el mundo atómico, es decir, los electrones comenzaran a emitir ondas electromagnéticas, ¿qué ocurriría con la manzana?, ¿qué pasaría con su energía y su estructura?

#### REFLEXIONEMOS

Muchas veces ha ocurrido en la historia de la ciencia que teorías científicas que explican un fenómeno resultan obsoletas a la luz de nuevas evidencias. Aquello no quiere decir que esas teorías se desechen completamente, pues muchas veces sirven de fundamento para perfeccionar el conocimiento. La ciencia es una construcción intelectual colectiva que requiere estar abiertos a nuevas ideas a medida que se presencian nuevos fenómenos. ¿Cómo reaccionas tú cuando te das cuenta de que hay una explicación mejor que la tuya en relación a una determinada situación? Coméntalo con tus compañeros y compañeras.

## 4. Interacción gravitacional y eléctrica

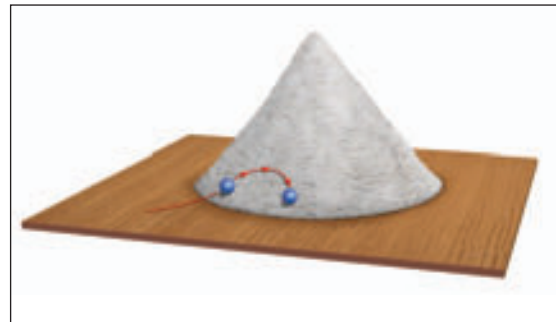
### Actividad 7

### COMPARAR-ASOCIAR

#### DESVIACIÓN DE UNA PARTÍCULA CARGADA

En el experimento de Rutherford, pudiste observar que algunas partículas sufrían una desviación o, incluso, que unas pocas se devolvían. En la siguiente actividad haremos una analogía con lo sucedido.

Construye una figura similar a la que se muestra en la ilustración con plastilina o greda. Luego consigue bolitas y realiza distintos lanzamientos dirigidos hacia la figura.



- ¿Qué característica debe tener el sentido de lanzamiento y el impulso aplicado a la bolita, para que ella se desvíe o se devuelva por el mismo camino?
- Si se hiciera una analogía con la fuerza eléctrica, ¿cómo serían la carga de la bolita y de la figura geométrica?
- ¿Cómo debiera ser la figura para que se comporte de manera similar a un campo gravitatorio? Explica.
- ¿Qué similitud tiene el ejemplo con el experimento de Rutherford?

#### CONCEPTOS CLAVE

Algunos valores importantes en el ámbito atómico y descubiertos gracias a los experimentos descritos son:

**Masa del electrón:**  $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  kg

**Carga del electrón:**  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C

**Masa del protón:**  $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  kg

La magnitud de la carga del protón es la misma que la del electrón, pero de signo opuesto.

En la **Actividad 7**, la figura de greda representa el núcleo atómico, mientras que la desviación o rechazo se debe a que va en contra del potencial eléctrico. En el caso del bombardeo al núcleo, el rechazo o desviación se debe a que las partículas alfa poseen la misma carga eléctrica que el núcleo. Sin embargo, si ambas partículas poseen masa, ¿por qué estas no se atraen gravitacionalmente? La respuesta está en la intensidad de las dos fuerzas, para verificarlo podríamos hacer un sencillo cálculo. Consideremos la fuerza eléctrica y la gravitacional entre dos protones que están a una distancia de 1 m.

$$F_{ELÉCTRICA} = \frac{Kq_1q_2}{r^2} \quad \text{y} \quad F_{GRAVITACIONAL} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$F_{ELÉCTRICA} = 2,3 \times 10^{-28} \text{ N} \quad \text{y} \quad F_{GRAVITACIONAL} = 1,9 \times 10^{-72} \text{ (N)}$$

Es decir, ¡la fuerza de repulsión entre las dos cargas es  $1,24 \times 10^{36}$  veces mayor que la fuerza gravitacional!, por eso no se aprecia la interacción gravitacional, que de todas maneras sigue actuando.

## 5. Max Planck y la teoría de los cuantos

Cuando se sube por una calle inclinada se puede ocupar cualquier posición; en cambio, si se sube por una escalera, solo se pueden alcanzar las posiciones de los consecutivos peldaños, como mínimo de uno en uno, no es posible subir 1/2 escalón o 1/4 de escalón. Hasta el año 1900, y según la visión de la Física clásica, se pensaba que la materia podía emitir o absorber una cantidad cualquiera de energía (similar a tomar cualquier posición al subir por una calle inclinada). Sin embargo, el físico alemán **Max Planck** (1858-1947), tratando de explicar la radiación de un cuerpo negro y, según sus estudios sobre osciladores eléctricos (circuitos capaces de producir ondas electromagnéticas), pudo establecer una hipótesis respecto de la emisión de energía de la materia.

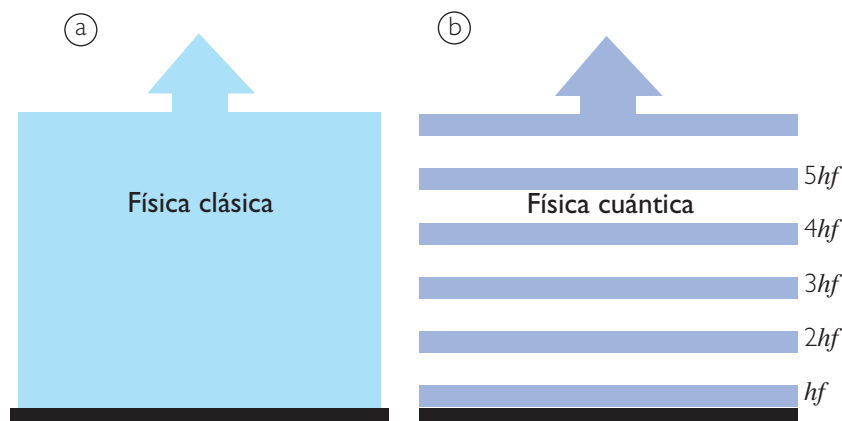
Su primer descubrimiento fue que la energía que podían emitir los osciladores se podía representar de la siguiente forma:

$$E = nhf$$

Donde  $E$  es la energía del oscilador,  $n$  un número entero,  $f$  la frecuencia del oscilador y  $h$  un valor constante, conocido como la constante de Planck, cuyo valor es  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Js. Por lo tanto, la energía de un oscilador eléctrico puede tomar los valores  $1hf$ ,  $2hf$ ,  $3hf$ , etc. A estas cantidades de energía las llamó **cuántum de radiación**, conocidas también como **cuantos de energía**. Este descubrimiento se conoce también como el primer postulado de Planck.

El segundo postulado tiene relación con la emisión y absorción de energía, y dice que un oscilador absorbe un cuanto de energía (radiación) solamente cuando pasa a un nivel superior de energía. A su vez, un oscilador emite un cuanto de energía cuando pasa a un nivel inferior de energía.

Estas ideas, a pesar de contradecir la física de la época, permitieron explicar algunos paradigmas existentes e incluso, algunos años después, le permitió a Einstein explicar el efecto fotoeléctrico, o a Niels Bohr formular un nuevo modelo atómico.



### CONCEPTOS CLAVE

**Cuerpo negro:** si pones al Sol una ropa negra y otra blanca, después de un momento, al tocar cada una, sentirás que la de color negro está a mayor temperatura; esto es porque el color negro absorbe una mayor cantidad de radiación; en cambio, el blanco refleja en mayor cantidad la radiación que incide sobre él. Un cuerpo negro ideal puede absorber toda la radiación que penetra en su interior. También un cuerpo negro se enfría mucho más rápido, debido a que su emisividad es 1.

**Efecto fotoeléctrico:** consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética.

En la concepción nueva de energía que propuso Planck, la energía solo puede tomar ciertos valores (b), en cambio en la energía clásica (a), la energía puede tomar cualquier valor.



## INTER@CTIVIDAD

En la página

[www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web)

ingresa los siguientes códigos:

10F4120a y 10F4120b. En la primera encontrarás antecedentes históricos y experimentales acerca del átomo de Bohr, y en la segunda, una animación que muestra las distintas órbitas.

## 6. El átomo de Bohr

En el año 1913, el modelo atómico era el de Rutherford; se conocía la carga y la masa de las partículas fundamentales; sin embargo, había algunos fenómenos que este modelo no explicaba: ¿por qué los electrones no caían al núcleo?

En ese año, el físico danés **Niels Bohr** (1885-1962) propuso un nuevo modelo, aplicado al átomo de hidrógeno, y suponiendo que las leyes de Coulomb y de Newton eran aplicables a las órbitas de los electrones.

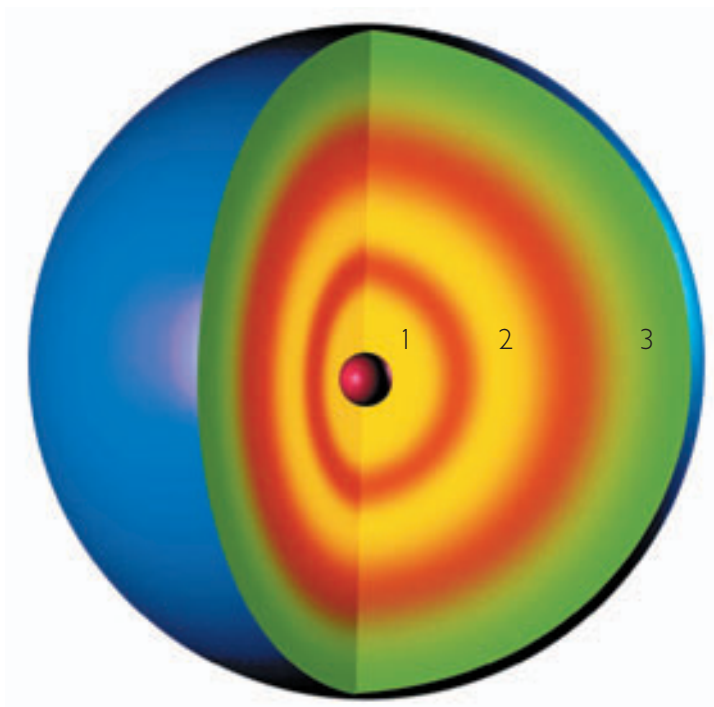
Bohr consideró que los electrones giran en órbitas circulares alrededor del núcleo, y para explicar por qué no caen al núcleo recurrió a las nuevas ideas (para aquel entonces) de la cuantización de la energía de Planck.

### 6.1 Primer postulado de Bohr: órbitas estacionarias

Un postulado es una proposición que se toma como punto de partida para un razonamiento. El modelo atómico de Bohr se basa principalmente en dos ideas. La primera (primer postulado de Bohr) es que solo están permitidas algunas órbitas del electrón en el espacio, es decir, los electrones pueden moverse alrededor del núcleo atómico, sin emitir energía, en "órbitas estacionarias". Para determinarlas, y como segunda idea, Bohr postula que el momento angular de los electrones ( $L = mvr$ ) es un múltiplo entero de  $h/2\pi$  y de un valor  $n$ , entero y mayor que cero, llamado **número cuántico principal**.

$$mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

El valor  $n$ , al ir tomando distintos valores: 1, 2, 3,...  $n$ , determina órbitas cada vez más alejadas del núcleo.



El dibujo es una representación de los distintos niveles de energía en que pueden orbitar los electrones. Los números corresponden al número cuántico principal.

## 6.2 Segundo postulado de Bohr: energía de las distintas órbitas

### Actividad 8

### OBSERVAR-ASOCIAR

#### ÓRBITAS CIRCULARES

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y consigan un trozo de hilo y una goma. Luego, realicen la siguiente actividad.

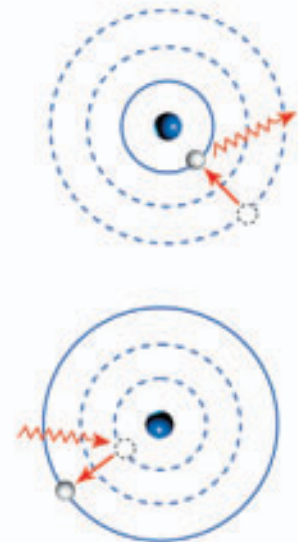
Perforen la goma y pasen el hilo por el interior. Háganla girar, cuidando que la velocidad sea la mínima para mantener el giro, usen un radio de giro de 10 cm, luego de 30 cm y finalmente de 50 cm. En cada una de las situaciones suelten el hilo cuando está girando la goma. Luego, trabajen en las siguientes preguntas:

1. ¿En cuál de los casos la goma llega más lejos?
2. Utilizando los conocimientos de mecánica, ¿en cuál de los distintos giros, la goma lleva una mayor energía cinética?
3. ¿Qué relación podrían establecer entre el radio de giro y la energía?
4. ¿Crees que se podría hacer una analogía con el átomo? Explica.

En el movimiento circular de una partícula, la energía cinética es mayor si la masa o la velocidad es mayor, según la relación  $E_c = mv^2/2$ . En la **Actividad 8**, pudiste verificar, además, que posee más energía la partícula cuando gira más alejada. Algo similar encontró Bohr en el átomo de hidrógeno; la energía cinética aumenta con la distancia al núcleo.

Pero el caso del átomo es más complejo, pues también hay una interacción eléctrica y, por lo tanto, una energía de ligamiento entre el electrón y el núcleo. A lo anterior, Bohr agrega que los intercambios de energía a nivel atómico se hacen en cantidades discretas, según la expresión de Planck:  $E = h \cdot f$ , donde  $f$  es la frecuencia de un fotón de luz, necesario para el intercambio energético (segundo postulado).

Lo anterior quiere decir que si el electrón salta de una órbita de energía inicial  $E_i$ , a una de energía final  $E_f$ , la energía del fotón intermediario es de  $E_i - E_f = h \cdot f$ .



Cuando un electrón salta de una órbita a otra, acercándose al núcleo, emite un fotón. Cuando salta, alejándose del núcleo, es porque ha absorbido un fotón, ubicándose en una órbita de mayor energía.



#### CONCEPTOS CLAVE

**Fotón:** cantidad discreta (cuanto) de energía (luz), de naturaleza electro-magnética.



Es posible que en un futuro no muy lejano, el hidrógeno sea utilizado como combustible por los motores de aviones, debido a su alta reactividad bajo ciertas condiciones.

### INTER@CTIVIDAD

En la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) ingresa el siguiente código: 10F4122b; ahí podrás averiguar más sobre el hidrógeno como combustible.

## 6.3 Ecuaciones del átomo de Bohr

Hasta el momento hemos hecho una descripción del modelo atómico propuesto por Bohr en términos cualitativos, es decir, hemos hablado de sus características, pero la Física es una ciencia que además se interesa por medir y predecir matemáticamente los fenómenos que estudia. A continuación, veremos los principales logros matemáticos del modelo en estudio, aunque se omitirán los cálculos detallados.

Si se consideran la ley de Coulomb y la segunda ley de Newton, se puede deducir la energía total que posee un electrón de la siguiente forma:

Supongamos que  $e$  es la carga del núcleo y  $-e$  la del electrón; según la ley Coulomb, la magnitud de la fuerza sobre el electrón sería de:

$$F = K \frac{e^2}{r^2} \quad \text{como } K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Por otra parte, según la segunda ley de Newton:

$$F = ma = \frac{mv^2}{r}$$

Al igualar ambas ecuaciones tenemos:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = mv^2$$

De acuerdo a lo anterior, la energía cinética del electrón sería:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

y, como su energía potencial eléctrica es:

$$U = K \frac{Qq}{r} = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

la energía total  $E = E_c + U$ , se expresaría como:

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad \text{Ecuación 1}$$

El signo negativo significa que el electrón está ligado al núcleo, el valor  $e$  es la carga del electrón; la cantidad  $\epsilon_0$  es la permitividad eléctrica en el vacío y  $r$  es el radio de la órbita. Si se combina la ecuación del primer postulado con la ecuación 1, se obtiene una expresión para el radio de las órbitas, esta es:

$$r_n = \frac{n^2 \epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Esta ecuación nos entrega los posibles valores para el radio de las órbitas. Por ejemplo, cuando el número cuántico principal es  $n = 1$ , se obtiene:

$$r = 5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Magnitud que también se conoce como radio de Bohr y que corresponde al radio de un átomo de hidrógeno en su estado fundamental.

## 6.4 Energía de las órbitas del hidrógeno (estados estacionarios)

Según el modelo del átomo de Bohr, cada órbita tiene una energía fija a la que se denomina **estado estacionario**. Si se quiere cambiar de estado al electrón (pasar a otra órbita), este necesita intercambiar energía con el entorno mediante un fotón de luz. Incluso, el electrón puede llegar a escaparse de la ligadura con el núcleo si es que recibe la energía suficiente, caso en el cual el átomo queda ionizado, es decir, en desequilibrio eléctrico.

La ecuación 1, obtenida en la página anterior, nos entrega la energía en función del radio de la órbita. Sin embargo, ese valor no siempre es sencillo de manejar; mucho más simple es utilizar números enteros, como lo es el número cuántico principal, de ahí que resulte razonable encontrar una forma más sencilla para los valores de energía de los estados estacionarios. Lo anterior se logra combinando la ecuación 1 con la ecuación 2, lo que da como resultado:

$$E = \frac{-m e^4}{8 \epsilon_0^2 n^2 h^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Esta expresión para energía no depende directamente del radio. Donde  $m$  es la masa del electrón;  $e$  su carga eléctrica,  $\epsilon_0$  la permitividad eléctrica en el vacío y  $h$  es la constante de Planck. Es decir, todos valores son constantes. Al reemplazar estos valores en la ecuación 3, resulta:

$$E = \frac{-2,8 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ (J)}$$

Al emplear la conversión  $1 \text{ (eV)} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ (J)}$ , el resultado anterior nos queda:

$$E = \frac{-13,6}{n^2} \text{ (eV)} \quad \text{Ecuación 4}$$

### Actividad 9 ASOCIAR-APLICAR

#### CÁLCULO DE ENERGÍA

En la tabla aparecen valores importantes en el ámbito del átomo de Bohr. Utilizando una calculadora científica, reemplaza los valores que correspondan en la ecuación 3, para llegar al resultado de la ecuación 4.

Nombre	Unidad	Magnitud
Masa del electrón ( $m$ )	kg	$9 \times 10^{-31}$
Carga del electrón ( $e$ )	C	$1,6 \times 10^{-19}$
Permitividad eléctrica en el vacío ( $\epsilon_0$ )	$\frac{C^2}{Nm^2}$	$8,85 \times 10^{-12}$
Constante de Planck ( $h$ )	J s	$6,63 \times 10^{-34}$
Velocidad de la luz ( $c$ )	m/s	$3 \times 10^8$

## EJEMPLO RESUELTO 1

## Energía de los primeros estados estacionarios

Si queremos encontrar la energía de los primeros tres estados estacionarios para el átomo de Bohr, podemos utilizar la ecuación 4, reemplazando el número cuántico principal  $n$ , tomando los valores 1, 2 y 3.

La energía aumenta a medida que aumenta el número cuántico principal. Esto se puede apreciar matemáticamente, porque el valor es negativo. ¿Qué ocurrirá si el valor de la energía se aproxima a cero?

$$E_1 = \frac{-13,6}{1^2} = -13,6 \text{ eV}$$

$$E_2 = \frac{-13,6}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$$

$$E_3 = \frac{-13,6}{3^2} = -1,5 \text{ eV}$$

## EJEMPLO RESUELTO 2

## Frecuencia de un fotón de transición

Un electrón cae desde el segundo estado estacionario hasta el primero, ¿cuál es la frecuencia del fotón emitido en ese proceso?

El segundo postulado de Bohr afirma que la energía de la transición está dada por:

$$E_2 - E_1 = hf$$

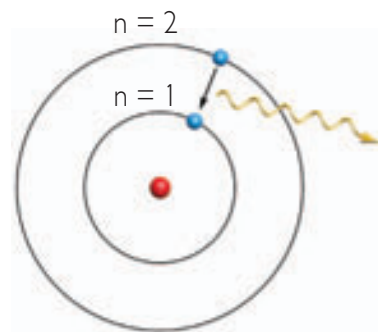
Relación de la cual podemos despejar la frecuencia y luego reemplazar los valores.

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} \Rightarrow f = \frac{10,2 \text{ eV}}{h}$$

Si queremos expresar este resultado en unidades del SI (Hz), primero debemos transformar la energía a joules (J), utilizando la conversión  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ , resultando finalmente:

$$f = 2,46 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

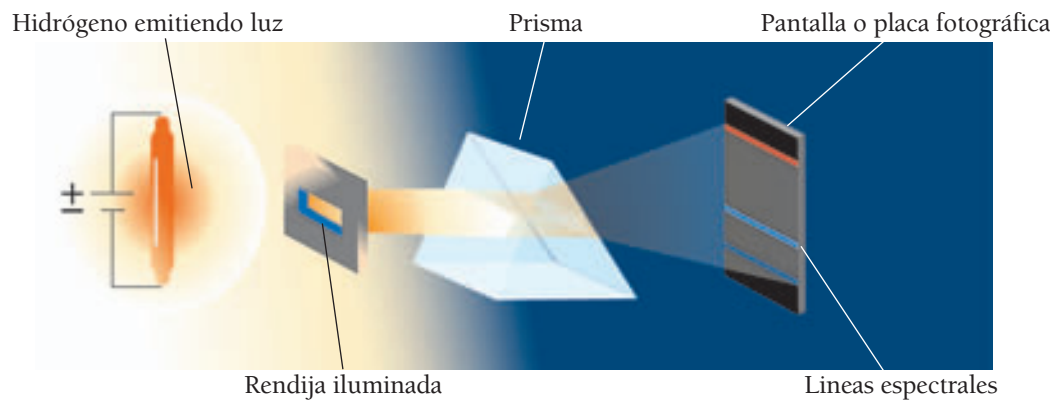
Calcula la longitud de onda del fotón utilizando la relación  $c = \lambda f$ . ¿A qué parte del espectro electromagnético corresponde?



## Las series espectrales

### Observación

Desde mediados del siglo XIX se conocía el siguiente experimento: al aplicar una diferencia de potencial eléctrica a un gas, este se excita y emite energía en forma de luz. En la actualidad, ese mecanismo es de uso doméstico, por ejemplo en los tubos fluorescentes o ampollas de bajo consumo. Cuando esta luz pasa por un prisma, se produce el fenómeno conocido como dispersión cromática (ver figura). En él, la luz sufre una desviación, pero cada longitud de onda lo hace de manera distinta.



Cuando lo anterior ocurre con una fuente de luz blanca como la del Sol, se obtiene un espectro continuo de colores; pero, cuando ocurre con un gas monoatómico como el helio y el neón, solamente se observan franjas de colores, conocidas como líneas espectrales.

### Procedimiento

Se realiza el montaje experimental que se aprecia en el dibujo, pero en el recipiente que contiene el gas se introduce, alternativamente, hidrógeno, sodio y neón, observándose las siguientes líneas espectrales.

Además, se miden las longitudes de onda de la luz emitida, obteniéndose los siguientes valores (de izquierda a derecha).

Espectro de emisión del hidrógeno:



Hidrógeno: naranja ( $6560 \text{ \AA}$ ), azul ( $4858 \text{ \AA}$ ), añil ( $4337 \text{ \AA}$ ) y violeta ( $4098 \text{ \AA}$ ).

Espectro de emisión del sodio:



Sodio: amarillo  $5896 \text{ \AA}$  y  $5890 \text{ \AA}$ .

Espectro de emisión del neón:



Neón: naranja ( $6402 \text{ \AA}$ ), amarillo ( $5852 \text{ \AA}$ ) y verde ( $5400 \text{ \AA}$ ).

**Tratamiento de los datos**

Copia la siguiente tabla en tu cuaderno y complétala, para ello: transforma la longitud de onda a metros, calcula la frecuencia mediante la expresión  $c = \lambda \cdot f$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío. Para calcular la energía, utiliza la relación  $E = h \cdot f$ , donde  $h$  es la constante de Planck.

Gas	Color	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Hidrógeno	naranja			
	azul			
	añil			
	violeta			
Sodio	amarillo			
	amarillo			
Neón	naranja			
	amarillo			
	verde			

**Análisis**

Una vez completada la tabla, reúnete con tres compañeras y compañeros, y trabajen en torno de las siguientes preguntas.

- ¿Por qué tendrán los gases la propiedad de liberar distinta cantidad de energía si se someten al mismo potencial?
- ¿Será posible que los gases en cuestión liberen energía, pero no sea observable por la dispersión cromática?
- Establezcan una hipótesis para la siguiente pregunta: ¿qué relación tendrán los átomos del gas con la energía liberada?
- ¿Cómo se podría relacionar la idea de Planck, de los cuantos de energía, con este experimento?

## 7. El paradigma de las líneas espectrales

Durante el siglo XIX ya se habían observado las líneas espectrales (como en la **Investigación científica** de la página anterior). Pero el origen de ellas era un verdadero misterio. Sin embargo, se hicieron importantes avances al crear un modelo matemático que las representara.

Alrededor del año 1885, el físico suizo **Johann Balmer** (1825-1898), estudiando las líneas espectrales del hidrógeno, se dio cuenta de que tenían una cierta secuencia numérica y, más tarde, en 1908, el físico sueco **Johannes Rydberg** (1854-1919) estableció una fórmula empírica que relaciona las líneas espectrales con las longitudes de onda.

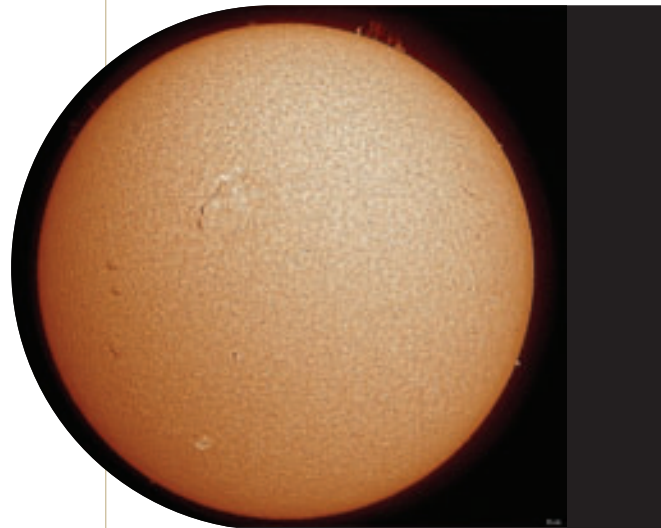
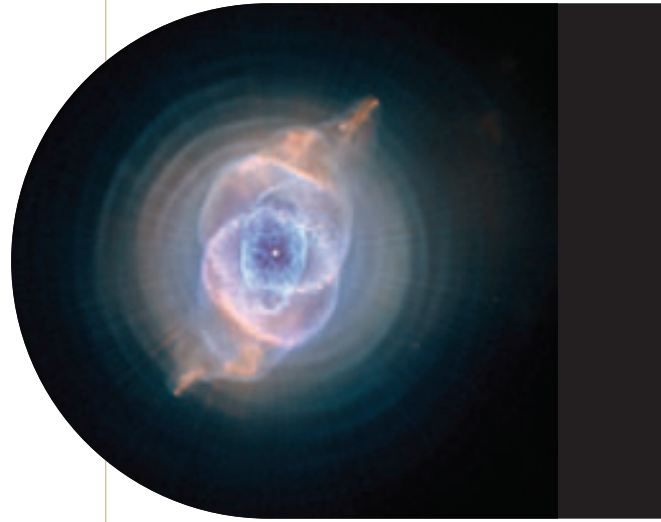
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

El valor  $R$  es conocido como constante de Rydberg y su valor es  $R = 1,0974 \times 10^7 \frac{1}{\text{m}}$ ; en tanto,  $n_1$  y  $n_2$  son números enteros.

Es importante mencionar que en esos años ya se aceptaba la idea del átomo según el modelo de Rutherford y se estudiaba con especial interés el **átomo de hidrógeno**, por ser el más liviano y sencillo. Sin embargo, solo se conocía el mecanismo por el cual los átomos emitían luz en determinadas longitudes de onda.

### Ten presente que:

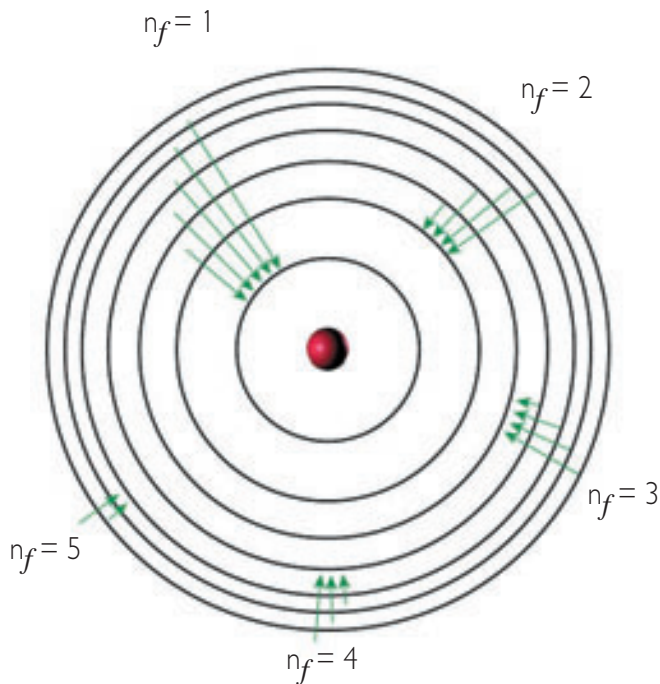
- Muchas veces en Física se crean modelos matemáticos de ciertos fenómenos, los que son previos a la explicación de las causas que los originan. La fórmula de Rydberg es el típico caso en que una relación matemática describe un cierto fenómeno, pero sin explicar las causas por las cuales ocurre. Algo similar sucedió en el siglo XVII con la explicación del cosmos de Kepler: sus tres leyes explicaban el movimiento de los planetas, lo observable, pero no la causa de dicho movimiento, eso lo explicó Newton con su teoría de la gravitación universal, que dilucidó no solamente el movimiento de los planetas, sino de todos los cuerpos que poseen masa; es decir, en vez de dar una explicación particular como Kepler, encontró una explicación general.



El hidrógeno es el elemento químico más liviano y también el más abundante en el universo conocido. Por ejemplo, a partir de las nebulosas, constituidas en su mayor parte por este gas, se forman las estrellas como nuestro Sol, que tiene en su fotosfera (superficie luminosa), más del 70% de hidrógeno.



## 7.1 El modelo de Bohr explica las series espectrales



La serie encontrada por Balmer para el átomo del hidrógeno correspondía a la energía emitida por aquel en la zona visible del espectro electromagnético. Sin embargo, existen otras series encontradas con posterioridad, que no corresponden al espectro visible y que tienen que ver con los números cuánticos de la transición.

En la **Investigación científica** de la página 119, se estableció que las series espectrales de un gas excitado correspondían a fotones de luz de determinadas longitudes de onda, para los cuales Rydberg encontró la relación matemática.

Uno de los grandes aciertos de Bohr fue explicar el origen de aquellas líneas y, además, dar una explicación matemática satisfactoria a partir de sus postulados.

Según Bohr, la frecuencia de un fotón emitido (como son los de las series espectrales) está dada por:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h}$$

Si reemplazamos en la energía inicial y final, según la ecuación 3, y consideramos que  $c = \lambda f$ , tenemos que:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{me^4}{8c\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

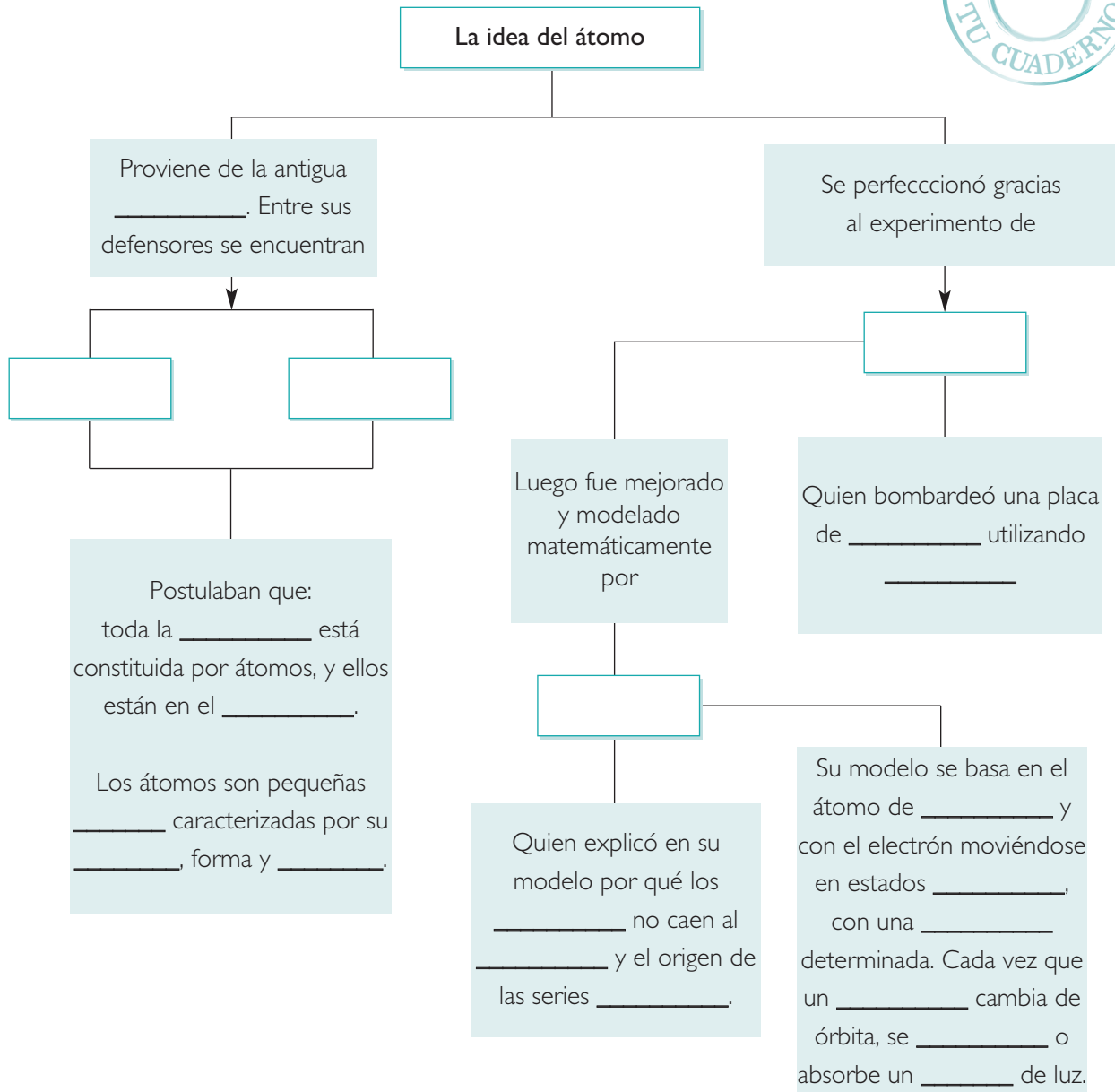
Esta ecuación tiene un parecido asombroso a la encontrada por Rydberg; es más, si las comparamos, nos podremos dar cuenta de que, efectivamente:

$$R = \frac{me^4}{8c\epsilon_0^2 h^3} = 1,0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Es decir, la constante de Rydberg, encontrada por raciocinio matemático, y que daba cuenta de la distribución de las líneas espectrales, fue explicada satisfactoriamente por el modelo propuesto por Bohr.

SÍNTESIS

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



EVALUACIÓN

Lee y responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál era la principal debilidad del modelo de Rutherford?
2. En un átomo de hidrógeno, un electrón salta del tercer estado estacionario hasta el primero, ¿cuál es la frecuencia del fotón emitido?

## INDAGACIÓN: LA CIENCIA DE LA MEDIDA

## ¿Se puede determinar el tamaño exacto de un objeto?

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y elaboren una hipótesis para la pregunta inicial. Al elaborar su hipótesis, piensen en la incidencia del tamaño del objeto y en las cualidades del instrumento de medición.

### Materiales

- Una regla.

### Procedimiento

Cada uno de los miembros del grupo debe medir los mismos objetos por separado y registrar sus resultados:

- La longitud del largo de la mesa en que trabajan.
- El largo de un lápiz.
- El ancho de un lápiz.
- El espesor de cincuenta hojas de cuaderno
- El espesor de una hoja de cuaderno.
- La longitud de una persona.



### Análisis

- Comparen sus resultados, ¿existen diferencias entre sus mediciones?
- Si hay diferencias entre las mediciones, ¿a qué se deben?
- ¿Qué fue lo más sencillo y lo más complicado de medir? Expliquen el mecanismo utilizado.
- ¿Para qué mediciones la regla fue el instrumento más adecuado?, ¿para cuáles no era muy útil?, ¿qué se debiera mejorar en el instrumento de medición para el último caso?
- ¿De cuáles medidas pueden estar más seguros? Expliquen.
- En la actividad midieron longitud, ¿ocurrirá la misma variación en las medidas al medir otras magnitudes físicas? Den algunos ejemplos.
- Escriban un informe en el que se desarrollen estas preguntas y donde expongan sus conclusiones de la actividad.

## 8. Física, ciencia de la medida

Cada vez que se mide un objeto, estamos asignándole una magnitud física, y no se trata solamente de medidas de longitud, como en la actividad realizada en la página anterior, sino que también al medir temperatura, corriente eléctrica, masa u otras magnitudes, nos encontraremos con situaciones parecidas de imprecisión y de instrumentos inadecuados.

La Física es la ciencia que se preocupa con más énfasis de las medidas, ya que no le interesan solamente las ideas sobre la naturaleza, sino también cuantificarlas, es decir, asignarles un valor.

### Actividad 10

### COMPARAR

#### MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS

Consigue una regla y una caja de fósforos y mide sus tres aristas.

1. ¿Cuál es la medida de cada uno de los lados?
2. ¿Cómo puedes medir el volumen de la caja a partir de los datos obtenidos?
3. ¿Qué diferencia, en cuanto a procedimiento, existe entre la medida del volumen y la de las longitudes de la caja?

En la **Actividad 10**, pudiste apreciar que hay dos maneras de acceder a una medida, una es la realizada directamente al comparar el instrumento de medida (patrón) con el objeto que se quiere medir, procedimiento conocido como medida directa.

Otra forma de acceder a una magnitud física es a través de cálculos, tal como lo hiciste para calcular el volumen de la caja. Esa manera de medir se conoce como medida indirecta y es la que ocupa la ciencia para medir magnitudes que no están a escala humana, como podrían ser: el radio de la Tierra, la distancia del Sol a la Tierra, la masa de la Luna, la rapidez de un electrón, etcétera.



Al medir el peso de un determinado cuerpo, se lo está cuantificando; su medida siempre va a estar sujeta a pequeñas fluctuaciones.

### ¿? CONCEPTOS CLAVE

**Medir:** se define como la comparación de un cierto patrón graduado (instrumento), con un objeto o un sistema.



El rango del instrumento es la máxima medida que puede realizar, mientras su sensibilidad es la mínima.

## 9. Características de un instrumento de medición

Si se utiliza una regla graduada en milímetros, resulta bastante ineficiente para medir el diámetro de un cabello o el espesor de una hoja de papel. Para ese caso resultaría conveniente realizar una medida indirecta (por ejemplo, medir el espesor de cincuenta hojas y luego dividir por ese número), o bien utilizar un instrumento que tenga otras características, y así poder determinar medidas más pequeñas.

La menor medida que es capaz de obtener un instrumento se llama **sensibilidad** del instrumento, por ejemplo; si una balanza es capaz de discernir hasta 0,1 g, se dice que es más sensible que otra cuya mínima medida es 1 g.

Otra propiedad importante de un instrumento es su **rango**. En la indagación inicial, se pidió medir la longitud de una persona, como su tamaño no se alcanza a cubrir con una sola regla, era necesario medir hasta un punto y luego volver a poner la regla desde el punto anterior; aquello trae consigo posibles errores en las medidas si no se trabaja de forma prolija. Lo anterior se puede evitar si se utiliza un instrumento que pueda medir de una sola vez a la persona, es decir, que su rango sea mayor, por ejemplo, el rango de una huincha de medir es mayor que el de una regla. Averigua cuánto es lo máximo que puede medir una balanza de las que ocupan en los almacenes, es decir, cuál es su rango.

### Actividad 11

CLASIFICAR-DESCRIBIR

### INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos análogos son aquellos que poseen graduaciones (como termómetros, relojes, voltímetros, dinamómetros, velocímetros, balanzas, entre otros), a diferencia de los instrumentos digitales que entregan un valor (dígito) en una pantalla.

Formen un grupo de cinco integrantes y durante una semana consigan diferentes instrumentos de medición, además de una lupa. Cuando se reúnan respondan las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál es el nombre de cada uno de los instrumentos y qué magnitud física miden?
2. ¿En qué unidades físicas están graduados?
3. ¿Cuál es el rango y la sensibilidad de cada instrumento?, ¿hay alguno que posea escalas de distintos rangos?
4. Si se utiliza una lupa para ver ampliada la medida, ¿se logra una mejor lectura?
5. ¿Qué ocurre si la persona que realiza una lectura forma un ángulo visual con la medida?, ¿se modifica la lectura o la medida? Expliquen.
6. Describan cada uno y mencionen sus aplicaciones.

## 10. Incerteza en las medidas

En la actividad anterior, pudiste observar que al medir un objeto con un instrumento análogo, la medida no siempre coincide exactamente con una graduación, quedando algunas veces entre dos valores, teniendo que optar por alguno de los dos. Aquello se acentúa cuando la sensibilidad del instrumento no es la adecuada.

En el dibujo se presenta una situación en la que se mide la longitud de un lápiz. La primera dificultad que se observa es que la forma del lápiz es irregular y, por lo tanto, es difícil discernir dónde empieza y dónde termina. Si para resolver aquello nos ayudáramos de una lupa, aparece otra dificultad: el extremo del lápiz no coincide exactamente con una graduación, sino que está entre dos valores, entre 15,2 y 15,3 cm.



Quizás podríamos vernos tentados a afirmar que su medida es el valor intermedio entre ambos; sin embargo, si el instrumento no entrega ese valor, no se puede afirmar que sea su medida. Para resolver lo anterior, se utiliza el concepto de incerteza, es decir, se acepta la incapacidad de un instrumento de entregar un valor exacto, pero se puede determinar un intervalo en el cual, con seguridad, la medida se encuentra. Para el caso de un instrumento analógico, la incerteza ( $\Delta x$ ) de la medida se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta x = \frac{\text{sensibilidad}}{2}$$

Es decir, la mitad de la sensibilidad del instrumento. Si en el caso del ejemplo, la sensibilidad de la regla es de 0,1 cm, entonces  $\Delta x = 0,05$  cm. Finalmente, si se quiere expresar la longitud del lápiz con su incerteza, primero hay que elegir entre uno de los valores más probables, en este caso, entre 15,2 y 15,3 cm, y luego agregar la incerteza. Supongamos que se considera que está más cerca del valor 15,2 cm, entonces la medida final sería:

$$L = 15,20 \pm 0,05 \text{ (cm)}$$

Lo que quiere decir que con seguridad, el valor exacto está entre 15,25 cm (al sumar la incerteza) y 15,15 cm (al restar la incerteza).

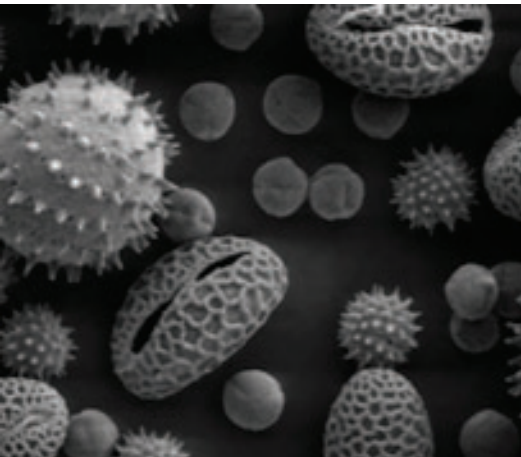
### Ten presente que:

- Existen muchos tipos de errores en una medición, pero generalmente se reúnen en dos grandes grupos: los **errores aleatorios**, que son los que no se pueden controlar, por ejemplo, pequeñas vibraciones en la medida de una pequeña longitud o masa; y los **errores sistemáticos**, los que sí se pueden corregir, como puede ser una mala observación de una medida debido a un ángulo inadecuado, el que tiene el nombre particular de error de paralaje.

### MEDIDAS EN EL MICROMUNDO

Realiza una búsqueda, en libros de biología, física e Internet, de objetos y estructuras a pequeña escala que la ciencia haya logrado medir.

1. Confecciona una tabla con la información encontrada, en la que se pueda apreciar de mayor a menor el tamaño y el nombre de los objetos.
2. Averigua qué procedimientos se utilizaron para medirlos.
3. ¿Qué incertezas presentan las medidas?
4. Compara tus resultados con los de tus compañeros y realicen una tabla con los hallazgos de todo el curso.



Un grano de polen tiene un diámetro promedio entre 20 y 50 micras (una micra es la millonésima parte de un metro); sin embargo, aún en él se pueden observar estructuras mucho más pequeñas.

### 10.1 Incerteza en el mundo atómico

Hasta el momento hemos considerado medidas en el mundo macroscópico, es decir, de magnitudes que podemos observar directamente, como podrían ser la longitud de una caja de fósforos, la masa de una moneda y la temperatura de una persona. ¿Pero qué ocurre si lo que pretendemos observar o medir es extremadamente pequeño, como un grano de polen, un virus, una molécula o un electrón?

Pensemos, por ejemplo, en los objetos que podemos observar con nuestros ojos: ellos tienen una limitante física para ver objetos pequeños, producto de su estructura, y aquello determina que bajo ciertas longitudes ya no se pueden distinguir detalles. Además, es necesario que la luz se refleje en los objetos para poder verlos.

Los científicos han desarrollado poderosos microscopios ópticos; sin embargo, estos también tienen un límite para discernir imágenes, pues las longitudes de onda visible varían aproximadamente entre los 400 y 700 nm, debido a lo cual no se pueden observar, con luz visible, objetos menores que aquello (recordar Ciencia-Tecnología-Sociedad de la página 129). Para “ver” objetos y estructuras de menor tamaño se han desarrollado otro tipo de microscopios, como el microscopio de efecto túnel, que alcanza a discernir estructuras de hasta  $0,05 \text{ \AA}$ , pero la interrogante que persiste es: ¿se pueden observar objetos cada vez más pequeños, o bien la naturaleza opone algún límite para ello?

Al estudiar el átomo de Bohr, se han dado a conocer algunas magnitudes atómicas, como el radio de los estados estacionarios, la masa del electrón y el protón, su carga eléctrica, todo lo cual se ha conocido realizando medidas indirectas.

## 10.2 Principio de incertidumbre de Heisenberg

Muchas veces, en Física se realizan “experimentos mentales” para reflexionar sobre ciertas realidades a las que es difícil acceder por su escala o por la cantidad de energía involucrada. En el año 1928, Niels Bohr ideó el siguiente experimento para reflexionar sobre la observación a escala atómica.

Se trata de un microscopio imaginario, mediante el cual se pretende “ver” un electrón puesto en el portaobjetos. Es conocido que para poder ver un objeto, la luz se debe reflejar en él para luego dirigirse hacia el ojo o, como en este caso, hacia el lente del microscopio.

La primera dificultad es que la longitud de onda de la luz visible es mayor que el tamaño del electrón, por lo que no se refleja; aquello nos recuerda el límite de la microscopía óptica.



Podríamos pensar que para solucionar aquello bastaría con utilizar una longitud de onda menor, pero ocurre lo siguiente: a menor longitud de onda, el fotón tiene una mayor frecuencia y una mayor energía; entonces, al “chocar” el fotón de mayor energía con el electrón, se produce una colisión entre partículas. Este efecto fue observado por el físico norteamericano **Arthur Compton** (1892-1962), en el año 1923.

Producto de lo anterior el electrón ve modificado su momentum lineal ( $\Delta p = m \Delta v$ ); es decir, al observar un electrón se modifican sus características, y ya no es el mismo, en otras palabras: no se puede observar un electrón sin modificar su estado.

Esta situación había sido teorizada por el físico alemán **Werner Heisenberg** (1901-1976) en el año 1927. Él planteó la imposibilidad de determinar de manera simultánea la posición y el momentum lineal de una partícula. Dicha afirmación fue expresada matemáticamente por él de la siguiente forma:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

En que el producto de la incerteza de la posición  $\Delta x$  y del momentum  $\Delta p$ , siempre es mayor o igual que un cierto número  $h/4\pi$ , donde  $h$  es la constante de Planck. Se conoce como el **principio de incerteza o de incertidumbre de Heisenberg**.





Un eclipse solar puede ser predicho con cientos de años de anticipación para ello, solo basta con observar la posición y velocidad de los astros en determinado instante. Pero, en el mundo atómico, no es posible establecer la posición de un electrón en cierto instante, por lo que tampoco se puede conocer su posición futura.

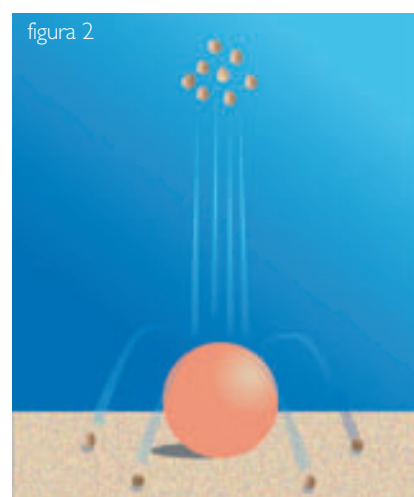
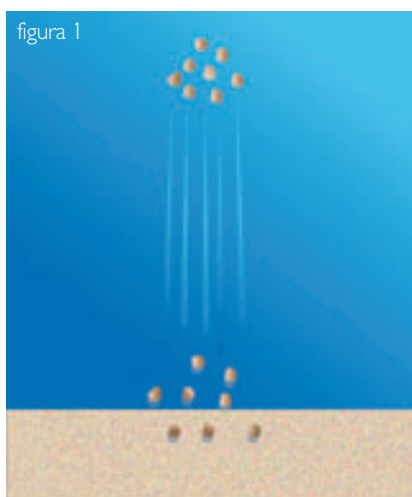
Los dibujos son una analogía del principio de incertidumbre. Por ejemplo, al dejar caer granos de arena sobre el suelo (figura 1). En un sistema determinista se puede predecir dónde estarán las partículas en el futuro. En cambio, si los granos caen sobre un obstáculo (figura 2), no se pueden predecir con exactitud condiciones futuras.

### 10.3 Importancia filosófica del principio de incertidumbre

Cada vez que el velocímetro de un auto indica una magnitud o el termómetro indica la temperatura o con la regla medimos el largo de un papel, estamos midiendo una propiedad física de un cuerpo o un sistema. La Física se ha preocupado hace siglos de que sus mediciones y predicciones sean lo más exactas posibles, de manera que si conocemos todas las variables de un sistema en un determinado momento, sepamos en qué estado se encontrará en otro instante. Por ejemplo, gracias al conocimiento del movimiento de los astros, podemos saber que va a ocurrir un eclipse en cientos de años más, observable desde un cierto punto de la Tierra.

Aquella concepción de la naturaleza llegó a su apogeo con el desarrollo de la mecánica newtoniana, la termodinámica y el electromagnetismo, que forman parte importante de la Física clásica, caracterizada por creer en el **determinismo científico**. Sin embargo, desde los postulados de Max Planck relacionados con la cuantización de la energía, el panorama empezó a cambiar, logrando su máximo quiebre con el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Desde ese momento, hubo que incorporar la noción de que no se puede conocer simultáneamente la posición y la velocidad de una partícula con total certeza, lo que desmorona la idea del determinismo newtoniano. En conclusión, el principio de incertidumbre pone en evidencia una limitación al conocimiento impuesta al ser humano por la naturaleza y no por los instrumentos de medición. Nos plantea, además, la imposibilidad de predecir completamente la trayectoria de una partícula como el electrón, como lo hacían las ecuaciones de Newton.



## EJEMPLO RESUELTO 3

## Aplicando el principio de incertidumbre

Aplicaremos el principio de incertidumbre a un vehículo de una tonelada de masa, luego a un electrón y analizaremos los resultados.

Para aplicar el principio de incertidumbre, debemos emplear la relación:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Pero como  $\Delta p = m \Delta v$ , la expresión anterior se puede escribir de la siguiente manera:

$$\Delta x \Delta v \geq \frac{h}{4\pi m}$$

Podemos calcular el factor de la derecha, donde  $h$  es la constante de Planck y  $m$  la masa del automóvil:

$$\frac{h}{4\pi m} = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{4\pi 10^3} = 5,3 \times 10^{-38} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Es decir:

$$\Delta x \Delta v \geq 5,3 \times 10^{-38} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Al observar el resultado, nos podemos dar cuenta de que si conocemos la posición del auto con una incerteza del orden de  $10^{-5}$  m (la que entrega una regla), la incerteza de la velocidad será del orden de los  $10^{-33}$  m/s. En ambos casos se trata de valores muy pequeños, que carecen de importancia en cuerpos de masa grande.

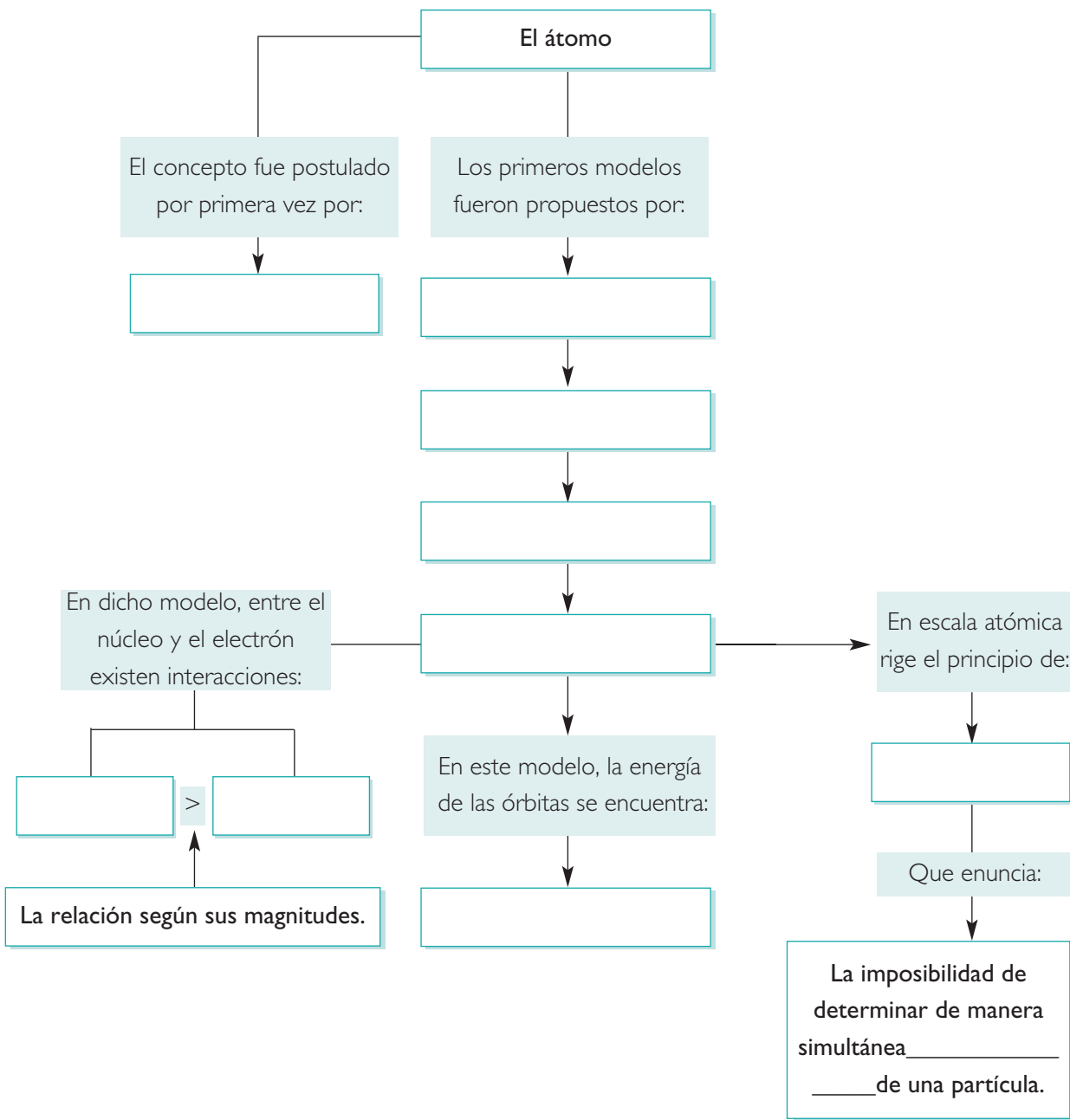
En cambio, si calculamos lo mismo para el caso de un electrón, cuya masa es del orden de los  $10^{-30}$  kg, el resultado nos queda:

$$\Delta x \Delta v \geq 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

De manera que, si conocemos la posición del electrón con una incerteza de  $10^{-10}$  m (el tamaño de un átomo), la incerteza de la velocidad será del orden de los  $10^5$  m/s. En este caso, la incerteza de la velocidad es muy importante, debido a lo cual el principio de incertidumbre tiene una gran influencia en el mundo subatómico; en otras palabras, solamente podemos conocer la posición o la velocidad, pero no las dos al mismo tiempo.

**SÍNTESIS**

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno.



## EVALUACIÓN



### I. Desarrolla las siguientes preguntas en tu cuaderno.

1. Explica cuáles eran las principales ideas sobre la materia en el mundo antiguo.
2. ¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre los modelos de Dalton y Rutherford?
3. ¿Por qué crees que pasó tanto tiempo entre la concepción de la idea del átomo y llegar a conocer sus magnitudes físicas?
4. ¿En qué se basó Bohr para desarrollar su modelo atómico?
5. ¿Qué logró explicar el modelo de Bohr que el modelo de Rutherford no permitía?
6. ¿Cuál es la importancia de la cuantización de la energía de Planck para la elaboración del modelo de Bohr?
7. ¿En qué se basa el principio de incertidumbre de Heisenberg?
8. El principio de Heisenberg ¿es más importante a escala astronómica o a escala atómica? Explica.

### II. Para calcular.

1. ¿Cuál es el radio de las dos primeras órbitas en el átomo de hidrógeno?
2. ¿Qué energía tiene un electrón en el segundo estado estacionario de un átomo de hidrógeno, según el modelo de Bohr?
3. Un electrón salta del segundo al quinto estado estacionario, ¿emite o absorbe un fotón? Calcula su longitud de onda.
4. Una partícula subatómica tiene una masa de  $10^{-27}$  kg. Calcula la incerteza de su posición si se conoce su velocidad con una incerteza de  $10^{-10}$  m.

### III. Análisis.

1. Imagina que como resultado del experimento de Rutherford, todas las partículas hubieran atravesado en línea recta, ¿qué hipótesis podrías elaborar para explicar aquello?
2. Una línea espectral del átomo de hidrógeno tiene una longitud de onda de 821(nm). ¿Cuál es la diferencia de energía entre los estados estacionarios que salta el electrón?  
 a) 13,6 eV      b) 3,4 eV      c) 1,51 eV      d) 0,85 eV      e) 54,4 eV

## INDAGACIÓN: TAMAÑO DEL ÁTOMO

### ¿Con qué se pueden comparar las dimensiones del átomo?

#### Introducción

Con los experimentos realizados por Rutherford y los cálculos de Bohr, más los aportes de numerosos científicos, en los primeros años del siglo XX ya se tenían nociones de las dimensiones del átomo. El radio de un átomo promedio se considera de  $10^{-8}$  cm, mientras que el tamaño del núcleo es del orden de los  $10^{-13}$  cm. Reúnete junto con cuatro compañeros y compañeras y consigan una regla y una hoja de papel para realizar la siguiente actividad.

#### Procedimiento

1. Tomen cada uno una hoja y unan los extremos doblándola por la mitad.
2. Vuelvan a repetir el procedimiento nuevamente con los extremos de la hoja doblada.
3. Realicen el procedimiento con las manos, hasta que ya sea imposible seguir doblando el papel.



#### Análisis

- a. ¿Cuántas veces alcanzaron a doblar el papel?, ¿todos doblaron el papel la misma cantidad de veces? Comenten.
- b. ¿De qué tamaño es el trozo que ya no se puede seguir dividiendo?
- c. Considerando el tamaño del diámetro de un átomo, ¿cuántas veces más deberían dividir el papel para que fuera de ese tamaño?
- d. ¿Cuántas veces lo deberían dividir para que fuera del tamaño del núcleo?
- e. ¿Con qué impedimentos físicos se encontrarían si intentaran realizar los dos últimos pasos? Expliquen.
- f. ¿Cuántos átomos cabrían en el espesor de la hoja?

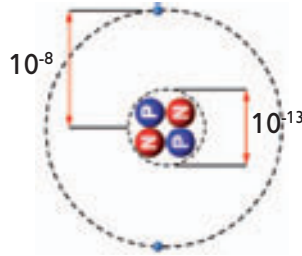


## 1. Distancias al interior del átomo

De la actividad de indagación queda claro que comparativamente es muy grande la distancia entre el núcleo del átomo y la ubicación del electrón; por ejemplo, si el núcleo del átomo fuera del tamaño de una naranja, es decir, unos 8 cm de diámetro, entonces la distancia al primer estado estacionario del electrón se podría calcular de la siguiente manera:

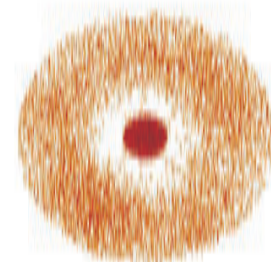
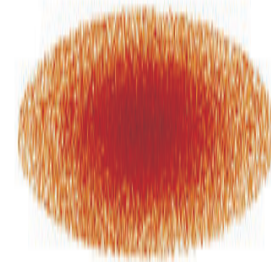
$$\frac{\text{átomo}}{\text{núcleo}} = \frac{10^{-8} \text{ cm}}{10^{-13} \text{ cm}}$$

$$\frac{\text{átomo}}{\text{núcleo}} = 10^5$$



Entonces, si el radio de la naranja (núcleo) fuera de 4 cm, la distancia entre el electrón y el núcleo sería de  $4 \times 10^5$  cm, es decir, ¡4 kilómetros!, lo que muestra que al interior de la materia existe mucho espacio vacío.

El modelo atómico de Bohr sirve para explicar muchos fenómenos, pero no es el modelo atómico definitivo, con el tiempo se le fueron haciendo algunas correcciones, llegando al modelo mecánico-cuántico, que es el más aceptado en la actualidad. En ese modelo, el concepto de órbita es remplazado por el concepto matemático de probabilidad; es decir, se asigna una probabilidad numérica de encontrar electrones en una cierta región del espacio. En el esquema, aparece la distribución de probabilidad de encontrar electrones para tres estados del electrón en un átomo de hidrógeno. Al ocurrir aquello, cambia un poco la noción de la distancia entre el núcleo y el electrón, pues él no se ubicaría a una distancia fija del núcleo.



Distribución de probabilidades para tres estados del electrón en un átomo de hidrógeno.

### Actividad 1

### APLICAR-COMPARAR

#### DISTANCIAS ATÓMICAS

Reúnanse en un grupo de tres o cuatro estudiantes y, aplicando la proporción entre átomo y núcleo, trabajen en los siguientes puntos.

1. Estimen el tamaño de una arveja, una pelota de fútbol y el punto final que cierra esta frase. Calculen cuál sería el radio de átomo si el núcleo fuera de ese tamaño.
2. Comparen la distancia Sol-Tierra y Tierra-Luna. ¿De qué tamaño sería el núcleo de átomos de ese radio? ¿Se podría hacer la analogía entre esos cuerpos y un átomo?

## 2. Características del núcleo

### Actividad 2

### COMPARAR-RELACIONAR

#### COLISIONES AL NÚCLEO

Reúnanse en un grupos de cuatro o cinco integrantes y consigan un cordel, tiza, una huincha de medir y una bolita de vidrio y realicen la siguiente actividad:

1. Tracen en el patio del colegio un círculo de 2 m de diámetro, usando el cordel como compás.
2. Calculen el tamaño que debiera tener el núcleo del átomo para esa proporción y dibújenlo (aproximadamente) en el centro de la circunferencia.
3. Con los ojos cerrados (u otra forma azarosa), lancen la bolita desde fuera del círculo hacia el interior.
  - a. ¿Cómo es la probabilidad de que pase por el núcleo? ¿Cómo se podría calcular la probabilidad? Investiguen.
  - b. ¿Cómo podrían relacionar esta experiencia con el experimento de Rutherford? Escriban sus conclusiones en un informe.



La letra C representa la abreviatura de un elemento químico, y alrededor aparecen las características del núcleo atómico de ese elemento.

Debido a lo pequeñísimo que es el átomo en relación a nuestro mundo cotidiano, los científicos tardaron muchos años en medir por métodos indirectos las cualidades del núcleo. Fue en el año 1932 que el físico norteamericano **James Chadwick** (1891-1974) logró determinar experimentalmente que estaba formado por dos partículas, que llamó **protones** y **neutrones** (también denominados nucleones), el protón con carga eléctrica positiva, de la misma magnitud que la del electrón, y el neutrón sin carga eléctrica.

El número de protones del núcleo se denomina número atómico (**Z**), y como generalmente los átomos son eléctricamente neutros, ese número corresponde también al número de electrones. El número total de nucleones de un átomo es el número másico (**A**). Finalmente, el número de neutrones de un núcleo se designa con la letra **N**. Todos aquellos valores determinan al átomo y aparecen alrededor de la abreviatura del elemento químico en la tabla periódica de los elementos.

### 2.1 Tamaño del núcleo atómico

Como el núcleo no es una unidad compacta, sino que está formada por protones y neutrones, resulta lógico que su tamaño dependa del número de aquellos. Una manera de calcular su radio está dada por la relación:

$$R = 1,2 \times 10^{-15} A^{1/3} \text{ m}$$

Donde A es el número másico, es decir, la suma de protones y neutrones del núcleo.

## Actividad 3

## REPRESENTAR

## SIMULACIÓN DEL NÚCLEO

La mayor parte de la masa del átomo se concentra en el núcleo, es más, un solo protón tiene la masa de 1885 electrones. Formen un grupo de tres o cuatro integrantes y reúnan los siguientes materiales: arvejas, porotos o granos de arroz (cualquier tipo de grano), luego realicen una maqueta que represente la proporción de masas en un átomo de hidrógeno.

- ¿A qué distancia habría que poner el grano que representa el electrón para que se respetara también la proporción de la distancia?
- ¿Cuántos granos deberían tener para representar un átomo de helio?

## 2.2 Masa del núcleo atómico

La masa de la Tierra es aproximadamente 81 veces la masa de la Luna, y con eso basta para considerar que la Luna gira alrededor de la Tierra por efecto gravitacional. Si se compara la masa que tiene el núcleo del átomo de hidrógeno (un protón) con un electrón, se obtiene una relación mucho mayor (1:1 885), pero no se debe olvidar que en ese caso también actúa la fuerza eléctrica.

Consideraciones como aquella, y como la distancia entre núcleo y electrón, han determinado que se compare el modelo de Rutherford y el del átomo de hidrógeno como “modelo planetario”, lo que se modifica radicalmente cuando se considera el modelo mecánico-cuántico.

## Ten presente que:

- Para designar con mayor comodidad la masa del protón y el neutrón, se ha creado la llamada unidad de masa atómica (u) que corresponde a 1/12 de la masa de un átomo neutro de carbono, que es de  $1,6605 \times 10^{-27}$  kg. En esa unidad, la masa del protón en reposo es de 1,0073 u, mientras que la del neutrón de 1,0087 u.

CONEXIÓN CON...  
ASTRONOMÍA

Imagina qué ocurriría si toda la materia tuviera la densidad del núcleo atómico, sin el espacio intermedio en que se mueven los electrones. La densidad del protón es aproximadamente de  $\rho_p = 7,25 \times 10^{17}$  (kg/m<sup>3</sup>), eso quiere decir que un cubo de 1 metro cúbico tendría una masa de  $7,25 \times 10^{17}$  (kg), es decir, ¡de muchos millones de toneladas! Aunque parezca increíble, la astronomía moderna ha encontrado objetos con esas características, son las llamadas **estrellas de neutrones**, cuyo origen son estrellas normales, pero de gran tamaño. Al sufrir un colapso gravitacional se comprimen, perdiendo en el proceso los protones y electrones, por lo que solamente quedan los neutrones, uno a lado del otro, sin espacio intermedio, lo que configura una materia de gran densidad.





## 2.3 El espín

### Actividad 4

DESCRIBIR-INFERIR

#### GIRO DE CUERPOS

Consigue un trompo, una pirinola, una bolita y una pelota, y realiza la siguiente actividad.

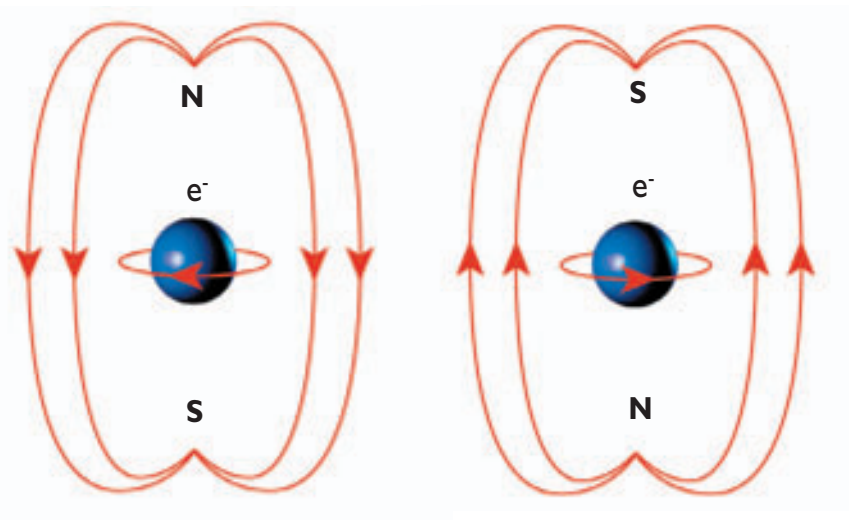
- Haz girar cada uno de los cuerpos que conseguiste, ¿qué diferencias puedes observar? Explica.
- Considerando la mecánica clásica, ¿se podría predecir el movimiento de un trompo si se conocen sus condiciones iniciales y las ecuaciones de movimiento?
- ¿Se podría asegurar lo mismo si se piensa en partículas atómicas?, ¿cómo influiría el principio de incertidumbre en esto último?

#### Ten presente que:

- El giro de las partículas subatómicas "espín", es solo una analogía una representación clásica de un fenómeno no observable directamente.

En la **Actividad 4**, pudiste observar el giro de diferentes cuerpos. Al giro de las partículas subatómicas se le designa el nombre de espín, aunque sabemos que es solamente una analogía, pues en el mundo atómico el principio de incertidumbre no puede determinar con exactitud los movimientos de las partículas.

El giro de las partículas subatómicas puede tener solamente dos orientaciones que se describen con un valor positivo y otro negativo. Además, como el electrón y el protón tienen carga eléctrica, al poseer giro producen un campo magnético, es decir, funcionan como pequeños imanes.



Los electrones tienen carga eléctrica negativa, al girar producen un campo magnético inducido, cuyo sentido dependerá de giro.

### 3. Subpartículas atómicas

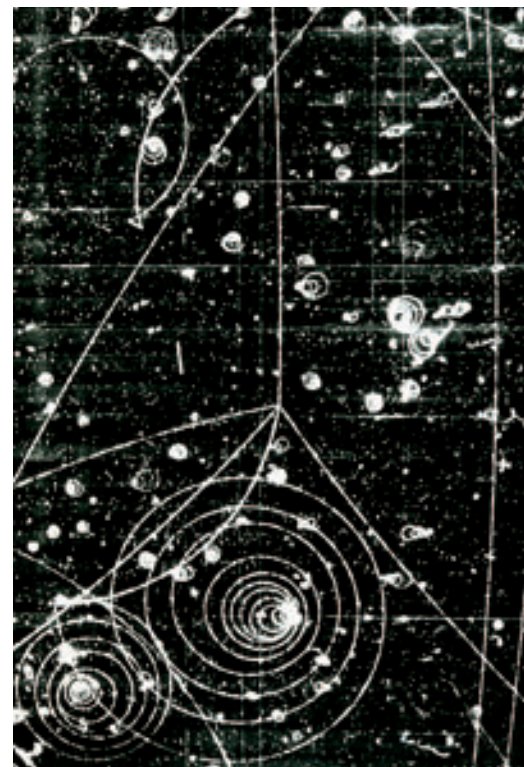
#### 3.1 ¿Se puede dividir un nucleón?

Debido a las pequeñas dimensiones de los átomos, la ciencia tuvo que esperar mucho tiempo para poder realizar experimentos a esa escala; sin embargo, se las arregló para obtener información mediante mediciones indirectas, muchas veces bombardeando átomos como lo hizo Rutherford. Gracias a aquello se habían descubierto partículas como electrones, protones y neutrones. Pero ¿existirán más partículas?, ¿qué se necesitaría para saberlo? Para seguir indagando al interior de la materia, los científicos idearon nuevos instrumentos como los **aceleradores de partículas**, en ellos se logra que las partículas adquieran una gran energía cinética, suficiente para que al impactar se fragmenten, es decir, aparezcan nuevas partículas, las que se hacen visibles mediante su trayectoria en cámaras de burbujas. Se descubrió así que los **nucleones** (protones y neutrones) no eran partículas fundamentales.

A partir del año 1945, se comenzaron a realizar experimentos en los aceleradores, obteniéndose un gran número de partículas que se empezaron a clasificar según su comportamiento. El **modelo estándar** es la síntesis del conocimiento sobre la interacción entre aquellas partículas. En el año 1963, los físicos norteamericanos **Murray Gell-Man** y **George Zweig** plantearon de manera independiente que los comportamientos observados se podían explicar con la existencia de partículas más pequeñas, que Gell-Mann llamó **quarks**.

#### ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

Imagina que una nave espacial te lleva a un planeta distante en que los científicos intentan determinar las propiedades del átomo. Ellos aceleran partículas y las hacen colisionar entre sí, pero el resultado es siempre el mismo: rebotan. ¿Se podrían establecer leyes físicas en ese micro-mundo?, ¿cuál es la importancia de los diferentes resultados en la exploración de un nuevo fenómeno?



La imagen muestra la trayectoria de partículas subatómicas al interior de una cámara de burbujas, luego de una colisión. Muchas veces se realizan bajo la influencia de un campo magnético intenso para determinar si tienen propiedades eléctricas.

#### ¿? CONCEPTOS CLAVE

**Cámara de burbujas:** es un detector de partículas cargadas eléctricamente. La cámara la compone un depósito que contiene hidrógeno líquido, el que se encuentra a una temperatura algo más baja que su temperatura de ebullición. La partícula cargada deposita la energía necesaria para que el líquido comience a hervir a lo largo de la trayectoria, formando una línea de burbujas.

**El modelo estándar:** es una teoría que describe las relaciones (interacciones fundamentales) conocidas entre partículas elementales.

### ¿QUÉ HAY EN EL INTERIOR DE LOS NUCLEONES?

A continuación, se representan el modelo de un neutrón y de un protón según la teoría de los quarks. Estos se combinan configurando las propiedades de los nucleones. Responde las preguntas que aparecen a continuación.

Neutrón



Protón



- A juzgar por la representación de los quarks en el dibujo, ellos son distintos, ¿qué diferencias físicas te imaginas que puedan tener?
- ¿Qué diferencias puedes notar entre los quarks que forman a protones y neutrones?
- ¿Qué relación crees que pueda tener lo anterior con el hecho de que los neutrones no posean carga eléctrica mientras que los protones tengan carga positiva?

#### Ten presente que:

- La física de partículas también se conoce como física de alta energía, ya que es necesario acelerar partículas y hacerlas chocar para poder estudiar sus resultados. Debido a esto, las partículas se clasifican según la energía que se necesita para visualizarlas. La primera generación se refiere a partículas de baja energía, como las que se manifiestan en el universo cotidiano (quarks u y d), mientras que las partículas de segunda (c y s) y tercera generación (t y b), aparecen en situaciones de mayor energía.

### 3.2 Propiedades de los quarks

A las características de los quarks se les llama “*flavor*” (sabor en español), y se denominan *up* (arriba), *down* (abajo), *charm* (encanto), *strange* (extraño), *top* (cima) y *bottom* (fondo). En la siguiente tabla se reúnen sus principales características.

Tabla 1: Características de los quarks.

Sabor	Masa ( $Ge V/c^2$ )	Carga eléctrica
u ( <i>up</i> )	0,004	+2/3
d ( <i>down</i> )	0,008	-1/3
c ( <i>charm</i> )	1,5	+2/3
s ( <i>strange</i> )	0,15	-1/3
t ( <i>top</i> )	176	+2/3
b ( <i>bottom</i> )	4,7	-1/3

Fuente: [www2.slac.stanford.edu/vvc/theory/quarks.html](http://www2.slac.stanford.edu/vvc/theory/quarks.html)

Es importante hacer notar que su carga eléctrica es fraccionaria y que combinándose forman distintas partículas; por ejemplo, ¿qué cargas tendrían el neutrón y el protón si se suman las cargas de sus componentes?

Existe otra característica de los quarks llamada carga de color o simplemente color, y no tiene que ver con la percepción de la frecuencia de la luz. Para que la configuración de los quarks resulte una simetría matemática, se asigna otro número cuántico denominado color. Los tres colores fundamentales de los quarks son el rojo, el verde y el azul.

### Actividad 6

OBSERVAR-INFERIR

## CARACTERÍSTICAS DE LOS QUARKS

Para profundizar sobre las características de los quarks responde las preguntas que se proponen a continuación, para ello recurre a lo explicado en el texto, junto con investigar en fuentes bibliográficas o en Internet.

1. Combinando las características del color y el sabor. ¿Cuántos tipos de quarks crees existen?
2. ¿Qué representa el isospín de los quarks?
3. ¿Qué son los antiquarks?

### 3.3 ¿Se pueden separar los quarks?

Hay ciertas propiedades de la materia que no son evidentes y a las que solo se puede acceder a través de la experimentación. En el caso de un imán, este presenta un polo norte y uno sur, los que se manifiestan en la repulsión en caso de ser iguales y la atracción en caso de ser distintos. Cada vez que se divide el imán se vuelven a obtener dos imanes más pequeños, pues el magnetismo está relacionado finalmente con la orientación de las moléculas del material.

De manera similar, en el caso de los quarks, aparecen algunas propiedades curiosas y para nada evidentes, por ejemplo, la fuerza de atracción entre ellos no disminuye al aumentar la distancia, como con la fuerza gravitacional o la eléctrica. Es decir, si se quieren separar dos quarks, se invierte cada vez más energía en ello, hasta que se forma una nueva pareja de quarks, de manera similar a como se forman dos imanes al dividir uno.

### ¿QUÉ SUCCEDERÍA SI...? \_\_\_\_\_

La fuerza de gravedad decrece con la distancia, ¿qué sucedería si la fuerza tuviera el mismo comportamiento con la distancia que los quarks? Aplícalo al caso que se quiera lanzar un cohete al espacio.

### Actividad 7

ORDENAR-SINTETIZAR

## FÍSICA DE PARTÍCULAS

Realiza una investigación bibliográfica de la física de las partículas consultando libros de física e Internet. Guíate por los siguientes objetivos:

1. Determinar cuáles son las partículas fundamentales según el modelo estándar.
2. Realizar un cuadro resumen con las principales partículas y sus características.

## 4. Función de los neutrones

## Actividad 8

## ANALIZAR

## COMPARANDO NUCLEONES

A continuación se presentan algunos elementos químicos, con su número másico, número atómico y número de neutrones. Recuerda que el número atómico corresponde al número de protones y que el peso atómico es la suma de la masa de los protones y neutrones.

	A
W	
B	
C	

Clave

- A. Número atómico  
B. Símbolo  
C. Peso atómico

26 <b>Fe</b> 55.85	27 <b>Co</b> 55.94	28 <b>Ni</b> 55.71	29 <b>Cu</b> 63.54	30 <b>Zn</b> 65.37	31 <b>Ga</b> 69.72
44 <b>Ru</b> 101.1	45 <b>Rh</b> 55.85	46 <b>Pd</b> 55.85	47 <b>Ag</b> 55.85	48 <b>Cd</b> 112.41	49 <b>In</b> 114.82
76 <b>Os</b> 190.2	77 <b>Ir</b> 192.2	78 <b>Pt</b> 195.09	79 <b>Au</b> 197.0	80 <b>Hg</b> 200.61	81 <b>Tl</b> 204.39

- Ordena los resultados en una tabla, en orden creciente de peso atómico, de manera que sea sencillo comparar su número de protones y neutrones.
- Para cada uno de los elementos químicos, calcula el número de neutrones.
  - ¿Qué ocurre con el número de neutrones en comparación con el de protones a medida que los átomos son más pesados?
  - Si los protones tienen carga positiva, ¿por qué el núcleo no se separa?
  - En función de las preguntas anteriores, formulen una hipótesis sobre la función de los neutrones en el núcleo.



## CONCEPTOS CLAVE

**Neutrino:** partículas subatómicas de carga neutra y espín fraccionario. Tienen una masa pequeñísima, aproximadamente unas 200 mil veces menor que la del electrón.

**Antineutrino:** es la antipartícula del neutrino.

Como muchas partículas, el neutrón tuvo un “nacimiento teórico”, ya que fue propuesto en el año 1920 por Ernest Rutherford para explicar la estabilidad del átomo. Su función sería mantener unido al núcleo atómico, evitando que se desintegrara por repulsión eléctrica. En el año 1932, el inglés Chadwick encontró neutrones experimentalmente.

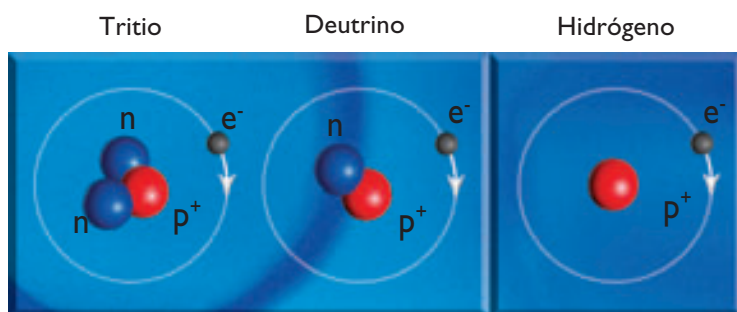
En la actualidad, se sabe que los neutrones están constituidos por dos *quarks down* y un *quark up*, siendo la suma de sus cargas eléctricas cero. También se ha determinado experimentalmente que fuera del núcleo son partículas inestables, teniendo una vida media de 15 minutos, después de los cuales emite un electrón, un antineutrino, y se convierte en un protón.

Los neutrones interactúan fuertemente con los protones venciendo la repulsión eléctrica de aquellos. Esta fuerza es una de las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza.

## 4.1 Átomos con distinto número de neutrones

¿Es posible que dos sustancias formadas por los mismos elementos químicos tengan distinto peso atómico? Aunque parezca raro, la respuesta es sí. Por ejemplo, la llamada "agua pesada" tiene las mismas propiedades químicas del agua, pero se diferencia en tener una masa mayor, esto sucede por la cantidad de neutrones de sus átomos.

Los núcleos de todos los átomos de un mismo elemento químico poseen el mismo número de protones, pero, a menudo, contienen distinta cantidad de neutrones. Estos tipos de átomos se denominan **isótopos**. Por ejemplo, el hidrógeno posee tres isótopos: el hidrógeno común, cuyo núcleo tiene un solo protón; el deuterio, cuyo núcleo posee un protón y un neutrón, el tritio, en cuyo núcleo hay dos neutrones y un protón.



En la **Actividad 8**, pudiste verificar que a medida que aumenta el número de protones en un núcleo, aumenta también el número de neutrones. Por ejemplo, el uranio tiene 92 protones y 146 neutrones. Sin embargo, aun así es un átomo que presenta gran inestabilidad nuclear, es decir, tiende a emitir partículas.

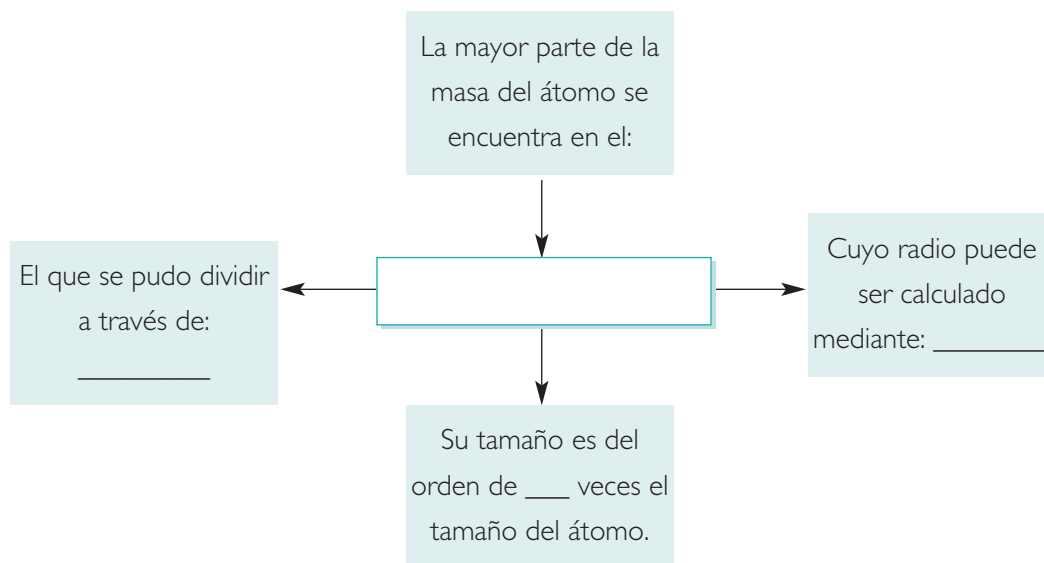
### CONEXIÓN CON... MEDICINA

Los isótopos inestables y que emiten partículas se llaman radioisótopos. Ellos tienen una importante aplicación en la medicina. Por ejemplo, se utilizan radioisótopos como el fluor-18 para realizar exámenes que detectan tumores de manera prematura y sin cirugía. El fluor-18 se administra a los pacientes en forma de fluordeoxiglucosa, que es un azúcar que se mueve por el torrente sanguíneo. Mediante un receptor se percibe la radiación, generándose una imagen de las zonas internas del cuerpo. Este proceso se llama tomografía y en nuestro país el flúor-18 es producido en el ciclotrón del Centro de Estudios Nucleares (La Reina).



## SÍNTESIS

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



## EVALUACIÓN

Lee y responde las siguientes preguntas.

1. Si el núcleo de un átomo lo representáramos por una bolita de 2 cm de diámetro, ¿a qué distancia tendríamos que situar el electrón?
2. ¿A qué se les llama nucleones?
3. ¿Qué representa el espín de una partícula subatómica?
4. ¿Por qué los nucleones no son partículas fundamentales? Explica.
5. ¿Qué distingue los distintos tipos de quarks que existen?
6. ¿Se pueden separar los quarks? Explica.
7. ¿Cómo es la relación entre los neutrones y protones en un átomo pesado?
8. ¿Qué es un isótopo?

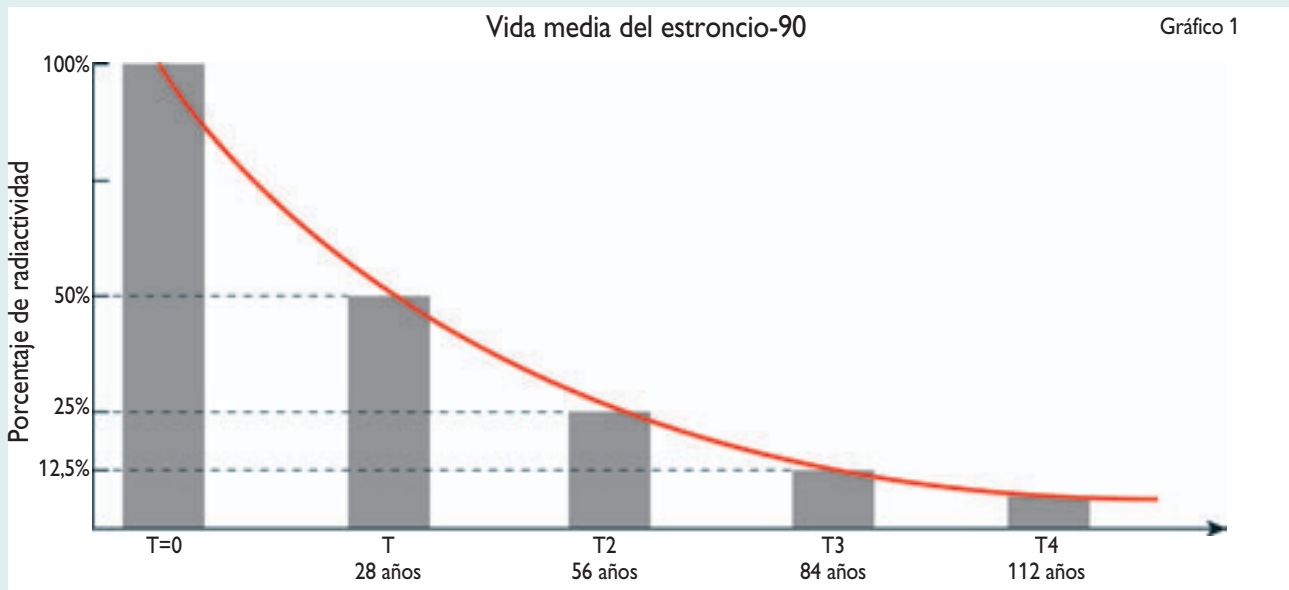
## INDAGACIÓN: DECAIMIENTO RADIOACTIVO

## ¿Cómo se comporta un núcleo inestable?

## Observación

Los átomos de los elementos químicos más pesados son más inestables y tienden a emitir partículas para alcanzar mayor estabilidad. Aun así, un elemento no se mantiene para siempre en su etapa radiactiva, sino que va decayendo su actividad con el tiempo. ¿De qué manera decaerá? ¿Lo hará siempre con la misma intensidad? Planteen una hipótesis al respecto.

El siguiente gráfico muestra el porcentaje de radiactividad del estroncio-90 en el tiempo.



## Procedimiento

Fomen un grupo de cuatro o cinco estudiantes para analizar la información que entrega el gráfico.

## Análisis

- ¿Cómo varía la radiactividad de la muestra en el tiempo?
- ¿Cuánto tiempo demora el estroncio-90 en ser la mitad de radiactivo que en un comienzo?
- A los 84 años, desde la creación del elemento, ¿qué porcentaje de radiactividad mantiene?
- ¿Qué tipo de curva podrá representar mejor el comportamiento observado en el gráfico?
- ¿Se puede saber qué porcentaje de radiactividad presenta el elemento a los 112 años?
- Si se supiera cómo es exactamente la curva del estroncio-90, ¿se podría determinar el porcentaje de radiactividad a los 200 años, o en cualquier momento? Expliquen.





Los rayos X tuvieron una inmediata aplicación en la medicina, con las radiografías. En la imagen, la mano de Roentgen vista a través de los rayos X.

## 5. Radiactividad

Como pudiste observar en la **Indagación** anterior, los núcleos de elementos inestables decaen para tener una mayor estabilidad, es decir, emiten partículas u ondas electromagnéticas de alta energía. A ese proceso se le conoce con el nombre de **decaimiento radiactivo**. El estudio de las radiaciones y la radiactividad comenzó a principios del siglo XX.

En el año 1895, el físico alemán **Wilhelm Roentgen** (1845-1923) descubrió los rayos X al experimentar con tubos de rayos catódicos. Este investigador observó que al poseer tanta energía, las partes blandas del cuerpo eran prácticamente transparentes a la radiación, motivo por el cual tuvo inmediata aplicación en la medicina (la radiografía); esto estimuló a otros científicos a investigar el tema.

En 1896, el francés **Henri Becquerel** (1852-1908) descubrió casualmente la radiactividad del uranio, al guardar sal de uranio en un cajón junto a placas fotográficas. Becquerel observó que las placas fueron impactadas por una radiación proveniente de la sal. Dos años más tarde, la pareja de científicos formada por el francés **Pierre Curie** (1859-1906) y la polaca **Marie Skłodowska** (1867-1934), más conocida como madame Curie, descubrieron que el torio era el único elemento que tenía una radiactividad similar al uranio. También descubrieron que algunos minerales eran más radiactivos que el uranio puro, como la pechblenda, el polonio y el radio. Ellos demostraron que la radiactividad era una propiedad natural de algunos tipos de átomos.

### Actividad 9

### SELECCIONAR INFORMACIÓN

#### INVESTIGACIÓN HISTÓRICA

Elabora una línea de tiempo con los principales hechos y científicos ligados al descubrimiento de la radiactividad. Para tu investigación consulta libros de física y la red de Internet.

#### REFLEXIONEMOS

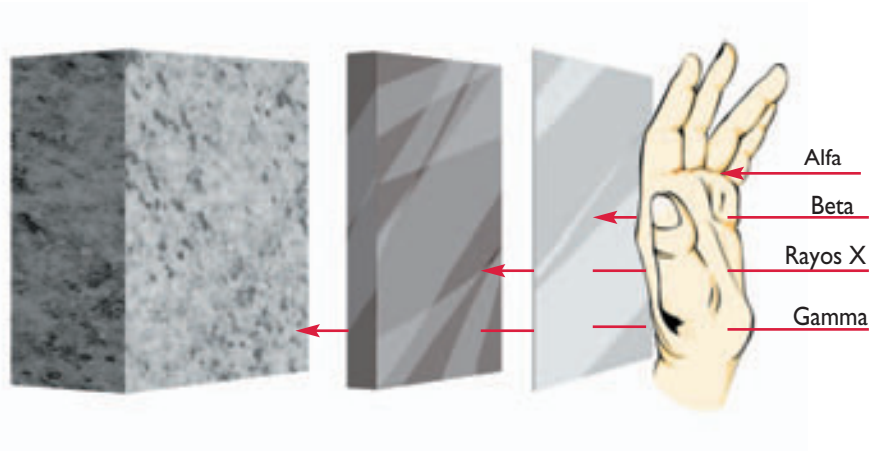
Los esposos Curie trabajaron con sustancias radiactivas sin saber que su manejo directo era dañino para la salud. Pierre probó el radio sobre su piel; esto le originó algunas heridas y quemaduras. Marie murió a los 60 años, con marcas de quemaduras en los dedos y casi ciega. En la actualidad, la manipulación de elementos radiactivos es sumamente cuidadosa y los lugares donde se trabaja con esos elementos están debidamente señalizados.

- Averigua qué medidas de seguridad se deben tomar para protegerse del contacto directo con esas sustancias.
- Comenta por escrito qué es lo que debes hacer frente a una sustancia desconocida. ¿Cuál es la importancia de disponer de información al respecto?

## 5.1 Tipos de radiación

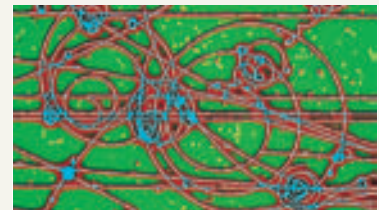
A principios del siglo XX, se desarrollaron numerosos experimentos para estudiar la naturaleza de las distintas radiaciones. Los resultados sugirieron clasificarlas en tres tipos de emisiones: alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ), correspondientes con las tres primeras letras del alfabeto griego. A continuación, se muestra en el esquema la capacidad de penetración de estas tres radiaciones.

- Las emisiones  $\alpha$  son núcleos de helio y tienen bajo poder de penetración; basta una hoja de papel o la piel humana para detenerla. Se pueden detectar con papel fotográfico, cámara de niebla, contador Geiger, etc. Tienen carga eléctrica positiva (dos protones) y la masa de sus cuatro nucleones.
- Las emisiones  $\beta$  son electrones y tienen un poder de penetración mediano, pues se pueden detener por una lámina delgada de aluminio o de acrílico. Su velocidad es 0,9 veces la velocidad de la luz.
- Las emisiones  $\gamma$  son radiaciones electromagnéticas (fotones) de alta energía; su frecuencia varía entre los  $3 \times 10^{16}$  Hz y los  $3 \times 10^{19}$  Hz (los rayos X tienen la misma naturaleza, pero una energía un poco menor). Su poder de penetración es muy alto, para detenerlos se necesitan varios centímetros de plomo, o bien un muro de hormigón de al menos tres metros de espesor.



### Ten presente que:

- Para detectar las distintas radiaciones, se utilizan instrumentos como: placa fotográfica, cámara de niebla, contador de centelleo, cámara de ionización, cámara de destellos, contador Geiger-Muller, entre otros. Todos aquellos instrumentos fueron creados a medida que la necesidad de la investigación científica lo requería. Averigua en qué consisten algunos de esos instrumentos y reflexiona sobre el rol de la tecnología en la investigación científica.



En la fotografía se aprecian trazas hechas por partículas al interior de una cámara de burbujas.

## 5.2 Ondas electromagnéticas de alta energía

### Actividad 10

### SELECCIONAR INFORMACIÓN

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS RADIACIONES

Formen un grupo de tres o cuatro estudiantes y completen la siguiente tabla. Pueden utilizar la información de este libro o de otros textos de física, así como Internet. Cuando se trate de datos, comparen los resultados obtenidos en distintas páginas confiables.

Radiación	Identificación	Carga eléctrica	Masa	Velocidad	Símbolo	ionización
alfa				0,1 c	${}^4_2\alpha$	
	electrón	-e			${}^0_{-1}\beta$	mediano
gamma			no tiene		${}^0_0\gamma$	

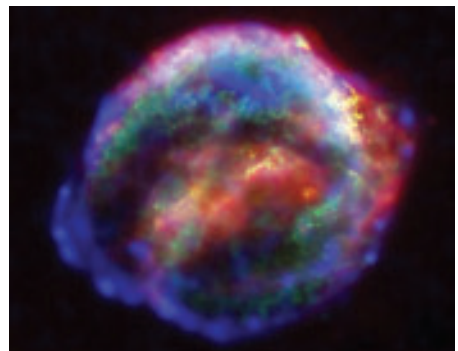
A continuación, respondan las siguientes preguntas:

- ¿Cuál de las radiaciones será más peligrosa para el ser humano?, ¿por qué?
- Averigüen una utilidad de cada tipo de radiación.
- Investiguen quiénes fueron los descubridores de cada una de las radiaciones.

Es importante mencionar que los rayos X y los gamma son radiaciones electromagnéticas de la misma naturaleza que la luz visible y son los que tienen un mayor poder de penetración. Corresponden a la zona del espectro electromagnético de mayor frecuencia, más aún que la radiación ultravioleta; por lo mismo, son ondas portadoras de mucha energía. Recuerda que la energía aumenta con la frecuencia según la relación  $E = hf$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $f$  es la frecuencia de la onda.

#### CONEXIÓN CON... ASTRONOMÍA

Los rayos X y gamma se pueden producir artificialmente mediante osciladores eléctricos de alta frecuencia, y se presentan de manera natural en varios elementos radiactivos terrestres, como algunos minerales y elementos químicos. A nivel astronómico también hay fuentes de rayos X y gamma, generalmente asociados a fenómenos de alta energía, como supernovas, púlsares y en procesos al interior de las estrellas.



## 6. Características de la desintegración radiactiva

Como ya estudiamos, los núcleos inestables de los isótopos radiactivos tienden a buscar configuraciones más estables emitiendo radiaciones, proceso llamado desintegración o decaimiento radiactivo. Algunas características del decaimiento radiactivo son:

- No es continuo, sino que se realiza a través de sucesivas emisiones.
- Es aleatorio (no es posible predecir cuál núcleo se desintegrará en un determinado instante).
- Es posible determinar con gran precisión el número de átomos que decaerán en un intervalo de tiempo.

En el año 1903, los físicos **Rutherford** y **Frederick Soddy** (1877-1956) propusieron un modelo probabilístico y estadístico para el decaimiento radiactivo. Ellos concluyeron que la rapidez con que se desintegran los núcleos presentes en una muestra radiactiva es directamente proporcional al número de estos. Si  $N$  es el número de núcleos activos en una determinada muestra radiactiva, entonces la rapidez de desintegración se expresa de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

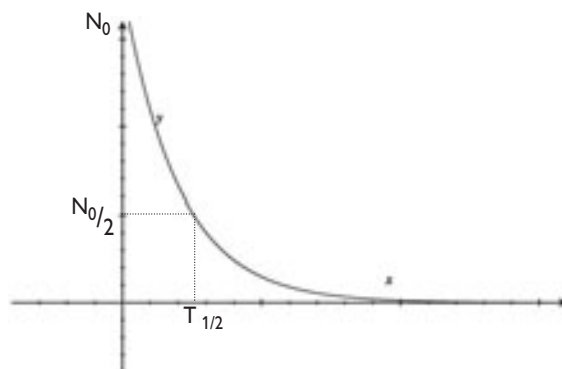
Donde la constante de proporcionalidad  $\lambda$  es llamada constante de desintegración del radioisótopo. Otra forma de enunciar esta ley es a través de la siguiente relación:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

En que  $N_0$  representa la cantidad inicial de radioisótopos. El gráfico de dicha relación corresponde a una curva exponencial, como la que observaste en la **Indagación** de la página 150.

### CONEXIÓN CON... MATEMÁTICA

La curva exponencial, como la que representa el decaimiento radiactivo, sirve para modelar otros fenómenos físicos, como la carga y descarga de un condensador; incluso puede modelar situaciones en áreas de la economía o de la salud. En biología, por ejemplo, puede representar el decaimiento de una epidemia.



## SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UNA DESINTEGRACIÓN

Para la siguiente actividad, formen grupos de seis integrantes y consigan la mayor cantidad posible de dados (al menos 15).

1. Sobre una superficie plana lancen todos los dados (registren el número inicial  $N_0$ ). Retiren del juego todos los dados que resultaron de un cierto valor, elegido arbitrariamente por ustedes (por ejemplo, el 3).
2. Registren el número de la tirada, la cantidad de dados que se sacan y la cantidad de dados que quedan.
3. Repitan el procedimiento al menos unas diez veces.
4. Realicen un gráfico en el que representen, en el eje vertical, el número de dados en juego, y en el eje horizontal, el número de la tirada.
5. ¿Qué relación tiene la curva obtenida con la curva de la desintegración radiactiva?
6. Al hacer una analogía entre el juego realizado y la desintegración, ¿qué representaría el total de dados tirados cada vez?, ¿qué representan los dados que se sacan?, ¿qué representa el número de tiradas?
7. ¿Podrían estimar el tiempo en que la muestra se reduce a la mitad?

## 6.1 Vida media de una sustancia

La vida media de una sustancia es el tiempo en que una sustancia radiactiva se reduce a la mitad, pero ¿cómo se puede calcular ese tiempo? Consideremos la expresión que nos permite determinar el número de isótopos activos:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ . Como la vida media ( $T$ ) determina cuándo el número de isótopos es  $N_0/2$ , la relación nos queda:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

Y despejando el valor  $T$ , resulta

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

Por lo tanto, la vida media de una sustancia depende solamente de la constante de decaimiento ( $\lambda$ ).

Tabla 2: Vidas medias y constantes de decaimientos.

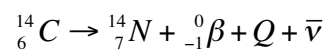
PERÍODOS DE VIDA MEDIA ( $T$ ) Y CONSTANTE DE DECAIMIENTO ( $\lambda$ )		
RADIOISÓTOPO	$T$ (s)	$\lambda$ (s <sup>-1</sup> )
Uranio-238	4,47 x 10 <sup>9</sup> años	5,0 x 10 <sup>-18</sup>
Carbono-14	5 730 años	3,9 x 10 <sup>-12</sup>
Radio-226	1 600 años	1,4 x 10 <sup>-11</sup>
Cobalto-60	5,2 años	4,2 x 10 <sup>-9</sup>

Fuente: Archivo editorial

## 6.2 Datación radiactiva

¿Qué tienen en común una momia encontrada en el desierto de Atacama con un utensilio de madera encontrado en el extremo sur? Ambos contienen carbono. Este hecho es clave para calcular la edad de los objetos por medio del **método del carbono-14**.

El radioisótopo carbono-14 es abundante en la naturaleza, pues lo absorben las plantas, para luego ingresar a los seres vivos a través del alimento. Por tanto, cuando un ser vivo muere, se detiene la asimilación del carbono-14 y el radioisótopo se desintegra según la relación:



Es decir, el carbono-14 se convierte en un núcleo estable de nitrógeno, pero en el cambio emite una partícula  $\beta$ , energía ( $Q$ ) y un antineutrino ( $\bar{\nu}$ ). Además, mientras el organismo está vivo, mantiene una proporción con el carbono-12, que no es radiactivo, dada por:

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

Al pasar el tiempo el  $C_{14}$  disminuye, mientras el  $C_{12}$  permanece igual, entonces al conocer la proporción entre estos isótopos se puede estimar el tiempo transcurrido desde la muerte del organismo.



El método del carbono-14 permite datar organismos que vivieron hasta 60 000 años atrás. A través de este método, se determinó que la momia de un niño encontrada en el cerro El Plomo vivió hace 500 años.

### CONEXIÓN CON...

#### ARTE

El plomo-210, con una vida media de 22 años, es también un isótopo radiactivo que sirve para fechar objetos. Se ha utilizado para determinar la antigüedad de obras de arte, que están pintadas con pinturas que contienen plomo. Así, se han descubierto falsificaciones de cuadros famosos, que de otro modo no hubieran sido detectadas. Un caso es el de las obras del pintor holandés Jan Vermeer (1632-1675), que fueron copiadas por un pintor del siglo XX y vendidas como auténticas.



*La joven de la perla,*  
Jan Vermeer.

## EJERCICIO RESUELTO 1

## ¿Hace cuántos años vivió el mamut?

Se ha encontrado un mamut congelado en un iceberg. Al analizar sus componentes de carbono-14, se ha encontrado que el número de radioisótopos activos está dado por la relación  $N = 7,07 \times 10^{-2} N_0$ ; es decir, la actividad actual ( $N$ ) es del orden de la centésima de la actividad radiactiva inicial ( $N_0$ ).



- Partiremos de la ecuación del decaimiento radiactivo:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

- Y sabemos la relación entre los isótopos activos y los isótopos iniciales:

$$\frac{N}{N_0} = 7,07 \times 10^{-2} \quad (2)$$

- Entonces, reemplazando (2) en (1), resulta:  $7,07 \times 10^{-2} = e^{-\lambda t}$
- Como queremos saber el tiempo  $t$ , debemos aplicar logaritmo natural sobre la relación encontrada:

$$7,07 \times 10^{-2} = e^{-\lambda t} / \ln$$

$$\ln (7,07 \times 10^{-2}) = -\lambda t$$

- El valor de la constante de decaimiento del carbono-14 es  $\lambda = 3,9 \times 10^{-12}$ . Luego el valor del tiempo nos queda:

$$t = -\frac{\ln (7,07 \times 10^{-2})}{\lambda}$$

$$t = 6,79 \times 10^{11} \text{ s}$$

Lo que corresponde aproximadamente a 21 536 años.

## 7. Energía en los decaimientos nucleares

En todos los procesos de decaimiento radiactivo, estarán presentes balances de energía, de manera parecida a como la masa se conserva en una mezcla química. A nivel atómico, la energía total que hay antes de una emisión debe ser igual a la que hay después de la emisión.

Detengámonos en la energía de una partícula. En el año 1905, el físico **Albert Einstein** (1879-1955) postuló su teoría especial de la relatividad. Entre los muchos aportes de dicha teoría, estableció la energía que tiene una partícula que se encuentra en reposo, mediante la ecuación:

$$E = mc^2$$

Donde **m** es la masa de la partícula y **c** la velocidad de la luz. De lo anterior se puede deducir que un solo gramo de materia ¡contiene 90 millones de megajoules de energía! Y ya que sabemos que casi toda la masa de los átomos se encuentra en el núcleo, es allí donde se concentra la mayor parte de la energía.

¿Qué tiene que ver lo anterior con el decaimiento radiactivo? Recordemos que los tipos de emisiones que conocemos son la  $\alpha$ , la  $\beta$  y la  $\gamma$ . A continuación, estudiaremos en detalle qué es lo que ocurre con la energía en cada una de esas emisiones.

### Ten presente que:

- La ley de la conservación de la energía proviene de la termodinámica y afirma que, en un sistema cerrado, esta permanece invariable en el tiempo; en otras palabras, sostiene que la energía no se crea ni se destruye, a pesar de que esta puede cambiar de forma. Un sistema termodinámico está formado por la interacción de millones de moléculas, ¿seguirá siendo válida esta ley a nivel de núcleo atómico?

### Actividad 12

ORDENAR-SINTETIZAR

#### PELIGROS DE LA RADIACIÓN

Formen un grupo de cuatro o cinco compañeros y compañeros y realicen una investigación bibliográfica sobre los peligros de las radiaciones en los seres vivos.

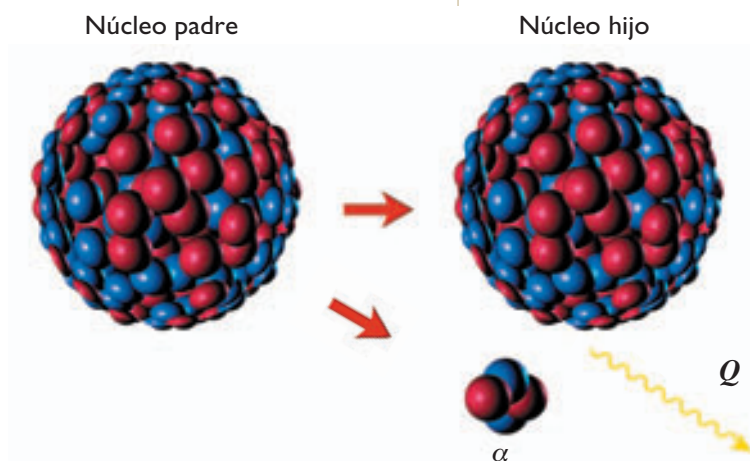
- Averigüen si es acumulativo el efecto de las radiografías o la radiación ultravioleta en el organismo.
- Indiquen las dosis límites de radiación por año que soporta el cuerpo humano, ¿en qué unidades se miden?



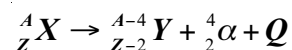
## 8. Tipos de emisiones

Por convención, el núcleo que emite una radiación se denomina **núcleo padre** ( $X$ ), y el que se forma luego de la emisión se llama **núcleo hijo** ( $Y$ ). Además, en el proceso se emite una cierta cantidad de energía que designaremos con la letra  $Q$ .

### 8.1 Emisión alfa ( $\alpha$ )



Cuando un núcleo padre de número másico  $A$  y número atómico  $Z$  emite una partícula alfa, se convierte en un nuevo núcleo, cuyo nuevo número másico es  $(A-4)$ , y su número atómico queda como  $(Z-2)$ . La transmutación queda descrita por la siguiente ecuación:



Si  $m_x$  y  $m_y$  representan las masas del núcleo padre e hijo, respectivamente, y  $m_\alpha$  corresponde a la masa del núcleo de helio emitido, la manera de calcular la energía de la desintegración, según la ecuación de Einstein, es:

$$Q = (m_x - m_y - m_\alpha) c^2$$

Esto quiere decir que la masa no se conserva en el sentido macroscópico, sino que parte de ella (la diferencia) se convierte en energía. Para realizar el cálculo correspondiente, las masas se expresan en unidades atómicas y la energía en megaelectrón volts (MeV). Como la unidad de masa atómica es de  $1,66605 \times 10^{-27}$  kg, realizando las transformaciones de unidades nos queda:

$$Q = 931,5 (m_x - m_y - m_\alpha) \text{ MeV}$$

Donde 931,5 MeV corresponden a la energía de una masa atómica.

#### Ten presente que:

- Para calcular la energía en una desintegración nuclear, la masa de los componentes se mide en unidad atómica (u); para ese caso se tiene que:

masa del protón = 1,00727 u

masa del neutrón = 1,00867 u

masa partícula alfa = 4,03188 u

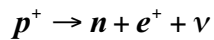
masa del electrón =  $5,4858 \times 10^{-4}$  u

## 8.2 Emisiones beta ( $\beta$ )

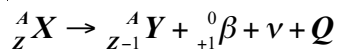
Los experimentos han determinado que existen dos tipos de emisiones beta: la emisión  $\beta^+$ , en que el núcleo emite un positrón (de carga positiva, pero con la masa del electrón), y la  $\beta^-$ , en que el núcleo emite un electrón.

### a. Emisión beta positiva ( $\beta^+$ )

Lo que sucede en este tipo de emisión, es que un protón del núcleo atómico pierde su carga eléctrica, es decir, se convierte en un neutrón. Generalmente, esto ocurre en núcleos cuya cantidad de protones es mayor que la de neutrones. En ese proceso, el protón emite un neutrino (sin carga eléctrica y masa casi nula) y un positrón (de carga eléctrica positiva y la misma masa que el electrón):

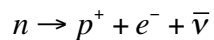


El proceso completo para el núcleo padre ( $X$ ) y el núcleo hijo ( $Y$ ) queda expresado en la siguiente ecuación:

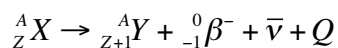


### b. Emisión beta negativa ( $\beta^-$ )

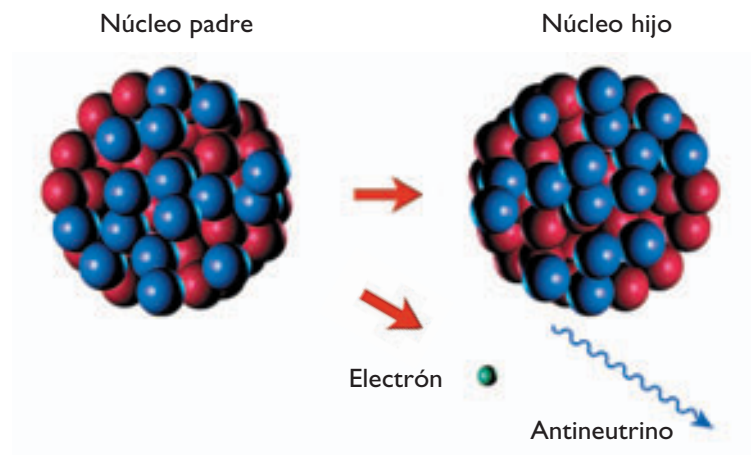
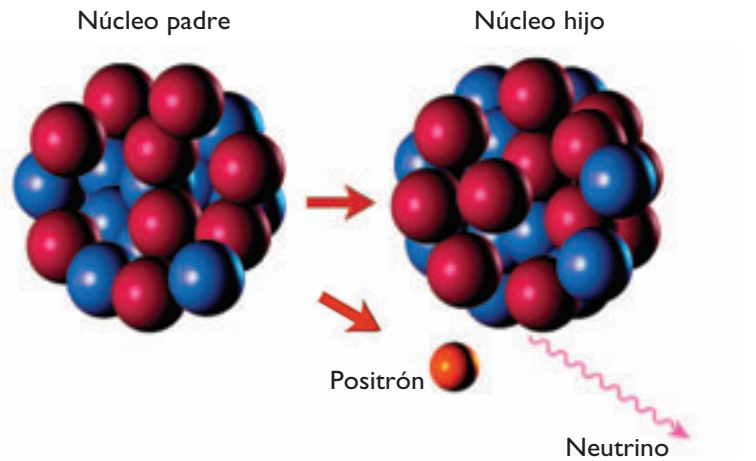
En este proceso, un neutrón del núcleo atómico experimenta un fenómeno en el cual se transforma en un protón, liberando un electrón. El protón permanece al interior del núcleo, mientras el electrón es expulsado.



La partícula  $\bar{\nu}$  es un antineutrino, no tiene carga eléctrica y su masa es muy reducida. El proceso completo para el núcleo está representado por la siguiente ecuación:



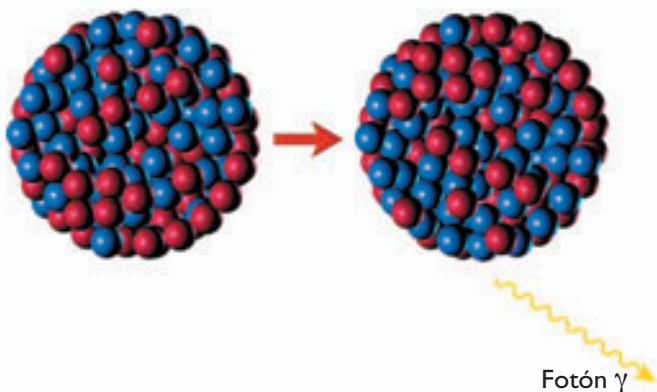
Recordemos que la energía  $Q$  se puede obtener de la ecuación de Einstein  $E = mc^2$ , donde  $m$  será la diferencia entre la masa del núcleo antes y después de la emisión.



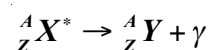
### 8.3 Emisión gamma ( $\gamma$ )

Núcleo excitado

Núcleo en estado fundamental



Luego de los procesos de decaimiento, generalmente los núcleos atómicos quedan excitados, es decir, en un estado energético mayor que el normal, entonces, para volver a su estado fundamental emiten una onda electromagnética de alta frecuencia, esta es la radiación gamma. Lo anterior queda representado por la siguiente ecuación:



Donde el término  ${}^A_Z X^*$  representa un núcleo excitado y  $\gamma$ , a uno o más fotones gamma. De acuerdo al principio de cuantización de energía, la energía de los fotones emitidos corresponde a la energía de transición entre dos estados estacionarios. Los fotones gamma tienen niveles elevados de energía que varían de 1 MeV a 1 GeV, mientras que las longitudes de onda varían entre 0,1 y 0,01 nm.

También puede haber emisión gamma cuando un núcleo es impactado por una partícula de masa elevada, dejándolo excitado, entonces, para volver a su estado fundamental emite uno o varios fotones gamma.

#### Actividad 13

#### SINTETIZAR-ANALIZAR

### DECAIMIENTOS RADIATIVOS

Reúnete junto con tres compañeros y compañeras y desarrollen las siguientes actividades.

1. Realicen una tabla en la que se resuman las principales características de las emisiones alfa, beta y gamma.
2. Con respecto a las emisiones que se presentan a continuación, identifiquen de qué tipo de emisión se trata, cuáles son los elementos que interactúan y cuál es el proceso. Explíquenlo por escrito.

- ${}^{14}_6 C \rightarrow {}^{14}_7 N + {}^0_{-1} \beta + \bar{\nu} + Q$
- ${}^{12}_7 N \rightarrow {}^{12}_6 C + {}^0_{+1} \beta^+ + \nu + Q$
- ${}^1_0 n + {}^{238}_{92} U \rightarrow {}^{239}_{92} U^* \rightarrow {}^{239}_{92} U + \gamma$

3. Analicen cada una de las emisiones desde el punto de vista de la conservación de la carga y la energía; ¿se cumple siempre?

## Estabilidad de núcleos atómicos

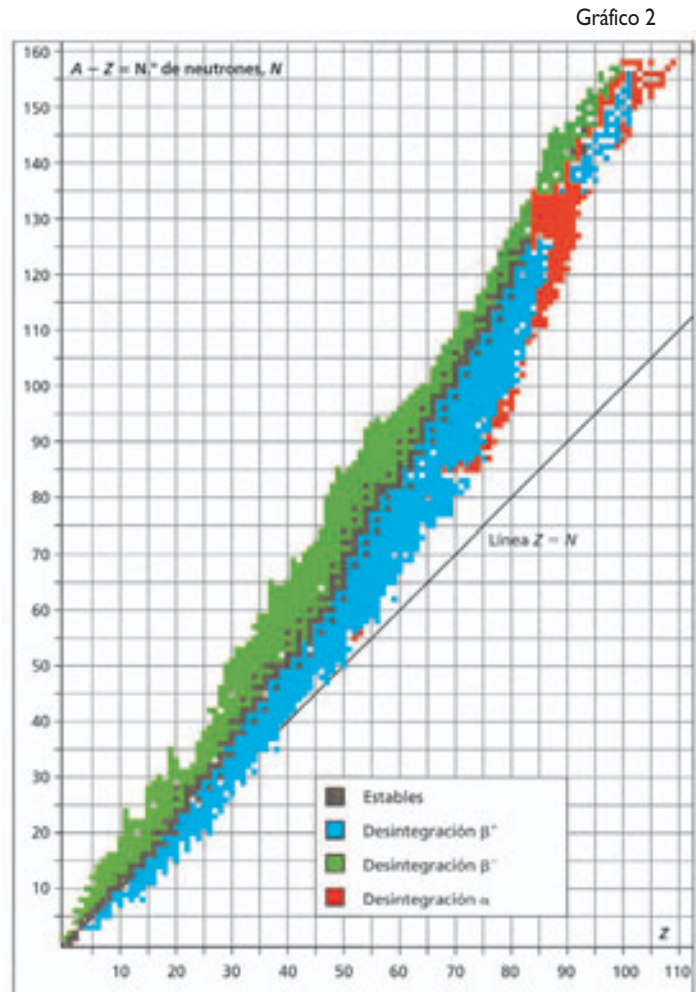
### ¿Qué características tienen los núcleos radiactivos?

#### Observación

Se ha determinado que la radiactividad de ciertos elementos químicos se relaciona con la estabilidad del núcleo, y ella depende de la proporción entre protones y neutrones que tenga el núcleo. Pero ¿cuál será la relación que hace a un núcleo más inestable? Reúnete junto con cuatro compañeras y compañeros y traten de dar una explicación a dicho fenómeno.

#### Procedimiento

En el siguiente gráfico, se presenta una serie de núcleos atómicos. En el eje vertical está representado el número de neutrones, mientras que en el eje horizontal, la cantidad de protones. A partir de él, desarrollen las siguientes preguntas.



#### Análisis

- ¿Qué representa la línea recta que cruza el gráfico?
- ¿Qué tipo de átomos son los que presentan una mayor estabilidad?
- ¿Aproximadamente, de qué número atómico se comienza a presentar inestabilidad?
- ¿Cómo es la relación entre protones y neutrones en los núcleos que presentan desintegración alfa?
- ¿Desde qué número atómico todos los núcleos son inestables?



Al intentar separar dos imanes que están atraídos por sus polos opuestos, se invierte una cierta energía. Algo similar, pero de mayor intensidad, ocurre al intentar separar dos nucleones; sin embargo, en ese caso, parte de la masa se convierte en energía.

## 9. Fuerza nuclear

De la investigación de la página anterior, se puede deducir que el número de neutrones supera al de protones a medida que los elementos son más pesados. Además, anteriormente se discutió el rol de los neutrones para apantallar la repulsión entre los protones del núcleo. Pero ¿será la única fuerza que actúa en ese ámbito?, ¿basta con el efecto pantalla de los neutrones?

La respuesta fue dada por el físico japonés **Hideki Yukawa** (1907-1981) en el año 1935. Él postuló la presencia de una fuerza de atracción entre los nucleones, de mayor intensidad que la eléctrica, pero de corto alcance. Según su teoría, los nucleones crean campos alrededor suyo, cuyos cuantos de energía son partículas de masa casi nula, llamadas mesones. Entonces, cuando dos nucleones se encuentran a distancias del orden de los  $10^{-15}$  m, se atraen entre sí por el intercambio de mesones.

### 9.1 Energía de ligadura

Si se mide la masa de un trozo de plastilina y luego se divide, la suma de las masas de las dos partes será igual que la del trozo inicial. Algo tan evidente como aquello no ocurre a nivel del núcleo atómico, pues si se mide la masa de dos nucleones unidos, se obtendrá que es mayor que la masa de los nucleones por separados. ¿Qué ocurre con la diferencia de masa?

Para resolver este problema, Einstein planteó que la masa no se pierde, sino que se transforma en la energía necesaria para mantener unidos a los nucleones, según la relación  $E = mc^2$ . Esa energía fue denominada energía de ligadura nuclear y una manera de calcularla es mediante la ecuación:

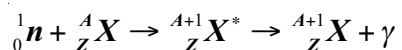
$$E_L = 931,5 \left[ Zm_p + (A - Z)m_n - m \right] \text{ MeV}$$

Donde  $Z$  es el número atómico y  $A$  el número másico;  $m_p$  y  $m_n$  corresponden a la masa del protón y del neutrón medidas en unidades de masa atómica. Finalmente,  $m$  corresponde a la masa del núcleo. ¿Qué ocurrirá si por algún motivo se separan los nucleones y se libera esa energía?

## 10. Reacciones nucleares

Si se tiene un vaso lleno de agua, habrá un punto en que al agregar una gota, el agua desborde el vaso y vuelva a quedar estable, ¿ocurrirá algo similar con el núcleo del átomo? Imagina que un núcleo es impactado por algún proyectil nuclear energético, como una partícula alfa, un protón o un neutrón. Es muy probable que ocurra un cambio estructural en el núcleo, y que, a diferencia del vaso con agua, el resultado sea un núcleo inestable o radiactivo. El caso anterior es un ejemplo de una reacción nuclear.

Es mucho más probable que un neutrón impacte con un núcleo, pues no siente la repulsión de los protones. Esta reacción llamada captura neutrónica se puede expresar de la siguiente manera:



En este proceso, el núcleo captura un neutrón, quedando excitado, luego emite un fotón gamma volviendo a su estado base, pero con un neutrón más.

### 10.1 Fisión nuclear

¿Qué ocurre si un átomo con muchos nucleones recibe el impacto de una partícula a gran velocidad?

En 1939, los alemanes **Otto Hahn** (1879-1968) y **Fritz Strassman** (1902-1980) descubrieron lo que ocurría cuando un neutrón impactaba un átomo de uranio-235 ( ${}_{92}^{235}\text{U}$ ). Al ser impactado, este se dividía en dos trozos de masas similares, además de liberar neutrones y energía.

El físico Niels Bohr intentó explicar el fenómeno aludiendo a una gota de agua (ver ilustración). Su explicación consiste en que, para poder romper una gota, es necesario agregarle energía adicional; si la cantidad de energía proporcionada es lo suficientemente grande, la gota comenzará a vibrar con una amplitud creciente, luego sufrirá compresiones y alargamientos debido a las fuerzas eléctricas, hasta que finalmente se rompe en dos.



#### CONEXIÓN CON...

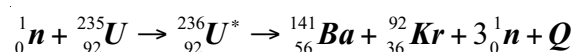
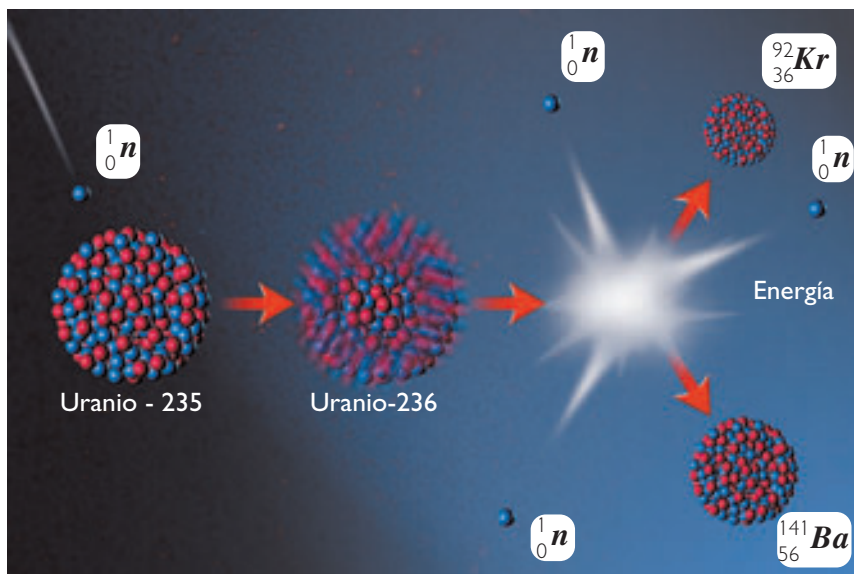
##### BIOLOGÍA

El nombre fisión tiene su origen en la biología, pues se trata de un tipo de reproducción asexual en que un organismo se divide en dos nuevos organismos. Este tipo de reproducción se produce en organismos unicelulares, algas y protozoos.



## 10.2 Fisión del uranio

El uranio es uno de los más utilizados para la fisión nuclear. Es conocido por su alta peligrosidad, es decir, la gran cantidad de energía que es capaz de liberar. Su reacción sucede de la manera que se presenta a continuación.



Un neutrón, al impactar un núcleo de uranio, aumenta su masa y lo deja excitado; luego se produce la fisión generando dos fragmentos (que en este caso son bario y kriptón, pero que pueden variar), algunos neutrones libres y energía. ¿Qué ocurrirá al interior de un trozo de uranio con estos nuevos neutrones que son disparados a gran velocidad?

### INTER@CTIVIDAD

En la página [www.educacionmedia.cl/web](http://www.educacionmedia.cl/web) ingresa el código 10F4166, en ella encontrarás un video en el que representa el proceso de fisión nuclear.

### REFLEXIONEMOS

Cada fisión de un átomo de uranio-235 libera alrededor de 200 MeV de energía. Si se calcula la cantidad de energía liberada por un gramo de uranio, nos resulta la cantidad sorprendente de  $2,3 \times 10^4$  kWh, es decir, la cantidad de energía eléctrica promedio de una casa consumida en ¡10 años! ¿Crees que este tipo de energía podría utilizarse en los hogares? Y de ser así, ¿qué riesgos existen? Investiga.

## Simulación de una reacción en cadena

### ¿Cómo actúa un núcleo inestable ante un incremento de energía?

#### Observación

En la naturaleza, existen muchos elementos químicos ordenados en la tabla periódica, pero se ha observado que los más inestables son los que poseen una mayor cantidad de nucleones. Es posible que bajo ciertas condiciones, uno de esos núcleos se divida, emitiendo fragmentos que a su vez impactan a otros núcleos. ¿Qué sucederá con los demás núcleos de los átomos vecinos?, ¿cómo se podría simular ese fenómeno? Reúnanse en grupos de tres o cuatro integrantes y planteen algunas hipótesis que respondan estas preguntas, luego realicen la siguiente actividad.



#### Procedimiento

1. Consigan un juego de dominó.
2. Dispongan las piezas en filas sobre la mesa (no necesariamente en líneas rectas), de tal modo que si golpeas la pieza del extremo, esta derribará las dos siguientes, y así sucesivamente.
3. Ensayen ordenamientos diferentes de las piezas hasta que decidan cuál es el mejor.



#### Análisis

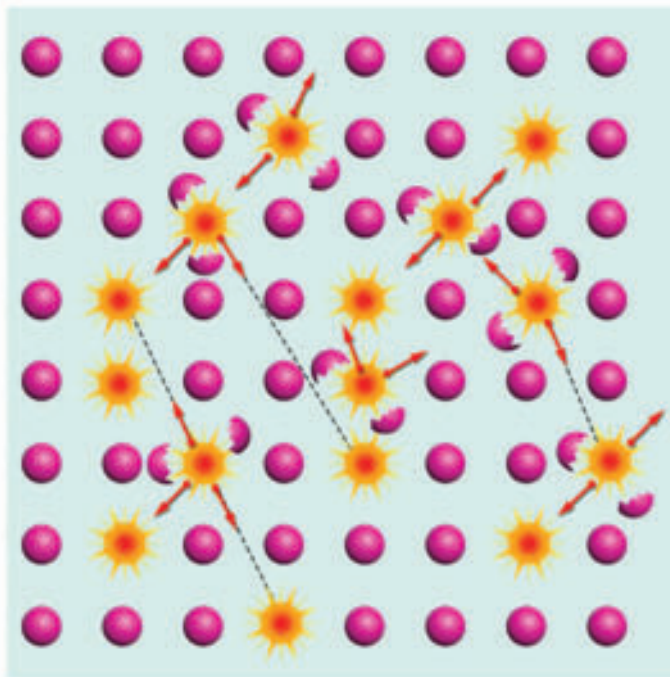
- a. ¿En qué ordenamiento de las piezas se cayeron una mayor cantidad de fichas?
- b. Antes de soltar la primera pieza, ¿de qué forma está almacenada la energía?
- c. ¿Cuál es la similitud con procesos ocurridos en núcleos de átomos inestables?
- d. ¿Qué representan las piezas de dominó?
- e. ¿Qué ocurriría si se consiguiera un millón de piezas?, ¿qué se podría esperar?
- f. La actividad realizada, ¿verificó alguna de sus hipótesis?



### 10.3 La reacción en cadena

La **investigación científica** anterior representa muy bien lo que podría ocurrir al interior de un trozo de uranio, pues al dividirse uno de los núcleos se liberan neutrones que a su vez dividen otros núcleos, produciéndose una especie de avalancha, conocida con el nombre de **reacción en cadena**.

Se ha calculado que si en cada fisión se liberan dos neutrones, al cabo de unas 80 generaciones de fisión, se habrá dividido la cantidad de  $2,42 \times 10^{24}$  núcleos (en menos de un milisegundo). De esa manera, bastaría fisionar medio kilogramo de uranio para liberar aproximadamente la misma energía que en una explosión de 10 mil toneladas de dinamita. Lo anterior es lo que ocurre al interior de una bomba atómica.



El dibujo representa de manera simplificada lo que ocurre con una reacción en cadena al interior del uranio. Cuando se fisiona un núcleo, alguno puede impactar a otro núcleo, produciéndose una nueva fisión, y así sucesivamente.

#### REFLEXIONEMOS

El 6 de agosto del año 1945, se lanzó la primera bomba nuclear sobre una ciudad. Esto ocurrió sobre la ciudad japonesa de Hiroshima y, junto con la bomba sobre la ciudad de Nagasaki, marcaron el fin de la Segunda Guerra Mundial. En la triste fecha murieron alrededor de 300 000 personas, y otras tantas quedaron con daños graves y secuelas producidos por las radiaciones. Investiga cuáles son los efectos de las armas atómicas y cuántos países las poseen en la actualidad. ¿Qué acciones crees que se podrían seguir para evitar este tipo de catástrofes en el futuro?, ¿crees que se le podría dar un uso estrictamente benéfico a la energía nuclear? Averigua cuáles son los efectos que aún sufren las personas que estuvieron expuestas a la radiación.

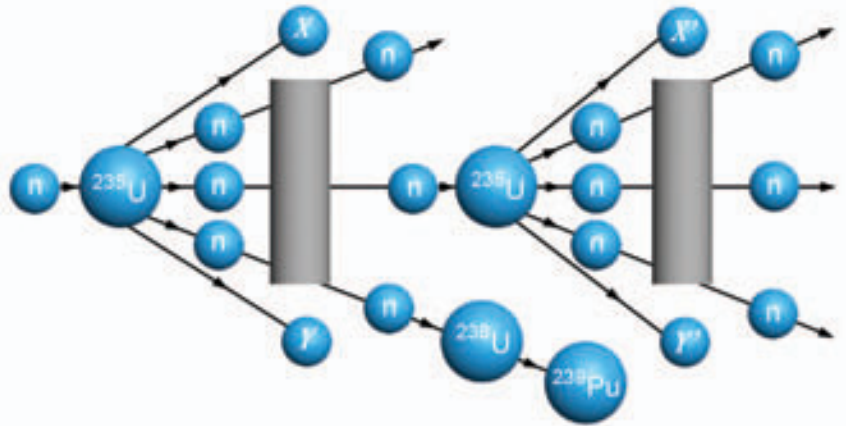


## 10.4 Reacción controlada

A diferencia del caso de la reacción en cadena, en que la fisión de un átomo produce la fisión de varios otros átomos, la reacción nuclear controlada es una manera de “frenar” la velocidad con que se fisiónan los núcleos de un cierto elemento químico.

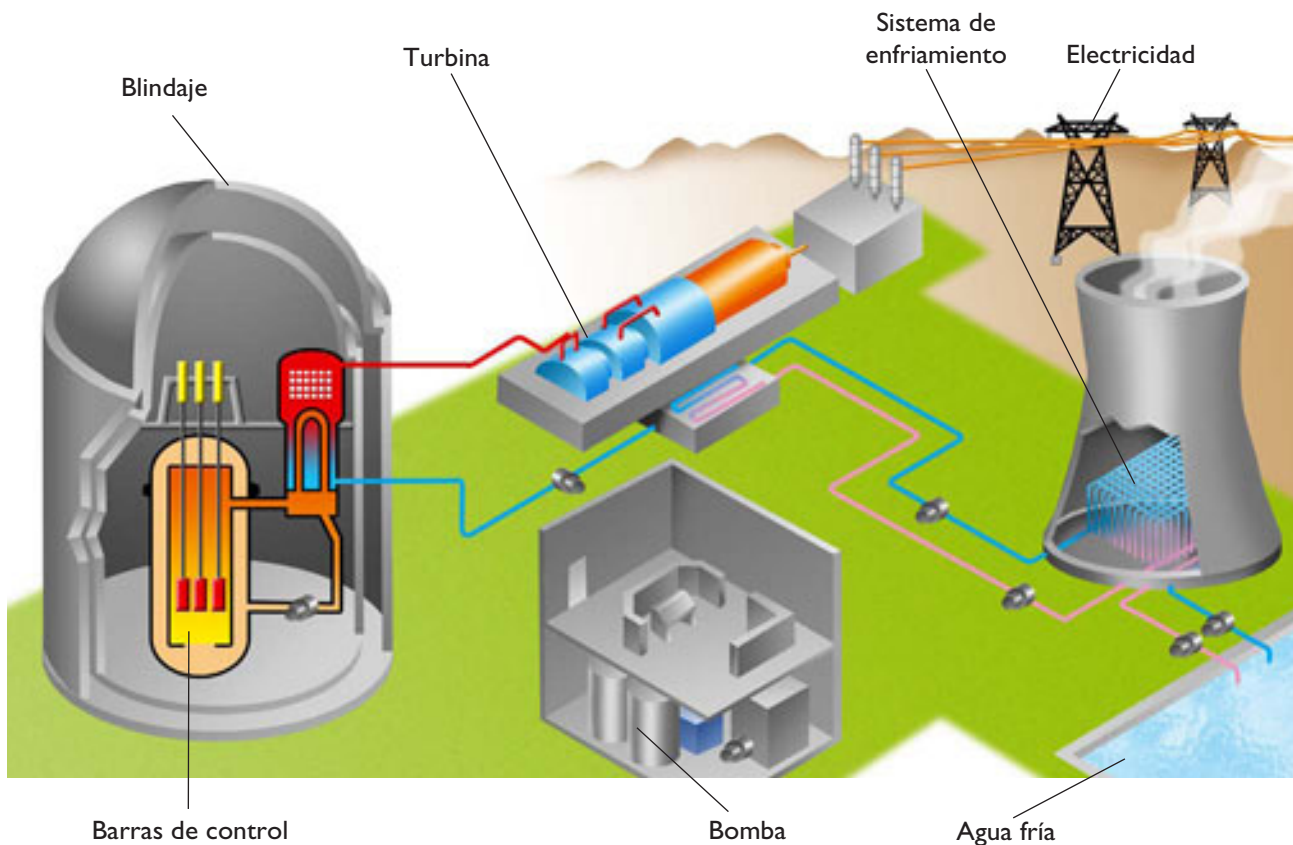
La primera vez que se logró una reacción de este tipo fue en el año 1942, y estuvo dirigida por el físico **Enrique Fermi** (1901-1954). En ella se utilizaron sustancias moderadoras de número másico pequeño para controlar el número de neutrones que provocan nuevas fisiones.

Un reactor nuclear es una instalación en la que se genera energía a partir de material radiactivo y donde la reacción controlada cumple un rol protagónico.



El dibujo representa una reacción en cadena controlada. En estos casos se usa una sustancia moderadora con número másico pequeño para controlar el número y la energía de los neutrones liberados.

## Esquema de una central nuclear



## Reactores nucleares en Chile

Existen distintos tipos de reactores nucleares, y una manera de clasificarlos es según el uso que tienen; de esa manera, se pueden distinguir los reactores de potencia, que están destinados a producir energía, y los de investigación, que se utilizan para fines científicos.

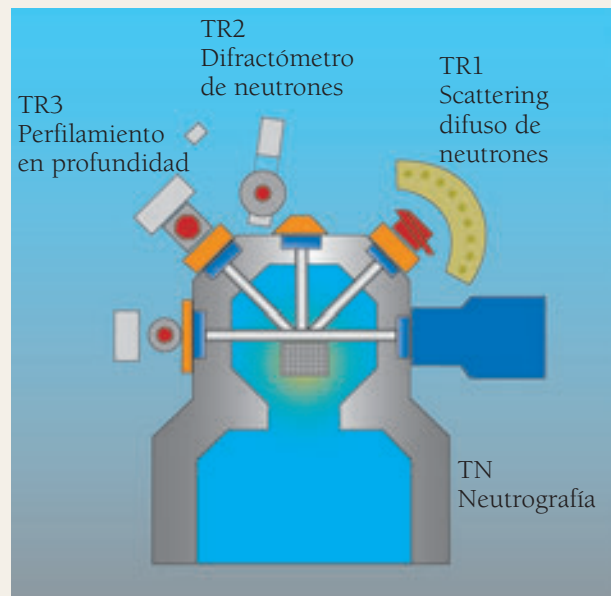
En nuestro país existen dos reactores nucleares y ambos son de investigación: el RECH-1, ubicado en el Centro Nuclear de la comuna La Reina, y el RECH-2 en el Centro de Estudios Nucleares, en Lo Aguirre. El RECH-1 es el más activo y funciona desde 1974. Está emplazado en la precordillera de Santiago y se aloja en un edificio de concreto reforzado. Dentro del edificio hay una piscina de hormigón armado de 10 metros de profundidad, que contiene agua desmineralizada. La piscina, a su vez, está rodeada de concreto pesado que actúa como blindaje. Al fondo de la piscina se encuentra el núcleo del reactor, constituido por uranio contenido en matrices de aluminio de alta pureza.

La principal utilidad que tiene el reactor se deriva de los neutrones que se liberan por la fisión nuclear, los que se canalizan mediante cuatro tubos que alimentan distintos instrumentos (ver esquema).

Una de las utilidades es la toma de radiografías mediante neutrones. Esta técnica se utiliza aprovechando la propiedad de los neutrones de atravesar la materia con mayor profundidad que las partículas con carga eléctrica. La radiografía de neutrones tiene aplicaciones en la industria, la arqueología, la paleontología, la ingeniería, entre otras, pues entrega imágenes de la estructura interna de los materiales con gran nitidez y resolución.



En la fotografía se aprecian las barras de combustible del reactor RECH-1, al ser introducidas en la piscina. Allí, en el núcleo del reactor, sumergido a 10 metros en el agua, se produce la fisión controlada del uranio.



Instrumentos del reactor RECH-1

Fuente: Archivo Editorial

### Trabajemos con la información

Respecto de la lectura, contesta las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la diferencia entre un reactor de potencia y uno de investigación?
- ¿Qué medidas de seguridad contempla la construcción del RECH-1?
- ¿Qué utilidades tiene el RECH-1? Explica.

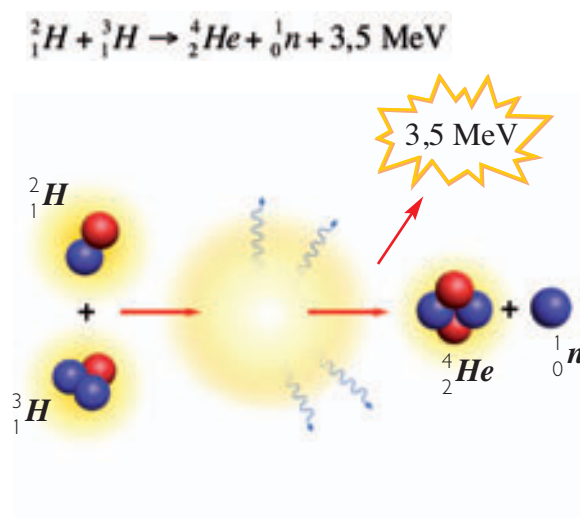
## 11. La fusión nuclear

Cuando se cuece un alimento en una olla a presión, lo que se logra en términos físicos es que la presión y temperatura al interior de la olla aumenten. Pero ¿qué ocurrirá con los núcleos de los átomos cuando se les somete a grandes presiones y temperaturas?, ¿dónde se podría encontrar una “olla” lo suficientemente resistente para realizar aquello?

Cada vez que vemos una estrella en la noche, o a nuestro Sol en el día, estamos observando una enorme caldera atómica, pero ¿de dónde sacan su energía las estrellas? En 1938, el físico alemán **Hans Bethe** (1906-2005) sugirió que al interior de las estrellas se produce un tipo especial de reacción nuclear, llamada fusión nuclear.

Para que ocurra la fusión nuclear, es necesario que existan temperaturas de millones de grados y una presión enorme. En esas circunstancias, dos núcleos se juntan para formar uno nuevo, pero la masa del nuevo es menor que la suma de los dos originales, ¿qué ocurre con la masa restante? Analicemos una fusión nuclear:

En esta reacción, se aprecia como dos núcleos, uno de deuterio ( ${}^2_1\text{H}$ ) y otro de tritio ( ${}^3_1\text{H}$ ), producen una partícula de cuatro nucleones ( ${}^4_2\text{He}$ ), un neutrón libre y 3,5 MeV de energía. Es decir, volvemos a ser testigos de un proceso en que la masa se convierte en energía.

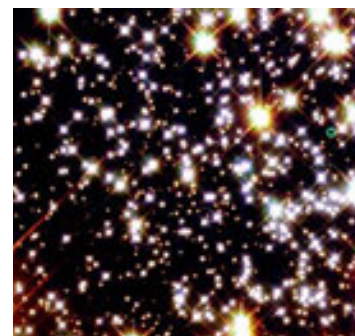


### CONEXIÓN CON...

#### ASTROFÍSICA

Una estrella es una enorme esfera de gases, principalmente. Por efecto de la fuerza de gravedad, en el núcleo de la estrella se comprime la materia alcanzando las condiciones necesarias para producir la fusión del hidrógeno.

En el interior del Sol, hay una temperatura de 15 millones de grados. En esa condición se fusiona el hidrógeno, liberándose una gran cantidad de energía, la que luego de ser absorbida y reemitida por millones de átomos, logra salir del Sol y llegar a la Tierra en forma de radiación solar, lo que posibilita la existencia de la vida en nuestro planeta.



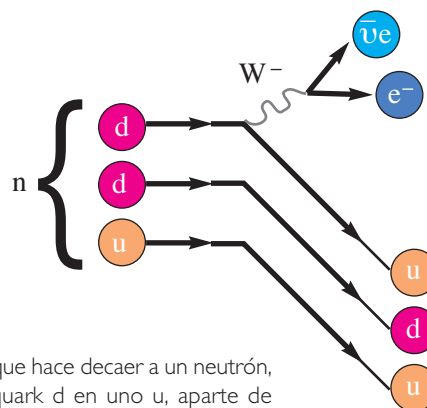
## 12. Las interacciones fundamentales

### La fuerza débil

Hasta el momento hemos visto que las fuerzas más importantes a nivel atómico son la fuerza eléctrica, debida a la carga de las partículas, y la fuerza nuclear fuerte que actúa entre los nucleones. Sin embargo, hay fenómenos a escala atómica que aún no hemos clarificado; por ejemplo, en el decaimiento del neutrón, ¿cómo es posible que a partir de un neutrón puedan salir partículas con carga eléctrica, como lo son el protón y el electrón?

Para explicar este fenómeno, se propuso la llamada fuerza nuclear débil, que actúa a nivel de quarks produciendo, por ejemplo, el decaimiento del neutrón.

Esta fuerza actúa a una escala muy reducida (al interior de los nucleones) y su intensidad es alrededor de  $10^{13}$  veces menor que la fuerza nuclear fuerte, de ahí deriva su nombre de fuerza o interacción débil.



La fuerza débil es la que hace decaer a un neutrón, transformando un quark d en uno u, aparte de crear un electrón y un antineutrino.

Imagina que estás jugando básquetbol en el patio del colegio; al lanzar una pelota a un compañero o compañera, ambos sentirán una “repulsión”, debido a la reacción; en cambio, si intentan quitar la pelota a alguien que la tiene en las manos, ambos sentirán una atracción. Algo similar ocurre en el mundo de las partículas elementales; así, en el modelo estándar de partículas no se habla de fuerzas elementales, sino de interacciones elementales, siendo las llamadas partículas mediadoras, las responsables de las fuerzas.

#### Ten presente que:

- Desde el punto de vista del modelo estándar del átomo, las partículas mediadoras para la interacción electromagnética son los fotones, las de la fuerza gravitacional se conocen como gravitones. Los gluones son las partículas mediadas de la interacción nuclear fuerte, mientras que las partículas mediadoras de la interacción nuclear débil se conocen como bosones W y Z.

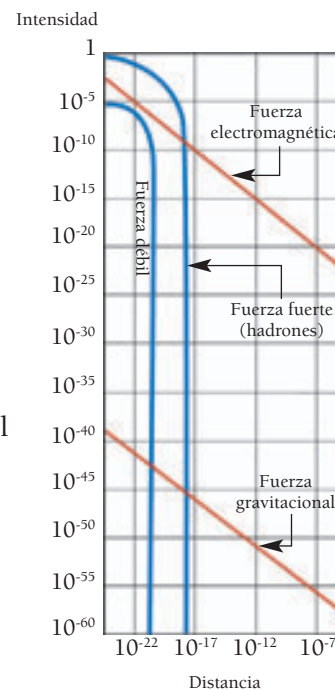
## Actividad 14

## COMPARAR-ANALIZAR

## INTERACCIONES

A continuación, se presenta un gráfico que ilustra las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza. Reúnete con cinco compañeros y compañeras y trabajen en función de las siguientes preguntas:

1. ¿Qué fuerzas no actúan a distancias mayores que  $10^{-17}$  m?
2. ¿Cuál de las fuerzas alcanza una mayor intensidad?
3. Ordenen de menor a mayor las interacciones, de acuerdo a la máxima intensidad que alcanzan.
4. Entre las fuerzas que decaen de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, ¿cuál tiene una intensidad menor?
5. ¿Qué interacción es menos importante a escala atómica?
6. ¿Qué interacción es más importante a escala astronómica? Explica.
7. Copia en tu cuaderno una tabla como la que se presenta a continuación y complétala.



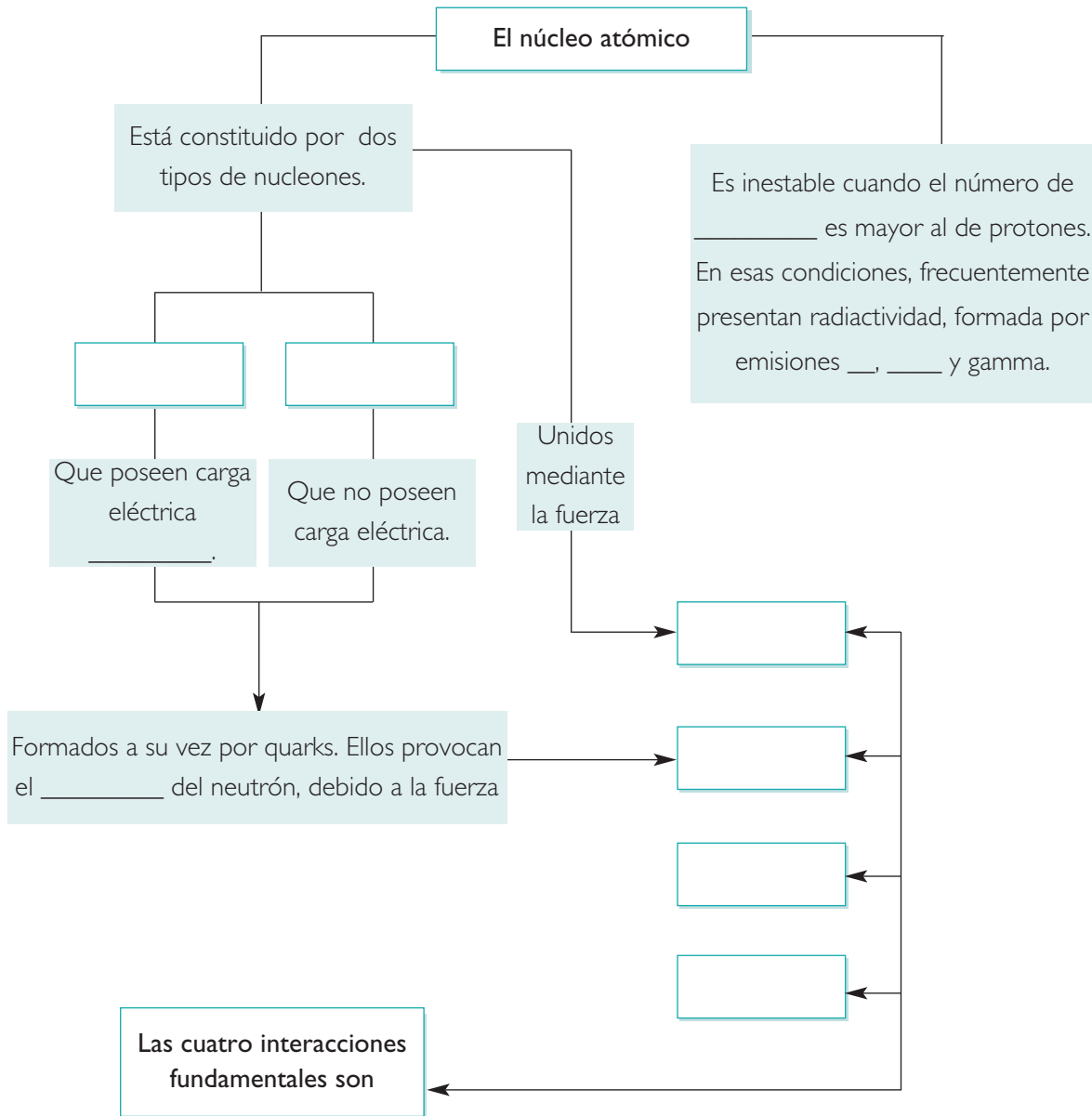
Fuerza	Partícula mediadora	Magnitud relativa	Alcance (ámbito de importancia)
Gravitacional		1	
		$10^{28}$	Corto (desintegración del neutrón)
	Fotón	$2 \times 10^{39}$	
Fuerte		$10^{41}$	

## 12.1 Interacciones a nivel atómico

Si tomamos el modelo más sencillo de átomo (por ejemplo, el de hidrógeno, según el modelo de Bohr), veremos que en él están presentes las cuatro interacciones fundamentales. Sin embargo, algunas de ellas tienen más preponderancia que otras. Por ejemplo, la fuerza gravitacional pasa casi inadvertida, en parte por la pequeña masa de las partículas y en parte porque a esa escala es la que tiene menor intensidad. La fuerza eléctrica, a pesar de tener una gran intensidad, es moderada por la fuerza nuclear fuerte; mientras que, a escalas menores, es la fuerza nuclear débil la que predomina al interior de los nucleones. De esa manera, como en una ciudad donde cada habitante tiene su función e importancia, cada una de las interacciones contribuye a configurar la realidad física tal como la vemos, aunque probablemente el futuro nos depara sorpresas, pues el conocimiento científico aún está en desarrollo y será el rol de los futuros científicos seguir en el camino de los descubrimientos.

**SÍNTESIS**

Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno.



## EVALUACIÓN

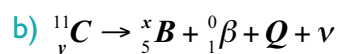
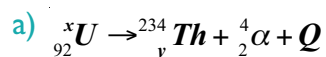


## I. Desarrolla las siguientes preguntas en tu cuaderno.

1. ¿Por qué se producen las emisiones alfa, beta y gamma en un material radiactivo? Detalla cada una de ellas.
2. ¿A qué se refiere la afirmación: la emisión radiactiva es probabilística?
3. ¿Cuáles son las radiaciones más peligrosas para el ser humano?
4. ¿Qué diferencias existen entre una reacción en cadena y una reacción controlada?
5. ¿Cuál de las cuatro interacciones fundamentales es más importante a nivel planetario?

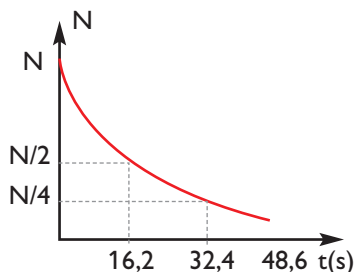
## II. Para calcular.

1. Un colegio compró una muestra de estroncio-90 en 1965. Si la actividad de la muestra en dicho año era de 104 decaimientos por segundo, ¿qué actividad tendrá en el año 2010 si la vida media del estroncio es de 28,8 años?
2. Completa en tu cuaderno los valores para **x** e **y** de las siguientes transformaciones.



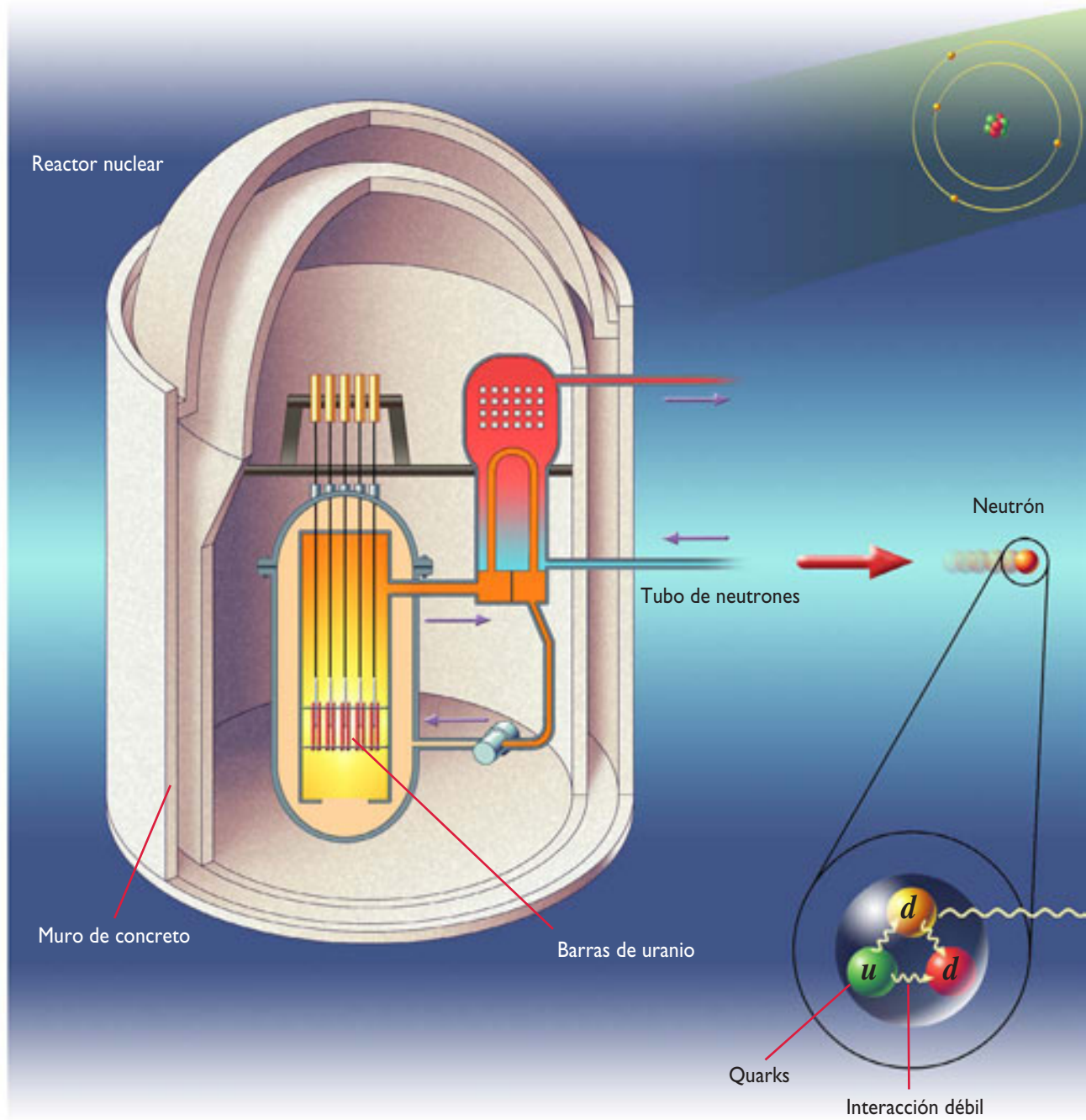
## III. Análisis.

1. A continuación, se presenta un gráfico del decaimiento radiactivo de un isótopo del americio; en función de él, responde las siguientes preguntas.

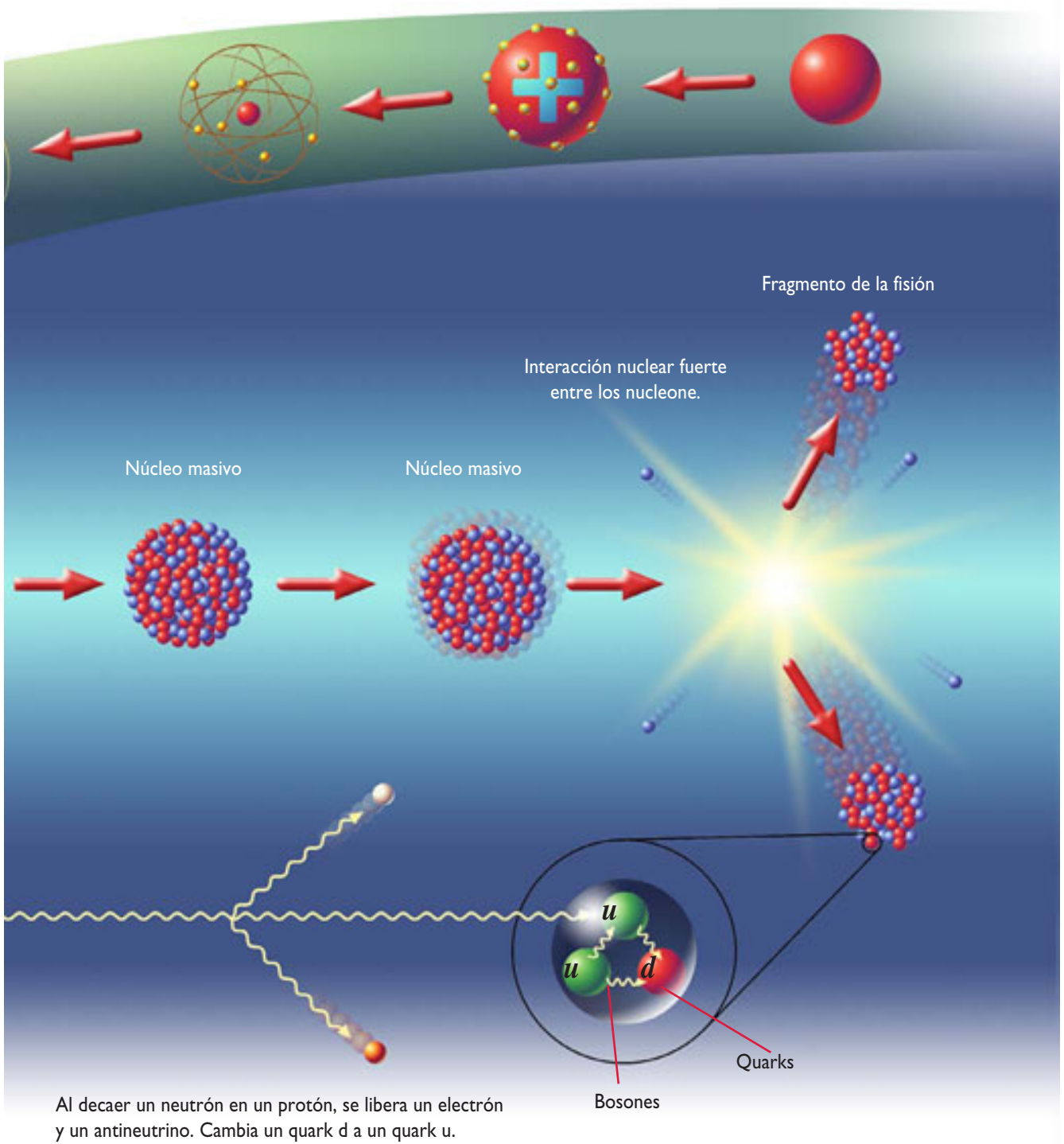


- ¿Qué función matemática representa mejor la curva de decaimiento?
- ¿Cuál es la vida media de ese isótopo?
- ¿Cuánto tiempo transcurre hasta que el número de núcleos radiactivos es un cuarto que el número original?





Al ser cada vez más precisa la idea del átomo, se pudieron encontrar aplicaciones a las interacciones presentes en él.





Demócrito

**siglo V a. C.**

En el **siglo V** antes de Cristo, surgen las primeras ideas sobre el átomo; sin embargo, no era la única idea existente, pues también habían pensadores como Aristóteles que creían que la materia era continua. Demócrito y Leucipo fueron los principales defensores de la teoría atomista.

**En el mundo...**

En la Antigua Grecia, la razón predominaba en el estudio de todas las áreas de la ciencia. Es llamada la “cuna de la civilización”, ya que se desarrollaron en filosofía, ciencias, arte, entre otros.



R. Boyle

**siglo XVII**

**Robert Boyle** (1627-1691) superó los métodos de los alquimistas para aplicar el método científico al estudio de la composición de la materia. Estableció el concepto de elemento para aquella sustancia que no está compuesta de otras sustancias.

**En el mundo...**

En los siglos XVII y XVIII, el movimiento de la Ilustración vive su apogeo, cuyo ideal es dominar la naturaleza a través de la razón.



J. Dalton

**siglo XVIII**

En 1808, **John Dalton** (1766-1844) publica su teoría atómica, en la que postula que los elementos están formados por partículas pequeñas e indivisibles, que llamó átomos. Según su teoría, los átomos son esferas macizas que tienen masa distinta según el elemento al que pertenezcan. Creó la primera notación para escribir ecuaciones atómicas.

**En el mundo...**

Por esos años comienza el final del absolutismo, con uno de los hechos de mayor relevancia histórica: la Revolución francesa.





J. Thomson



N. Bohr



W. Heisenberg



O. Hahn



M. Gell-Mann

### siglo XIX

En 1897, el inglés **Joseph Thomson** postuló un modelo atómico a partir de sus experimentos al interior de tubos de rayos catódicos, que él los identificó como electrones. En su modelo suponía una masa de carga positiva con electrones como pequeños trozos incrustados en ella.

El británico **Ernest Rutherford** descubrió, en 1911, el núcleo del átomo y algunas de sus cualidades como su tamaño, su masa y su carga eléctrica. Encontró experimentalmente que los electrones se encuentran en la corteza del átomo y que se mueven en torno de él a grandes velocidades, pero su modelo no podía explicar el hecho de que los electrones no se precipitaran en el núcleo.

En 1913, el danés **Niels Bohr**, utilizando algunos conceptos de Planck, logra explicar la estabilidad del átomo y una serie de otros fenómenos como las líneas espectrales. Su modelo explica la emisión y absorción de fotones por parte del átomo, relacionándolo con el cambio de niveles energéticos de los electrones.

El físico alemán **Werner Heisenberg** postuló el principio de incertidumbre en 1927, según el cual no se puede conocer simultáneamente la posición de una partícula y su momentum. Este hecho modificó profundamente la concepción determinista de la ciencia.

#### En el mundo...

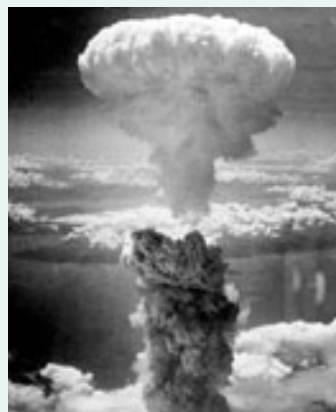
Durante los primeros años del siglo XX, se vive intensamente lo que se llamó la revolución estética, en que pintores, músicos y poetas exploraron nuevas formas expresivas que dieran cuenta de los cambios en las formas de vida del hombre contemporáneo.

### siglo XX

En 1939, los alemanes **Otto Hahn y Fritz Strassman** descubrieron la fisión del uranio al ser impactado por un neutrón. En el año 1942, el físico **Enrico Fermi** logró realizar la primera reacción nuclear controlada, lo que marcó un hito en la historia de los reactores nucleares.

#### En el mundo...

En el año 1945, se lanzan dos bombas atómicas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki; con aquello se pone fin a la Segunda Guerra Mundial y comienza una carrera armamentista nuclear.



### 1963

En el año 1963, los físicos **Murray Gell-Mann y George Zweig** plantearon que algunos fenómenos observables a pequeña escala, como la aparición de partículas al interior de colisionadores, se podían explicar con la existencia de partículas más pequeñas bautizadas como quarks. Así se inició el modelo estándar del átomo que tiene vigencia hasta hoy y que aún se sigue completando.

#### En el mundo...

En la década de los sesenta, el mundo vive polarizado en dos grandes bloques, uno occidental, liderado por los Estados Unidos, y otro oriental, encabezado por la Unión Soviética. En la misma década, el hombre llega a la Luna, lo que corona la carrera espacial comenzada diez años atrás.



**I. ¿Cuánto avancé?**

Regresa a la evaluación diagnóstica de la unidad y resuélvela nuevamente.  
¿Qué porcentaje de avance puedes notar?

**II. Comprendo**

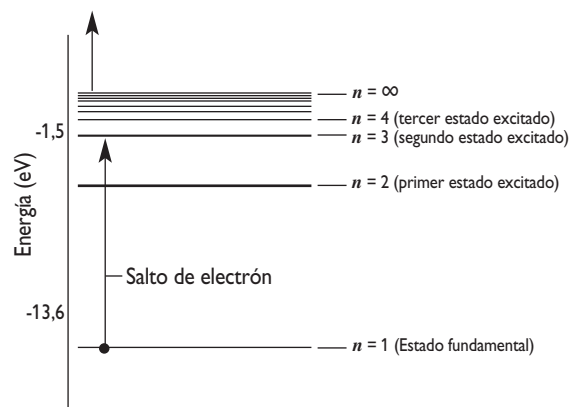
Marca en tu cuaderno la alternativa que consideres correcta.

- 1. Según el modelo de Rutherford, se podría afirmar que:**
  - A. los electrones están distribuidos en una masa de carga positiva.
  - B. los electrones están en órbitas llamadas estados estacionarios.
  - C. los electrones se mueven alrededor de un núcleo de mayor masa.
  - D. las órbitas del electrón se calculan con probabilidades.
  - E. la interacción entre los núclidos la realizan pequeñas partículas.
- 2. El modelo atómico de Bohr establece que los electrones tienen órbitas estables alrededor del núcleo. Entre los postulados fundamentales de Bohr, se menciona/n:**
  - I. Solo se permiten órbitas en que su momento angular sea múltiplo de la constante de Planck.
  - II. Se permiten órbitas a cualquier distancia del núcleo atómico.
  - III. La energía absorbida o emitida se realiza como cuantos de energía.
  - A. Solo I
  - B. Solo II
  - C. I y II
  - D. I y III
  - E. II y III
- 3. En un átomo de Bohr, un electrón salta de la órbita  $n = 4$  a la órbita  $n = 1$ ; según eso podemos concluir que:**
  - A. el átomo absorbió un fotón.
  - B. el núcleo emitió un fotón.
  - C. el electrón emitió un fotón.
  - D. el electrón absorbió un fotón.
  - E. el electrón se precipitó al núcleo.
- 4. De las interacciones fundamentales de la naturaleza, ¿cuál de ellas están presentes en el núcleo atómico?**
  - A. Gravitatoria.
  - B. Electromagnética.
  - C. Nuclear fuerte.
  - D. Nuclear débil.
  - E. Todas las anteriores.
- 5. La emisión radiactiva se puede presentar en la naturaleza, cuando:**
  - I. en un núcleo hay más neutrones que protones.
  - II. un núcleo masivo es impactado por un neutrón.
  - III. un electrón colisiona con un fotón.
  - A. Solo I
  - B. Solo III
  - C. I y II
  - D. II y III
  - E. Todas

### III. Análisis

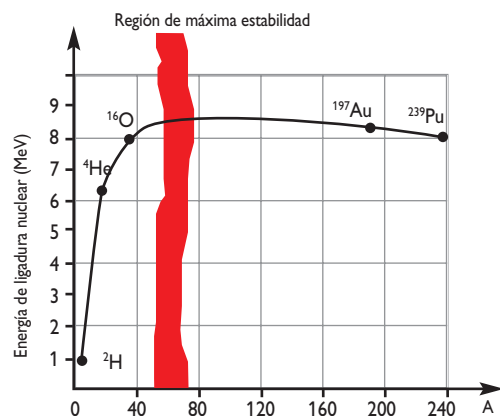
1. Responde las preguntas relacionadas con el siguiente diagrama.

- ¿A qué modelo atómico hace referencia el diagrama?
- ¿Qué fenómeno se observaría en el átomo al realizarse la transición indicada por el salto del electrón?
- Calcula la energía y la frecuencia del fotón relacionado a la transición electrónica.
- ¿Qué se observa en la diferencia de energía a medida que aumenta el número de estado?, ¿cómo serán los fotones relacionados a esas transiciones?



2. En el siguiente gráfico se representa la energía de ligadura por núcleo en función del número másico  $A$  (protones más neutrones). En función a él, desarrolla las siguientes preguntas.

- ¿Qué rango de número másico determina la región de máxima estabilidad atómica.
- ¿A qué crees que se deba que la energía de ligadura nuclear aumenta hasta la región de máxima estabilidad?
- Si aumenta el número másico, aumenta la cantidad de nucleones, ¿qué debiera ocurrir para que esos átomos fueran estables?



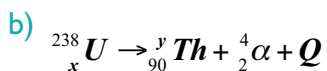
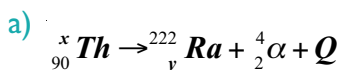
3. Los datos que aparecen en la siguiente tabla, se obtuvieron de una muestra de un radioisótopo yodo-128.

Tiempo (minutos)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Desintegraciones por segundo	75,8	57,4	43,5	33,0	25,0	19,0	14,4	10,9	8,3

Realiza un gráfico con los valores obtenidos y determina la vida media del radioisótopo.

## IV. Aplico

1. Un balón de básquetbol tiene un diámetro de 12 cm, ¿cuál sería su peso si tuviera la misma densidad que un protón?
2. ¿Qué energía se requiere para extraer un electrón de un átomo de hidrógeno si está en el estado  $n = 3$ ?
3. ¿Cuál es la energía de un electrón ubicado en el radio de Bohr de un átomo de hidrógeno?
4. ¿Cuál es la incertidumbre en la velocidad de un electrón confinado en una caja cúbica de 100 nm de diámetro?
5. El diámetro de un átomo de hidrógeno es de  $10^{-10}$  m, por lo que su electrón se encuentra en algún lugar dentro de ese límite, ¿cuál es la incertidumbre en su velocidad?
6. Un fósil de vegetal contiene un número de 10 moles de C-14. Cuando estaba vivo, tenía  $10^{16}$  moles de C-14. Calcular la edad del fósil si la vida media del C-14 es de 5730 años.
7. Se tienen 100 g de una cierta muestra radiactiva cuya rapidez de desintegración es tal que en un día se ha desintegrado el 20% de la masa original. Calcular:
  - a) la constante de desintegración.
  - b) La vida media de la sustancia.
  - c) la masa que quedará al cabo de veinte días.
8. Encuentra los valores de  $x$  e  $y$  en las siguientes ecuaciones de decaimiento alfa.



## Investigación bibliográfica

### Situación problema:

Desde los albores del conocimiento, el ser humano se ha preguntado sobre la constitución de la materia, sosteniendo distintas teorías y luego realizando experimentos para conocer la conformación íntima de las cosas. Una de las preguntas principales ha sido si la materia es discreta o continua, y a pesar de haberse impuesto las ideas de los atomistas, hoy en día se siguen encontrando nuevas partículas en los aceleradores de partículas; entonces, ¿habrá partículas indivisibles o dependerá de la energía involucrada en la investigación?, ¿cuáles son los últimos avances científicos en esa dirección?

### 1. Objetivo

El objetivo de tu proyecto es realizar una investigación bibliográfica generando un documento escrito y/o audiovisual.

### 2. Planificación

Siempre es conveniente utilizar un método para resolver un problema; una manera de ordenar tu trabajo es planteándote pequeñas metas, tales como:

- Definir cuáles serán las preguntas que van a guiar la investigación.
- Planificar cuáles serán los libros consultados, las personas consultadas o el tipo de página web que se proponen visitar para encontrar información confiable.
- Definir el formato que tendrá su documento final, la estructura, la función de las imágenes y la bibliografía.
- Fijarse un plazo para la recolección de la información y organizar una sesión de trabajo para ordenarla.

También puedes contestar las preguntas:

- ¿Qué fuentes podrán entregar información actualizada y confiable sobre el tema a investigar?
- ¿Cuál será una manera entretenida y efectiva para entregar la información?

### 3. Ejecución

Una vez planificado el trabajo pueden reunirse a realizarlo. Es recomendable que definan una pauta de trabajo que los guíe en las acciones, aunque lo ideal es que sea flexible y moldeable a las circunstancias con que se vayan encontrando.

### 4. Evaluación y análisis

Una vez finalizada la recolección de los datos, concéntrense en darle al informe final una coherencia temática y una estructura que facilite la lectura. Pueden intercambiar el informe con el de sus compañeros y compañeras y evaluar en conjunto cuáles son los atributos y deficiencias de cada uno.

### 5. Proyección

A partir de los resultados, planteen hipótesis de lo que ocurrirá en el futuro sobre el tema investigado, ¿será posible que el ser humano alcance una certeza definitiva, o habrá que esperar nuevos descubrimientos con respecto a la naturaleza?



## UNIDAD 1 ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

### Página 10. Evaluación diagnóstica

1.

Esquema A	Esquema B
+ -	+ +
- +	- -
También: - +	También: - -
+ -	+ +

- Se atraen.
- A y C
- D

### Página 11. Evaluación diagnóstica

- La segunda imagen, porque los momentos dipolares magnéticos tienen una misma orientación.
- C y D
- B
- La luz y las ondas electromagnéticas se generan por cargas aceleradas.
- Frotar una regla plástica con lana, un condensador.

#### 10. Hipótesis más probable

- Existen átomos positivos y negativos, los que se ordenan al interior de un imán.

#### Hipótesis menos probables

- Un imán es capaz de atraer algunos metales, ya que puede intercambiar una sustancia desconocida con ellos.
- Un imán posee alguna forma de energía interna que transmite solo a algunos metales.

## Capítulo 1. Fuerzas entre cargas

### Página 14. Actividad 1

- Izquierda, izquierda, derecha, izquierda.
- a. Hacia donde haya un déficit relativo de cargas negativas.
- b. Pueden moverse, por ejemplo, en una mezcla de agua y sal (iones positivos) y también en condiciones de laboratorio (en un acelerador de partículas).  
Generalmente los que se mueven son electrones (como lo sucedido en la actividad).

### Página 17. Para trabajar

$$r = 0,26 \text{ m}$$

### Página 27. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

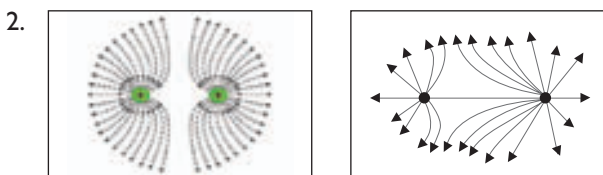
Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

- Recuadro izquierdo: frotación.
- Recuadro central: un cuerpo cargado se acerca a un conductor neutro, quedando polarizado.
- Recuadro derecho: contacto.

#### Completación

- La fuerza eléctrica entre dos cargas es **directamente proporcional** al producto entre ellas e **inversamente proporcional** a la distancia al cuadrado.
- Una carga produce en sus proximidades un **campo eléctrico**.
- Para trasladar una carga de prueba de un potencial a otro, se debe **hacer un trabajo** igual a:  $q \Delta V$ .

- $F_{12} : \longrightarrow \quad F_{21} : \longleftarrow$
  - 1,97 N
  - Atractiva



- El campo es nulo a 0,38 m de la carga de menor intensidad.

### Página 29. Actividad 8

- Que no es un buen aislante eléctrico.
- Disminuye.
- $\epsilon_{\text{vacío}} = 7,1 \times 10^{-10} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$      $\epsilon_{\text{poliestireno}} = 2,27 \times 10^{-11} (\text{C}^2 / \text{Nm}^2)$
- 63 veces mayor.

### Página 40. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

- Recuadros izquierdos: la carga eléctrica, condensador, del dieléctrico.
- Recuadros centrales: Christian Oersted, un campo eléctrico, la fuerza eléctrica, ley de coulomb.
- Recuadros derechos: imanes, campo magnético, fuerza magnética.

## Página 41. Síntesis y evaluación de proceso

### I. Desarrollo

1. Las propiedades de la carga eléctrica son: cargas iguales se repelen y cargas distintas se atraen; la carga eléctrica se conserva; la carga eléctrica está cuantizada.
2. En un material conductor los electrones están débilmente ligados a sus átomos, en cambio un material aislante los electrones se encuentran fuertemente ligados.
3. Electrización por inducción. El cuerpo sobre el cual se induce carga, sigue con carga neta neutra.
4. Del área de las placas en la cual se almacena la carga, del material que aísla las placas, y de la distancia entre ellas.
5. Consiste en la presencia de un campo magnético alrededor de un conductor por el que pasa una corriente.
6. Apuntan hacia fuera de cada una de las cargas, estas se curvan y no se tocan.

### II. Para calcular

1.  $F = 90 \text{ N}$ ,  $F_{12} : \longleftarrow \quad F_{21} : \longrightarrow$
2.  $B = 2 \times 10^{-7} \text{ T}$
3.  $F = 4,608 \times 10^{-14} \text{ N}$

### III. Análisis

1. El aire seco es mal conductor de la electricidad, lo que favorece que los cuerpos se electricen y se descarguen al encontrar un cuerpo neutro cercano.
2. B

## Página 49. Actividad 2

- a. Una línea recta.
- b. Directamente proporcional.
- c. La oposición de la fem a la variación de flujo magnético que la produce.
- d. Un número de espiras elevado, o una rápida variación en el flujo magnético.

## Capítulo 2. Electromagnetismo y circuitos eléctricos

### Página 51. Para trabajar

$N = 200$  espiras.

### Página 57. Para trabajar

1.  $V_2 = 18\,000 \text{ V}$

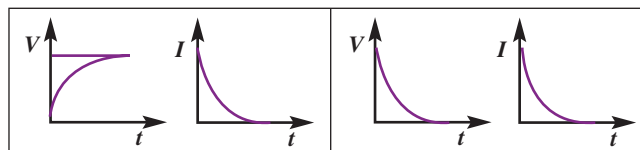
2. a.  $N_2/N_1 = 240/11$   
b. Aproximadamente 321 espiras.

## Página 59. Síntesis y evaluación de proceso

### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

- Recuadro izquierdo: carga del condensador.
- Recuadro derecho: descarga del condensador.



Gráficos izquierdos

Gráficos derechos

### Completación:

- a. La variación del flujo magnético al interior de una bobina induce una **fem** dicha inducción se explica a través de las **leyes de Faraday y Lenz**.
  - b. El flujo magnético sobre una superficie depende del **campo** magnético, del **ángulo** entre ese campo y la normal a la superficie, y del área de la superficie.
  - c. El signo menos (-) presente en la expresión propuesta por Faraday es explicado por la **ley de Lenz**.
  - d. Una de las aplicaciones de la ley de Faraday que permite transformar energía mecánica en eléctrica es: el **generador**; y otra que permite convertir una fem pequeña en una grande son los **transformadores**.
1.  $V = -1,11 \text{ V}$
  2.  $N_1 = 300$  espiras.

## Página 62. Actividad 7

$$1. HA^2 = \frac{Vs}{A} A^2 = VAs = Ws = J$$

2. La expresión matemática es similar, en el condensador la capacidad y el voltaje, equivalen a la inductancia y la corriente de la bobina, respectivamente.

## Página 62. Para trabajar

$I = 5,77 \text{ A}$

## Página 68. Síntesis y evaluación de proceso

### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

- Recuadros izquierdos: se produce por **campo magnético variable con un conductor en reposo**.

Que depende del número de espiras, área de cada espira y de la variación de la **intensidad del campo magnético en el tiempo**.

- Recuadros centrales: generando una **fem**. Explicada a través de la **ley de Faraday y la ley de Lenz**. Que se manifiesta en circuitos: **LC** y **RLC** que consta de **condensador, bobina y resistencia**. Sus aplicaciones se ven en los: transformadores eléctricos que **permiten convertir una fem grande en una pequeña y viceversa** y **generadores** que transforman energía mecánica en eléctrica.
- Recuadros derechos: que depende de la longitud del conductor, del campo magnético y de la **velocidad** del conductor.

## Página 69. Síntesis y evaluación de proceso

### I. Desarrollo

1. El tiempo en que la carga del condensador alcanza el 63% de su capacidad máxima.
2. Corresponde al número de líneas de campo magnético que atraviesan una determinada superficie.
3. Del número de vueltas de la espira y de la rapidez del cambio de flujo magnético.
4. Se produce en un circuito RLC cuando la frecuencia del voltaje aplicado coincide con la frecuencia propia del oscilador.
5. Un movimiento oscilatorio.

### II. Calcula

1.  $fem = 0,45 \text{ V}$
2. 1:2
3. 2,83 A

### III. Analiza

1. Se conserva.
2. La energía es máxima.
3. Es máxima.

$U_c \text{ (J)}$	$U_L \text{ (J)}$	$E \text{ (J)}$
5	0	5
4,8	0,2	5
3,1	1,9	5
2,6	2,4	5
1,2	3,8	5
0	5	5
1,6	3,4	5
1,5	3,5	5
2,8	2,2	5
3,9	1,1	5

## Capítulo 3. Ondas electromagnéticas

### Página 86. Síntesis y evaluación de proceso.

#### Completación:

- a. Las ondas electromagnéticas fueron predichas por: **Maxwell**. Su existencia fue confirmada por el experimento de **Hertz**.
- b. Una onda electromagnética es generada por cargas **aceleradas**. Su propagación se produce por inducciones consecutivas del **campo magnético** y del **campo eléctrico**.
- c. Una onda electromagnética se propaga a la velocidad de **la luz**. La expresión que relaciona su frecuencia con longitud de onda es  $c = \lambda \cdot f$ .
  1. Frecuencia, longitud de onda.
  2. La polarización.
  3.  $6 \times 10^{21} \text{ Hz}$
  4.  $7,5 \times 10^{14}$  y  $4,28 \times 10^{14} \text{ Hz}$
  - 5.

Color	Frecuencia ( $\times 10^{12} \text{ Hz}$ )	Longitud de onda ( $\times 10^{-9} \text{ m}$ )
Rojo	428	<b>700</b>
Naranja	492	<b>609,7</b>
Amarillo	580	<b>517</b>
Verde	<b>576,9</b>	520
Azul	638	<b>470</b>
Índigo	<b>666,6</b>	450
Violeta	<b>750</b>	400

### Página 94. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

Ondas electromagnéticas

- Se generan por cargas aceleradas.
- Se propagan en el vacío a la velocidad de la luz.
- Fueron predichas por Maxwell.
- Se ordenan según su frecuencia, longitud y energía, en el espectro electromagnético, compuesto por: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

### Página 95. Síntesis y evaluación de proceso

#### I. Desarrollo

1. No. Tomando en cuenta los postulados de Bohr, si la emitiera, perdería energía y caería al núcleo.

- Existen ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz, las ondas electromagnéticas son emitidas por cargas aceleradas.
- Son perpendiculares entre sí.
- Entre 1 m y 30 km.
- Porque traspasan los tejidos blandos del cuerpo.
- Entre 540 Hz y 1600 Hz.

## II. Calcula

- $3 \times 10^{11}$  Hz y  $3 \times 10^8$  Hz
- $S = 0,155 \text{ J/s}\cdot\text{m}^2$
- $\lambda = 10 \text{ m}$

## III. Analiza

- Amplitud.
- Frecuencia y longitud de onda
- Amplificación de onda.

## Página 100. Evaluación final

### I. Comprendo

- D
- a. 7,07 cm  
b. 5 cm  
c. 30 cm

- E
- $V = 5 \text{ V}$ . Si la carga se mueve desde A hasta B, A tiene un mayor potencial. Si la carga se mueve desde B hasta A, B tiene un mayor potencial.

### II. Analizo

- C
- E
- A
- $1,257 \times 10^{-6} \text{ T}\cdot\text{m/A}$
- $W = 5500 \text{ J}$

### III. Aplico

- $3 \times 10^6 \text{ V/m}$
- a.  $q = 1,6 \times 10^{-18} \text{ C}$   
b.  $n = 10$
- a.  $I = 47 \text{ A}$   
b. Sentidos opuestos. Los campos se suman.
- 308 V
- $10^4 \text{ N}$
- 8,6 años en ir y volver.

## UNIDAD 2 El mundo atómico

### Página 106. Evaluación diagnóstica

1. B.
2. B.
3. A-c; B-d; C-e; D-b; E-a

### Página 107. Evaluación diagnóstica

4. 1-C; 2-D; 3-A
5. a. A nivel atómico interactúan fuerzas atractivas y repulsivas.  
d. El color y el olor de una sustancia son cualidades que se relacionan con la manera que tienen los átomos y moléculas de organizarse, y con su interacción con nuestros sentidos.
6. C
7. A

### Página 116. Actividad 6

1. Para una plaza de un radio de 30 m, el tamaño del núcleo sería de 0,3 mm (cien mil veces menor).
2. Si se considera que el núcleo contiene el 99% de la masa, para el caso del ejemplo tendría una masa de 1980 g.

## Capítulo 1. El modelo atómico

### Página 126. Investigación científica

Gas	Color	$\lambda$ ( $\times 10^{-10}\text{m}$ )	F ( $\times 10^{12}$ Hz)	E ( $\times 10^{-19}\text{J}$ )
H	Naranja	6560	457,3	3,03
	Azul	4858	617,5	4,09
	Añil	4337	691,7	4,59
	Violeta	4098	732,1	4,85
Na	Amarillo	5896	508,8	3,37
	Amarillo	5890	509,3	3,38
Ne	Naranja	6402	468,6	3,11
	Amarillo	5852	512,6	3,4
	Verde	5400	555,6	3,68

- a. Porque tienen distinta energía almacenada en sus enlaces atómicos.
- b. Si, puesto que pueden emitir ondas electromagnéticas en un rango no visible.
- c. La energía liberada está "almacenada" en los átomos del gas.
- d. Solamente se pueden liberar cantidades discretas de energía (cuantizadas).

### Página 129. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

- Recuadros izquierdos:

La idea del átomo proviene de la antigua **Grecia**, entre sus defensores se encuentran **Demócrito** y **Leucipo** que postulaban que toda la **materia** está constituida por átomos, y ellos están en el **vacío**. Los átomos son pequeñas **partículas** caracterizadas por su **dureza**, forma y **tamaño**.

- Recuadros derechos:

La idea del átomo se perfeccionó gracias al experimento de **Rutherford**, quien bombardeó una placa de oro utilizando **partículas alfa**. Luego fue mejorado y modelado matemáticamente por **Bohr**, quien explicó en su modelo, por qué los **electrones** no caen al **núcleo**; y el origen de las series **espectrales**. Su modelo se basa en el átomo de **hidrógeno** y con el electrón moviéndose en estados **estacionarios**, con una **energía** determinada. Cada vez que un **electrón** cambia de órbita **emite** o absorbe un fotón de luz.

1. La inestabilidad del átomo.
2.  $f = 2,9 \times 10^{15}$  Hz

### Página 138. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

Recuadros izquierdos

- El concepto fue postulado por primera vez por **Demócrito**.
- En dicho modelo entre el núcleo y el electrón existen interacciones: **eléctrica** (>) **gravitacional**.

Recuadros centrales

- Dalton
- Thomson
- Rutherford
- Bohr
- Cuantizada.

Recuadros derechos

- Incertidumbre.
- Que enuncia la imposibilidad de determinar de manera simultánea la **posición** y **velocidad** de una partícula.

## I. Desarrollo

1. Estaban los atomistas que pensaban que la materia no se podía subdividir infinitas veces, pues se llegaba a un límite fundamental (átomo), y estaban quienes pensaban que la materia si se podía subdividir siempre.
2. Ambos modelos postulaban que los elementos químicos estaban formados por partículas pequeñas y que los átomos de un mismo elemento químico son iguales, pero Rutherford demostró que no eran indestructibles como postulaba Dalton, y que tampoco eran esféricos y compactos, sino que tenían corteza externa y núcleo.
3. Por la dificultad de acceder experimentalmente al mundo atómico.
4. En que solo están permitidas algunas órbitas para los electrones en el espacio y que el momento angular de los electrones es un múltiplo de la constante de Planck.
5. La estabilidad del átomo (porqué los electrones no se precipitan al núcleo), y la emisión y absorción de fotones.
6. Bohr utiliza la cuantización de la energía de Planck para explicar las órbitas estacionarias de los electrones.
7. En la imposibilidad de determinar de manera simultánea la posición y el momentum lineal de una partícula.
8. Es más importante a escala atómica, pues son más significativas las incertezas para un  $\Delta x$  pequeño.

## II. Para calcular

1.  $r_1 = 5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$ ,  $r_2 = 2,12 \times 10^{-10} \text{ m}$
2.  $E_2 = -3,4 \text{ eV}$ ,  $E_1 = -5,44 \times 10^{-19} \text{ J}$
3. Absorbe un fotón,  $\lambda = 4,353 \times 10^{-7} \text{ m}$
4. 527,6 m

## III. Análisis

1. Se podría pensar, por ejemplo, que las partículas elementales no poseen carga eléctrica.
2. C

## Capítulo 2. El núcleo atómico

### Página 141. Actividad 1

1. Radio de una arveja  $\approx 5 \text{ mm}$ , radio de un átomo de ese núcleo: 500 m.  
Radio de una pelota  $\approx 20 \text{ cm}$ , radio de un átomo de ese núcleo:  $2 \times 10^4 \text{ m}$ .  
Radio de un punto  $\approx 0,25 \text{ mm}$ , radio de un átomo de ese núcleo: 25 m.
2. Distancia Sol-Tierra  $\approx 1,5 \times 10^{11}$ , el núcleo sería de radio  $1,5 \times 10^6$ .  
Distancia Tierra-Luna  $\approx 3,8 \times 10^8$ , el núcleo sería de radio 3800 m. La analogía no sería exacta, pues el radio del Sol y de la Tierra son mayores.

### Página 150. Síntesis y evaluación de proceso

#### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

La mayor parte de la masa del átomo se encuentra en el **núcleo**:

- el que se pudo dividir a través de colisiones.
  - cuyo radio puede ser calculado mediante:  
 $R = 1,2 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ m}$ .
  - Su tamaño es del orden de  $10^{-5}$  veces el tamaño del átomo.
1.  $2 \times 10^5 \text{ cm} = 2 \text{ km}$
  2. A los protones y neutrones.
  3. A su giro.
  4. Porque están formados por otras partículas.
  5. Masa y carga eléctrica.
  6. No, porque al separarlos se forma nuevamente un par de quarks.
  7. Más neutrones que protones.
  8. Átomo con igual cantidad de protones, pero diferente cantidad de neutrones que el átomo fundamental.

## Página 154. Actividad 10

Radiación	Identificación	Carga eléctrica	Masa	Velocidad	Símbolo	Poder de ionización
alfa	Núcleo de helio	++e	$6,68 \times 10^{-27}$ kg	0,1 c	${}^4_2\alpha$	Bajo
beta	Electrón	-e	$9 \times 10^{-31}$ kg	0,9 c	${}^0_{-1}\beta$	Mediano
gamma	Fotón de alta energía	No tiene	No tiene	c	${}^0_0\gamma$	Muy alto

- La radiación gamma, por su gran energía y alto poder de ionización.
- Radiación alfa: en radioterapia y contadores Geiger.  
Radiación beta: en producción de energía.  
Radiación gamma: en la esterilización de alimentos y material quirúrgico.
- Las radiaciones alfa, beta y gamma fueron descubiertas por Becquerel y Röntgen, luego estas fueron clasificadas por Rutherford.

## Página 173. Actividad 14

- Las interacciones fuerte y débil.
- La fuerte.
- Gravitacional, débil, electromagnética, fuerte.
- La gravitacional.
- La gravitacional.
- La gravitacional, pues actúa a grandes distancias y porque existen objetos astronómicos de gran masa.
- 

Fuerza	Partícula mediadora	Magnitud relativa	Alcance (ámbito de importancia)
Gravitacional	Gravitón	1	Largo (cosmos)
Débil	Bosones W y Z	$\sim 10^{28}$	Corto (desintegración del neutrón)
Electromagnética	Fotón	$2 \times 10^{39}$	Largo (átomos, materiales)
Fuerte	Gluones	$\sim 10^{41}$	Corto (ligazón del núcleo atómico)

## Página 174. Síntesis y evaluación de proceso

### Esquema

Los conceptos que completan correctamente el esquema son:

Recuadros izquierdos

- Protones
- Neutrones
- Que poseen carga eléctrica **positiva**.
- Formados a su vez por quarks. Ellos provocan el **decaimiento** del neutrón...

Recuadros centrales

- Nuclear fuerte
- Nuclear débil
- Eléctrica
- Gravitacional

Recuadro derecho

- Es inestable cuando el número de **neutrones** es mayor al de protones. En esas condiciones, frecuentemente presentan radiactividad, formada por emisiones **alfa**, **beta** y gamma.

## Página 175. Síntesis y evaluación de proceso

### I. Desarrollo

1. Las radiaciones alfa, beta y gamma se generan de forma natural, como consecuencia de la estabilización de núcleos atómicos pesados. La radiación alfa son núcleos de helio con bajo poder de penetración, las radiación beta corresponde a electrones con un poder de penetración mediano y las radiaciones gamma son ondas electromagnéticas de alta energía y poder de ionización.
2. A que no es posible predecir cuál núcleo se desintegrará en un determinado instante.
3. Las radiaciones ionizantes, entre ellas se cuentan las emisiones beta, las radiaciones electromagnéticas como los rayos UV y X y la radiación gamma.
4. En una reacción controlada, se puede frenar la velocidad con que se fisuran los núcleos. En una reacción en cadena en cambio, dicho control sobre la velocidad de fisión no existe.
5. La interacción gravitacional.

### II. Para calcular

1. 35,21 dec/s
2. a.  $x = 238$ ,  $y = 90$   
b.  $x = 11$ ,  $y = 6$

### III. Análisis

1. a. La función exponencial,  $N = N_0 e^{-0,043t}$   
b. 16,2 s  
c. 32,4 s

## Página 180. Evaluación final

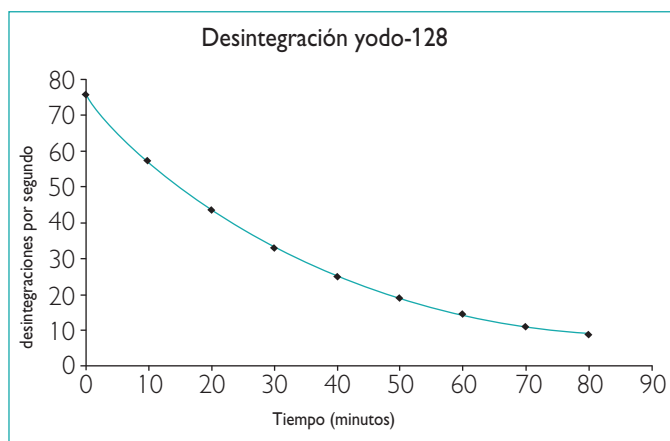
### II. Comprendo

1. C
2. D
3. C
4. E
5. C

## Página 181. Evaluación final

### III. Análizo

1. a. Modelo atómico de Bohr para el átomo de hidrógeno.  
b. Absorción de fotones.  
c.  $12,1 \text{ eV} = 1,936 \times 10^{-18} \text{ J}$ ;  $f = 2,92 \times 10^{15} \text{ Hz}$   
d. Disminuye, menos energéticos.
2. a. Los con número másico entre 40 y 80.  
b. Aumenta la cantidad de nucleones y, como consecuencia, la energía necesaria para mantenerlos juntos.  
c. Que aumentaran de igual manera neutrones y protones.
3.  $T_{1/2} \approx 25 \text{ minutos}$



### IV. Aplico

1.  $2,08 \times 10^{15} \text{ N}$
2. 1,5 eV
3. 13,6 eV
4.  $\Delta v = 579,77 \text{ m/s}$
5.  $\Delta v = 579 \text{ 778,7 m/s}$
6. 285 580,36 años.
7. a.  $\lambda = 0,223 \text{ días}^{-1} = 2,583 \text{ s}^{-1}$   
b.  $T_{1/2} = 268 \text{ 382,9 s} = 3,1 \text{ días}$ .  
c.  $M = 1,156 \text{ g}$
8. a.  $x = 224$ ,  $y = 88$   
b.  $x = 92$ ,  $y = 234$



# Bibliografía

- Alonso, Marcelo; Finn, E. J., **Física II, III**. Ed. Addison - Wesley Iberoamericana, Buenos Aires, 1995.
- Alvarenga, Beatriz; Máximo, Antonio. **Física general**, Ed. Oxford University, México, 1998.
- Halliday, D.; Resnick, R. **Física II**. Ed Continental, México, DF, 1995.
- Hewitt, Paul G. **Física conceptual**. Pearson Educación, México, 2007.
- Sears, Zemansky; Young and Freedman. **Física Universitaria II**. Addison – Wesley Iberoamericana, Buenos Aires, 1998.
- Serway, Raymond. **Física II**. Ed. Mc Graw – Hill, México, 1997.
- Serway, R; Faughn, J. **Física para ciencias e ingeniería**. Ed. Thomson, México, 2006.
- Tippens, P. **Física, conceptos y aplicaciones**. 6ª edición. Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, 2001.
- Tipler, P.A. **Física**. Ed. Revertè, Barcelona, 1996.



# Santillana

EDICIÓN ESPECIAL PARA EL  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
PROHIBIDA SU COMERCIALIZACIÓN

AÑO 2010

