



ZIENTZIAREN KUTXAGUNEA
KUTXAESPACIO DE LA CIENCIA

CHISPAS DE ENERGÍA

MANUAL PARA EL **PROFESORADO**

Este documento está editado en **euskera, castellano y francés**. Si quiere recibir alguno de estos idiomas, solicítelo en el teléfono de reservas:

 **943 012 917**

CHISPAS DE ENERGÍA

MANUAL PARA EL **PROFESORADO**

Nuestra vocación más querida es la de ser un recurso para la Comunidad Educativa. Profundizando en ella hemos emprendido un proyecto de investigación con el título: "Diseño y elaboración de materiales didácticos para alumnos y profesores de enseñanza secundaria que ilustran recorridos educativos por kutxaEspacio Museo de la Ciencia".

Se trata de una colaboración entre kutxaEspacio Museo de la Ciencia, la Universidad del País Vasco y el Departamento de Educación, Universidades e investigación del Gobierno Vasco. En sus manos tiene el primer resultado de este proyecto que muy pronto tendrá su continuación en nuevos materiales pedagógicos. Esperamos que nuestro esfuerzo les resulte útil.

Reciban un cordial saludo de,

Félix Ares

Director General.

Ficha Técnica

Edita:

kutxaEspacio Museo de la Ciencia
Mikeletegi Pasealekua 45
20009 Donostia-San Sebastián

Autores:

Rafael Azcona Rivado, Mikel Etxaniz Añorga, Jenaro Guisasa Aranzabal y Emiliano Mugika Mandiola.

Fotografías:

kutxaEspacio Museo de la Ciencia

Notas de ISBN:

Chispas de energía. Guía didáctica para el profesorado (castellano).
ISBN 84-609-5956-2.
Depósito legal: SS-707/05
PVP: 6 €

MATERIALES FINALISTAS DE LOS PREMIOS "FÍSICA EN ACCIÓN"
Y SELECCIONADOS PARA LA FERIA EUROPEA "PHYSICS ON STAGE"



Si desea más información sobre cualquier tema concreto o, simplemente, quiere conocer mejor kutxaEspacio de la Ciencia visite nuestra web:

www.miramón.org

Para resolver una duda o para realizar su reserva, puede llamar al servicio de reservas

 **943 012 917**

de lunes a viernes de 9,30 h a 13,30 h.

Si quiere llevar a cabo cualquier consulta a través del correo electrónico, la dirección es la siguiente:

kutxaespacio@kutxa.es

Y si prefiere ponerse en contacto a través del fax, puede hacerlo en el:

 **943 012 918**

Chispas de energía.

Los fenómenos eléctricos son, sin duda alguna, parte de la cultura tecnológica actual. Por tanto, es muy importante que los estudiantes relacionen dichos fenómenos con los problemas reales de la vida y que sean conscientes de que es necesario estudiarlos para poder resolver dichos problemas.

Naturalmente, la problematización de la enseñanza -tratar uno u otro contenido para encontrar la solución a algunos problemas- es un proceso que hay que iniciar en el mismo centro docente. De esta manera será más fácil que los estudiantes le encuentren más sentido al estudio de la electricidad y desarrollarán actitudes más favorables de cara a su aprendizaje. Por otra parte, gracias a los experimentos que deberán realizar obligatoriamente para solucionar los problemas (hay que resolverlos científicamente) los estudiantes tendrán una oportunidad excepcional de asimilar los contenidos procedimentales. Por lo que respecta a los contenidos conceptuales, difícilmente podrán los estudiantes construir el modelo electrostático de carga -así como el modelo de corriente eléctrica- sin plantear hipótesis y sin enfrentarse a situaciones experimentales adecuadas.

Sea como fuere, los experimentos que se realizan en los laboratorios de los propios centros son necesariamente simples, debido a que no cuentan con material sofisticado. Dicha carencia de material imposibilita el planteamiento de algunos problemas, ya que no hay medios para verificarlos experimentalmente. Así pues, nos vemos obligados a tratar de manera teórica algunos temas referentes a la electricidad -la creación de ondas electromagnéticas, por ejemplo-, ya que el material necesario queda fuera de las posibilidades del centro.

Creemos que el Museo de la Ciencia puede cubrir dichas carencias. Los estudiantes se encontrarán en los diferentes módulos con problemas que hasta ahora no se habían planteado (los referentes al electromagnetismo, por ejemplo). Dichos problemas tienen siempre relación directa con la realidad (con la realidad tecnológica, naturalmente, ya que hablamos de electricidad). Para resolverlos deberán utilizar los modelos que han estudiado en el centro y que ellos mismos han construido.

Es cierto que algunos de los problemas planteados -o, mejor dicho, los contenidos que deben conocer los estudiantes para poder resolver algunos problemas- son excesivamente complejos para los estudiantes de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) y en algún caso, también para los de Bachillerato. En esos casos sólo se presentará el problema, sin profundizar en ello o sin dar demasiadas explicaciones.

Los módulos de la sala se pueden clasificar en varios itinerarios, de acuerdo con el problema planteado en el módulo.

Ésta será la guía de tu visita:

<p>1 Electrostática (Las cargas están al alcance de tu mano, en el material de los estudiantes).</p>	<p>Para resolver las situaciones que se plantean en los dos módulos de este itinerario, habrán de utilizarse los conceptos de fuerza eléctrica, inducción electrostática y acumulación de cargas (valores del potencial en bachillerato).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Pulgas eléctricas. • Módulo: Bola de plasma.
<p>2 Corriente eléctrica (Mueve las cargas por donde quieras, en el material de los estudiantes).</p>	<p>Se podrá ver el funcionamiento de una pila, la conductividad, los montajes en serie y en paralelo o la ionización del aire. En el Bachillerato no hemos trabajado el último módulo, porque nos parecía más adecuado para la ESO.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: ¡Tú eres una pila! • Módulo: Sentir la electricidad. • Módulo: Tu corazón es eléctrico. • Módulo: Chispas trepadoras. • Módulo: Circuito eléctrico gigante. (Este módulo sólo lo visitan alumnos de ESO).
<p>3 Campo magnético e inducción electromagnética (Puedes crear imanes... y también corriente, en el material de los estudiantes).</p> <p>En la ESO, el contenido de algunos módulos, Freno magnético, Efecto generador y Resonador de Hertz, nos parece excesivo para los conocimientos que tienen los alumnos, y hemos preferido no incluirlos.</p>	<p>En este itinerario se estudia la estrecha relación existente entre la electricidad y el magnetismo. Podemos experimentar con campos y fuerzas magnéticas partiendo de un imán natural.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Juntos pero no revueltos. • Módulo: Arena magnética. <p>A continuación se encuentran los módulos que muestran las bases del motor eléctrico y de las fuerzas y campos magnéticos creados mediante electricidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Succión magnética. • Módulo: A vueltas con la electricidad. • Módulo: Freno magnético. (Este módulo sólo lo visitan alumnos de BACHILLER). <p>Se procederá a explicar que un imán puede ejercer fuerzas sobre las cargas eléctricas en movimiento y hacer que éstas se desvíen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Descargas brillantes. • Módulo: Pintando con imanes. <p>Los estudiantes podrán ver cómo se crea corriente eléctrica mediante imanes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Efecto generador. (Este módulo sólo lo visitan alumnos de BACHILLER). • Módulo: Energía frente a potencia. <p>Por último, analizará la formación de las ondas magnéticas, así como la manera de captar dichas ondas mediante antenas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo: Resonador de Hertz. (Este módulo sólo lo visitan alumnos de BACHILLER).

I Las cargas están al alcance de tu mano.

Damos por supuesto que los estudiantes han tratado la electrostática antes de visitar el Museo. Pero quizás, el tema ha sido tratado hace ya tiempo. Creemos, por tanto, que se deben repasar los conceptos generales para así poder responder a los problemas que se les planteen.

► Recuerda

1. Estamos estudiando las cargas eléctricas. ¿Dónde suelen encontrarse dichas cargas?

Esta primera pregunta es muy importante. Según ha demostrado la investigación didáctica, muchos estudiantes creen (incluso después de estudiar la electricidad) que las cargas eléctricas se crean cuando un cuerpo es cargado (por ejemplo por fricción). Es decir, creen que las cargas no aparecen hasta que el cuerpo se ha cargado. Hemos planteado esta pregunta para detectar las ideas erróneas de los estudiantes al respecto.

Si la respuesta de los estudiantes fuera “las cargas se encuentran en los cuerpos cargados” o algo similar, quedaría en evidencia el error.

Sin embargo, si los estudiantes respondieran que las cargas eléctricas están en todos los cuerpos, pero que normalmente no se manifiestan porque los cuerpos son neutros (porque tienen la misma cantidad de cargas negativas y positivas), así como que un cuerpo sólo se carga cuando la cantidad de cargas positivas y negativas se desequilibra, quedaría claro que han aprendido muy bien el modelo de carga eléctrica y que podemos continuar adelante tranquilamente.

De todos modos, los estudiantes no van a responder tal y como lo hemos hecho nosotros ahora. Su respuesta será parcial, incompleta, más confusa. Pero de esta manera, se podrá observar si dicha idea o el esquema citado anteriormente es erróneo. El profesor deberá completar y dar forma al trabajo de los estudiantes.

2. ¿Son iguales todas las cargas eléctricas?

Por supuesto, responderán que tienen el mismo valor pero diferente signo (positivo y negativo).

3. ¿Hay fuerzas eléctricas entre las cargas? ¿Cómo son dichas fuerzas?

Por lo general, responderán sin dificultad que existe una fuerza de atracción entre cargas de signo contrario y una fuerza de repulsión entre cargas del mismo signo, y que ocurre lo mismo entre cuerpos cargados.

4. ¿A qué se debe el que algunas fuerzas eléctricas sean mayores o menores que otras?

El valor de las cargas, así como la distancia entre ellas, influye en el valor de las fuerzas eléctricas. Cuanto mayor sea la distancia que las separa, menor será la fuerza (no es imprescindible citar la influencia del entorno).

5. ¿Qué sucede si se ponen en contacto dos cuerpos que acumulan cargas de diferente signo? ¿Las cargas pasan de uno a otro sin que importe el material que atraviesan?

Si ponemos un cuerpo que tiene cargas positivas en exceso en contacto con otro que contiene cargas negativas en exceso, pasarán cargas negativas desde el segundo cuerpo al primero, siempre y cuando puedan moverse por el material utilizado para ponerlos en contacto. He aquí el concepto de conductividad.

6.¿Qué cargas se mueven habitualmente?

Aunque los estudiantes no lo precisen, es conveniente aclarar que sólo se mueven las cargas negativas.

7.Tenemos dos cuerpos cargados negativamente y los hemos unido mediante un hilo conductor. ¿Pasarán las cargas de un cuerpo a otro? ¿Y si ambos están cargados positivamente?

La respuesta en este caso no es tan sencilla y los estudiantes deberán hacer uso de un nuevo concepto: la acumulación de cargas. Llamamos acumulación de cargas a la relación entre la cantidad de cargas y el tamaño del cuerpo. Si ponemos en contacto dos cuerpos que contienen cargas negativas en exceso, las cargas negativas pasarán desde el cuerpo que tenga mayor acumulación hasta el que tiene menor acumulación de cargas negativas, hasta que se equilibre la acumulación. Es decir, si tenemos en cuenta la cantidad de cargas y el tamaño del cuerpo, las cargas pasarán desde el cuerpo en el que estén más acumuladas al cuerpo que tenga las cargas más dispersas, hasta obtener una misma distribución en ambos, no hasta que ambos cuerpos obtengan una misma cantidad de cargas (sí, en cambio, cuando los dos cuerpos tienen el mismo tamaño).

Obviamente, si desde el principio ambos cuerpos tienen una misma distribución de cargas, no habrá transferencia de cargas entre ellos.

Y si ambos cuerpos están cargados positivamente, las cargas negativas pasarán del cuerpo que tiene la menor acumulación de cargas positivas al cuerpo que tenga mayor acumulación de cargas positivas, hasta que se equilibre la acumulación de cargas en ambos.

• Módulo: Pulgas eléctricas.

La labor del científico. Hipótesis.

En este caso hemos querido aprovechar la primera hipótesis para explicar más cosas acerca de las mismas, para que los estudiantes en su visita al Museo aprendan más sobre la labor que desarrollan los científicos. Una vez leído el texto, encontraréis algunos comentarios sobre las preguntas que se les han planteado a los estudiantes.

Especifica todos los avances realizados por el niño a lo largo de la investigación, utilizando como base los vacilantes pasos que él mismo haya dado.

Los estudiantes tendrán -probablemente- alguna noción sobre la labor de los científicos y conocerán las principales actividades a desarrollar a lo largo de una investigación. Estudiar el comportamiento del niño puede ser de gran utilidad para determinar los citados pasos.

El punto de partida del estudio o investigación será -como siempre- un determinado problema. En este caso, el problema es el siguiente: hace frío; por tanto, hay que encontrar la manera de encender una hoguera. El niño sabe perfectamente cuál es la pregunta clave para la resolución del problema: "¿Qué materiales son buenos combustibles?" Éste es, por tanto, el primer paso.

Pero, además de plantear el problema, es necesario recopilar información sobre el mismo; es decir, hay que saber qué materiales se queman y cuáles no arden.

Después de recoger y clasificar la información, el niño formula la primera hipótesis: "Los objetos cilíndricos son, tal vez, los que arden".

A continuación, hay que confirmar experimentalmente dicha hipótesis. El niño confirma que la primera vez la hipótesis se cumple; pero no puede confirmarla en la segunda ocasión. A este respecto, convendría subrayar lo siguiente: es necesario hacer cuantos experimentos sean posibles en el momento de la experimentación; es decir, es preciso cambiar las condiciones para confirmar la hipótesis de diferentes maneras. No es suficiente una experiencia con resultado positivo para confirmar una hipótesis, tal y como nos lo muestra el caso del niño.

Por lo tanto, según la nueva información que ha obtenido, el niño se ve obligado a formular otra hipótesis y a cambiar la original. Y eso es -en efecto- lo que hace: "los objetos de madera arden". Esta hipótesis es mejor que la primera, ya que está basada en más información; sin embargo, el niño no ha finalizado todavía la investigación (arden muchas cosas además de los objetos de madera: por ejemplo: las cajas llenas de periódicos), pero marcha por buen camino.

- ¿La primera hipótesis ha sido correctamente formulada?
"Los objetos cilíndricos son, tal vez, los que arden".

Sí, sin duda alguna. Responde al problema -según la información con que cuenta el niño- es creíble, parece verosímil y comprobable... Es una hipótesis bien planteada, válida... aunque es falsa.

- ¿Se ha confirmado tal hipótesis experimentalmente?

No. Según la primera comprobación, la hipótesis se ha cumplido; pero en la segunda experimentación ha quedado patente la falsedad de la misma. Para que queden confirmadas, las hipótesis deben cumplirse en todas las experimentaciones.

- ¿La segunda hipótesis ha sido correctamente formulada? ¿Es correcta y verídica?

El niño ha formulado correctamente su segunda hipótesis. Según la información con la que cuenta, es creíble y verificable. Podría afirmarse que es correcta (es verdad que los objetos de madera arden), pero ello no responde en su totalidad al problema del niño, ya que además de los objetos de madera arden otras muchas cosas.

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando se frota el plástico que cubre la mesa con el jersey, se carga negativamente -sólo donde se ha frotado- y no se descarga inmediatamente. Puesto que es aislante, las cargas negativas captadas por el plástico no pueden moverse. De hecho, sólo se ha cargado la superficie superior, ya que las cargas no pueden desplazarse hacia abajo. Pero en la parte inferior se ha producido una polarización: las cargas negativas que ha cedido el jersey orientan los polos inferiores y también la parte inferior se comporta como si estuviera cargada negativamente.



La parte inferior del plástico, por tanto, induce los papeles (que son neutros): dichas cargas se verán orientadas, polarizadas -las cargas positivas orientadas hacia arriba; las negativas, hacia abajo-. Por consiguiente, las cargas positivas quedarán más cerca del plástico y la fuerza de atracción que inducirá a dichas cargas será mayor que la fuerza de repulsión que inducirá a las cargas negativas, ya que estas están más lejos; de esta manera, se elevarán los papelitos.

Al elevarse, los papelitos adquirirán cierta carga negativa, debido al contacto con el plástico, que está cargado negativamente. Una vez cargados negativamente, serán repelidos y caerán. Pero si al caer pierden -por hallarse en contacto con el fondo- la poca carga negativa que han recibido anteriormente, y si a continuación los papelitos quedan neutros, puede repetirse la inducción y se repetirá el proceso.

Para conseguirlo, la parte superior de la mesa debe estar muy cargada para que la polarización inducida en la parte inferior sea suficiente y para que ceda carga negativa a los papelitos. Por eso, una vez transcurrido algún tiempo desde que se ha frotado con el jersey, los papelitos ya no son repelidos, no caen, ya que cuando la polarización no es tan fuerte los papelitos no reciben cargas.

Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué han subido los papelitos hacia el plástico al frotarlo enérgicamente con tu jersey? ¿Estarán cargados los papelitos?

Como señalábamos anteriormente, la parte inferior del plástico no se carga realmente, pero sí se polariza como si estuviera cargada negativamente. Sin embargo, no creemos que merezca la pena explicarlo a los estudiantes de la ESO (ellos no opinarán lo mismo, claro está). Por ahora, sería suficiente con explicarles que el plástico se carga mediante el jersey.

❷ ¿Por qué han descendido a continuación (el proceso puede repetirse dos o tres veces)? Hemos explicado anteriormente los motivos de dicho fenómeno.

❸ Estando en el Museo habrás visto, probablemente, lo siguiente: a veces un papelito cuelga de otro que, a su vez, cuelga del plástico que lo cubre. ¿A qué se debe, en tu opinión, tal fenómeno?

La explicación de este hecho es similar a la del anterior. El papelito que cuelga del plástico está inducido; sus cargas negativas están en la parte inferior y también producen inducción en el otro papelito.

• Módulo: Bola de plasma.

Durante la visita (en el Museo)



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Qué ha ocurrido?

Las cargas negativas pasan del centro a la superficie de la esfera, ya que el valor del potencial es menor en el centro que en la superficie. Por lo tanto, las cargas negativas se dirigen hacia la superficie y pierden energía potencial. Dicho trasvase se produce debido a que las cargas pueden moverse a través del plasma. Recordemos que el plasma es conductor si está ionizado. Cuando las cargas atraviesan el plasma, se libera luz y calor; formándose un rayo.

Los rayos se dirigen hacia cualquier punto de la superficie de la esfera, ya que el valor del potencial es igual en todos los puntos de la misma -mayor que en el centro- y las cargas negativas pierden la misma cantidad de energía potencial al dirigirse desde el centro de la esfera hacia cualquier punto.

Cuando tocamos la esfera con el dedo, debido a que nuestro potencial es cero -nuestro cuerpo es voluminoso y está en contacto con el conductor y la tierra- descargamos esa zona de la esfera y el potencial de la misma pasa a cero en ese punto; por consiguiente, las cargas negativas del centro sufren una mayor atracción hacia ese punto, ya que si alcanzan el punto que estamos tocando pierden más energía potencial que llegando a cualquier otro.

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué se dirigen las cargas desde el punto central de la bola de plasma a la superficie exterior originándose rayos?

Los estudiantes de la ESO difícilmente entenderán -a nuestro parecer- la explicación correspondiente a esta pregunta. Tampoco nos parece procedente ofrecérsela en este momento. Consideramos más razonable ofrecer una explicación mucho más simple, ya que no conocen todavía el concepto de potencial. Lo explicaríamos de la siguiente manera: las cargas negativas pasan del centro de la bola hasta la superficie -aunque en ambas zonas haya exceso de ellas- debido a que en el centro la acumulación es mayor que en la superficie. Dicho flujo se produce debido a que las cargas pueden moverse a través del plasma (el plasma es conductor). Cuando atraviesan el plasma, éste se ioniza (no explicaremos por el momento en qué consiste la ionización) y, por consiguiente, se libera luz y se forma un rayo (lo mismo sucede en los rayos auténticos: las cargas que pasan de una nube a otra ionizan el aire).

2 ¿Por qué se dirigen los rayos, las cargas, a cualquier punto de la superficie de la esfera?

Se produce el mismo fenómeno que en el caso anterior. Lo explicaríamos de la siguiente manera: porque la acumulación de las cargas negativas es la misma en todos los puntos de la superficie; por tanto, no hay razón alguna para que vayan más cargas, más rayos, a un punto que a otro.

3 ¿Y por qué se han dirigido la mayoría de los rayos, las cargas, a tu dedo al tocar con éste la superficie de la esfera?

Por la misma razón. Al ser neutro tu cuerpo, no tiene acumuladas cargas negativas, al contrario que en la superficie de la esfera. Por lo tanto, al tocar la esfera con el dedo se descarga esa zona de la misma, ya que se expulsa el exceso de cargas negativas de dicho punto; este tipo de cargas del centro de la bola sufre, por consiguiente, una mayor atracción hacia el citado punto.

4 ¿Por qué tu compañero ha sentido calambre cuando le has tocado con el dedo?

Al tocar la esfera recibes cargas negativas: al principio, las cargas negativas que había en ese punto de la esfera; a continuación, las aportadas por el rayo. Aunque eres conductor; si llevas zapatos con suela de goma dichas cargas saldrán lentamente de tu cuerpo. Al tocar a tu compañero, en cambio, le transmitirás de repente todas las cargas que has acumulado; dichas cargas le producirán un calambrazo al pasar a su cuerpo.

2 Mueve las cargas por donde quieras.

Al igual que en el itinerario anterior, creemos que también en éste es necesario que los estudiantes repasen los principales conceptos relacionados con la corriente eléctrica y con el circuito eléctrico antes de empezar a estudiar los módulos del Museo.

► Recuerda

1. Si un cuerpo está cargado negativamente -si tiene cargas negativas en exceso- y otro está cargado positivamente -si tiene cargas positivas en exceso-, las cargas negativas pasan del primero al segundo si están debidamente conectados mediante un conductor. ¿Qué se necesita para que esa descarga sea continua y no repentina?

Hace falta mantener la acumulación de cargas en ambos cuerpos; de lo contrario, cuando pasen las cargas negativas del primero al segundo se obtendrá la misma cantidad de cargas negativas y positivas, ya que se descargarán tanto el primer cuerpo como el segundo. Para mantener el flujo de cargas es necesario introducir en el primer cuerpo el mismo número de cargas negativas que se han desplazado del primer cuerpo al segundo; así pues, se mantiene la acumulación de cargas para que las cargas negativas sigan desplazándose.

2. ¿En qué se diferencian los conductores y los aislantes eléctricos?

En los conductores las cargas eléctricas (cargas negativas, ya que son éstas las que se desplazan) se mueven desde el lugar en el que hay más acumulación hasta el lugar en el que hay menos acumulación de cargas (o al lugar en el que no hay cargas). En los aislantes, sin embargo, no se produce tal fenómeno: si las cargas están acumuladas en un determinado lugar, se mantienen en el mismo sitio, pues no pueden moverse. Por eso resulta tan difícil cargar conductores y tan fácil cargar aislantes.

3. En un circuito eléctrico, ¿qué elemento cumple la función mencionada en la primera pregunta? ¿Qué otros elementos de un circuito conoces? ¿Cuál es la función de dichos elementos?

La citada función la cumplen las pilas (o los generadores, en general), que generan la energía que necesitan las cargas negativas para moverse, manteniendo así la acumulación -antes mencionada- de todo tipo de cargas. El generador no crea cargas ni cede al circuito las cargas que tiene acumuladas (muchos estudiantes tienen ideas equivocadas al respecto). Aporta energía a las cargas negativas que hay en el propio conductor para que éstas se muevan. Les aporta energía porque las lleva desde el polo positivo -donde faltan cargas negativas (por tanto, desde el polo en el que son atraídas)- al polo negativo donde las hay en exceso (es decir, al polo donde son repelidas). Las cargas ganan energía eléctrica y el generador, por tanto, pierde su energía interna. Ése es el motivo de que se agoten las pilas.

4. ¿Cuándo se dice que un circuito está abierto? ¿Y cerrado?

Si los dos bornes del generador están unidos por material conductor, el circuito está cerrado; y estará abierto si no están unidos. Éste es un requisito imprescindible para que el generador aporte energía al circuito.

5. ¿Cuáles son las principales magnitudes que indican las características de un circuito eléctrico?

La intensidad (número de cargas que pasan a través de un circuito por segundo) y la diferencia de potencial, tensión o voltaje (cantidad de energía que gana una unidad de carga cuando pasa por un generador o que pierde cuando atraviesa algún elemento - resistencia, motor, bombilla...)-. Otra de las características de cada elemento es su resistencia.

6. Los elementos de un circuito se pueden conectar en serie o en paralelo. ¿Cuáles son las características de estos dos tipos de montaje?

Cuando se conectan en serie los elementos de un circuito se unen uno a continuación de otro, formando entre todos un solo ramal. En consecuencia, el funcionamiento de uno influye en el resto. La corriente es idéntica en todo el circuito, es decir, en todos los elementos. La energía que el generador aporta a las cargas se reparte entre todos los elementos y cada uno recibe diferente cantidad de energía (siempre y cuando el elemento sea diferente al resto; de lo contrario, recibirían la misma cantidad de energía).

Cuando los elementos de un circuito se conectan en paralelo cada elemento tiene un ramal propio, unido directamente al generador y que funciona de manera independiente. La corriente es diferente en cada elemento (si el elemento es diferente al resto), y la corriente que sale del generador es repartida entre todos los elementos. Las cargas que se mueven a través de todos los elementos reciben toda la energía del generador.

7. ¿Cuáles son los instrumentos de medida que indican el valor de las magnitudes eléctricas? ¿Cómo se conectan, en serie o en paralelo?

El voltímetro mide la diferencia de potencial (la energía que pierde o gana la unidad de carga) entre dos puntos y debe colocarse en paralelo entre los mismos. El amperímetro mide la intensidad de la corriente (número de cargas que pasan por segundo) que pasa a través de un punto; debe colocarse en dicho punto, en serie.

8. ¿Cuál es la relación entre dichas magnitudes?

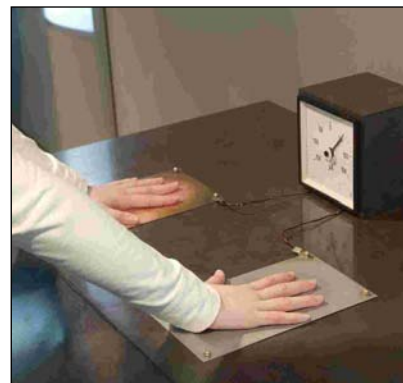
La relación es la denominada Ley de Ohm, que se representa de esta manera: $V_{ab} = R \cdot I$, es decir, la diferencia de potencial existente entre dos puntos es la resistencia de dicho elemento multiplicado por la intensidad.

• Módulo: ¡Tú eres una pila!

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando el estudiante pone sus manos encima de dos láminas de diferentes metales se crea una corriente eléctrica, un flujo de electrones. Sin embargo, dicho flujo no es producido por la electricidad animal de Galvani ni por el simple contacto entre dos metales (como creía Volta) sino por la reacción redox entre ambos metales y la solución salina de nuestra piel.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Quién propuso la hipótesis correcta, Galvani o Volta? ¿En qué te basas para responder?

Los estudiantes no van a responder de la misma manera que nosotros, ya que no conocen las reacciones redox. Sea como fuere, es muy importante que los estudiantes razonen sus respuestas. A tenor de los experimentos que han efectuado, los estudiantes optarán por Volta, ya que poniendo las manos encima de dos láminas del mismo metal no han recibido corriente alguna; sí, en cambio, cuando las han puesto en láminas de diferentes metales.

Si la hipótesis de Galvani fuera cierta -es decir, si existiera la electricidad animal- también se debería obtener corriente cerrando el circuito con dos láminas del mismo metal; sin embargo, cerrando el circuito con dos metales diferentes -tal como afirmaba Volta- han conseguido producir corriente.

❷ ¿Podrías explicar por qué se contraen las patas de las ranas cuando las ponemos en contacto con la máquina de electrización o con el pararrayos?

En estos dos casos, la corriente necesaria para contraer los músculos no proviene del contacto entre dos metales. En el primer caso, se ha producido cuando las cargas acumuladas en un polo de la máquina de electrización han pasado a través del bisturí y de las patas de la rana hasta el suelo (a la mesa); en el segundo caso, cuando las cargas acumuladas han ido al pozo después de atravesar el pararrayos, el cable, las patas de la rana y el alambre.

❸ El nombre del módulo es ¡Tú eres una pila! ¿Realmente, eres tú una pila?

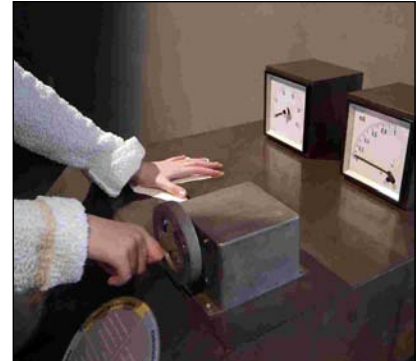
La mayoría responderá, probablemente, que no. Los estudiantes responderán que las pilas o generadores no son más que las láminas de dos metales diferentes unidos mediante un conductor; ya que es lo que han aprendido en clase. Se debe considerar correcta dicha respuesta, puesto que los estudiantes no disponen de datos para desmentirla. En Bachillerato se percatarán de que dicha respuesta no es del todo exacta.

• Módulo: Sentir la electricidad.

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Accionando la manivela el generador crea una diferencia de potencial entre 0 y 25 V entre ambos contactos. Si el estudiante cierra el circuito con dos dedos, atraviesa por ellos una corriente cuya intensidad varía en función a la resistencia de aquel. Si los dedos están mojados (por el sudor o porque los ha mojado el estudiante) disminuye la resistencia y aumenta la intensidad. Si efectúa el experimento más de un estudiante, la corriente que los atraviesa será diferente ya que oponen diferente resistencia.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué ha indicado el amperímetro que ha pasado corriente al poner dos dedos en los contactos?

El motivo de dicho fenómeno ha sido explicado con anterioridad. Si antes de visitar el Museo han estudiado cuantitativamente la Ley de Ohm, podremos calcular cual es su "resistencia eléctrica".

2 ¿Por qué ha aumentado la intensidad al humedecer los dedos?

Sin duda, porque al humedecer los dedos disminuye la resistencia. Podemos verificar que la resistencia ha disminuido analizando los nuevos datos.

3 ¿Y por qué cambia la intensidad de la corriente de una persona a otra, aunque la tensión sea idéntica para ambas?

También se ha respondido antes a esta pregunta.

• Módulo: Tu corazón es eléctrico.

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Este módulo es diferente del resto. Tomando en consideración los conocimientos de los estudiantes, creemos que no hay muchas posibilidades de proponer problemas. Por tanto, no se les pedirá que formulen hipótesis ni que hagan experimentos. Nos limitaremos a ofrecerles determinada información que deben verificar en el Museo.

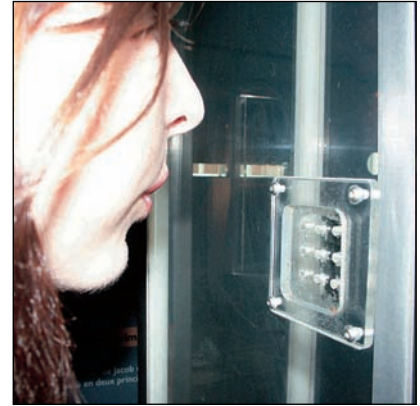


• Módulo: Chispas trepadoras.

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

En este módulo hemos aplicado una diferencia de potencial muy alta -40.000 V- entre dos electrodos, mediante un transformador. En consecuencia, el campo eléctrico en la parte inferior de los electrodos es muy intenso, ya que estos se encuentran más próximos entre sí. Por consiguiente, el aire que hay entre los electrodos se ioniza y salta una chispa de uno a otro, transportando las cargas eléctricas a través del aire.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué suben las chispas por la "escalera"?

Cuando se produce la descarga eléctrica el aire se ioniza. Se libera energía al volver a la situación inicial y se calienta el aire del entorno en el que aparece la chispa. El aire caliente tiene menor densidad que el aire ordinario; por consiguiente, se eleva. Así pues, el aire ionizado se desplaza hacia arriba y la chispa entre los dos electrodos evoluciona ascendiendo.

Si se considera oportuno, se les puede presentar el ejemplo de los globos aerostáticos para que entiendan mejor el fenómeno.

2 ¿Por qué se rompe, se deshace, la chispa al soplar?

Al soplar por la ventanilla se dispersa el aire ionizado y la chispa ya no puede seguir pasando de un electrodo al otro. Además, los electrodos están demasiado separados entre sí para que el aire se vuelva a ionizar y para poder crear otra chispa a esa altura.

• Módulo: Circuito eléctrico gigante.

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Como hemos dicho, los botones azules son interruptores: están abiertos y se cierran al pulsar el botón.

En el primer circuito hay un interruptor conectado en paralelo con cada una de las bombillas; cuando lo pulsamos, cuando está cerrado, cortocircuita la bombilla que tiene al lado y ésta se apaga.



Cuando lo abrimos, el cortocircuito se rompe y la bombilla se enciende.

Si los tres botones están pulsados, cortocircuitamos las tres bombillas; en el circuito no hay casi resistencia, y la intensidad de corriente tendería a ser infinita: es una situación peligrosa y el módulo tiene un sistema que corta el circuito cuando eso ocurre, por lo que el amperímetro no marca intensidad de corriente.

Para empezar a analizar el primer circuito con los alumnos nos parece que lo más adecuado es abrir los tres interruptores, soltar los tres botones. Así las tres bombillas están en serie y se encienden las tres. Los 12V que la pila da a cada unidad de carga se reparten entre las tres bombillas, y como son iguales, la unidad de carga consume 4V en cada una de ellas, y eso es lo que mide el voltímetro situado al lado.

Cuando cerramos un interruptor, éste cortocircuita la bombilla situada a su lado y ésta se apaga. De este modo quedan sólo dos bombillas en serie y ahora se reparten entre las dos los 12V de cada unidad de carga; los voltímetros marcan 6V. No importa cuál sea la bombilla que cortocircuitemos, el resultado es el mismo, porque las tres son iguales.

Por lo que respecta a la intensidad de corriente, ésta aumenta cuando cortocircuitamos una bombilla, porque ahora en el circuito en serie sólo quedan dos en vez de tres, y la resistencia es menor. Por tanto, según la Ley de Ohm, la intensidad aumenta, ya que la tensión es la misma.

La luminosidad de las bombillas también aumenta, por dos razones. La luminosidad de una bombilla indica la potencia, la energía, que se está consumiendo en esa bombilla. Por tanto, si al cortocircuitar una bombilla la energía consumida por la unidad de carga en las otras dos la tensión aumenta de 4V a 6V, y el número de cargas que circula por el circuito, la intensidad, también aumenta, la energía total consumida en cada una de esas bombillas ha de aumentar, y las bombillas alumbran más.

Al cerrar dos interruptores ocurre lo mismo. Los 12V se consumen en una sola bombilla y eso es lo que indica su voltímetro; la intensidad de corriente aumenta aún más porque la resistencia del circuito es la de una única bombilla; la luminosidad de la bombilla encendida aumenta mucho.

En el segundo circuito las tres bombillas se encuentran conectadas en paralelo, cuando se cierra el interruptor situado al lado de cada una y pasa corriente por ellas. Si el interruptor está abierto, no pasa la corriente por esa rama del circuito y la bombilla no se enciende.

Cuando las tres bombillas están encendidas, los amperímetros situados al otro lado indican la misma intensidad de corriente, pero porque las bombillas son iguales; si fueran diferentes, si su resistencia fuera diferente, la intensidad también lo sería. El amperímetro que mide la intensidad total del circuito ha de marcar necesariamente la suma de las intensidades de las tres ramas del mismo.

Al abrir un interruptor se apaga la bombilla situada a su lado, pero no cambian las intensidades de las otras dos, ni su luminosidad, ni lo que marca el voltímetro, porque los circuitos en paralelo se comportan como circuitos independientes.

Y al abrir dos, lo mismo.

El tercer circuito es más complicado. Tenemos tres bombillas en paralelo, las tres centrales, y ese paralelo está conectado en serie con las otras dos.

Para encender alguna bombilla hay que cerrar alguno de los interruptores centrales, para que la corriente pase por alguna de las ramas en paralelo. El primer y el último interruptor pueden estar abiertos o cerrados: si están abiertos la corriente pasará por las bombillas que están en paralelo con ellos. Si están cerrados la corriente pasará por ellos, que cortocircuitan las bombillas. Eso sí, en este caso la resistencia del circuito disminuirá, la intensidad de corriente será mayor y las bombillas alumbrarán más.

Para encender todas las bombillas hay que cerrar los tres interruptores centrales y abrir los dos de los extremos, para que no cortocircuiten las bombillas situadas a su lado.

Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué se reparte la tensión del generador entre las tres bombillas?

Porque en el circuito en serie la energía de la carga unidad, la tensión, se reparte entre todos los elementos, entre las tres bombillas, en este caso, ya que todas las cargas han de pasar por ellos. Como además las tres bombillas son iguales, en cada una se consume un tercio de la energía y alumbran igual.

2 ¿Por qué aumenta la luminosidad de las otras bombillas al cortocircuitar una o dos de ellas?

Lo hemos explicado antes: como aumentan la tensión de cada bombilla y la intensidad de corriente del circuito, la energía total consumida en las bombillas, la luminosidad, aumenta.

3 ¿Por qué es siempre la misma la tensión que mide el voltímetro situado en la parte superior? ¿Y por qué cambian las intensidades de corriente que miden los amperímetros?

Porque en los circuitos en paralelo la tensión entre los extremos de una rama del circuito, la energía que la unidad de carga consume en una rama del circuito, depende únicamente de la energía que el generador suministre a la unidad de carga, y es independiente de la resistencia de esa rama y del número de ramas que haya conectadas en paralelo.

La intensidad de corriente sí que depende, en cambio, de la resistencia que haya en esa rama.

4 ¿Por qué no cambia la luminosidad de las otras bombillas cuando abrimos un interruptor y apagamos una bombilla?

Porque la tensión a la que está conectada esa bombilla no cambia al conectar o desconectar otra, como hemos dicho, y la intensidad que la recorre tampoco. Así, la energía que se consume en ella es siempre la misma.

3 Puedes **crear imanes...** y también **corriente.**

En este itinerario vamos a cambiar el esquema de trabajo que hemos utilizado hasta ahora. Es prácticamente imposible que los estudiantes formulen hipótesis acerca de los problemas que se les plantean en dichos módulos.

Debido a que no dominan el tema, es necesario cambiar el esquema de trabajo habitual. Al comienzo, y con objeto de fomentar el interés de los estudiantes, se ha incluido un texto que contiene datos interesantes acerca del magnetismo. Pero una vez leído dicho texto apenas pueden recordar nada, ya que no han trabajado los contenidos del mismo. Tampoco pueden efectuar hipótesis sobre lo que puede ocurrir en dichos módulos. Por lo tanto, los estudiantes deben limitarse a observar lo que ocurre en los módulos del Museo; a continuación, en vez de pedir que nos expliquen lo sucedido, daremos directamente la explicación que, por descontado, será una explicación adecuada a su nivel (las explicaciones más "científicas" vienen, como siempre, en esta guía). Además, en nuestra opinión, no merece la pena tratar algunos módulos.

• **Módulo: Juntos pero no revueltos.**

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Entre los imanes han surgido fuerzas de repulsión y de atracción (según los polos).

Los estudiantes saben, probablemente, que el imán influye en el hierro (en general, en los materiales ferromagnéticos), es decir, que le aplica una fuerza. Dichas fuerzas se aplican en función de las líneas de campo o de las líneas de fuerza (concretamente la fuerza ejercida es tangente a las líneas de fuerza). Por consiguiente, las virutas de hierro se han distribuido en función de las líneas de fuerza y muestran la forma de dichas líneas (en dos dimensiones, en este módulo).

Si acercamos los objetos de hierro (o los elaborados con una aleación de hierro: por ejemplo, llaves) al imán se orientarán los movimientos de las cargas internas, se imantarán y serán atraídos, ya que están hechos de material ferromagnético. En cambio, si acercamos una goma de borrar o un bolígrafo, por ejemplo, el imán no ejercerá ningún efecto sobre ellos, porque no están hechos de material ferromagnético.

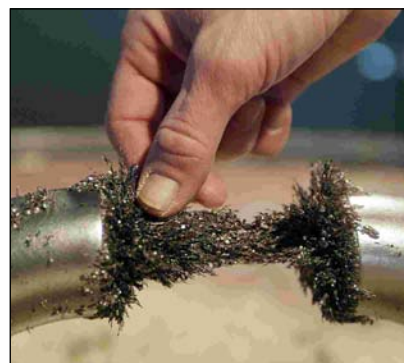


• **Módulo: Arena magnética**

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

En este caso, las virutas de hierro han quedado repartidas en función de las líneas de fuerza y muestran la forma de dichas líneas (en esta ocasión, en tres dimensiones).

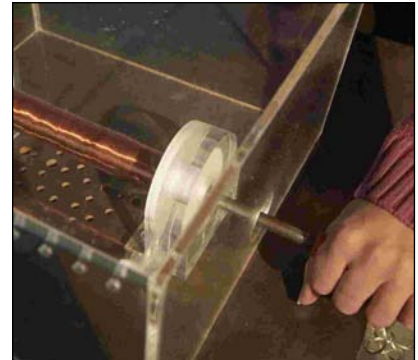


• Módulo: Succión magnética.

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando la corriente eléctrica ha pasado por las espiras -tanto de la bobina grande como de la pequeña-, se ha formado un campo magnético. Dicho campo ha imantado la barra de hierro -al comenzar a entrar en la bobina grande- y la varilla de hierro -dentro de la bobina pequeña-, ya que el hierro es material ferromagnético (el movimiento de sus cargas negativas libres internas es orientado bajo el efecto del campo magnético, y cada una de ellas se convierte en un pequeño imán; el hierro es imantado por todas ellas). Por tanto, el imán externo -la bobina- ha ejercido una fuerza tanto sobre la barra como sobre la varilla, y las ha atraído.



En el plástico, por el contrario, no ha tenido lugar esa orientación, puesto que no es un material ferromagnético (no tiene en su interior ninguna carga negativa libre); por lo tanto, no se ha convertido en imán y no ha sido atraído por la bobina.

• Módulo: A vueltas con la electricidad.

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

El campo magnético ha ejercido una fuerza sobre las corrientes radiales que se han formado en el disco al poner el cable sobre el mismo. He aquí la fuerza ejercida, según la Ley de Laplace: $F_m = I \cdot L \times B$

Así pues, la multiplicación vectorial $L \times B$ nos da la dirección y el sentido de la fuerza. El vector L es una función de la corriente que va desde la arista al eje, ya que al hacer contacto con el cable las cargas negativas han pasado del disco a aquel (las cargas negativas se han desplazado desde el centro hacia fuera). Puesto que B está dirigido verticalmente, de arriba a abajo, la fuerza resultante de multiplicar $L \times B$ empuja el disco en el sentido de las agujas del reloj. Dicha fuerza ha provocado un momento en el disco, debido a lo cual ha empezado a girar.

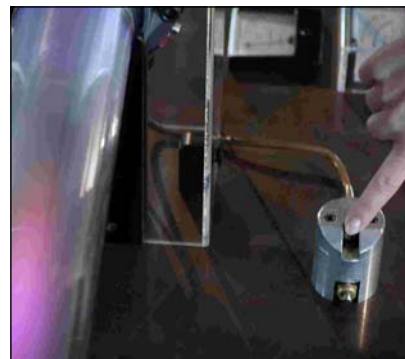


• **Módulo: Descargas brillantes.**

Después de la visita
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

Al igual que en las del módulo anterior, el imán ha ejercido una fuerza sobre estas cargas que se desplazan libremente y las ha desviado en función de la Ley de Lorentz. En consecuencia, ha cambiado la trayectoria de las cargas y el rastro que éstas van dejando (la estela coloreada).

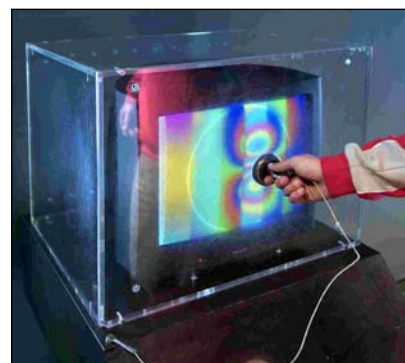


• **Módulo: Pintando con imanes.**

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Al acercar el imán, su campo magnético ejerce una fuerza en los electrones que están en movimiento y cambia la trayectoria de estos. Por consiguiente, ha quedado invalidada la función de la rejilla de la parte anterior de la pantalla utilizada para que cada haz de electrones llegue a la barra del color que le corresponde; en lugar de esto los electrones han llegado a una barra de un color que no les corresponde y se han formado diferentes imágenes.



• **Módulo: Energía frente a potencia.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Puesto que no podemos ver el interior del generador, no podemos explicar su funcionamiento, ya que no se ve cómo se produce el cambio en el flujo magnético.



I Las cargas están al alcance de tu mano.

Damos por supuesto que los estudiantes de Bachillerato han estudiado la electrostática antes de visitar el Museo. Consideramos necesario, sin embargo, repasar los conceptos generales para que puedan responder a los problemas que se les planteen.

► Recuerda

1. ¿Qué quiere decir que la materia tiene naturaleza eléctrica?

Nuestro objetivo es explicar a los estudiantes el llamado “modelo de carga” partiendo de dicha pregunta. He aquí la definición del concepto: “Todos los materiales, aunque sean neutros, tienen cargas eléctricas”. Dichas cargas pueden ser positivas o negativas. Si un cuerpo es neutro es porque contiene la misma cantidad de cargas positivas que de negativas. Si estuviera cargado, he aquí el motivo: es mayor el número de cargas positivas que el de negativas, o viceversa. Entre cargas del mismo signo surgen fuerzas de repulsión; entre cargas de signo contrario, fuerzas de atracción. Las fuerzas eléctricas son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia.

2. ¿Qué es el campo eléctrico? ¿Y el potencial? ¿Y la diferencia de potencial?

Los estudiantes conocen suficientemente estos conceptos; convendría repasarlos para posteriormente utilizarlos.

3. ¿En qué sentido se mueven las cargas positivas dentro del campo eléctrico? ¿Y las negativas?

Las cargas positivas se mueven en función del campo, es decir, se mueven hacia potenciales decrecientes, perdiendo en dicho movimiento energía potencial eléctrica. Las cargas negativas, en cambio, se mueven en sentido contrario, hacia potenciales crecientes. También éstas pierden energía potencial eléctrica.

• Módulo: Pulgas eléctricas.

Antes de la visita

¿Qué ocurrirá?

En el texto dedicado a la inducción se cita el electroscopio. Creemos que es importante que los estudiantes conozcan en qué consiste dicho instrumento y cómo funciona (si hubiera posibilidad para ello, convendría también enseñarles el propio instrumento).

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando se frota el plástico que cubre la mesa con el jersey, se carga negativamente -sólo donde se ha frotado- y no se descarga inmediatamente. Puesto que es aislante, las cargas negativas captadas por el plástico no pueden moverse. De hecho, sólo se ha cargado la superficie superior; ya que las cargas no pueden desplazarse hacia abajo. Pero en la parte inferior se ha producido una polarización: las cargas negativas que ha cedido el jersey orientan los polos inferiores y la parte inferior también queda polarizada, comportándose como si estuviera cargada negativamente.



La parte inferior del plástico, por tanto, induce los papeles (que son neutros): dichas cargas se verán orientadas, polarizadas -las cargas positivas orientadas hacia arriba; las negativas hacia abajo-. Por consiguiente, las cargas positivas quedarán más cerca del plástico y la fuerza de atracción que inducirá a dichas cargas será mayor que la fuerza de repulsión que inducirá a las cargas negativas, ya que éstas están más lejos; de esta manera, se elevarán los papelitos.

Al elevarse, los papelitos adquirirán cierta carga negativa, debido al contacto con el plástico, que está cargado negativamente. Una vez cargados negativamente, serán repelidos y caerán. Pero si al caer pierden -por hallarse en contacto con el fondo- la poca carga negativa que han recibido anteriormente, y si a continuación los papelitos quedan neutros, puede repetirse la inducción y se repetirá el proceso.

Para conseguirlo, la parte superior de la mesa debe estar muy cargada para que la polarización inducida en la parte inferior sea suficiente y para que ceda un poco de carga negativa a los papelitos. Por eso, una vez transcurrido algún tiempo desde que se ha frotado con el jersey los papelitos ya no son repelidos, no caen, ya que cuando la polarización no es tan fuerte los papelitos no reciben cargas.

Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué han subido los papelitos hacia el plástico al frotarlo con tu jersey? ¿Estaban cargados los papelitos?

Se ha explicado anteriormente.

❷ ¿Por qué han descendido a continuación (probablemente se haya repetido el proceso dos o tres veces)?

Se ha explicado anteriormente.

• Módulo: Bola de plasma.

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Las cargas negativas pasan del centro a la superficie de la esfera, ya que el valor del potencial es menor en el centro que en la superficie. Por lo tanto, las cargas negativas se dirigen hacia la superficie y pierden energía potencial. Dicho de otro modo, hay un campo eléctrico radial que se dirige desde la superficie hacia el centro de la esfera, y que empuja a las cargas negativas hacia la superficie. El paso de las cargas es posible debido a que las cargas pueden moverse a través del plasma. Recordemos que el plasma es conductor si está ionizado. Cuando las cargas atraviesan el plasma, se libera luz y calor, formándose un rayo.



Los rayos se dirigen hacia cualquier punto de la superficie de la esfera debido a que el valor del potencial es el mismo en todos los puntos de la misma -mayor que en el centro, como hemos dicho- y las cargas negativas pierden la misma cantidad de energía potencial al desplazarse desde el centro de la esfera hasta cualquier punto. O lo que es lo mismo, debido a que el valor del campo eléctrico es el mismo en cualquier dirección radial.

Cuando tocamos la esfera con el dedo, debido a que nuestro potencial es cero -nuestro cuerpo es voluminoso, conductor y está en contacto con la tierra- descargamos esa zona de la esfera y el potencial de la misma pasa a cero; por consiguiente, las cargas negativas del centro sufren una mayor atracción hacia ese punto, ya que si alcanzan el punto que estamos tocando pierden más energía potencial que si llegan a cualquier otro. Dicho de otro modo, la intensidad del campo eléctrico es mayor en la dirección de ese punto que en la de cualquier otro, ya que la diferencia de potencial entre el centro de la esfera y ese punto es mayor que respecto a cualquier otro.

Además de verificar la hipótesis, se propone a los estudiantes la realización de algunos experimentos en relación con la bola de plasma, para que perciban que el aire está ionizado, cargado, y que el potencial toma valores diferentes. Creemos que estos experimentos son muy interesantes y aconsejamos llevarlos a cabo. Para ello se necesitan lámparas de destello. Dichas lámparas se encienden aunque fluya muy poca carga por su interior (incluso con la ínfima cantidad de carga que puede captar un electroscopio al tocarlo con una barra de ebonita); los encontrarás en los equipos electrostáticos para Enseñanza Secundaria. Si no se dispone de estos recursos en el centro, pueden adquirirse en empresas suministradoras de material didáctico. Si se lleva más de una lámpara, mejor. A continuación explicamos los contenidos de los experimentos, con la respuesta correspondiente a cada pregunta.

**Después
de la visita**
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué pasan las cargas desde el punto central de la bola de plasma a la superficie exterior de la misma?

Se ha explicado anteriormente.

❷ ¿Por qué se dirigen los rayos a cualquier punto de la superficie de la esfera?

Se ha explicado anteriormente.

❸ ¿Por qué se han dirigido la mayoría de los rayos, la mayoría de las cargas, a tu dedo al tocar la superficie de la esfera con éste?

Se ha explicado anteriormente.

4. ¿Por qué se ha encendido la lámpara de destello al acercarla a la bola de plasma? ¿Por qué se ilumina más al sujetarla desde el extremo metálico que al sujetarla por el centro de la parte de vidrio?

La lámpara se enciende incluso a 20-30 cm de la bola. El motivo es el siguiente: el aire está cargado, ionizado, alrededor de la bola y el potencial tiene diferentes valores en función de la posición.

Como hemos señalado anteriormente, el potencial en el centro de la bola es muy negativo, y en la superficie, por el contrario, aunque sea negativo, la diferencia con respecto al valor en el centro de la bola es considerable: el valor es notablemente mayor; bastante más cercano al potencial cero. Fuera de la superficie de la esfera, el potencial sigue en aumento y se acerca más al potencial cero según nos alejamos de la misma. Dicho proceso no evoluciona uniformemente, como veremos a continuación.

Por tanto, al poner la lámpara en este entorno se produce una diferencia de potencial entre ambos extremos metálicos. Las cargas atraviesan la lámpara -es conductora- de un extremo a otro y ésta se enciende.

Sin embargo, no produce el mismo efecto coger un extremo de la lámpara con los dedos que dejar ésta en el aire. La diferencia de potencial es mayor si lo cogemos con los dedos -debido a que el valor del potencial de nuestro cuerpo es cero- que si lo dejamos en el aire; si se deja en el aire dicho extremo no tendrá un potencial cero, sino valor negativo (diferente con respecto al otro extremo, pero con menor diferencia).

5. ¿Por qué ilumina cada vez menos la lámpara a medida que la vas alejando de la bola? Porque el potencial no cambia, no aumenta o no se acerca al cero uniformemente. Cerca de la bola la diferencia de potencial entre ambos extremos -el gradiente- es mayor que cuando está lejos. Por tanto, la corriente que atraviesa la lámpara es mayor y alumbra más.

6. ¿Por qué se ilumina más la lámpara al sujetarla cuando tu cuerpo está en contacto con la bola (tocando la bola con la otra mano) que cuando no lo está? ¿Y cuando otra persona la sujeta con el dedo por el otro extremo?

Al ser conductor nuestro cuerpo, se carga cuando tocamos con la otra mano la bola y obtiene el mismo potencial que la superficie de ésta (transcurrido un breve espacio de tiempo). Por consiguiente, en el extremo de la lámpara que tocamos con el dedo se obtendrá el mismo potencial -aproximadamente- de la superficie de la esfera; la diferencia con respecto al otro extremo es, por tanto, mayor que cuando no se toca la esfera. Si algún otro compañero sujeta el otro extremo, en uno de ellos tendremos el potencial de la superficie de la esfera, y en el otro, potencial cero (este caso es el que presenta mayor diferencia de potencial).

7. ¿Por qué se enciende la lámpara al ponerla perpendicularmente frente a uno de los cilindros lleno de plasma que se encuentran a la entrada de la sala? ¿Y por qué no se enciende -en ocasiones- al ponerla de forma paralela?

Las superficies equipotenciales son las causantes de este hecho. El cilindro, al igual que la bola, ioniza el aire que tiene alrededor y crea un potencial negativo creciente que tiende a cero. Las superficies equipotenciales son como la superficie plana del cilindro (planas). Por tanto, si ponemos la lámpara perpendicularmente a dicha superficie, quedará situada entre dos superficies equipotenciales. Debido a que existe una diferencia de potencial entre ambos extremos, la lámpara se ilumina. Sin embargo, si las ponemos paralelamente, quedará dentro de una superficie equipotencial. Al ser idéntico el valor del potencial en ambos extremos, no se encenderá.

Sin embargo, no siempre sucede así, ya que las superficies equipotenciales no son siempre planos paralelos a la superficie del cilindro. Debido a que las descargas en forma de rayo llegan sin cesar a la superficie de la esfera, el valor del potencial circundante puede sufrir una pequeña variación, así como la forma de las superficies equipotenciales. Así pues, la lámpara tal vez se ilumine ligeramente si la ponemos en paralelo con la superficie de la lámpara.

2 Mueve las cargas por donde quieras.

La mayoría de los contenidos tratados en los problemas presentados en los módulos de este itinerario son adecuados para la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO). Sea como fuere, se pueden tratar algunos temas en el ámbito de Bachillerato y, sin duda alguna, los vamos a tratar: las reacciones redox de la pila en el módulo *¡Tú eres una pila!* o la ionización del aire en el módulo *Chispas trepadoras*. No merece la pena tratar los otros tres módulos -*Circuito eléctrico gigante*, *Sentir la electricidad* y *Tu corazón es eléctrico*- si ya fueron tratados en la anterior visita, efectuada cuando eran estudiantes de la ESO. De lo contrario, merece la pena considerarlos: si los estudiantes no conocen los módulos, no estaría de más que repasaran los contenidos que en ellos se tratan. Por lo que respecta al módulo *Tú eres una pila* sería conveniente que antes de tratar las actividades planteadas para Bachillerato se trataran las actividades planteadas para la ESO.

Lo mismo ocurre en lo que respecta a la sección "Recuerda". Las primeras siete preguntas se refieren a los contenidos de la ESO; en caso de no tener que volver a tratar los tres módulos mencionados, no sería necesario responder a dichas preguntas. Las siguientes preguntas son adecuadas para que los estudiantes repasen los conceptos relacionados con la electrolisis y el funcionamiento de las pilas eléctricas. A nuestro entender, sería conveniente repasar los conceptos básicos respondiendo a dichas preguntas para que posteriormente puedan responder a las preguntas que se les planteen.

► Recuerda

1. ¿En qué se diferencian los conductores y los aislantes eléctricos?

En los conductores las cargas eléctricas (cargas negativas, ya que son éstas las que se desplazan) se mueven desde el lugar en el que existe más acumulación al lugar que menos hay (o al lugar en el que no hay acumulación), es decir, desde un potencial más bajo hasta un potencial más elevado.

En los aislantes, sin embargo, no ocurre tal cosa: si las cargas están acumuladas en un determinado lugar, se mantienen en el mismo sitio, pues no pueden moverse. Por eso resulta tan difícil cargar conductores y tan fácil cargar aislantes.

2. ¿Qué elementos conoces en un circuito eléctrico? ¿Cuál es la función de dichos elementos?

En primer lugar, la pila (o el generador, en general). La pila (el generador) es el elemento que suministra a las cargas negativas la energía que necesitan para moverse, gracias a la cual se mantiene la acumulación de cargas estableciéndose una diferencia de potencial. El generador no produce cargas, no suministra al circuito las cargas que tiene acumuladas (muchos estudiantes tienen ideas equivocadas a este respecto): aporta energía eléctrica a las cargas negativas que están en el propio conductor para que éstas se muevan. Les aporta energía porque las lleva desde el polo positivo -donde faltan cargas negativas (por tanto, desde el polo en el que son atraídas)- al polo negativo donde las hay en exceso (es decir, al polo donde son repelidas).

Las cargas ganan energía eléctrica porque el generador pierde energía interna. Ése es el motivo de que se agoten las pilas.

El resto de elementos son consumidores: consumen la energía eléctrica de las cargas y la transforman en otro tipo de energía. Las resistencias convierten dicha energía en energía interna, así como las bombillas; los motores, por su parte, la convierten en energía cinética (aunque también en energía interna: debido a que todos los elementos disponen de resistencia, convierten una parte de la energía eléctrica en energía interna).

3. ¿Cuándo se dice que un circuito está abierto? ¿Y cerrado?

Si los dos bornes del generador están unidos por material conductor, el circuito está cerrado; de lo contrario, estará abierto. Éste es un requisito imprescindible para que el generador aporte energía al circuito.

4. ¿Cuáles son las principales magnitudes que indican las características de un circuito eléctrico?

La intensidad, el número de cargas que pasan a través de un circuito por segundo y la diferencia de potencial, tensión o voltaje, cantidad de energía que gana una unidad de carga cuando pasa por un generador o que pierde cuando atraviesa algún elemento -resistencia, motor, bombilla...-. Además de las ya citadas, una característica de cada elemento es su resistencia (y en lo que respecta a los motores, la fuerza contraelectromotriz; pero por el momento no estudiaremos estos casos).

5. Los elementos de los circuitos se pueden conectar en serie o en paralelo. ¿Cuáles son las características de estos dos tipos de montaje?

Cuando se conectan en serie los elementos de un circuito se unen uno a continuación de otro, formando entre todos un solo ramal. En consecuencia, el funcionamiento de uno influye en el resto. La corriente es idéntica en todo el circuito, es decir, en todos los elementos. La energía que el generador aporta a las cargas se reparte entre todos los elementos y cada uno recibe diferente cantidad de energía (siempre y cuando el elemento sea diferente al resto; de lo contrario, recibirían la misma cantidad de energía).

Cuando los elementos de un circuito se conectan en paralelo cada elemento tiene un ramal propio, unido directamente al generador y que funciona de manera independiente. La corriente es diferente en cada elemento (si el elemento es diferente al resto) el total de la corriente que suministra el generador es repartida entre todos los elementos. Las cargas que se mueven a través de todos los elementos reciben toda la energía que sale del generador.

6. ¿Cómo se llaman los instrumentos de medida que indican el valor de las magnitudes eléctricas? ¿Cómo se conectan, en serie o en paralelo?

El voltímetro mide la diferencia de potencial (la energía que pierde o gana la unidad de carga) entre dos puntos y debe colocarse en paralelo entre los mismos. El amperímetro mide la intensidad de la corriente (número de cargas que pasan por segundo) que pasa a través de un punto; debe colocarse en dicho punto, en serie.

7. ¿Cuál es la relación entre esas magnitudes?

La relación es la denominada Ley de Ohm, que se representa de esta manera: $V_{ab} = R \cdot I$, es decir, la diferencia de potencial existente entre dos puntos es la resistencia de dicho elemento multiplicado por la intensidad.

8. ¿Qué tiene que hacer (qué hace) un generador para que se mantenga una corriente eléctrica constante -y no una descarga repentina- entre dos puntos del circuito?

Debe mantenerse en dos puntos la acumulación de cargas y la diferencia de potencial (cargas positivas en exceso en un punto y cargas en exceso en otro punto); de lo contrario, al pasar las cargas negativas de uno a otro se obtendrá una cantidad de cargas positivas y negativas semejante en ambos, es decir, se igualará el potencial.

9. ¿Qué quiere decir que un átomo es electronegativo? ¿Y electropositivo? De todos los elementos, ¿cuáles son los más electronegativos y los más electropositivos? ¿Qué tipo de energía de ionización tienen unos y otros? ¿Qué tipo de iones producen? De entre estos átomos, ¿cuáles son electronegativos y cuáles electropositivos: Na (Z=11), Cl (Z=17), He (Z=2), S (Z=16), Mg (Z=12), F (Z=9)?

Los estudiantes recordarán fácilmente lo siguiente: los átomos electronegativos son los que tienden a recibir electrones; los átomos electropositivos, por el contrario, tienden a perder electrones; los metales son electropositivos y los no metales electronegativos. Así mismo recordarán dónde está ubicado cada elemento en la clasificación moderna.

Por otra parte, también recordarán -probablemente- lo siguiente: debido a que los átomos electropositivos pierden fácilmente electrones, tienen una baja energía de ionización (la energía que hay que suministrar a un átomo para que pierda un electrón); los electronegativos, por el contrario, tienen energías de ionización más elevadas.

Por lo que se refiere a los iones, los átomos metálicos tienden a formar cationes; los no metálicos, por su parte, forman aniones. Los estudiantes identificarán sin ningún problema en esta lista Na y Mg como metálicos y Cl, S y F como no metálicos.

10. Explica el significado de estos conceptos: reacción redox, reductor, oxidante, reacción de reducción, reacción de oxidación.

Estos conceptos son estudiados, sobre todo, en el segundo curso de Bachillerato. Por ahora, es suficiente con que recuerden lo siguiente:

- Elemento electronegativo = tiende a formar aniones = tiende a ganar electrones = tiene naturaleza oxidante.
- Elemento electropositivo = tiende a formar cationes = tiende a ceder electrones = tiene naturaleza reductora.

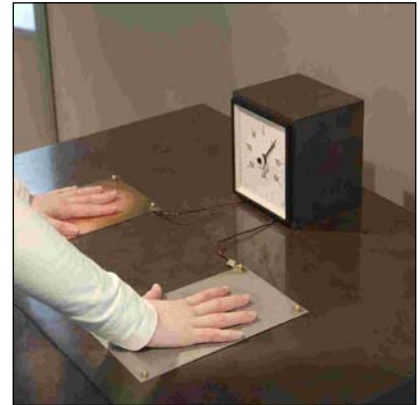
Por otra parte, si en la reacción se liberan electrones se dice que se ha producido una oxidación; si se necesitan electrones para que ocurra la reacción, se denomina reducción. Por lo tanto, en las reacciones químicas entre oxidantes y reductores se transfieren electrones y se les denomina reacciones redox.

• Módulo: ¡Tú eres una pila!

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando el estudiante pone sus manos encima de dos láminas de diferentes metales se crea una corriente eléctrica, un flujo de electrones. Y si se invierte el orden (si antes hemos puesto las manos izquierda y derecha en las láminas de cobre y aluminio, respectivamente, ahora las pondremos en las láminas de aluminio y cobre), el flujo también es el contrario al anterior. Dicho flujo es debido a la reacción redox que tiene lugar entre los dos metales y la solución salina que tenemos en la piel.



Después de la visita
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué se ha formado una pila al poner las manos en láminas diferentes?

Porque están presentes todos los elementos necesarios para construir una pila: los electrodos (las dos láminas), el sudor de las manos (cuyos principales componentes son agua y sales, comportándose como una disolución que conduce la electricidad) y el conductor (nuestro cuerpo).

2 ¿Y por qué no se ha formado cuando has unido las láminas mediante un cable? Porque faltaba un componente para completar la pila: el electrolito.

3 El nombre del módulo es ¡Tú eres una pila! ¿Realmente, eres tú una pila?

Es obvio que nosotros solos no podemos formar una pila. Necesitamos los electrodos (las láminas, en este caso) para tener todos los componentes de la pila.

4 ¿Por qué ha cambiado la diferencia de potencial al humedecer las manos?

Porque ha cambiado el electrolito (la disolución formada por nuestro sudor).

5 ¿Y qué ha ocurrido con la resistencia? Aplicando la ley de Ohm, calcula tu resistencia cuando tenías las manos secas y cuando las has humedecido.

Al humedecernos las manos ha disminuido la resistencia.

Los electrodos que has tocado en el Museo eran de aluminio y de cobre. He aquí las potenciales de reducción estándares de dichos electrodos:

$$E^0 (\text{Al}^{3+}/\text{Al}) = -1,67\text{V}$$

$$E^0 (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,34\text{V}$$

6 ¿En cuál de ellos tiene lugar la reducción? ¿Y la oxidación? ¿Cuál es el electrodo positivo? ¿Y el negativo? ¿En qué sentido se desplazará la corriente?

En la lámina de cobre se produce la reducción; en la de aluminio, la oxidación. Por tanto, la lámina de cobre será el electrodo positivo (la lámina es receptora de electrones) y la lámina de aluminio será el electrodo negativo (ya que los electrones salen de ella). Los electrones, por tanto, pasarán de la lámina de aluminio a la de cobre. La corriente que refleja el amperímetro va desde el cobre al aluminio, del positivo al negativo, ya que ese es el sentido de corriente adoptado por convenio.

7 ¿Por qué has obtenido una diferencia de potencial y una intensidad inversas al cambiar el orden de las láminas?

Al invertir las láminas metálicas también se invierten los electrodos positivos y negativos (así como la diferencia de potencial).

• Módulo: Sentir la electricidad.

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Accionando la manivela el generador crea una diferencia de potencial entre 0 y 25 V entre ambos contactos. Si el estudiante cierra el circuito con dos dedos, atraviesa por ellos una corriente cuya intensidad varía en función a la resistencia de aquél. Si los dedos están mojados (por el sudor o porque los ha mojado el estudiante) disminuye la resistencia y aumenta la intensidad. Si efectúa el experimento más de un estudiante, la corriente que los atraviesa será diferente ya que oponen diferente resistencia.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué ha indicado el amperímetro que ha pasado corriente al poner dos dedos en los contactos?

Hemos explicado anteriormente los motivos de dicho fenómeno. Si se desea, se puede calcular la "resistencia eléctrica del estudiante".

2 ¿Por qué ha aumentado la intensidad al humedecer los dedos?

Porque al humedecer los dedos disminuye la resistencia. Podemos verificar que la resistencia ha disminuido analizando los nuevos datos.

3 ¿Y por qué cambia la intensidad de la corriente de una persona a otra, aunque la tensión sea la misma para ambas?

Esta pregunta ya ha sido respondida anteriormente.

• **Módulo: Tu corazón es eléctrico.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Este módulo es diferente de los demás. Tomando en consideración los conocimientos de los estudiantes, creemos que no hay muchas posibilidades de proponer problemas. Por tanto, no se les pedirá que formulen hipótesis ni que hagan experimentos. Nos limitaremos a ofrecerles determinada información que deben verificar en el Museo.



• Módulo: Chispas trepadoras.

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

En este módulo hemos aplicado una diferencia de potencial muy alta 40.000V entre dos electrodos, mediante un transformador. En consecuencia, el campo eléctrico en la parte inferior de los electrodos es muy intenso, ya que estos se encuentran más próximos entre sí. Por consiguiente, el aire que hay entre los electrodos se ioniza y salta una chispa de uno a otro, transportando las cargas eléctricas a través del aire.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué se ha producido un rayo en la parte inferior de los electrodos? ¿Cuál es la intensidad del campo eléctrico en esa zona?

Los electrodos se hallan más próximos entre sí en la parte inferior; por lo que el campo eléctrico es mayor en dicha zona. Para calcular su valor aproximado hay que dividir la diferencia de potencial entre la distancia entre los electrodos.

2 ¿Por qué suben las chispas por la "escalera"?

Cuando se produce la descarga eléctrica el aire se ioniza. Se libera energía al volver a la situación inicial y se calienta el aire del entorno en el que aparece la chispa. El aire caliente tiene menor densidad que el aire ordinario; por consiguiente, se eleva. Así pues, el aire ionizado se desplaza hacia arriba y la chispa entre los dos electrodos evoluciona ascendiendo.

Si se considera oportuno, se les puede presentar el ejemplo de los globos aerostáticos para que entiendan mejor el fenómeno.

3 ¿Y por qué se rompe, se deshace, la chispa al soplar?

Al soplar por la ventanilla se dispersa el aire ionizado y la chispa ya no puede seguir pasando de un electrodo al otro. Además, los electrodos están demasiado separados entre sí para que el aire se vuelva a ionizar y para poder crear otra chispa a esa altura.

3 Podemos **crear imanes...** y también **corriente.**

La situación varía en lo que respecta a los estudiantes de Bachillerato. Es cierto que algunos problemas y fenómenos que se presentan en los módulos son bastante complicados. Pero los estudiantes de 2º de Bachillerato han estudiado dichos contenidos. Los módulos del Museo les ofrecen una extraordinaria oportunidad para “ver” y “explicar” lo que han aprendido. Tal y como hemos hecho con los estudiantes de la ESO, vamos a tratar simultáneamente las dos últimas secciones. En los casos en los que es difícil que los estudiantes formulen hipótesis acerca de los problemas que se plantean en dichos módulos hemos planteado un trabajo “guiado” -aportando, además, una considerable ayuda- para que utilicen sus conocimientos. En algunos casos, ni tan siquiera se les han pedido hipótesis.

Por otra parte, la manera de abordar los módulos también es diferente. En vez de presentar y tratar los módulos sucesivamente, hemos preparado un texto extenso que efectúa un recorrido histórico por los modelos teóricos construidos en el ámbito del electromagnetismo. Hemos incorporado los módulos del Museo en el momento adecuado, es decir, cuando se pueda explicar el fenómeno que se observa en el módulo mediante el modelo teórico que acabamos de explicar.

Es necesario saber qué son los modelos teóricos o analogías en la Ciencia, e incluso cómo y para qué se construyen; pues así podrán entender y formular correctamente las explicaciones. Creemos que el nivel cognitivo de los estudiantes de 2º de Bachillerato es suficientemente elevado como para entender la función que cumplen los modelos teóricos en la ciencia. Pero, por si acaso, antes de abordar el texto les hemos recordado qué son los modelos teóricos. Puesto que los estudiantes tienen tendencia a mezclar un fenómeno real y las características o ideas que componen un modelo teórico creado para explicar el propio fenómeno real, plantearemos algún ejercicio para diferenciar ambos.

Una vez aclarado el tema, los estudiantes podrán comprobar en el texto que los científicos construyen los modelos teóricos utilizando analogías de manera constructiva, partiendo -naturalmente- de los datos experimentales y de la observación. Por otra parte, hemos subrayado que los modelos teóricos son útiles en la medida en que se hacen predicciones verificables y se establecen nexos con otros campos de la Ciencia.

Los estudiantes deben recordar, en primer lugar, los conceptos e ideas principales que van a utilizar.

► Recuerda

1. ¿Qué son las líneas de campo?

Los estudiantes tienen que tener bien claro que las líneas de campo son tangentes al campo en todos los puntos y que muestran la dirección y el sentido del campo.

2. ¿Qué demostró el experimento de Oersted? Este científico observó que si se ponía una brújula cerca de un conductor de corriente eléctrica, aquella se desviaba.

Dicho experimento fue una experiencia peculiar en la Historia de la Ciencia: demostró que la corriente eléctrica -las cargas en movimiento- produce un campo magnético, así como la estrecha relación existente entre la electricidad y el magnetismo.

3. ¿Qué son los electroimanes? ¿Cómo funcionan?

Los electroimanes son -por expresarlo en términos sencillos- la aplicación técnica del citado hallazgo. Una bobina que lleva corriente eléctrica crea un campo magnético muy intenso. La fuerza magnética que provoca es capaz de levantar un coche o parar un camión, (o de mover la varilla que toca el timbre de nuestra casa). La bobina -y no el conductor rectilíneo- se utiliza para obtener un campo más potente. Ése es el motivo por el que se mete la pieza de hierro dentro de la bobina.

4. ¿Qué tipo de influencia tiene el campo magnético sobre las cargas eléctricas en movimiento (libres o formando una corriente en el interior de un conductor)?

El campo magnético induce una fuerza magnética sobre las cargas que se mueven libremente. Esta fuerza se representa mediante la Ley de Lorentz: $\mathbf{F}_m = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ (q es el valor de la carga, \mathbf{v} la velocidad y \mathbf{B} el campo magnético).

Las transformaciones que sufre un conductor que transporta corriente son resultado de lo anterior y se expresan mediante la Ley de Laplace: $\mathbf{F}_m = I \cdot \mathbf{L} \times \mathbf{B}$, (I es la intensidad de la corriente, \mathbf{L} un vector cuyo módulo es la longitud del conductor, cuya dirección es la del mismo conductor y cuyo sentido es el de la corriente; \mathbf{B} es el campo magnético). Debido a las citadas fuerzas, se mueven las espiras portadoras de la corriente dentro de un campo. Ésa es, por ejemplo, la base de un motor eléctrico.

5. ¿Qué es la inducción electromagnética? ¿Cuándo se produce?

Un campo eléctrico variable o, mejor dicho, un flujo magnético variable producen una inducción electromagnética. Cuando se hace pasar un flujo magnético variable a través de una espira se produce una fuerza electromotriz en el conductor de la espira y, en consecuencia, una corriente eléctrica.

Los modelos teóricos en la ciencia.

- Los fenómenos observables y las ideas del modelo se clasifican de la siguiente manera:

Fenómenos reales
calentar
volumen del gas
temperatura del gas
presión del gas

Ideas abstractas
velocidad de los corpúsculos
distancia entre corpúsculos
choque de corpúsculos

La siguiente explicación es, probablemente, más precisa, puesto que no mezcla ambos campos de estudio (la descripción de la realidad y la explicación mediante modelos):

“Cuando calentamos un globo inflado, el volumen del gas aumenta al elevarse la temperatura . Por tanto, aumenta también la presión del gas”.

Dicho fenómeno es debido a que ha aumentado la velocidad de los corpúsculos que componen el gas. Por tanto, aumentan por una parte las distancias entre los corpúsculos, y por otra, los corpúsculos chocarán más a menudo contra las paredes del globo”.

Modelos teóricos en el electromagnetismo: Faraday, Maxwell y la teoría de los campos.

- Los fenómenos observables y las ideas del modelo se clasifican de la siguiente manera:

Fenómenos reales
la corriente eléctrica pasa por las espiras
la barra de hierro es atraída

Ideas abstractas
campo magnético
línea de campo

• **Módulo: Juntos pero no revueltos.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Si acercamos, por ejemplo, unas llaves (suelen estar hechas de hierro o de aleaciones de hierro, es decir, de material ferromagnético) se orienta el movimiento de sus cargas internas, el imán lo imanta y lo atrae hacia sí. En cambio, si acercamos una goma de borrar o un bolígrafo, el imán no ejercerá ningún efecto sobre ellos, puesto que no están hechos de material ferromagnético.



• **Módulo: Arena magnética.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Los estudiantes sabrán ya -probablemente- que el imán ejerce una fuerza sobre el hierro (en general, sobre los materiales ferromagnéticos, como veremos más adelante). Dichas fuerzas se aplican en función de las líneas de campo o de las líneas de fuerza (la fuerza que se aplica es tangente a las líneas de fuerza). Así pues, las virutas de hierro se han distribuido en función de las líneas de fuerza y han adquirido la forma de líneas de fuerza (en tres dimensiones en el módulo de la *Arena magnética* y en dos dimensiones en el de *Energía frente a potencia*).



• **Módulo: Succión magnética.**

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Cuando la corriente eléctrica ha pasado por las espiras -tanto de la bobina grande como de la pequeña-, se ha formado un campo magnético. Dicho campo ha imantado la barra de hierro -al comenzar a entrar en la bobina grande- y la varilla de hierro -dentro de la bobina pequeña-, ya que el hierro es material ferromagnético (el movimiento de sus cargas negativas libres internas es orientado bajo el efecto del campo magnético, y cada una de ellas se convierte en un pequeño imán; el hierro es imantado por todas ellas). Por tanto, el imán externo -la bobina- ha ejercido una fuerza tanto sobre la barra como sobre la varilla y las ha atraído.



En el plástico, por el contrario, no ha tenido lugar esa orientación, puesto que no es un material ferromagnético (no tiene en su interior ninguna carga negativa libre); por lo tanto, no se ha convertido en imán y no ha sido atraído por la bobina.

Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

● ¿Por qué ha ejercido la bobina mayor fuerza en la barra de hierro a medida que pulsabas los botones?

Porque la fuente ha establecido una diferencia de potencial mayor. Hemos llegado a dicha conclusión porque la intensidad de la corriente que recorre el interior de la bobina es mayor. Al aumentar la intensidad aumenta también el campo creado, así como la fuerza que ejerce el campo sobre la barra.

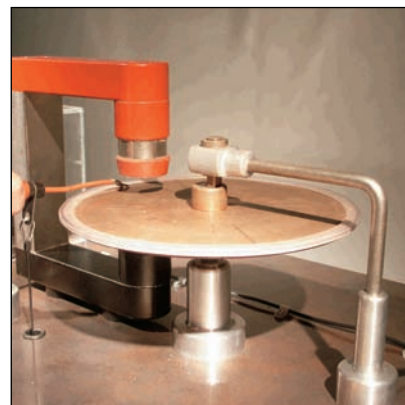
• **Módulo: A vueltas con la electricidad.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

El campo magnético ha ejercido una fuerza sobre las corrientes radiales que se han formado en el disco al poner el cable sobre el mismo. La fuerza ha sido ejercida según la Ley de Laplace: $F_m = I \cdot L \times B$

Por tanto, el producto vectorial $L \times B$ nos da la dirección y el sentido de la fuerza. El vector L es una función de la corriente que va desde la arista al eje, ya que al hacer contacto con el cable las cargas negativas han pasado del disco a aquél (las cargas negativas se han desplazado desde el centro hacia fuera). Puesto que B está dirigido verticalmente, de arriba abajo, la fuerza resultante de multiplicar $L \times B$ empuja al disco en el sentido de las agujas del reloj. Dicha fuerza ha provocado un momento en el disco, debido a lo cual ha empezado a girar.



**Después
de la visita**
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué se movía el disco más despacio, o se paraba, cuando has colocado el cable en su interior, cerca del eje?

La fuerza que influye sobre las corrientes radiales del interior del disco es $F_m = I \cdot L \times B$. El módulo del vector L es la longitud del conductor. Cuando se pone el cable cerca del eje, la corriente, el conductor, L es muy corto y la fuerza magnética F_m , por su parte, más pequeña. Debido a que la fuerza es más pequeña, no provoca el momento necesario como para hacer girar el disco.

❷ Señalábamos antes que el campo magnético ejerce su fuerza sobre las cargas que se mueven de diferentes maneras: sobre las cargas libres, sobre las que se mueven dentro de un conductor o sobre las que se mueven dentro de materiales ferromagnéticos. Hemos visto estos casos en los módulos *Pintando con imanes*, *Descargas brillantes*, *Juntos pero no revueltos* y *A vueltas con la electricidad*. Señala qué tipo de movimiento tenían en cada módulo las cargas que han sufrido la fuerza magnética del campo.

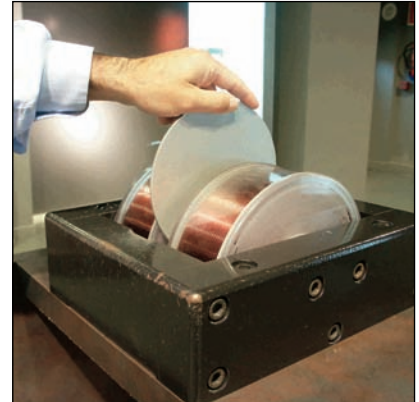
En los módulos *Pintando con imanes* y *Descargas brillantes* las cargas que han sufrido la fuerza magnética eran cargas libres. En cambio en el módulo *Juntos pero no revueltos* eran las cargas internas del hierro, las del material ferromagnético (igual que en el módulo *Succión magnética*). Finalmente, en el módulo *A vueltas con la electricidad* han afrontado tal efecto las corrientes radiales del interior del disco.

• Módulo: Freno magnético.

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

El campo magnético ejerce una fuerza $F_m = q \cdot v \times B$ sobre las cargas libres en movimiento. Puesto que la velocidad v está dirigida hacia abajo y el campo B de izquierda a derecha, el producto $v \times B$ es un vector orientado de atrás hacia adelante. Pero teniendo en cuenta que las cargas libres internas del hierro son negativas (electrones), la fuerza F_m que se obtiene está orientada de adelante hacia atrás. Los electrones, por tanto, han sido desviados hacia atrás, pero entonces ha cambiado v , y en consecuencia, también F_m . Finalmente, F_m se ha convertido en fuerza centrípeta y los electrones han empezado a girar en el sentido de las agujas del reloj, visto desde la izquierda.



El movimiento giratorio ha creado una especie de espiras y la corriente ha empezado a moverse en el sentido contrario de las agujas del reloj ya que, por convenio, el sentido de la corriente es igual al sentido del movimiento de las cargas positivas. Por consiguiente, las citadas espiras han creado un campo magnético que se desplaza de derecha a izquierda.

Debido a que el campo del imán se desplaza de izquierda a derecha, el polo norte está a la izquierda y el polo sur a la derecha. En cambio, las pequeñas corrientes del interior del disco han creado un campo que se desplaza de derecha a izquierda: el polo norte está a la izquierda y el polo sur a la derecha. Por tanto, los polos opuestos se han colocado frente a frente y se ha producido una atracción entre el imán exterior y el disco. Dicha atracción ha ralentizado la caída del disco.

Después de la visita
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

1 ¿Por qué han frenado bruscamente el disco metálico compacto y el disco con agujeros circulares? ¿Por qué ha frenado menos el disco con agujeros radiales? ¿Por qué no ha frenado en absoluto el disco de madera?

Hemos explicado anteriormente por qué ha frenado el disco metálico compacto. Por otra parte, la razón por la que no ha frenado al disco de madera es obvia: dentro de la madera no hay ninguna carga libre que pueda soportar el efecto de la fuerza magnética. Los otros dos casos son más complicados. En el disco con agujeros radiales las cargas libres han sufrido la fuerza magnética, pero muchas de ellas no han podido empezar a girar y a formar esa especie de espiras ya que los agujeros se lo impedían; por tanto, no han creado suficiente campo magnético -pequeños imanes- y el campo exterior no ha ejercido una gran fuerza de atracción sobre los mismos. Por último, en el disco con agujeros circulares se han formado las espiras alrededor de aquellos y han creado pequeños imanes que han sufrido la fuerza de atracción. La fuerza magnética ha frenado a dicho disco casi tanto como al disco metálico compacto.

2 Los discos metálicos eran de aluminio; dicho metal no es un material ferromagnético. ¿Por qué ha sido atraído por el imán y frenado?

El imán no atrae al aluminio. El imán del módulo no atraía -lógicamente- al disco cuando lo sujetábamos junto a aquél. El imán ha atraído a los pequeños imanes que se han formado dentro del disco a causa de las corrientes provocadas por las cargas libres, no así al aluminio. Así pues, ha atraído al disco porque éste contiene cargas libres.

• **Módulo: Descargas brillantes.**

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Al igual que en las cargas del módulo anterior, el imán ha ejercido una fuerza sobre estas cargas que se desplazan libremente y las ha desviado, según la Ley de Lorentz. En consecuencia, ha cambiado la trayectoria de las cargas y el rastro que éstas van dejando (la estela coloreada).

Si acercamos, por ejemplo, unas llaves (suelen estar hechas de hierro o de aleaciones de hierro, es decir, de material ferromagnético) se orienta el movimiento de sus cargas internas, el imán lo imanta y lo atrae hacia sí. En cambio, si acercamos una goma de borrar o un bolígrafo, el imán no ejercerá ningún efecto sobre ellos, puesto que no están hechos de material ferromagnético.



Después de la visita
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

¿Por qué se han desviado hacia el otro lado las cargas del interior del tubo cuando has dado la vuelta al imán?

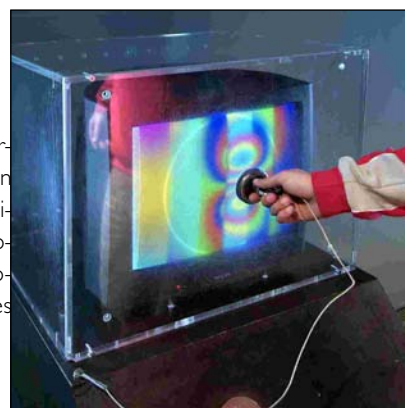
Cuando has girado el imán ha cambiado el sentido del campo magnético porque en vez de acercar el polo norte de aquél se ha acercado el polo sur (o a la inversa); por tanto, teniendo en cuenta la Ley de Lorentz, se han desviado las cargas al otro lado.

• **Módulo: Pintando con imanes.**

Durante la visita
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Al acercar un imán, su campo magnético ha ejercido una fuerza sobre los electrones que están en movimiento y ha cambiado su trayectoria; así mismo, ha anulado la función de la rejilla: han cambiado con una barra de un color que no le corresponde y se han formado varias imágenes diferentes.



• **Módulo: Efecto generador.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

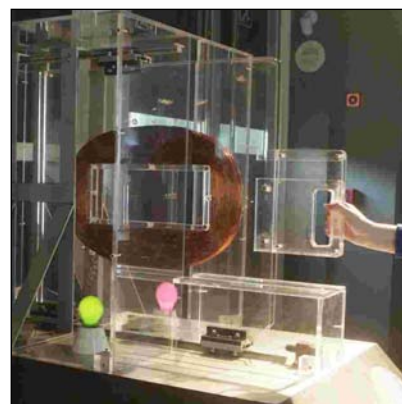
¿Qué ha ocurrido?

En general, cuando el flujo magnético que atraviesa una espira cambia a lo largo del tiempo, se crea en la espira una fuerza electromotriz inducida, y una corriente eléctrica inducida, por tanto; el valor de la inducida es el de la derivada del flujo magnético, de acuerdo a la ley de Faraday.

En este módulo tenemos una bobina, formada por muchas espiras, situada dentro del campo magnético constante creado por un imán fijo. El cambio del flujo magnético se logra moviendo la bobina en el interior del campo, introduciéndola y tirando de ella, ya que entonces cambia la superficie de la bobina que es atravesada por las líneas de campo; conforme introducimos la bobina la superficie, y el flujo magnético por tanto, aumenta, y conforme tiramos de ella disminuye.

Se podría lograr el mismo efecto manteniendo quieta la bobina y moviendo el imán o cambiando el campo magnético en el tiempo.

La producción industrial de corriente eléctrica, la corriente alterna que recibimos en nuestras casas, se basa en este efecto, en la inducción electromagnética.



**Después
de la visita**
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué se enciende la bombilla al mover la bobina dentro del campo magnético? ¿Dónde está la pila?

Como hemos dicho, el cambio de flujo magnético es el que induce la fuerza electromotriz y la corriente eléctrica. Por supuesto, no hay ninguna pila.

❷ ¿Y por qué no se enciende cuando la mueves suavemente?

Al moverla suavemente, el cambio de flujo a lo largo del tiempo es pequeño y la corriente que se crea no es suficiente para encender la bombilla. Por la bombilla pasa corriente, pero no la suficiente para encenderla.

❸ Si colocáramos un amperímetro para medir la corriente inducida en la bobina, ¿se apreciaría alguna diferencia al introducir y al sacar la bobina dentro del campo magnético? ¿Y por qué no se aprecia ninguna diferencia en la bombilla?

De acuerdo con la Ley de Lenz, la fuerza electromotriz y la corriente inducida tienden a contrarrestar el cambio que las ha producido. Por tanto, al introducir la bobina el flujo va aumentando y la corriente inducida crea un flujo en sentido contrario, saliente, para que disminuya. Al sacar la bobina, sin embargo, el flujo va disminuyendo y la corriente inducida crea un flujo entrante, en el mismo sentido, para que aumente. En ambos casos, por tanto, la corriente tiene sentidos contrarios.

Pero en la bombilla no se aprecia, porque se enciende de igual modo cuando la corriente la atraviesa en un sentido y en el contrario, basta con que haya corriente para que se encienda.

Lo mismo ocurre con la corriente alterna de casa, los aparatos eléctricos no aprecian que cambie de sentido.

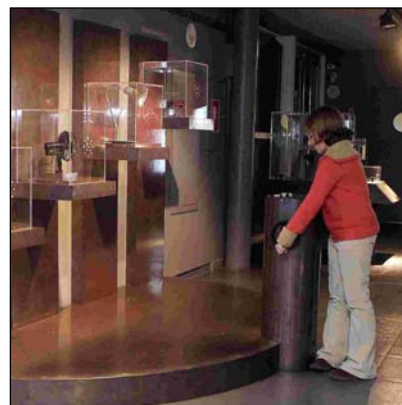
Y justamente por eso se le llama alterna, porque cambia de sentido constantemente, 50 veces por segundo, en concreto.

• **Módulo: Energía frente a potencia.**

**Durante
la visita**
(en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Puesto que no podemos ver el interior del generador, no podemos explicar su funcionamiento, ya que no se ve cómo se produce el cambio en el flujo magnético.



**Después
de la visita**
(de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

○ ¿Por qué la bombilla ha iluminado con más intensidad o el ventilador ha girado con más velocidad al girar más rápido la manivela?

La diferencia de potencial creada en el generador es $V_{ab} = B \cdot N \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega \cdot t$. Por tanto, al aumentar la velocidad angular ha aumentado la tensión, así como la intensidad, y de este modo, se aporta más energía a la bombilla o al ventilador.

• **Módulo: Resonador de Hertz.**

Durante la visita (en el Museo)

¿Qué ha ocurrido?

Tal como hemos mencionado en el texto, se han formado ondas electromagnéticas en las esferas y un campo eléctrico oscilante -corriente alterna- cuando éstas han ejercido su efecto sobre el conductor de gran longitud que funciona a modo de antena. Dicha corriente alterna ha encendido la bombilla que se encuentra en el centro.



Después de la visita (de nuevo en clase)

¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué la bombilla no se ha encendido estando la barra en determinadas posiciones y sí lo ha hecho estando en otras?

Hemos señalado anteriormente que la barra hace de antena y debe estar en resonancia con las ondas para crear corriente en su interior. Dicho fenómeno se produce solamente en algunas posiciones, ya que las ondas electromagnéticas creadas en las esferas están polarizadas y los campos sólo vibran en determinadas direcciones.

❷ ¿Por qué la bombilla iluminaba con menor intensidad al alejar la barra?

La intensidad de las ondas disminuye en función del cuadrado de la distancia, porque se ha atenuado. Por consiguiente, al aumentar la distancia la onda ha proporcionado menos energía a la barra y la bombilla iluminaba con menos intensidad.

❸ Si las esferas han producido ondas electromagnéticas -y si la luz es una onda electromagnética-, ¿por qué no emiten luz las esferas? ¿Por qué no hemos "visto" dichas ondas?

Tal y como hemos explicado en el texto, la frecuencia de la corriente oscilante entre las esferas es 10^7 Hz. No se pueden ver las ondas electromagnéticas emitidas en dicha frecuencia (la frecuencia de la luz visible es aproximadamente de 10^{15} Hz).





ZIENTZIAREN KUTXAGUNEA
KUTXAESPACIO DE LA CIENCIA