

Estrategias para enseñar la electricidad

Formando al profesorado formador

Víctor Grau Torre-Marín
Carolina Pipitone Vela

Título: *Estrategias para enseñar la electricidad: formando al profesorado formador*

CONSEJO DE REDACCIÓN

Directora: Núria Serrano Plana (jefa de Sección de Universidad, IDP-UB. Facultad de Química)

Coordinador: David Bueno Torrens (Facultad de Biología, UB)

Consejo de Redacción: Dirección del IDP; Pilar Aparicio Chueca, Facultad de Economía y Empresa (UB); Silvia Argudo Plans, Facultad de Biblioteconomía y Documentación (UB); Anna Forés Miravalles, Facultad de Educación (UB); Natalia Judith Laso Martín, Facultad de Filología y Comunicación (UB); Francesc Martínez Olmo, Facultad de Educación (Universitat Illes Balears); Roser Masip Boladeras, Facultad de Bellas Artes (UB); Antonio R. Moreno Poyato, Facultad de Enfermería (UB); José Navarro Cid, Facultad de Psicología (UB); Elena Iborra Ortega, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud (UB); Max Turull Rubinat, Facultad de Derecho (UB), Eva González Fernández, IDP (secretaria técnica) y el equipo de Redacción de la Editorial OCTAEDRO.

Primera edición: marzo de 2025

Recepción del original: 09/04/2024

Aceptación: 01/07/2024

© Víctor Grau Torre-Marín, Carolina Pipitone Vela

© IDP/UB y Ediciones OCTAEDRO, S.L.

Ediciones OCTAEDRO

Bailèn, 5, pral. - 08010 Barcelona

Tel.: 93 246 40 02

www.octaedro.com - octaedro@octaedro.com

Universitat de Barcelona

Institut de Desenvolupament Professional

Passeig de la Vall d'Hebron, 171, 08035 Barcelona

Tel.: 934035175

Esta publicación está sujeta a la Licencia Internacional Pública de Atribución/ Reconocimiento-NoComercial 4.0 de Creative Commons. Puede consultar las condiciones de esta licencia si accede a: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ISBN: 978-84-1079-049-0

Diseño y producción: Servicios Gráficos Octaedro

ÍNDICE

Presentación	5
I. FUNDAMENTOS DE LA PROPUESTA	8
Reflexiones sobre la enseñanza de las ciencias en la formación inicial del profesorado	9
El uso de modelos para superar los obstáculos conceptuales en la enseñanza de la corriente eléctrica en la formación inicial	12
Los modelos en la enseñanza de la electricidad	13
Las ideas del alumnado y las dificultades para entender la corriente eléctrica	15
El paso del modelo de partículas al modelo de átomo	19
Cuándo, cómo y qué explicar en el paso del modelo de partículas al modelo atómico	21
La modelización como estrategia para la enseñanza de la electricidad en la formación del profesorado	25
Tres modelos básicos para el profesorado formador	29
El modelo de las piezas	29
Conceptos que se pueden trabajar con el modelo	29
Material	29
Reglas del modelo	29
El modelo de la cuerda	31
Conceptos que se pueden trabajar con el modelo	31
Material	31
Reglas del modelo	32
El modelo de resistencia	32
Conceptos que se pueden trabajar con el modelo	32
Material	33
Reglas del modelo	33
Ideas clave y su relación con los modelos	34

Conocimientos básicos de electricidad para el profesorado	37
Sobre la estructura de la materia	37
Sobre la carga eléctrica	38
Sobre la simbología utilizada en la representación de los circuitos	39
Sobre los circuitos: ramas y circuitos en serie y en paralelo	39
Sobre conductores y aislantes	41
Sobre la corriente eléctrica	42
Sobre la intensidad de la corriente eléctrica	44
Sobre la resistencia eléctrica	46
Sobre el voltaje	47
Sobre la relación entre la intensidad, el voltaje y la resistencia	48
Resumen de conceptos básicos y actividades relacionadas	51
La importancia de los materiales de laboratorio	53
II. PROPUESTA DE ACTIVIDADES	55
Dibujamos la electricidad	56
Actividad 1. Viaje imaginario en el interior de un material conductor	56
Átomos y cargas eléctricas	59
Actividad 2. ¿Cómo se comportan las cargas eléctricas?	59
¿Cómo es la corriente eléctrica?	63
Actividad 3. Un modelo de corriente eléctrica con piezas	63
Aplicamos el modelo de piezas	67
Actividad 4. Circuitos abiertos y cerrados, interruptor y resistencia	67
Actividad 5. La intensidad y la velocidad de la corriente	71
Actividad 6. Formaremos circuitos en serie y en paralelo	76
Conductores, aislantes y resistencias	81
Actividad 7. El circuito humano	81
Actividad 8. Buscamos conductores y aislantes	83
Actividad 9. Un modelo mecánico para la resistencia	85
¿Por qué se acaba una pila?	89
Actividad 10. Un modelo con cuerda. Introducción al potencial	89
Actividad 11. Preinscripción cualitativa a la ley de Ohm	93

PRESENTACIÓN

La enseñanza de la electricidad es uno de los temas que presenta cierta dificultad para el profesorado durante su formación inicial. A pesar de no tener más dificultades didácticas que, por ejemplo, el estudio de los seres vivos o los ecosistemas, la enseñanza de la electricidad impone un cierto respeto al profesorado en formación inicial, que puede acabar luego planteándolo en sus futuras clases como una actividad exclusivamente manipulable en la que se elaboran algunos circuitos eléctricos. Este planteamiento es incompleto, ya que no consigue profundizar en la comprensión del fenómeno. Es como si para comprender la germinación nos limitáramos a plantar una judía y comprobar que, si la hemos regado adecuadamente, pasados unos días crece una judía. En este caso solo vemos el resultado, nos perdemos todos los detalles del proceso. De manera similar, al hacer el circuito vemos el resultado, pero no garantizamos la comprensión sobre qué es la corriente eléctrica. La enseñanza de la didáctica de las ciencias experimentales requiere profundizar más, ayudar a entender cuáles y cómo son los procesos implicados.

Para conseguir este proceso de enseñanza-aprendizaje proponemos al profesorado de didáctica de las ciencias experimentales usar modelos mecánicos que proporcionan al alumnado una imagen sobre la que podemos trabajar y construir las ideas clave de la naturaleza de la corriente eléctrica. En este sentido es una propuesta atípica para la enseñanza de la electricidad, ya que no se centra exclusivamente en los circuitos, sino que incorpora el trabajo a partir de modelos.

Este libro tiene dos partes. La primera, «Fundamentos de la propuesta», se dedica a diferentes aspectos relacionados con los procesos de enseñanza-aprendizaje de la electricidad. Incluye:

- Breve explicación sobre la enseñanza de las ciencias experimentales y la metodología utilizada en esta propuesta.
- Explicación de las principales dificultades del alumnado para entender la corriente eléctrica, relacionándolas con las ideas previas (*misconceptions*).

- Ideas para ayudar al profesorado formador a promover en la formación inicial del profesorado el cambio desde el modelo de partículas al modelo atómico, que nos permite introducir las cargas eléctricas.
- La modelización como estrategia docente en la enseñanza de la electricidad.
- Presentación de tres modelos concretos para la enseñanza de la electricidad.
- Identificación de los conocimientos necesarios para el profesorado formador y sus explicaciones.
- Recopilación de los conceptos básicos que debería desarrollar el alumnado, y que permitirían diseñar la docencia.
- Presentación de las ideas clave: aquellas ideas básicas de un modelo sobre las que se pueden construir posteriormente otras ideas más complejas.

La segunda parte, «Propuesta de actividades» permite al profesorado formador hacer una elección de las actividades en función del nivel y tiempo del que disponga. Estas se presentan siguiendo un orden de complejidad creciente: desde una exploración inicial de las ideas hasta una aproximación cualitativa a la ley de Ohm. Cada una de las actividades se relaciona con las ideas clave del modelo, los conceptos básicos que hay que aprender y las ideas intuitivas sobre el fenómeno.

¿Y por qué hemos creado este texto? El libro nace de las investigaciones, experiencias y reflexiones de los autores en el ámbito de la didáctica de las ciencias experimentales, especialmente en didáctica de la física. También de la experiencia en la formación inicial de profesorado de educación primaria en la Universidad de Vic, la Universidad Autónoma de Barcelona y la Universidad de Barcelona; además en el máster de Formación del Profesorado de Secundaria en dos universidades diferentes, como es el caso de la Universidad de Barcelona y la Universidad Pompeu Fabra.

A lo largo de más de diez años de experiencia en formaciones y asesoramiento en escuelas de primaria y secundaria, los autores han detectado que, frecuentemente, el profesorado expresa inseguridad para afrontar la enseñanza de la electricidad. Esta inseguridad la atribuyen básicamente a dos motivos: las carencias en su formación en física du-

rante el grado y la escasez de materiales didácticos con orientaciones para poder llevarlos al aula.

Esperamos que este texto ofrezca al profesorado formador (y al profesorado en formación) un punto de partida para hacerlo de manera más didáctica y al mismo tiempo ayude a comprender mejor qué es la corriente eléctrica. Este es el primer paso para conseguir que el profesorado pierda el miedo a trabajar el tema: una temática como esta, tan importante en el mundo actual, bien se lo merece.

I. FUNDAMENTOS DE LA PROPUESTA

REFLEXIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN LA FORMACIÓN INICIAL DEL PROFESORADO

¿Cómo se enseña ciencia en los centros escolares? Desde la formación inicial del profesorado es importante conocer cómo se trabaja la ciencia en los centros escolares. Es difícil dar una respuesta única, y cualquier categorización que ofreciéramos no respondería a la realidad, ya que no solo cada centro, sino también cada docente tiene su propia manera de hacer que lo diferencia de los demás. Sin embargo, para introducir lo que puede ser una ciencia de calidad en la enseñanza distinguiremos a continuación entre dos modelos extremos. Hacemos una caricatura, con tópicos que seguramente no se adapten a ninguna realidad concreta, pero que nos servirán para compararlos con lo que pensamos que debería ser la ciencia que se ha de enseñar. Estos dos modelos los podemos llamar transmisivo y *hands-on*.

El modelo transmisivo sería aquel en que se enseñan las ciencias como un bloque de conocimientos, bien establecido y qué hay que aprender, sin ser cuestionados: una ciencia dogmática. No nos referimos solo a la clase magistral; también a la implementación distorsionada de buenas estrategias puede llevar a una actividad reducida de búsqueda de información en libros, revistas y sobre todo Internet. Aunque la búsqueda de información corre a cargo del alumnado y le pide un papel más activo, no deja de ser un aprendizaje puramente de transmisión y de reproducción de lo que ha encontrado. La experimentación a menudo está ausente o se limita a reproducir algún experimento que sirve para ilustrar o comprobar unos resultados; no hay trabajo de investigación, reflexión o construcción de nuevas ideas. Generalmente, estas metodologías propugnan el papel del docente como guía, que interviene solo si se lo pide, llegando a defender a veces que no debe intervenir y dejar que sea el alumnado quien construya por sí mismo los conceptos. Dada la dificultad y nivel de abstracción de muchos temas, este papel poco activo del profesorado no facilita la comprensión profunda del tema.

El modelo que hemos llamado *hands-on* es contrario al anterior, en el sentido de que da un peso mayor a la experimentación frente al discurso, pero que si no se hace bien puede acabar convirtiéndose en este. Su

aparición es más moderna y más «científica», porque promueve la experiencia en el aula, pero la lleva al extremo, ya que muchas veces la directriz es que el profesorado no debe intervenir. Parecería que es un modelo más cercano al constructivismo, pero mantiene una tesis ingenua: defiende que el alumnado, de manera natural, moviéndose según sus intereses y teniendo al alcance un rico entorno experimental y material, ya irá descubriendo los porqués de los fenómenos. En este modelo, el papel del profesorado vuelve a ser marginal. Como antes, la complejidad o grado de abstracción de algunos conceptos comportará que no sean bien comprendidos si no ha tenido la guía activa del profesorado que les ayude a cuestionar sus ideas y explicaciones del fenómeno.

Una carencia que comparten los dos modelos es que no proporcionan ideas sobre cómo se construye el conocimiento científico. Enseñar ciencias no es solo explicar un conjunto de contenidos, también es explicar **cómo se hace ciencia, cómo se construyen las explicaciones y qué diferencia la ciencia de otras disciplinas**. Es necesario, pues, un planteamiento en la enseñanza de la ciencia que ofrezca al alumnado los elementos de pensamiento crítico necesarios para distinguir lo que es ciencia de lo que no lo es, y mostrar que el conocimiento está en constante evolución, que no es absoluto ni definitivo, que debe ser contrastable y siempre debe estar sometido a crítica o verificación.

Si queremos aproximar al alumnado a la ciencia, deberemos involucrarlos en actividades similares a los métodos de trabajo de la comunidad científica. Hacer ciencia, tanto en investigación como en la enseñanza comprende una serie de actividades que de manera resumida podemos agrupar en dos grandes bloques: unas actividades que derivan de la experimentación (obtener datos, analizar los datos y establecer los hechos empíricos) y otro tipo de actividades como son las relacionadas con la actividad teórica y el razonamiento (construir las explicaciones y ponerlas a prueba). Todas estas actividades no tienen un orden prefijado, no hay una norma general sobre el orden en que estas se deben realizar. A veces convendrá empezar por un modelo o explicación y hacer luego las observaciones para poner la explicación o el modelo a prueba. En otras situaciones nos convendrá empezar por una observación, después a realizar experiencias o algunas explicaciones provisionales. El rígido esquema del «método científico» que a veces encontramos en los libros de texto no se corresponde con el método real de trabajo de la

comunidad científica, ni con la ciencia escolar que promueve el pensamiento crítico.

Hacer ciencia de calidad en la escuela, desde nuestro punto de vista, significa formar al profesorado para incorporar las actividades propias de la ciencia: observar, medir, analizar los montajes experimentales, elaborar explicaciones, cuestionarlas y quizás intentar refutarlas o comprobarlas, usar modelos, hacer predicciones con los modelos o imaginar nuevos experimentos, etc., y, de manera colectiva, elaborar nuevas y más completas explicaciones de las que discutiremos su verosimilitud y potencia explicativa.

EL USO DE MODELOS PARA SUPERAR LOS OBSTÁCULOS CONCEPTUALES EN LA ENSEÑANZA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN LA FORMACIÓN INICIAL

Generalmente, el profesorado en formación inicial de educación primaria tiene escasos conocimientos sobre la naturaleza de la electricidad. Por otro lado, la propia temática tiene unas características que dificultan su enseñanza. La suma de estas casuísticas marca el tema como uno de los difíciles de enseñar para el docente. A continuación, veremos cuáles son estos obstáculos conceptuales.

Desde el punto de vista de la enseñanza encontramos en la corriente eléctrica unas características que la hacen difícil de enseñar para el profesorado y, evidentemente, difícil de comprender para el alumnado:

- **Es invisible:** si bien podemos ver la corriente eléctrica en los rayos o en algunas experiencias de laboratorio, no la vemos nunca en el uso diario que hacemos.
- **Parece que se transmite a velocidad infinita:** al conectar los aparatos eléctricos estos parecen responder instantáneamente.
- **La comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia:** el hecho de que la materia no es continua (como percibimos cotidianamente), sino que está hecha de partículas. Que las entidades implicadas (átomos y electrones) son de dimensiones extremadamente pequeñas, escapando totalmente a la experiencia humana. Asumir este modelo no es un paso fácil, ya que va contra la evidencia cotidiana de continuidad. Prueba de ello es que hasta finales del siglo XIX científicos como Henry Poincaré, Ernst Mach o Pierre Duhem todavía veían en los átomos una ficción instrumental de la que habría que desprenderse una vez que avanzara más la física. Es bien comprensible que para el alumnado la idea no sea intuitiva.

Todos estos elementos hacen de la electricidad un tema conceptualmente difícil, ya que su estudio implica un elevado grado de abstracción. Por este motivo requiere un buen acompañamiento por parte del profesorado en la elaboración de las explicaciones y construcción de conocimientos.

Generalmente, la enseñanza de la electricidad se introduce formando parte de algún proyecto interdisciplinario, taller de tecnología o actividades STEM. En estos casos, la guía del profesorado, necesaria para la construcción y comprensión del conocimiento físico, no debería quedar en segundo término con el fin de evitar caer en actividad tipo *hands-on*.

Trabajando de esta manera, hay que pensar muy bien el diseño de la actividad y el papel del profesorado en ella, y procurar que un espacio que debe ser de aprendizaje de las ciencias no se limite a una clase con actividades manipulables donde construir circuitos, robots, etc. Si bien estas propuestas experimentales aportan una vertiente práctica interesante y a menudo contextualizada (podemos confeccionar maquetas de semáforos, planchas, lavadoras...), que permiten acercar al alumnado al ámbito tecnológico, frecuentemente se muestran insuficientes para aportar los conocimientos necesarios para comprender la naturaleza de la corriente eléctrica y, por lo tanto, la construcción del contenido científico.

Para entender la electricidad y comprender los circuitos es necesario enseñar su naturaleza, y una manera adecuada de hacerlo es proporcionando al alumnado un modelo mecánico claro y sencillo con el que pueda visualizar los conceptos. Esta necesidad de modelizar los conceptos para entenderlos es más necesaria en temas con un elevado grado de abstracción, como es este de la electricidad.

Los modelos en la enseñanza de la electricidad

En física el uso de modelos es muy frecuente, y es de mucha utilidad especialmente en aquellos fenómenos en los que solo se manifiestan los efectos, pero no hay una percepción directa de la entidad. Por ejemplo, en el caso de la corriente eléctrica observamos que se enciende la bombilla o que gira el motor, pero en ningún caso vemos la corriente eléctrica.

En un sentido general, los modelos son representaciones de un fenómeno, objeto o idea científica.¹ Nos sirven para representar aquello que no podemos observar directamente (mundo no visible), pero que explican

1. Ornek, F. (2008). Modelos en la enseñanza de las ciencias: aplicaciones de los modelos en el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias. *Revista Internacional de Educación Ambiental y Científica*, 3 (2), 35-45.

lo que sucede en nuestro entorno (mundo visible). Es frecuente hablar de modelos conceptuales, que son representaciones creadas por docentes o investigadores para facilitar la comprensión o la enseñanza de un determinado contenido. Estas representaciones pueden ser formulaciones matemáticas, gráficos, analogías u objetos materiales. Los modelos siempre son limitados, o sea, solo pueden representar algunas de las propiedades, pero no pueden ilustrar completamente el fenómeno físico.

En la enseñanza de la física en la educación primaria, los modelos, especialmente los modelos hechos con objetos materiales, que son modelos mecánicos, pueden tener un papel muy importante en el proceso inicial de comprensión de los fenómenos. Estos modelos proporcionan al alumnado una representación material que puede manipular, convirtiendo aquellos entes abstractos (la corriente eléctrica, en nuestro caso) en objetos manipulables con los que pueden visualizar relaciones, comportamientos, restricciones, etc.

La imagen mecánica y manipulable proporcionada por estos modelos da al alumnado un referente que le ayudará a construir el concepto y profundizar en su comprensión. Constituye, pues, una base sobre la que desarrollar posteriormente explicaciones más elaboradas, entender los resultados de las experiencias y finalmente dar más sentido a la formulación de modelos matemáticos.²

Os proponemos aquí una aproximación a la enseñanza de la electricidad en la que partiremos del uso de tres modelos mecánicos, que explicaremos con detalle más adelante. Estos modelos son:

- **El modelo de las piezas.** Es el modelo más importante. Nos permite modelizar diferentes conceptos básicos: movimiento de los electrones en el circuito, concepto de intensidad y su medida, velocidad de la corriente eléctrica, circuitos abiertos y cerrados, conexiones en serie y paralelo, etc.
- **El modelo de la cuerda.** Es un modelo pensado especialmente para trabajar los conceptos relacionados con la energía, y con él podemos ilustrar conceptos como los de potencial eléctrico, el papel de la pila

2. Kress, G., Ogborn, J. y Martins, I. (1998). Una vista satelital del lenguaje: algunas lecciones de las aulas de ciencias. *Conciencia Lingüística*, 7 (2-3), 69-89.

en un circuito, el efecto Joule, etc. Complementa muy bien el anterior modelo.

- **Un modelo de la resistencia.** Sirve para simular lo que sucede con la corriente eléctrica cuando pasa a través de una resistencia.

Abordando la enseñanza de la electricidad a partir de estos modelos, es fácil promover preguntas, contrastar ideas, discutir posibles respuestas y elaborar explicaciones con el alumnado. Asimismo, son una buena herramienta para superar los obstáculos ya mencionados.

El trabajo combinado de experimentación con modelos y de reflexión ayuda a asentar las bases para que el profesorado en formación inicial pueda iniciar al alumnado en contenidos más avanzados de electricidad y electrónica.

Las ideas del alumnado y las dificultades para entender la corriente eléctrica

Los niños y niñas tienen explicaciones para todo, y elaboran sus particulares explicaciones que les sirven para dar respuesta a todo tipo de fenómenos. Estas ideas las construyen a partir de sus experiencias cotidianas: lo que escuchan en la escuela, sus experiencias sensibles, lo que ven o escuchan en casa o en la calle, los cuentos que se les explican, las películas que ven, etc. Con todas estas informaciones, junto a lo que ellos y ellas imaginan, son capaces de construir sus teorías y explicaciones de los fenómenos. Es lo que llamamos «ideas previas», *misconceptions*, etc. Estas explicaciones a menudo no tienen una consistencia lógica (tampoco buscan tenerla), y las pueden aplicar haciendo un razonamiento o su contrario para aplicarlos a diferentes situaciones según el resultado que convenga explicar. Sobre la naturaleza de la electricidad, el alumnado tiene ideas muy confusas en las que mezclan términos como energía, rayos, luz, electrones, etc., y en determinados casos esta idea es cercana a la realidad científica de qué es y cómo se genera.

Algunos estudios realizados sobre las ideas previas recogen ejemplos como los siguientes:

- Algunos alumnos la describen según alguna característica de contexto cercano: por su función en la vida cotidiana; por su peligrosidad; por asociación con la luz o la calefacción; haciendo otras conexiones más imaginativas :«La electricidad está en el Sol» (Westley, 10 años); «Yo pienso que nos llega vía satélite» (Kelly Ann, 9 años).³
- Otros asocian la corriente eléctrica con energía, la imaginan como una «energía», «rayos» o «chispas» sin precisar qué se quiere decir con ello.
- También hay quienes la entienden como una masa fluida que se mueve a la velocidad de la luz o a velocidad infinita. Esta idea sobre su elevada velocidad es una concepción muy generalizada: sea cual sea la concepción que tienen sobre la corriente eléctrica, a menudo piensan que circula a velocidad infinita, o bien a la velocidad de la luz.

En la figura 1 podéis ver algunas representaciones de alumnado de ciclo superior de primaria sobre cómo imaginan la corriente eléctrica. Los dibujos los obtuvieron los autores en un grupo de estudiantes de quinto de primaria de una escuela de Barcelona y en el grado de Maestros de Educación Primaria. Se pidió al alumnado que imaginase cómo verían la corriente eléctrica si se hicieran muy pequeños y pudieran entrar en un cable. Los dibujos que hicieron son muy variados, pero se pueden clasificar, independientemente de su edad, en categorías muy similares a las obtenidas en otros estudios.⁴ En particular, podemos reconocer las siguientes categorías:

1. como un fluido,
2. como si fuera una energía,
3. como una fuerza,
4. como si fuera un relámpago,
5. como si fueran hilos,
6. como partículas que se mueven por el cable,
7. como ondas,
8. como un movimiento de electrones (que a menudo dibujan circulando en hilera por el centro del cable).

3. Osborne, J. F., Black, P., Meadows, J. y Smith, M. (1991). *Electricidad. Informe de investigación principal del proyecto SPACE*.

4. Kibble, B. (1999). ¿Cómo te imaginas la electricidad? *Educación Física*, 34 (4), 226.

Aun así, pueden aparecer dibujos sorprendentes, como el dibujo A de la figura 1, donde se ven unas espirales que parecen avanzar por el cable; o el C, en el que el niño ha dibujado unas pequeñas pilas que se mueven a lo largo del cable hasta llegar a la bombilla.

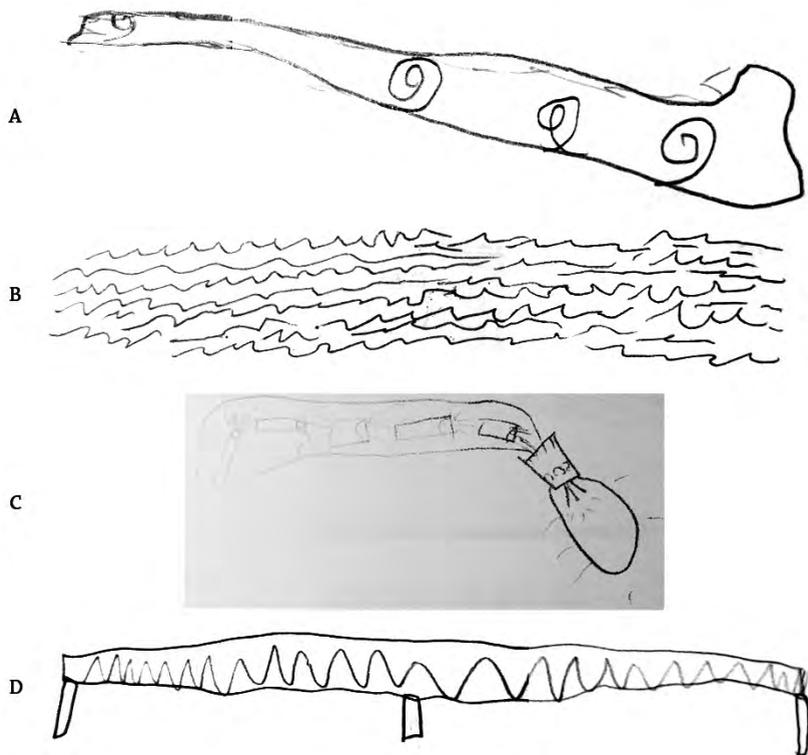


Figura 1. Cómo se imaginan la corriente eléctrica. Dibujos hechos por estudiantes de ciclo superior de primaria y del grado de Maestro de Educación Primaria.

Es muy frecuente también la confusión entre luz y la electricidad, posiblemente potenciado por el uso coloquial de los términos, que los usamos indistintamente («Se ha ido la luz», cuando se ha cortado la corriente eléctrica; «No hay luz», cuando hay una avería y no hay corriente eléctrica). Esta manera de expresarnos en la vida cotidiana fomenta la confusión entre ambos conceptos. El uso correcto del lenguaje en clase de ciencias es un aspecto que el profesorado debería tener muy presente, ya que puede inducir a confundir determinados conceptos.

Por ejemplo, cuando hablamos de electricidad hacemos referencia al movimiento de los electrones, y estos cuando pasan por la bombilla provocan que emita luz. En este caso, una entidad (la luz) es producto del otro (la corriente eléctrica), pero son entidades diferentes. En el caso del Sol quizás aún queda más claro que son entidades diferentes, ya que el Sol emite luz, pero no hay ninguna corriente eléctrica.⁵

5. André, T. y Ding, P. (1991). Conceptos erróneos de los estudiantes, conocimiento declarativo, condiciones de estímulo y resolución de problemas en electricidad básica. *Psicología Educativa Contemporánea*, 16 (4), 303-313.

EL PASO DEL MODELO DE PARTÍCULAS AL MODELO DE ÁTOMO

Comprender bien la corriente eléctrica implica tener unos conocimientos mínimos del modelo corpuscular de la materia. Más allá del conocimiento de la materia como «partículas», para comprender el origen de la electricidad es necesario introducir algunas ideas básicas sobre los átomos. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que el alumnado haya trabajado previamente la naturaleza corpuscular (discontinua/discreta) de la materia, es decir, que está hecha de partículas.⁶ Este conocimiento es necesario porque ahora habrá que dar un paso más y comprender que estas «partículas» que introducimos en primaria tienen una estructura compleja y que es en esta estructura donde encontramos los electrones: los protagonistas de la corriente eléctrica.

Algunos autores consideran que este paso de «partículas» (sin distinción entre ellas) a «átomos» es un paso conceptual que debería realizarse en los primeros cursos de la ESO, donde se comienza a consolidar el modelo de partículas, y hacia 3.º de la ESO se introducen ya átomos y moléculas.⁷ Hay autores,⁸ sin embargo, que proponen avanzar la introducción de los conceptos de átomo y molécula ya al ciclo superior de primaria o primeros cursos de secundaria, argumentando que ayuda a consolidar la comprensión macroscópica de la materia (por ejemplo, la naturaleza de los gases), aunque dejan como una cuestión aún abierta el estudio de los beneficios que puede tener esta temprana introducción.

Esta disparidad de criterios no pone mucha luz a la confusión ya planteada por Mullhall⁹ sobre cuándo (a qué niveles) y cómo (con qué modelos o analogías) enseñar la corriente eléctrica. En cualquier caso, para

6. Amat, A., Martí, J. y Grau, V. (2016). *Investigamos la materia*. Ayuntamiento de Barcelona.

7. Marchán Carvajal, I. y Sanmartí, N. (2014). De cómo el átomo se hizo útil y enseñable. *Educación Química*, 19, 26-32.

8. Wiser, M. y Smith, C. L. (2009). Aprendizaje y enseñanza sobre la materia en los grados K-8: ¿Cuándo se debe introducir la teoría atómico-molecular? En: *Manual internacional de investigación sobre el cambio conceptual* (pp. 233-267). Routledge.

9. Mulhall, P., McKittrick, B. y Gunstone, R. (2001). Una perspectiva sobre la resolución de confusiones en la enseñanza de la electricidad. *Investigación en Educación de las Ciencias*, 31 (4), 575-587.

entender la corriente eléctrica hay que introducir el concepto de electrón; por lo tanto, consideramos que de una manera u otra nos hará falta para dar este paso.

Como ya hemos dicho, proponemos al profesorado empezar a trabajar la electricidad después de haber trabajado con el modelo de partículas. Una vez asimilado este modelo, debemos tener presente algunos puntos importantes (figura 2) que hay que hacer ver al alumnado:

- Los constituyentes de la materia que hasta ahora hemos llamado partículas tienen una estructura más compleja (las moléculas), que a su vez están formadas por unas partes aún más pequeñas (los átomos).
- Las partes que llamamos átomos contienen unas partículas más pequeñas que son los electrones.
- Algunos de estos electrones son los que podrán dar lugar a la corriente eléctrica.

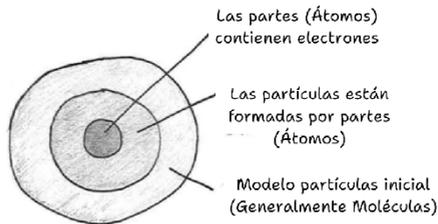


Figura 2. Refinamiento del modelo de partículas.

Mientras trabajamos con el alumnado el paso del modelo de partículas al modelo atómico hay que insistir en que hay un cambio de escala. ¿Por qué hay un cambio de escala? Porque ahora incorporamos a las partículas iniciales sus subestructuras, que hasta ahora no habíamos necesitado para explicar fenómenos básicos relacionados con la materia (sonido, calor, densidad, etc.). Esto conlleva un cambio del modelo para explicar la estructura de la materia y su comportamiento, y con ello, un cambio de escala.

Al realizar este cambio de modelo tendremos que ir con cuidado de no identificar las partículas de antes con los átomos de ahora, porque no siempre es así: por ejemplo, cuando hasta ahora les hemos hablado de

la parte mínima de agua y decíamos: «partícula de agua», esto en realidad es una molécula de agua, y no un átomo. Los átomos los encontramos en las subestructuras de la molécula de agua, que la forman dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. En cambio, si nos referimos al hierro, la partícula más pequeña de hierro sí coincide ahora con el átomo de hierro.

Cuándo, cómo y qué explicar en el paso del modelo de partículas al modelo atómico

El paso al modelo de átomo implica un cambio de escala y la introducción de nuevos detalles sobre la constitución de la materia. Generalmente, el alumnado ya está familiarizado con el modelo del sistema solar, que es similar al modelo atómico que podemos introducir. Aunque el modelo atómico actual ya no es el modelo propuesto por Bohr, la aproximación histórica a la evolución de los conceptos físicos es un buen método para comprender poco a poco los conceptos modernos de la física. Por ejemplo, Gaston Bachelard¹⁰ describe el paralelismo entre la construcción de los conceptos de la física y el aprendizaje que hay en el camino desde lo concreto hasta lo más abstracto. Una manera de afrontar este paso es hacerlo en diferentes etapas.

En una primera etapa podemos empezar recuperando la idea de que toda la materia está hecha de partículas, pero sin ir más allá. Hasta este momento no nos habremos planteado si las partículas tienen una estructura interna, pero para entender el fenómeno de la corriente eléctrica es necesario imaginar que aquellas «partículas» deben tener una estructura más compleja. Ahora es cuando habrá que explicar que estas partículas no son solo «bolas», sino que, si las miráramos de más cerca, con una mayor resolución, veríamos que tienen unas partes, los llamados átomos, que forman la estructura y que en estas partes hay unos elementos más pequeños que llamamos electrones, y son los responsables de la corriente eléctrica.

10. Bachelard, G. (1993). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.

Una segunda etapa debería incluir algunas ideas respecto a la estructura atómica. No es necesario estudiar a fondo del átomo, solo necesitaremos que sepan lo más elemental:

- Tiene un núcleo con prácticamente toda la masa y unas partículas muy ligeras (los electrones) que tienen carga negativa y orbitan a su alrededor.
- Sobre el núcleo solo debemos saber que está formado por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga), que entre ellos están unidos muy fuertemente y que por eso son muy difíciles de arrancar.
- La unión tan fuerte entre las partículas del núcleo nos permite entender por qué no tienen ningún papel en la corriente eléctrica; en cambio, sí lo tienen los electrones, que pueden ser arrancados más fácilmente.
- Los átomos tienen tantas cargas negativas (electrones) como positivas en el núcleo (protones), de manera que cada uno de los átomos tiene una carga total nula. Y como los cuerpos formados por estos átomos de carga total nula, los objetos tienen también una carga eléctrica globalmente nula.

A veces los átomos pueden perder algún electrón, quedando descompensados eléctricamente, y tendrán, por tanto, una carga total positiva (hay más protones que electrones). Pero como los átomos tienden a tener las mismas cargas positivas y negativas (carga total cero), si un átomo pierde un electrón, tenderá a coger un electrón de algún átomo vecino para recuperar su neutralidad.

La idea importante que hay que trabajar es que los átomos siempre tienden a compensar sus cargas para convertirse globalmente en neutros.

El tercer paso es conveniente para comprender el mecanismo de la corriente eléctrica, ligarlo con la estructura del átomo y entender porque hay materiales conductores. En esta etapa explicaremos de manera muy cualitativa cómo se agrupan los átomos. Una buena manera puede ser hacer una analogía con las personas: a algunas les gusta ir solas; a otras, en parejas, y a otras, en grupos más numerosos. Átomos como los de helio o todos los demás gases nobles tienden a ir solos. En este caso, la partícula más pequeña de gas sería el átomo, y a diferencia de

lo que hemos dicho antes sobre el agua, ahora las «partículas» del anterior modelo sí coinciden con los átomos que ahora introducimos.

Hay otros átomos que tienden a agruparse de dos en dos; por ejemplo, los de hidrógeno u oxígeno. El gas oxígeno, por ejemplo, está formado por parejas de átomos que se mueven conjuntamente; cada pareja forma una unidad: la molécula de oxígeno. En este caso la «partícula» más pequeña de gas oxígeno sería un grupo de dos átomos de oxígeno (la molécula), de forma que ahora estas «partículas» del modelo inicial de partículas no coinciden con los átomos que ahora hemos introducido.

También hay átomos que se agrupan de tres en tres, de cuatro en cuatro o formando grupos más grandes.

Finalmente, hay algunos que se agrupan formando grandes redes. Los átomos se juntan en grandes grupos, como los espectadores en un estadio, creando redes extensas. Los metales son un ejemplo: el hierro, el cobre, la plata... En este caso la «partícula» más pequeña, aunque se agrupen en grandes redes, vuelve a ser el átomo; así, la parte más pequeña que se puede hacer de una barra de hierro sería un átomo de hierro.

Sea en parejas o en grandes grupos la manera que tienen los átomos de mantenerse unidos es compartiendo algunos de sus electrones, que van moviéndose de un átomo a otro. En el caso de los metales como el cobre (Cu), que forman una gran red (figura 3), los átomos comparten sus electrones, que pueden ir moviéndose de un átomo a otro.

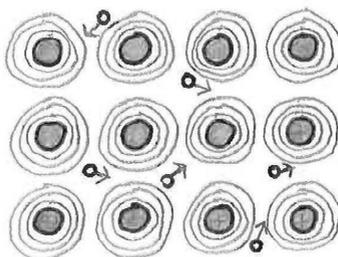


Figura 3. Representación de la estructura atómica de un material conductor donde vemos la red de átomos y los electrones que se van compartiendo entre ellos.

Esta idea de que los electrones son compartidos por los átomos y que pueden moverse entre ellos, aunque pueda parecer alejada del tema en realidad, es importante para comprender bien el mecanismo de la corriente eléctrica. También nos puede ayudar a comprender y dar sentido a las reglas del modelo de las piezas.

LA MODELIZACIÓN COMO ESTRATEGIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRICIDAD EN LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO

La metodología que proponemos al profesorado de didáctica de las ciencias experimentales está basada en la investigación y la modelización. La idea es construir modelos para representar nuestro mundo y así entenderlo mejor: una búsqueda constante de coherencia entre los fenómenos observados y lo que podemos explicar con el modelo.

La modelización es una tarea importante en el aula de ciencias, que sirve a la vez para comprender los fenómenos y hacer reflexionar al alumnado sobre la naturaleza del conocimiento científico. Con esta metodología mostramos que los modelos explicativos no son definitivos, sino que son limitados y se deben ir corrigiendo; así mostramos también al alumnado cómo se construye el conocimiento científico. A través de la experimentación en el aula podemos recoger nuevas observaciones o situaciones físicas, que intentaremos explicar con el modelo. En este proceso puede ser que el modelo nos explique los hechos sin dificultades; esto lo reforzará, porque nuestro modelo es coherente con lo observado. También puede pasar que el modelo no nos explique las nuevas observaciones; entonces lo tendremos que modificar, ya sea cambiándolo totalmente, retocando alguna parte o añadiendo nuevos detalles.

Esta manera de trabajar va más allá del *hands-on* antes explicado. Aquí los experimentos se realizan con una clara intención científica y didáctica, no se limitan a comprobar lo aprendido. O, simplemente para motivar al alumnado, sirven para discutir los fenómenos, poner a prueba explicaciones, y así entender su naturaleza. El papel del profesorado también es esencial: enseñando a observar, planteando cuestiones, poniendo de relieve incoherencias o coincidencias entre experimentos y modelos, y, en definitiva, creando una labor de ciencia auténtica en el aula.

Proponemos basar la enseñanza de la corriente eléctrica en el trabajo con modelos. A ojos de la física académica, los modelos que proponemos no son una representación fiel de la corriente eléctrica, pero consideramos que la propuesta sirve como una primera aproximación a la enseñanza de la electricidad. Ninguno de estos modelos representa con

rigor el fenómeno físico; pero, si se conocen sus limitaciones, pueden ser de mucha utilidad para fomentar el razonamiento, la construcción de las ideas básicas y poner a prueba las ideas del alumnado. Tal y como argumenta Arnold B. Arons¹¹ en su texto *Teaching introductory physics*:

It is unwise to force a completely rigorous formulation on the students from the very start. Just as it is wise to introduce concepts in kinematics and dynamics by starting with fairly primitive, intuitive ideas, and then to refine and redefine them as one penetrates more deeply into the conceptual structure, so it seems wise to follow a similar pattern in forming the picture of simple resistive circuits. Preliminary concepts of «circuit», «current», «conductor», «non-conductor», «resistance» can be formed initially, in qualitative form, through observations of phenomena in simple resistive circuits. The ideas can then be redefined, quantified, and joined with the concept of potential difference in a more rigorous discussion, which becomes far more intelligible to beginning students than a fully rigorous discussion asserted ab initio.

La electricidad es un concepto central de la física en los currículos de todos los niveles de educación (primaria, secundaria y universidad); por ello hay una gran cantidad de estudios sobre su enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, no hay un claro consenso sobre qué modelos funcionan mejor para su enseñanza.¹² Dos modelos se utilizan habitualmente: el hidráulico y el del campo eléctrico.

Quizá por motivos históricos (por la antigua creencia en la existencia de un fluido eléctrico), se ha extendido mucho el uso del modelo hidráulico o de flujo de agua.^{13 14} Este modelo tiene bastantes limitaciones, ya que no ayuda a discriminar entre corriente eléctrica y energía eléctrica, pero, además, no reúne los requisitos que debería tener un buen modelo didáctico (como veremos a continuación), ya que presupone en el alumnado algunos conocimientos sobre presión y fluidos que posiblemente no tienen.

11. Arons, A. B. y Redish, E. F. (1997). *Enseñanza introductoria de la física* (p. 362). Wiley.

12. Mulhall, P., McKittrick, B. y Gunstone, R. (2001). Una perspectiva sobre la resolución de confusiones en la enseñanza de la electricidad. *Investigación en Educación Científica*, 31 (4), 575-587.

13. Stannard, P. y Williamson, K. (2006). *Mundo de la ciencia 9* (3.ª ed.). MacMillan

14. Hewitt, P. (1987). *Física conceptual*. Addison-Wesley

Por otra parte, utilizar el modelo de campo eléctrico tiene poco sentido, ya que el concepto de campo es muy abstracto y su estudio corresponde al nivel de segundo de bachillerato. Esto lo invalida como modelo para construir explicaciones o como soporte visual para entender nuevos conceptos.

¿Cuál podría ser un buen modelo didáctico inicial?

Veamos primero cuáles son los criterios para la elección de un buen modelo didáctico. Siguiendo el trabajo de Christina Hart,¹⁵ podemos citar seis criterios que hacen útil un modelo:

- El modelo debe ser inteligible, de entrada, para el alumnado, debe verse como plausible y ser productivo (que permita entender fenómenos, sugiera cuestiones y experiencias...).
- Los mecanismos empleados en el modelo deben ser claramente comprensibles para el alumnado, de manera que puedan utilizarlo empleando sus propias palabras.
- Debe permitir articular y razonar sobre las dificultades conceptuales y las ideas previas del alumnado.
- Debe estimular la participación, ya que así se promueven conversaciones de aula más ricas.
- Debe ayudar al alumnado a avanzar hacia una mayor comprensión de lo que son los consensos y modelos en la ciencia.
- Debería dar información sobre la naturaleza y el propósito de los modelos en el pensamiento científico y, entre otras cosas, a que todos los modelos tienen limitaciones y no se pueden aplicar más allá de estos límites; también que puede ser que se tenga que utilizar una variedad de modelos con el fin de construir una explicación completa del fenómeno.

En la enseñanza de la electricidad no hay un único modelo que nos permita trabajar todas las ideas clave, por lo que en este texto proponemos el uso de tres modelos materiales, cada uno de ellos verifica buena parte de los criterios mencionados. Estos modelos son:

15. Hart, C. (2008). Modelos en física, modelos para el aprendizaje de la física y por qué la distinción puede ser importante en el caso de los circuitos eléctricos. *Investigación en Educación Científica*, 38 (5), 529-544.

- El **modelo de piezas** para entender la corriente, la intensidad, las conexiones en serie y paralelo, etc.
- El **modelo de la cuerda** para trabajar sobre la energía (el voltaje) de la pila.
- Un **modelo para la resistencia**, que ayudará a entender qué es una resistencia y cómo afecta al paso de la corriente.

El modelo de piezas¹⁶ es el más productivo e interesante. Este modelo es una de las muchas variantes del modelo de transporte de electrones.¹⁷ El repertorio incluye variaciones sobre el modelo de multitudes de personas en movimiento:¹⁸ personas moviéndose por los pasillos o coches en las autopistas, que pueden modelar eficazmente la resistencia y su efecto en todo el circuito. Otras versiones utilizan personas que llevan caramelos, camionetas que transportan y descargan pan, o carros de la compra de los supermercados. Todos ellos son modelos que también pueden ayudar a distinguir entre carga y energía; por lo tanto, también ayudan a modelar el papel de las pilas en los circuitos. Aquí os proponemos un modelo específico para trabajar el voltaje, el modelo de la cuerda.¹⁹

Respecto a la modelización de la resistencia, aunque se puede trabajar con los otros dos modelos, os proponemos un tercer modelo específico.²⁰

16. Ashmann, S. (2009). La analogía de los centavos como electrones. *La Ciencia y la Infancia*, 47 (4), 24.

17. Heywood, D. (2002). El lugar de las analogías en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación de Cambridge*, 32 (2), 233-246.

18. Gentner, D. y Gentner, D. R. (1983). Aguas que fluyen o multitudes abarrotadas: modelos mentales de electricidad. En: D. Gentner y A. L. Stevens (eds.). *Modelos mentales* (pp. 99-129). Erlbaum.

19. Carrier, S. y Rex, T. (2013). Aprendiendo los entresijos de la electricidad. *La Ciencia y los Niños*, 50 (7), 36.

20. Choi, K. y Chang, H. (2004). Los efectos del uso del modelo de circuito eléctrico en la enseñanza de las ciencias para facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con la electricidad. *Revista de la Sociedad Coreana de Física*, 44 (6), 1341.

TRES MODELOS BÁSICOS PARA EL PROFESORADO FORMADOR

En este apartado presentamos en detalle los tres modelos básicos para la enseñanza de la electricidad. Su uso didáctico lo explicaremos en las actividades correspondientes.

El modelo de las piezas

Conceptos que se pueden trabajar con el modelo

El modelo de las piezas que proponemos proporciona una visualización mecánica de qué es la corriente eléctrica y permite visualizar multitud de ideas: el movimiento colectivo de los electrones, el papel de la pila en un circuito, el concepto de intensidad (véase la explicación del concepto de intensidad en el apartado de «Conocimientos básicos»), la necesidad de tener el circuito cerrado, los circuitos en serie o paralelo, la resistencia y su repercusión en la intensidad, etc. Posibilita también una aproximación cualitativa a la ley de Ohm.

Material

Necesitaremos piezas, todas iguales y de un tamaño que sean fáciles de cogerlas y pasarlas de mano en mano. Las piezas de Multicubo o Lego tienen un tamaño apropiado. También se pueden confeccionar de manera muy económica cortando pequeñas piezas de un listón de madera, pero luego habrá que pulirlas para evitar dañarse con las astillas. Incluso se puede hacer con otros elementos como caramelos, pero va mejor si son un poco más grandes, ya que se los tendrán que ir pasando de mano en mano. Es conveniente que todas las piezas sean del mismo tamaño y en una cantidad de aproximadamente el doble del número de participantes en el modelo.

Reglas del modelo

El alumnado se coloca en ronda formando un circuito cerrado (serían las personas «b», «c», «d»... de la figura 4). En un punto de la rueda de

alumnos acercar una mesa donde dejaréis las piezas. Esta mesa representará la pila y la gestionará el profesorado (sería la persona «a» de la figura 4).

Las piezas representan los electrones y los alumnos, los átomos del conductor; por lo tanto, antes de empezar cada alumno (átomo) debe tener en la mano una pieza (un electrón).

El alumnado solo puede utilizar una mano (la otra debe tenerla siempre en la espalda) y en la mano debe tener en todo momento un único electrón (no pueden quedarse sin piezas en ningún momento ni tener más de una). El motivo de usar solo una mano es evitar que el alumnado acumule piezas en sus manos. En este modelo tener una única pieza representa el estado de neutralidad de carga al que tienden todos los átomos.

En un extremo de la mesa (pila) se sitúa un buen número de piezas que el maestro («a») irá introduciendo en el circuito. Este será el extremo negativo de la pila.

El docente intenta pasar una pieza a la primera persona del circuito («b»), este alumno le tiene que coger la pieza, pero antes tiene que deshacerse de la que ya tiene en la mano (recuerde que en todo momento debe tener una única pieza en la mano). Esto lo hará pasando antes la suya a su otro vecino («c»). Cada uno de los alumnos solo intentará pasar su pieza hacia la derecha si su compañero de la izquierda le pide que le coja la suya, si no recibe esta demanda no pasará su pieza.

Este segundo vecino («c») se encuentra en la misma situación que «b»: quiere coger la pieza que le pasa «b», pero antes debe deshacerse de su propia pieza pasándosela a «d», y así sucesivamente.

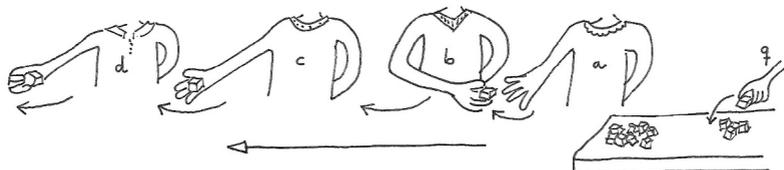


Figura 4. Representación del modelo de piezas. La figura «a» representa al maestro que introduce piezas en el circuito de alumnos («b», «c», «d»...). El último alumno («q») debe dejar sobre la mesa las piezas que le vayan pasando.

En un principio, todo el circuito se encontrará en esta situación (todos intentan pasar su pieza al alumno de su derecha) hasta el momento en que el alumno que está en el otro extremo de la pila («q») deje su pieza en la mesa: entonces «q» puede coger la pieza que le intenta pasar su vecino, y así sucesivamente, de manera que se establece un movimiento colectivo de piezas que representará la corriente eléctrica.

En este momento ya tenemos el modelo en marcha: el docente («a») va cogiendo piezas de la mesa para introducirlas en el circuito (simulando la pila) y estas deberían ir corriendo de alumno en alumno de manera que en todo momento cada alumno debería tener una pieza en la mano: o bien la está recogiendo o bien la está pasando. En el apartado de actividades veremos cómo podemos utilizar este modelo.

Observad que si todo el grupo sigue correctamente las reglas del modelo, en el momento en que «a» deja de pasar piezas, el movimiento debería detenerse repentinamente en todo el circuito, ya que ningún alumno recibe presión de su izquierda para pasar su pieza hacia la derecha; además, cada alumno debería quedar parado con una pieza en la mano.

El modelo de la cuerda

Conceptos que se pueden trabajar con el modelo

El modelo de la cuerda complementa muy bien el de las piezas, ya que proporciona un modelo para entender la energía asociada a la corriente eléctrica (voltaje), un concepto que no podemos trabajar con el modelo de las piezas.

Material

Una cuerda de cierto grosor, aproximadamente de 1cm de diámetro. Debe tener la longitud suficiente para que los participantes la puedan sostener haciendo una rueda. Evite cuerdas delgadas, ya que pueden quemar o cortar las manos. Una cuerda de escalada puede servir. Uniremos sus extremos haciendo un lazo cerrado de cuerda.

Reglas del modelo

El alumnado se sitúa en círculo sujetando la cuerda. Uno de ellos, el que hace de pila, estira de la cuerda haciéndola circular, mientras el resto de los alumnos dejan que la cuerda deslice por sus manos.

Así, el alumno que estira la cuerda está suministrando energía al sistema y la está haciendo circular, representando lo que hace la pila con los electrones del circuito: crear un movimiento conjunto de todos ellos a lo largo de los cables.

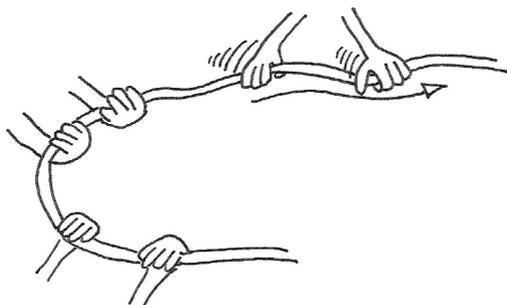


Figura 5. Representación del modelo de la cuerda. Una persona va estirando de la cuerda para hacerla circular en un sentido. Mientras las otras sencillamente aguantan la cuerda con las manos para que no caiga.

La fricción entre la cuerda y las manos de los alumnos suele ser grande y, en general, cuesta hacer circular la cuerda. Esta elevada fricción hará que rápidamente la energía aparezca como calor, así que hay que tener cuidado de que nadie se quemé las manos.

El modelo de resistencia

Este modelo es, de hecho, una escenificación de los electrones circulando por una resistencia.

Conceptos que se pueden trabajar con el modelo

Entender qué es una resistencia y cómo afecta al paso de la corriente eléctrica. Constatar las pérdidas de energía cuando una corriente atraviesa una resistencia. Comprobar que una resistencia elevada comporta

una disminución de la intensidad de la corriente. Si se utiliza el modelo en cursos más avanzados la intención de los electrones de atravesar la resistencia puede ser vista como una analogía con el campo eléctrico que mueve los electrones en un sentido.

Material

No es necesario ningún material extra. Es un modelo que se hace con el propio alumnado. Solo hay que buscar un pasillo o un espacio lo suficientemente amplio para poder situar una parte del alumnado de pie, en posiciones fijas, simulando los átomos de un hilo conductor y con espacio para que el resto del grupo pueda moverse entre aquellos simulando el movimiento de los electrones.

Reglas del modelo

Se forman dos grupos de alumnos: los que representarán el papel de átomos del hilo conductor resistente y los que harán de electrones.

Marque un pasillo de unos dos o tres metros de anchura donde se situarán, en posiciones fijas, los alumnos que representan los átomos de la resistencia.

El resto del grupo representará los electrones, que deberán pasar de un extremo a otro a lo largo de la resistencia. Al desplazarse, los electrones deben hacer en todo momento trayectos rectilíneos. En estos trayectos irán topando con los átomos de la resistencia, que los desviarán de su dirección inicial y los obligarán a describir trayectorias erráticas que dificultarán su paso a través de la resistencia.

IDEAS CLAVE Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS

En la formación del profesorado es muy importante que el alumnado sea capaz de identificar las ideas clave de cada uno de los temas que debe enseñar. Estas son una selección de ideas fundamentales necesarias para estructurar los conceptos básicos y proporcionan el marco sobre el que construir posteriormente conceptos más complejos para profundizar en el tema. Establecer una buena selección de ideas clave es importante a la hora de diseñar la planificación didáctica.

Es posible que cada una de ellas se tenga que trabajar repetidamente a lo largo del tema. Asimilar las ideas clave dará al alumnado herramientas para profundizar y construir nuevos conocimientos, ya que en última instancia son sus fundamentos.

Las ideas clave que proponemos están pensadas para un nivel introductorio; son bastante cualitativas, porque se han elegido teniendo en consideración que representan una primera aproximación a la electricidad. Es muy posible que para hacer el estudio en un nivel más avanzado haya que cambiar, cuantificar o añadir algunas otras ideas (por ejemplo, si se plantea un estudio más profundo del voltaje o de la ley de Ohm).

A continuación, proponemos las siguientes cinco ideas clave (tabla 1). Las ideas 1 a la 4 hacen referencia al origen y naturaleza de la corriente eléctrica, mientras que la 5 se centra específicamente en entender qué es la resistencia eléctrica. Todos los conductores y dispositivos presentan una cierta resistencia eléctrica.

Tabla 1. Relación de ideas clave y modelos

Idea clave	Modelos relacionados
1 La corriente eléctrica es un movimiento conjunto de los electrones de los átomos del material.	Piezas
2 Este movimiento es colectivo: se mueven todos a la vez y siempre de un extremo a otro de la pila a través del circuito.	Piezas, cuerda
3 Solo se puede establecer una corriente si el circuito está cerrado, porque solo así los electrones pueden ir pasando a través de los átomos vecinos del material conductor hasta regresar al otro extremo de la pila.	Piezas

Idea clave	Modelos relacionados
4 La pila pone en movimiento todos los electrones del conductor a la vez.	Cuerda
5 Las resistencias ponen obstáculos al movimiento de los electrones ocasionando disipación de energía.	Piezas, cuerda, resistencia

Las ideas clave 1 y 2 proporcionan al alumnado una explicación sencilla de la naturaleza de la corriente eléctrica, a la vez que, con la ayuda del modelo de piezas, ofrece una imagen mecánica de la corriente que sirve para la comprensión de diversos conceptos ligados a los circuitos y la intensidad.

La idea clave 3 es importante para entender el diseño de circuitos y se complementa con la idea clave 2. Esta idea es más comprensible si se trabaja con el modelo de piezas y haciendo referencia a lo que ya se habrá explicado sobre los átomos y sus electrones.

Con las ideas clave 1, 2 y 3 podemos profundizar en el concepto de intensidad, también de los tipos de conexiones, pero no sirve para trabajar ningún concepto relacionado con la energía eléctrica ni, por tanto, con los generadores. Por ello hay que introducir la idea clave 4.

La idea clave 4 conecta con la noción de energía eléctrica y, por lo tanto, sirve para introducir el concepto de voltaje (encontrará la explicación de este concepto en el apartado de «Conocimientos básicos»).

Finalmente, la idea clave 5 es necesaria porque todo conductor o dispositivo eléctrico presenta cierta resistencia al paso de la corriente, aunque sea pequeña. Es necesario, pues, trabajar el concepto de resistencia eléctrica, entender su significado y su relación con el voltaje y la intensidad. Esta idea clave nos permite entender más adelante la ley de Ohm.

Las cinco ideas clave presentadas están íntimamente relacionadas con los tres modelos que proponemos: el de las piezas, el de la cuerda y el de la resistencia. En la siguiente figura (figura 6) hemos descrito las relaciones entre las ideas clave y los modelos. El esquema admite una doble lectura: nos permite ver qué ideas trabaja cada uno de los modelos o bien con qué modelos podemos trabajar cada una de las ideas clave.

Ideas Calve

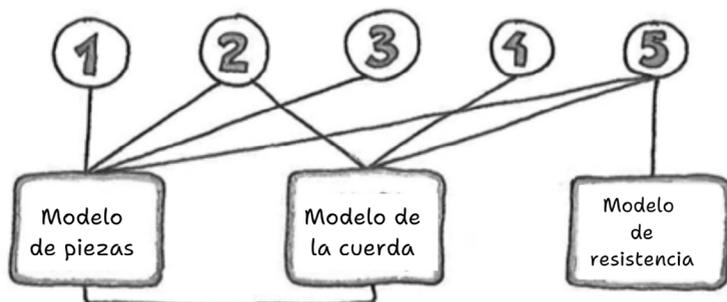


Figura 6. Relaciones entre ideas clave y modelos.

El modelo de las piezas es el que permite trabajar más ideas clave: 1, 2, 3 y 5, relacionadas con la naturaleza de la corriente, los electrones, la intensidad, la resistencia y las conexiones en serie y en paralelo. Pero a pesar de su alcance, no sirve para hablar del concepto de voltaje (idea 4), de ahí la necesidad de presentar el modelo de la cuerda.

El modelo de la cuerda, en cambio, se propone para trabajar el voltaje, y nos ayuda a abordar las ideas 2, 4 y 5. Además, tiene otras posibilidades, ya que podría utilizarse en bachillerato como modelo mecánico inicial para introducir el papel del campo eléctrico en un conductor, que, de hecho, es el responsable de que se establezca la corriente.

El modelo de resistencia es específico para trabajar la idea 5. Ahora bien, esto no quiere decir que el concepto de resistencia solo se pueda trabajar con este modelo, ya que los otros dos también pueden utilizarse para trabajar la idea 5.

Pensamos que una adecuada combinación de los modelos puede ser muy útil para conseguir una buena comprensión de las ideas básicas de la corriente. De hecho, se podría prescindir del modelo de resistencia, pero consideramos que, cuanto más oportunidades de visualizaciones diferentes se ofrezcan al alumnado, mejor puede ser la comprensión de estos conceptos y, por lo tanto, una manera de atender mejor la diversidad del aula.

CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD PARA EL PROFESORADO

Para trabajar con comodidad el tema el profesorado debería tener claros unos conocimientos mínimos de electricidad, por eso en este apartado hacemos un resumen de lo que hemos considerado las ideas más importantes. Las explicaciones, en un lenguaje asequible, mantienen el rigor científico necesario para educación primaria.

Sobre la estructura de la materia

A modo de listado podríamos seleccionar las siguientes ideas sobre la estructura atómica de la materia:

- La materia está hecha de átomos.
- Los átomos tienen una estructura con un núcleo y unos electrones que orbitan a su alrededor.
- El núcleo del átomo está formado por protones (carga positiva) y neutrones (sin carga).
- Los electrones que orbitan alrededor del núcleo tienen carga negativa.
- Los átomos tienden a tener carga total nula, es decir, cada átomo contendrá tantos electrones como protones. Si un átomo pierde un electrón intentará atrapar a otro para volver a tener carga total cero.
- En el núcleo, protones y neutrones están fuertemente unidos, es muy difícil separarlos y no juegan ningún papel en la corriente eléctrica.
- Los electrones que orbitan alrededor del núcleo están más débilmente unidos al átomo que los protones del núcleo atómico y son estos electrones los que forman parte de la corriente eléctrica.
- En algunos átomos, los electrones más alejados del núcleo pueden ser arrancados con facilidad del átomo y ser compartidos con átomos vecinos. Estos electrones son los que constituirán la corriente eléctrica.

Sobre la carga eléctrica

Las partículas que forman la materia tienen varias propiedades que las caracterizan. Las dos más conocidas y que en la etapa de primaria nos pueden interesar son la masa y la carga eléctrica.

Todas las partículas que forman los átomos tienen masa, pero, como ya hemos mencionado, no todas las partículas tienen carga eléctrica: hay partículas que no tienen (digamos que son neutras), hay partículas que tienen carga eléctrica negativa y hay otras partículas que tienen carga positiva.

Hay que remarcar que «carga» es un constructo abstracto y no una sustancia: es una propiedad que inferimos al ver «cómo» estos objetos interactúan los unos con los otros, pero no podemos decir «qué» es.

La comunidad científica del siglo XVII descubrió que cuando frotaban determinados materiales (vidrio, cacho, ámbar...) con paños de diferentes tejidos (lana, seda...) algunos de estos materiales se atraían entre ellos y otros se repelían. Así concluyeron que había dos tipos de carga eléctrica que llamaron «positiva» y «negativa». Estos son términos completamente arbitrarios y bien se podían haber llamado «roja» y «azul» o «A» y «B». En estas experiencias observaron que, si las cargas eran de igual tipo, se repelían, y si eran de diferentes tipos, se atraían.

Frecuentemente el alumnado tiende a identificar o relacionar las cargas eléctricas con los polos magnéticos de los imanes, pero hay que tener presente que las cargas eléctricas y los imanes son de naturaleza diferente y conviene no mezclar su estudio, ya que esto puede llevar a confusiones en niveles más avanzados. En cursos preuniversitarios ya estudiarán la relación profunda que existe entre magnetismo y electricidad, pero a niveles iniciales los podemos considerar como dos fenómenos diferentes.

Sobre la simbología utilizada en la representación de los circuitos

Para representar los elementos de los circuitos eléctricos se utiliza una simbología estándar (tabla 2). Los símbolos de los elementos que utilizaremos vienen resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Relación de elementos y símbolos

Elemento	Símbolo
Interruptor	
Pila	
Luz	
Resistencia	

Sobre los circuitos: ramas y circuitos en serie y en paralelo

Los circuitos eléctricos siempre deben ser trayectos cerrados es decir que, saliendo de un punto cualquiera, siempre podemos regresar a ese punto, habiendo pasado por la pila.

El circuito más sencillo es el que denominamos de una única rama: un único lazo cerrado (figura 7).

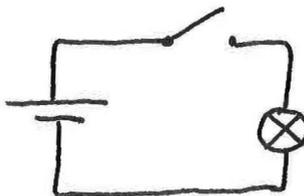


Figura 7. Circuito eléctrico simple.

El circuito anterior se puede bifurcar en un punto cualquiera, como puede ser el punto A del siguiente dibujo (figura 8). En un caso como el de la figura 8 diremos que el circuito tiene dos ramas.

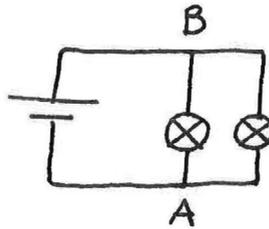


Figura 8. Circuito eléctrico con dos ramas. La corriente puede circular por las dos ramas.

Ambas ramas de la bifurcación deben cerrarse a través de la pila; si una de las ramas no lo hace, no habrá corriente en ese lazo de hilo (figura 9).

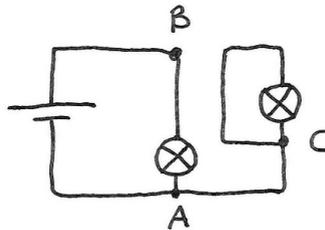


Figura 9. A través de la rama AB circulará la corriente (la luz se encenderá), pero no a través de la rama AC, ya que no se cierra a través de la pila (la luz no se encenderá).

En general, los circuitos pueden ser complejos y tener muchas ramas interconectadas, pero si nos limitamos a los casos más sencillos, distinguiremos dos tipos de conexiones: circuitos en serie y en paralelo.

Cuando todos los elementos del circuito están conectados uno tras otro, en hilera, como se muestra en la figura 10, diremos que los elementos están conectados en **serie**.

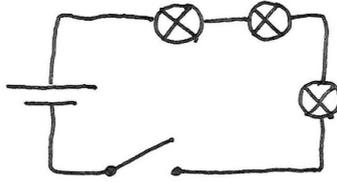


Figura 10. Circuito eléctrico con tres lámparas conectadas en serie.

Ahora imaginamos que, en un circuito de una única rama; en un punto A hay una o más bifurcaciones que se vuelven a conectar más adelante en el punto B de la rama anterior, tal y como se ve en la figura 11.

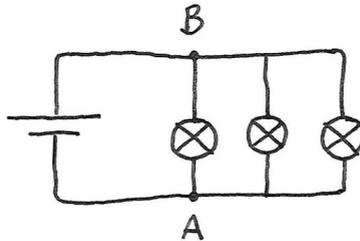


Figura 11. Circuito eléctrico con tres lámparas conectadas en paralelo.

La corriente puede circular ahora por cualquiera de los tres caminos entre A y B; entonces diremos que estas tres bombillas están conectadas en **paralelo**.

Sobre conductores y aislantes

Hay materiales hechos de átomos de los que se pueden arrancar con facilidad los electrones; son elementos que se denominan «conductores». Por ejemplo, los metales (el cobre, la plata, el hierro, el oro, el estanco...).

En cambio, hay otros materiales de los que no es tan fácil arrancar electrones. De ellos decimos que son materiales «aislantes», como, por ejemplo, el vidrio.

Para que el alumno entienda por qué hay materiales conductores y otros aislantes es importante dejar claras las siguientes ideas: los electrones

son muy ligeros y, en algunos átomos (por ejemplo, en los metales), los electrones más alejados del núcleo pueden ser arrancados fácilmente y pasar de un átomo a su vecino con mucha facilidad. Con los materiales conductores se construyen los cables y los dispositivos eléctricos. Por otro lado, hay átomos que tienen fuertemente atados todos sus electrones y es muy difícil arrancarlos y hacer que circulen hacia los átomos vecinos. Un ejemplo sería el recubrimiento de plástico de los cables de los electrodomésticos, que evita que nos pase la corriente a nosotros.

No podemos poner una frontera clara y bien definida entre conductores y no conductores, sino que encontramos toda una gradación: desde materiales que son muy buenos conductores (plata) hasta materiales muy aislantes (como el aire o el azufre), pasando por otros que, sin ser aislantes, son menos conductores (el acero inoxidable).

Por tanto, ser aislante o conductor no es un absoluto y un mismo material puede ser aislante a voltajes bajos, pero permitir el paso de corriente cuando se le somete a voltajes elevados. El aire puede ser un ejemplo: si separamos dos cables en el circuito que hacemos con nuestros alumnos, quedará un trozo de aire entre ellos, el circuito queda abierto y el LED se apagará porque la corriente no podrá circular; en cambio, si el voltaje fuera de decenas de miles de voltios, la corriente sí podría circular a través del aire, y eso es justamente lo que pasa con los rayos en una tormenta: la corriente eléctrica pasa de las nubes a tierra a través del aire.

Sobre la corriente eléctrica

Vamos a ver ahora qué es la corriente eléctrica. La corriente eléctrica consiste en un movimiento conjunto de los electrones de un material conductor (**primera idea clave**), pero hemos dicho antes que los electrones están unidos al átomo, de manera que para viajar a través del material previamente los electrones deben ser arrancados de los átomos. Pero ¿cómo se consigue arrancar electrones de un átomo?

Como hemos comentado en el apartado que hace referencia a la carga eléctrica, los científicos del siglo XVII llegaron a la conclusión de la existencia de dos tipos de carga eléctrica. En este caso conseguían acumular cargas en objetos rozándolos; esta es, pues, una primera manera de arrancar electrones de los átomos: mecánicamente, por rozamiento. En

las experiencias de electricidad estática, los objetos quedan cargados eléctricamente, pero no se establece ninguna corriente eléctrica permanente como sucede en los circuitos, ya que una vez que se descarga el objeto hay que volver a frotarlo para cargarlo. Aunque en estas experiencias también están implicados los electrones, no son adecuadas para crear la corriente eléctrica constante y controlable necesaria en los circuitos eléctricos. Es lo que se llama electricidad estática.

Una segunda manera de arrancar electrones de los átomos es a través de determinadas reacciones químicas. En las pilas se producen unas reacciones químicas capaces de acumular electrones en uno de sus dos terminales. A diferencia del método de rozamiento, con las pilas se consigue una separación continuada y constante de las cargas eléctricas. Mientras haya suficientes reactivos, la reacción se mantendrá en marcha y proporcionará este desequilibrio de carga entre sus extremos. Con la reacción química, las pilas proporcionan la energía necesaria para mantener este desplazamiento de cargas y empujar los electrones de todo el conductor a lo largo del circuito. Este movimiento es el que constituye la corriente eléctrica.

Podemos formarnos una imagen de la corriente eléctrica imaginando los átomos de un cable conductor (figura 12) de los que han sido arrancados algunos electrones de sus átomos. Al tratarse de un material conductor, los electrones podrán ser compartidos con los átomos vecinos. La pila crea un empuje sobre todos ellos, provocando que se muevan en el mismo sentido a lo largo del cable. Cada uno de los átomos tiende a mantenerse neutro (con carga total nula); los lugares vacíos que dejan los electrones arrancados tienden a ser ocupados por electrones arrancados de átomos vecinos, de manera que veríamos un movimiento colectivo de electrones que van saltando de átomo en átomo, todos a la vez en una misma dirección: esto es una corriente eléctrica (**segunda idea clave**).

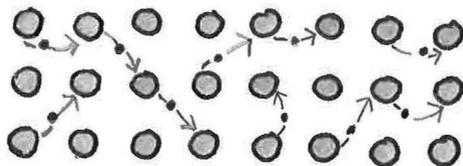


Figura 12. Movimiento de los electrones a lo largo del conductor. Representación de una corriente eléctrica.

Es importante remarcar que los electrones están en todos los átomos del cable y, por lo tanto, al establecer una corriente eléctrica participan electrones de todo el conductor del circuito. Esta idea es la que hemos recogido como **cuarta idea clave**.

Solo podremos establecer corriente en un circuito si sus cables definen un camino cerrado. Esta es la **tercera idea clave** y hay que comprenderla bien: al tratarse de un movimiento conjunto de todos los electrones a lo largo del cable conductor, este solo se podrá producir si el circuito está cerrado. Si cortamos el circuito (por ejemplo, con un interruptor), la corriente se interrumpe instantáneamente en todo el circuito. La idea se puede entender muy bien con el modelo de la cuerda, ya que deteniéndola en un punto cualquiera se interrumpe instantáneamente el movimiento en todo el circuito. En el modelo de las piezas también debería funcionar, pero la experiencia nos muestra que, aunque se interrumpa el paso de piezas en un punto, a menudo los participantes siguen pasando sus piezas, infringiendo las reglas del modelo y haciendo que no se vea este efecto en el modelo.

Un último punto por tratar sobre la corriente eléctrica es su aparente velocidad infinita: pensemos en las luces de un gran edificio; cuando cerramos un interruptor las luces se encienden todos ellos aparentemente de manera instantánea. Esto lleva a la errónea idea de que los electrones circulan a una gran velocidad, idea que estaría ligada a la creencia de que los electrones salen de la pila y recorren el circuito. El hecho sin embargo es que cada uno de los electrones se mueve lentamente, pero como se mueven al mismo tiempo los electrones de todo el cable del circuito (ideas clave 2 y 4), las luces se encienden todas a la vez.

Sobre la intensidad de la corriente eléctrica

El concepto de intensidad es importante y fácilmente comprensible para los alumnos si usamos el modelo de piezas (como se explicará en la actividad 5). De manera cualitativa, la intensidad de una corriente es una medida de cuántas cargas pasan a través de ese cable por unidad de tiempo. Para poner una analogía, sería como contar cuántos coches pasan por un punto de una carretera en sentido norte los miércoles entre las 8 h y las 9 h. Si imaginamos un circuito formado por una única

rama como el de la figura 13, la intensidad que habrá en todos los puntos del circuito será la misma: es decir, si medimos la intensidad en el punto A, el B o cualquier otro obtendremos el mismo valor (esta es una idea sobre la que conviene insistir para que quede bien clara, y por eso puede ir bien referirse a lo que observamos en el modelo de piezas).

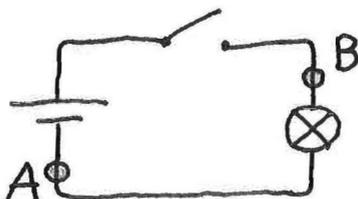


Figura 13. Circuito eléctrico de una rama.

Por otra parte, imaginamos que, en un punto cualquiera de este circuito, se interrumpe la corriente (con un interruptor, cortando el cable...): la corriente dejará de fluir instantáneamente en todos los puntos del circuito y la intensidad será cero. Para que tengáis una imagen de este hecho hay que recordar que se trata de un movimiento colectivo: podéis hacer referencia a la cuerda de la actividad 10, donde esto queda bien claro, o bien una cadena que desliza, en la que cada eslabón sería un electrón. Si paramos cualquiera de los eslabones, se detendrá instantáneamente el movimiento en toda la cadena (todos los electrones), tanto las que hay antes como después del eslabón que hemos parado.

¿Cómo medimos la intensidad eléctrica en un circuito? El instrumento con el que se mide se llama amperímetro y nos da una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto del cable en la unidad de tiempo. Al igual que haríamos en la analogía de la carretera, si queremos medir la intensidad de coches, nos tendremos que situar en la carretera para ver pasar cada coche. Del mismo modo deberemos conectar el amperímetro en serie en el circuito (figura 14), de forma que toda la carga pase a su través y se pueda hacer el recuento correcto.

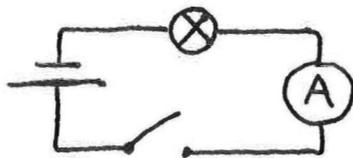


Figura 14. En un circuito el amperímetro siempre debe estar conectado en serie.

Los amperímetros reales miden de manera diferente a como lo hacemos nosotros en el modelo de piezas. La razón es que la carga eléctrica de un electrón es enormemente pequeña. Para ver cómo es de pequeña piense que la unidad de carga es el Coulomb (C) que se llama así en honor a Charles-Agustin de Coulomb (Francia, 1736-1806). Pues bien, para conseguir 1C de carga negativa deberíamos juntar: ¡6.241.509.074.460.762.607 electrones! A diferencia de lo que haremos con nuestro modelo de piezas (actividad 5), el amperímetro real no cuenta los electrones uno a uno (como sí hacemos nosotros en el modelo), sino que cuenta Coulombs, es decir, grupos de 6.241.509.074.460.762.607 electrones. Así pues, el amperímetro nos dice cuántos Coulombs pasan en un segundo a través de ese cable. Si pasa 1C, cada segundo se dice que circula 1 Ampere, es decir, $1A = 1C/s$. Esta es la unidad de intensidad de corriente eléctrica, el Ampere, y de ahí el nombre de amperímetro por el instrumento que la mide.

Sobre la resistencia eléctrica

Antes hemos distinguido entre conductores (materiales por los que circula fácilmente la corriente eléctrica) y aislantes (materiales en los que la corriente eléctrica no circula o circula muy poco). Esta característica de los aislantes de oponerse al paso de una corriente a través de ellos es lo que se llama resistencia: el cobre presenta poca resistencia, pero la madera o el plástico presenta mucha.

La resistencia de un material es inversamente proporcional a su conductividad: cuanto mejor conductor es un material, menos resistencia tiene, y viceversa.

Para entender qué es la resistencia nos podemos imaginar los electrones moviéndose a través de un material. En su movimiento, los electrones encuentran los átomos del material, que son como obstáculos con quienes chocan, entorpeciendo su paso (figura 12). En este viaje accidentado, los electrones van perdiendo energía cada vez que chocan; en estos choques hacen vibrar los átomos del material y, como podéis recordar del modelo corpuscular de la materia, la agitación de las partículas es lo que llamamos calor: el conductor se calienta.

En pocas palabras, cuando una corriente circula por un conductor que tenga una cierta resistencia, parte de la energía se pierde en forma de calor. Si la resistencia es grande, el conductor se calentará mucho; eso, por ejemplo, es lo que se aprovecha en las tostadoras de pan (si miramos dentro, veréis unos hilos conductores que como se calientan mucho con la corriente se ponen rojos) o para calentar el aire en los secadores de cabello.

La resistencia eléctrica se mide en Ohms, simbolizado por la letra griega Ω , en honor a Georg Simon Ohm, que descubrió en 1826 una relación sencilla, pero muy importante, entre el voltaje, la corriente y la resistencia (la ley de Ohm).

Sobre el voltaje

El voltaje es el concepto más abstracto en este tema de la corriente eléctrica.

Hemos dicho antes que la corriente eléctrica es el movimiento colectivo de los electrones en el conductor, pero ¿qué hace mover los electrones?

Para mover cualquier objeto en la vida cotidiana es necesaria una cierta energía. Pues bien, para mover los electrones (que son partículas con masa) también necesitamos energía. Esta energía es la que suministran las pilas; la cantidad de energía que suministra la pila a cada electrón es lo que llamamos voltaje. Hay que dejar bien claro que el voltaje no fluye a través del circuito, sino que el voltaje es aquella «presión eléctrica» (característica de cada pila) que provoca el movimiento de los electrones en el circuito.

Para entenderla nos podemos remitir al modelo de la cuerda que presentamos a la actividad 8. En este modelo, el alumno que estira de la cuerda representa la pila, que invierte una cantidad de energía en mover la cuerda. Los electrones del circuito vienen representados por la cuerda y, como los electrones que forman la corriente eléctrica, toda la cuerda se mueve a la vez. Si en cualquier punto de la cuerda se interrumpe el movimiento, la cuerda se detiene instantáneamente en toda su longitud, al igual que sucede con la corriente cuando un interruptor abre el circuito.

La unidad de medida del voltaje es el Volt, y lo simbolizamos con la letra V. El instrumento para medirlo es el voltímetro. En la escuela usamos voltajes bajos, del orden de 3 V a 9 V.

Hay pilas de poco voltaje (por ejemplo, las AA de 1,5 V) que suministran poca energía a la corriente eléctrica. Con ellas, si cortamos un cable de un circuito, los electrones no podrán ir de un extremo a otro atravesando el aire, y el motivo es que tienen poca energía. Imaginemos ahora un voltaje de millones de voltios: los electrones tendrían mucha energía y podrían saltar a través del aire hasta el otro extremo del cable. Eso es lo que pasa en los rayos: el voltaje entre nubes o entre las nubes y la tierra es de millones de voltios, y la corriente puede saltar a través del aire que habitualmente es aislante.

Sobre la relación entre la intensidad, el voltaje y la resistencia

La relación entre estas tres magnitudes viene dada por la llamada ley de Ohm, que nos dice que sus valores están relacionados de esta manera: $V=I \cdot R$ [1].

Aunque en primaria no es necesario hacer un estudio detallado de la ley de Ohm, si lo veis adecuado para vuestro curso, podéis hacer una aproximación cualitativa con el modelo de las piezas (ver la actividad 11).

La ley de Ohm establece una relación entre las tres cantidades básicas en un circuito: el voltaje **V** de la pila, la resistencia **R** que hay en el circuito y la intensidad **I** que circula.

Una manera fácil de entender esta relación es haciendo la analogía con un circuito hidráulico. Imaginemos un circuito con una sola rama, una resistencia y una pila de un determinado voltaje. Podemos hacer un paralelismo con un circuito hidráulico con una bomba y una manguera más delgada que el resto de circuito (figura 15). Al igual que la bomba hace circular el agua por las tuberías, la pila es el elemento que genera la «presión» que hace mover los electrones en el circuito, creando la corriente, y esta presión es mayor cuanto mayor sea el voltaje. La manguera delgada tiene el mismo efecto sobre el agua que la resistencia sobre la corriente eléctrica: reduce su flujo. La pila provoca el movimiento de las cargas con una cierta energía, y esa «presión eléctrica» que hace la pila es constante. Con una misma «presión», si ponemos una resistencia (que dificulta el paso de la corriente), la intensidad (el flujo de electrones) disminuirá, del mismo modo que una manguera delgada reduce el flujo de agua.

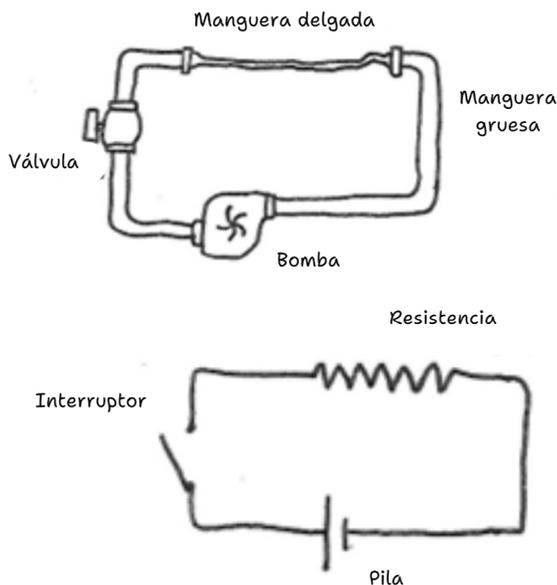


Figura 15. En un circuito hidráulico, la manguera delgada presenta resistencia al flujo de agua que viene impulsado por la bomba, reduciendo el flujo de agua respecto a lo que habría si toda la manguera fuera gruesa. Lo mismo sucede con la corriente eléctrica: la intensidad de la corriente (flujo de agua) producida por la pila (bomba) será menor si hay una resistencia (manguera delgada) que si no la hay (manguera gruesa).

Es decir, con un voltaje fijado, si aumenta la resistencia, disminuye la intensidad, y viceversa. Esto es que expresa la relación [1]: si V es constante, cuando aumente la resistencia R , el valor de la intensidad I deberá disminuir, y, recíprocamente, si disminuye R , aumentará I .

Veamos un ejemplo de aplicación de la ley de Ohm en un contexto cotidiano: ¿Por qué debemos evitar tocar objetos eléctricos con las manos mojadas? La resistencia eléctrica del cuerpo humano puede ser muy variable: si la piel está muy seca puede ser de 500.000Ω , mientras que si está mojada con agua de mar es de solo unos 100Ω . Si tocamos una pila de 12 v con las manos secas, no notaremos nada (la resistencia es tan elevada que la intensidad será muy pequeña), pero tocar la pila de 12 V con las manos húmedas puede ser muy desagradable ya que la resistencia es mucho menor y la intensidad de corriente que circula por nuestro cuerpo es mucho mayor.

RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS Y ACTIVIDADES RELACIONADAS

Este listado puede servir como una guía que resume las ideas importantes y con qué actividades trabajarlas (tabla 3). El listado no es exhaustivo ni cerrado, y según el nivel de profundización que os planteáis hacer en el tema, podéis tomar solo una selección de todas las listadas o bien lo podéis modificar incluyendo nuevas.

Tabla 3. Resumen de conceptos y de ideas clave

Conceptos básicos para desarrollar por el alumnado		
Tema	Idea por trabajar	Actividad relacionada
La corriente eléctrica	Llamamos corriente continua a aquella que va siempre en el mismo sentido a lo largo del circuito, como la suministrada por las pilas.	3, 5
	La pila pone en movimiento el conjunto de electrones que ya están (forman) en los átomos todo a lo largo del conductor.	3, 4, 5
	El desplazamiento de cada uno de los electrones a lo largo del conductor es lento, debido en parte a la gran cantidad de choques con los átomos del conductor que los desvían constantemente de su trayectoria. La apariencia de instantaneidad viene dada por el hecho de que se trata de un movimiento colectivo todo a lo largo del conductor.	3, 4, 5
Intensidad	La intensidad es la cantidad de carga que pasa por un conductor en un determinado periodo de tiempo.	5
	En un circuito de una sola rama la intensidad es la misma en cualquier punto del circuito.	5, 6
	Su unidad de medida es el Ampere (A). El instrumento que la mide es el amperímetro.	5
	La medida de intensidad debe hacerse siempre conectando el amperímetro en serie a la rama en que se hace la medida.	5, 6
	Al pasar a través de una resistencia, la intensidad no cambia, es la misma a ambos lados, ya que se trata del número de electrones que circulan.	4, 5

Conceptos básicos para desarrollar por el alumnado

Tema	Idea por trabajar	Actividad relacionada
Resistencia	La resistencia es la oposición que presenta el material al paso de la corriente eléctrica.	4, 9
	Hay materiales en los que la corriente puede circular sin muchas dificultades ni pérdidas de energía: son los materiales conductores.	4, 8, 9
	Hay materiales en los que la corriente circula con dificultades y con pérdidas de energía: son los materiales aislantes.	4, 8, 9
	No hay materiales perfectamente aislantes o conductores. Hay una gradación entre ambos.	4, 8, 9
	Cuando en un circuito se añade una resistencia la intensidad en el circuito disminuye.	4, 5, 11
Voltaje	El voltaje es la energía suministrada por la pila a cada una de las cargas.	3, 10
	El voltaje es el responsable del movimiento de las cargas en el circuito.	10
	Su unidad de medida es el Volt (V). El instrumento que la medida es el voltímetro.	-
	Las pilas crean el voltaje por una reacción química en su interior.	-
	Cuando la pila se agota (el voltaje se hace cero) se detiene la corriente eléctrica, es decir el movimiento de los electrones.	10, 11
Circuitos eléctricos	Diremos que un circuito está cerrado si lo podemos recorrer con continuidad desde un punto hasta volver al punto de partida, pasando por la pila y sin volver atrás. Si no es así decimos que el circuito está abierto.	4
	Para abrir y cerrar circuitos usamos el interruptor.	4
	En los circuitos eléctricos debemos tener al menos una pila.	3, 4
	Un circuito eléctrico solo funcionará si está cerrado.	3
	Si en un punto del circuito hay una bifurcación y se separa en dos ramas que se vuelven a unir más adelante, diremos que esas dos ramas están conectadas en paralelo.	4
	Si en un circuito no hay ninguna bifurcación decimos que es un circuito con los elementos conectados en serie.	6
	En un circuito de una única rama la intensidad es la misma en todos sus puntos.	5, 6
	En un circuito con dos ramas en paralelo la corriente se reparte entre las dos ramas, siendo la intensidad en cada una de ellas una parte de la inicial. El valor en cada una de ellas depende de la resistencia de la rama. En el punto donde se unen de nuevo las dos ramas la intensidad vuelve a tener su valor original, que es la suma de las dos intensidades.	6, 11

LA IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES DE LABORATORIO

Una buena enseñanza experimental requiere un espacio y equipamiento adecuados. En el caso de la electricidad, este material es muy sencillo: cables, interruptores, lámparas... Y si bien lo encontramos en cualquier ferretería, no siempre son los más adecuados.

El buen material didáctico debería reunir dos características: a) ser fiable y robusto ante el uso continuado de los alumnos, b) ser transparente: evitar cajas negras para poder ver el interior de los dispositivos siempre que sea posible.

A la hora de afrontar el trabajo experimental con la corriente eléctrica podemos adoptar dos estrategias, cada una tiene sus ventajas e inconvenientes: una es construir nuestro propio material para hacer los circuitos, la otra es comprar material ya hecho.

Si optamos por construir nuestro propio material, propondremos al alumnado que fabrique sus propios interruptores y conexiones. Haciéndolo así, estaremos trabajando las habilidades manuales y experimentales, así como las destrezas constructivas y la imaginación. Es una vía muy interesante porque el alumnado debe entender bien qué es y cómo funciona un interruptor, una conexión, un pulsador, etc., e imaginar cómo construirlo (requisito b). Otra ventaja de hacerlo así es el bajo coste del material, ya que se pueden utilizar clips, chinchetas, etc. La contrapartida es que a menudo estos materiales caseros son débiles y poco fiables. Son habituales los falsos o malos contactos, que a la hora de hacer y probar circuitos pueden llevar más problemas de los deseados e incluso malentendidos en el funcionamiento de los circuitos.

Si optamos por comprar material ya hecho, la fiabilidad de las conexiones no será ningún problema; por lo tanto, podréis centrar todos los esfuerzos en la comprensión del circuito eléctrico. Si usa un buen material didáctico cumplirá bien los dos requisitos antes citados. El material que encontramos en las ferreterías cumple muy bien el requisito (a) de fiabilidad, pero no son transparentes: son unas cajas cerradas con dos o más contactos en las que no se ve qué pasa cuando tomamos el inte-

ruptor. En cambio, en la figura 16 vemos un ejemplo de interruptor que cumple los requisitos didácticos (a) y (b).

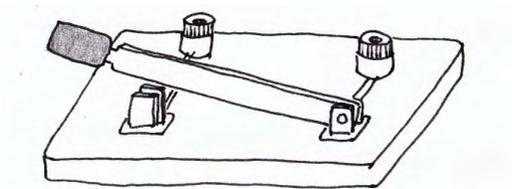


Figura 16. Tipo de interruptor que se adecua bien a los requisitos didácticos.

II. PROPUESTA DE ACTIVIDADES

Ideas clave			
	Idea	Actividad asociada	Modelos relacionados
1	La corriente eléctrica es el movimiento de los electrones de los átomos del material.	3, 5, 6, 10	Piezas
2	Este movimiento es colectivo: se mueven todos a la vez y siempre de un extremo a otro de la pila a través del circuito.	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Piezas, cuerda
3	Solo se puede establecer una corriente si el circuito está cerrado, porque solo así los electrones pueden ir pasando a través de los átomos vecinos del material conductor hasta regresar al otro extremo de la pila.	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Piezas
4	La pila no proporciona la corriente del circuito, sino que pone en movimiento los electrones del conductor (los electrones no salen solo de la pila).	6, 10	Cuerda
5	Las resistencias ponen obstáculos al movimiento de los electrones ocasionando disipación de energía.	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Piezas, cuerda, resistencia

DIBUJAMOS LA ELECTRICIDAD

¿Cómo nos pueden ayudar a enseñar la electricidad las ideas iniciales de los niños? Exploramos las ideas de los niños.

Antes de empezar a explicar el tema a nuestro alumnado es interesante conocer cuál es la idea que tienen sobre la corriente eléctrica. Esta actividad nos permitirá saber de qué conocimientos e ideas parte nuestro alumnado y por tanto a qué concepciones nos tendremos que enfrentar. Las más frecuentes están explicadas en el apartado «Las ideas del alumnado y las dificultades para entender la corriente eléctrica». Conocer sus ideas nos ayuda a comprender el porqué de sus explicaciones y eso nos permite guiarles mejor en la construcción del modelo físico de la corriente eléctrica.

El dibujo es una buena herramienta para averiguar estas ideas. Con una explicación oral pueden usar palabras que nos den la falsa impresión de un cierto conocimiento, aunque no haya una comprensión a fondo. El dibujo, en cambio, pide al niño concretar esa imagen, a menudo ambigua, que tiene en la cabeza y plasmar con más detalle su concepción.

Actividad 1. Viaje imaginario en el interior de un material conductor

Esta actividad tiene como finalidad ayudar al alumnado a explicitar sus ideas sobre el tema, haciéndoles ver los puntos fuertes y débiles de sus explicaciones, ayudándoles a formular preguntas o argumentar sobre las explicaciones y relacionarlas con las observaciones.

Puede ser interesante repetir esta actividad al final del tema para así contrastar el aprendizaje y el cambio en sus ideas sobre la corriente.

Objetivo:

- Identificar las ideas que tiene el alumnado sobre la corriente eléctrica.

Material necesario:

- Hojas de papel.
- Lápices de colores.

Algunas ideas del alumnado:

Como se ha visto en el apartado «Las ideas del alumnado y las dificultades para entender la corriente eléctrica», generalmente este tiene una idea muy confusa sobre qué es la corriente eléctrica y cómo se genera. Es habitual que cuando se les pregunta por la corriente eléctrica respondan haciendo referencia a su función, su peligrosidad, que la asocien con la luz o la calefacción o incluso respuestas más imaginativas que la relacionan con satélites artificiales, fuerzas... Al pedirles que dibujen cómo imaginan que se vería la corriente eléctrica sus respuestas se pueden agrupar (con muchas variantes particulares) en unas pocas categorías, tal y como hemos descrito en el apartado «Las ideas del alumnado y las dificultades para entender la corriente eléctrica»:

- como si fuera un fluido,
- como si fuera una energía,
- como una fuerza,
- como si fuera un relámpago,
- como si fueran hilos,
- como partículas que se mueven por el cable,
- como ondas,
- como un movimiento de electrones, que a menudo dibujan circulando en hilera por el centro del cable.

Estas categorías no son exclusivas de los niños y niñas, y pueden aparecer también en personas adultas con pocos conocimientos de física básica.

Descripción de la actividad:

Actividad individual. Conviene que cada estudiante haga su dibujo personal. Para plantearla les propondremos que imaginen en la que se hacen muy pequeños y entran dentro de un cable por donde circula una corriente eléctrica. Se les pide que dibujen cómo imaginan que verían la corriente eléctrica desde dentro del cable.

Seguramente todos los dibujos entrarán dentro de una de las categorías mencionadas. Es interesante pedir al alumnado que explique su dibujo, compartiéndolo con el resto de clase. Saldrán varias visiones sobre la corriente, pero en ningún caso se trata de juzgarlas ni de valorar si estas son más o menos correctas. A lo largo de las actividades iremos construyendo un modelo de la corriente.

Más adelante, después de haber realizado varias actividades podéis recordar algunas de estas representaciones y realizar un nuevo análisis a la luz de los contenidos que se van trabajando. También podéis repetir la actividad al final del tema, pidiéndoles un nuevo dibujo y comparándolo con el primero que habían hecho.

ÁTOMOS Y CARGAS ELÉCTRICAS

La naturaleza de la corriente eléctrica y su vinculación con el modelo corpuscular de la materia.

En este apartado proponemos una actividad para explicar y simular tres ideas:

- Hay dos tipos diferentes de cargas: las que llamamos positivas y las negativas.
- Las fuerzas que se hacen las cargas eléctricas entre ellas pueden ser atractivas o repulsivas.
- Establecer una vinculación entre el modelo atómico de la materia y la naturaleza de la corriente eléctrica.

Este último punto es importante porque da sentido a las explicaciones que habremos hecho antes sobre el modelo atómico de la materia.

Para representar cómo son las fuerzas entre cargas eléctricas de igual o diferente signo, se propone una actividad con imanes. Cuidado, porque se trata solo de un modelo para representarlas, y hay que tener muy presente que imanes y corriente eléctrica no tienen nada que ver (*) y que los imanes solo son la herramienta para representarlo.

Actividad 2. ¿Cómo se comportan las cargas eléctricas?

Objetivo:

- Conocer que hay dos tipos de cargas eléctricas y cómo son las fuerzas que se hacen entre ellas.

Material necesario:

- Dos imanes grandes.
- Papel.
- Pegamento.
- Rotuladores gruesos de dos colores.

Los imanes en forma de anillo de ferrita de diámetro 8cm o más pueden servir y no son caros (figura 17). Necesitamos dos imanes para toda la clase, o si la hacemos en grupos pequeños, un par por cada grupo.

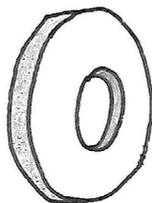


Figura 17. Imán de ferrita con forma de anillo.

Es importante que el imán sea lo suficientemente grande para que el alumnado lo pueda coger y sea visible para el resto de clase. En estos imanes en forma de anillo cada una de las dos caras corresponde a un polo. Para la demostración tenéis que marcar un lado con un signo $+$ y el otro lado con un signo $-$. Podéis forrar cada cara con papel de un color diferente. Cada lado simulará una carga positiva o negativa (figura 18).

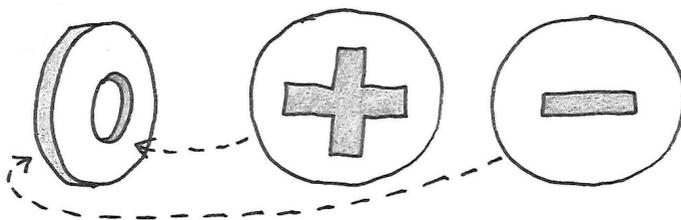


Figura 18. Forrar el imán con los signos de la carga positiva y negativa

Importante: las caras asignadas como carga positiva o como carga negativa no tienen relación con si se trata del polo N o S del imán. Hay que tener esta idea bien clara, porque el alumnado tiende a identificar el polo N del imán con la carga eléctrica positiva y el polo S con la negativa, pero polos magnéticos y cargas eléctricas son, al nivel que podemos enseñar en primaria, de naturaleza diferente, sin ninguna co-

nexión.²¹ Simplemente se trata de una analogía con el fin de facilitar la representación y construir la idea de carga.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

1) hay dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas; 2) las cargas del mismo signo se repelen, pero si las cargas son de signos diferentes se atraen.

Algunas ideas del alumnado:

Hacen una relación, y a veces una identificación, entre el polo positivo de una pila, las cargas positivas y el polo N de un imán; también entre el polo negativo de la pila, las cargas negativas y el polo S del imán.

La explicación científica:

En la actividad estamos representando una carga eléctrica con un polo del imán. Como hemos dicho esto solo es una representación, y las fuerzas magnéticas y eléctricas son fuerzas de naturaleza diferente (en el fondo están relacionadas, ya que los campos magnéticos son creados por cargas en movimiento, pero esto corresponde a otro nivel, el 2.º de bachillerato; además, no tiene ningún efecto en nuestro estudio).

Todos hemos tenido la experiencia de que si enfrentamos polos iguales de dos imanes, estos se repelen entre sí; en cambio, enfrentando polos diferentes de dos imanes, estos se atraen. Esto nos sirve para representar un hecho que no podemos observar directamente: dos cargas eléctricas iguales se hacen entre ellas una fuerza de repulsión y dos cargas de signo diferente se atraen.

No es importante si asigna el signo positivo o negativo de la carga a uno u otro polo del imán, pero sí es necesario hacerlo igual en los dos imanes.

Descripción de la actividad:

Esta puede ser por parejas, o bien con una única pareja que lo haga y lo muestre a toda la clase.

21. En realidad, sí existe una profunda relación entre campos magnéticos y eléctricos, pero en el nivel de Primaria podemos considerarlos independientes.

Ponemos a dos estudiantes de pie enfrentados, uno delante del otro. Cada uno de los dos alumnos aguanta un imán con una de las caras mirando hacia adelante. Les pedimos que se vayan acercando poco a poco. El objetivo es intentar unir los imanes, que los mantendrán siempre en la misma posición (figura 19).

Si enfrentan dos caras que representen cargas del mismo signo, cuando se acerquen sentirán una fuerza de repulsión. Si acercan caras que representen cargas de signos diferentes, sentirán una fuerza de atracción que los unirá rápidamente.

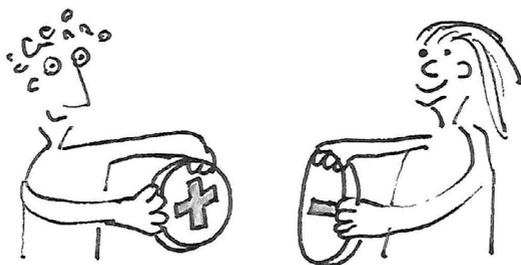


Figura 19. Simulando el comportamiento de las cargas con dos imanes.

De esta manera, el alumnado sentirá físicamente la fuerza que les atrae o repele, ayudándoles a consolidar mejor esta idea.

¿CÓMO ES LA CORRIENTE ELÉCTRICA?

Entender la naturaleza de la corriente eléctrica.

La actividad que proponemos en este apartado está pensada para ofrecer al alumnado un modelo mecánico de la corriente eléctrica. En este apartado describimos la actividad más sencilla que se puede hacer con el modelo de piezas y sirve para practicar su funcionamiento. Las reglas de este modelo están descritas en el apartado «El modelo de las piezas».

Actividad 3. Un modelo de corriente eléctrica con piezas

Actividad relacionada con las ideas clave 1, 2, 3 y 4.

Objetivo:

- Proporcionar al alumnado un modelo mecánico de la corriente eléctrica.

Material necesario:

- Piezas de madera, de Lego, Multicubo o similares. Más o menos el doble que el número del alumnado participante.
- Un letrero con el signo positivo y otro con el signo negativo.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

El objetivo principal es dar al alumnado una imagen mecánica para empezar a entender la corriente eléctrica. Nos fijaremos en las siguientes ideas fundamentales:

- La corriente eléctrica es el movimiento colectivo de los electrones de los átomos que constituyen el material (ideas clave 1 y 2).
- Este movimiento solo se puede establecer si el circuito está cerrado, porque solo así los electrones pueden ir pasando a través de los átomos del conductor hasta regresar a la pila (idea clave 3).
- La pila empuja los electrones en este movimiento (idea clave 4).

Este modelo nos permitirá trabajar posteriormente más conceptos, tal como se describe en las actividades 4, 5 y 6.

Algunas ideas del alumnado:

- Hay una amplia diversidad de concepciones intuitivas sobre qué es la corriente eléctrica, como hemos visto en la experiencia 1, y la idea de que sea un movimiento de cargas (electrones) no es lo más habitual.
- A menudo piensan en la corriente como una especie de energía (indefinida) que atraviesa los cables a la velocidad de la luz. Le pueden atribuir la forma de chispas, rayos, ondas, etc.
- Sea lo que sea lo que imaginan sobre la naturaleza de la corriente, lo más habitual es atribuirle una velocidad altísima (la velocidad de la luz o infinita).
- Presuponen que toda la corriente eléctrica, sea la que sea, sale de la pila.
- Si entienden la corriente como el movimiento de electrones, normalmente piensan que los electrones salen todos ellos de la pila y se mueven a la velocidad de la luz a través de los cables.
- Confunden los fenómenos eléctricos con los magnéticos. A menudo identifican las cargas eléctricas con los polos magnéticos y mezclan ambas entidades en sus explicaciones.

La explicación científica:

En el interior de la pila se produce una reacción química que tiene como efecto acumular electrones en uno de sus dos extremos. Esta acumulación de cargas en los extremos de la pila crea en todo el espacio de alrededor lo que se denomina un «campo eléctrico» que ejerce una fuerza sobre todos los electrones. Así, cuando unimos los dos extremos de la pila con un cable conductor, los electrones, tanto los de la pila como los del cable, están sometidos a esta fuerza y pueden moverse circulando a través de él, intentando compensar el desequilibrio de cargas creado por la pila entre sus dos extremos.

Como habíamos dicho, cada átomo tiende a estar en equilibrio eléctrico (con el mismo número de cargas negativas que positivas) e intenta tener siempre el número de electrones necesario para conseguir globalmente una carga nula. Eso es lo que representamos en el modelo, impo-

niendo que cada alumno debe tener siempre en la mano una y solo una pieza (si tuviera dos, representaría un átomo que tendría carga global negativa, y si no tuviera ninguna, representaría un átomo que la tuviera positiva).

El movimiento de los electrones desde el extremo negativo de la pila hasta el positivo solo se puede conseguir si no hay ningún corte en el conductor, es decir, si es un circuito cerrado. Si el cable está cortado, como el aire es un buen aislante (ver actividades 8 y 9), los electrones no pueden seguir circulando y la corriente se interrumpe instantáneamente en todo el circuito.

Cuando hacemos un circuito cerrado podemos realizar tantas bifurcaciones como nos convenga, pero la corriente solo pasará por aquellas ramas que describan caminos cerrados desde el polo negativo de la pila hasta el polo positivo (véase la figura 9). Si una rama no describe este camino cerrado, por ella no circularán los electrones. Encontraréis una explicación más detallada en el apartado de «Conocimientos básicos de electricidad para el profesorado».

Descripción de la actividad:

Esta es una actividad que recomendamos realizarla con un número de alumnos de aproximadamente entre trece, y no más de veinte. Grupos de menos alumnos dificultan el trabajar ciertos conceptos, ya que no se podrán hacer bifurcaciones ni posteriormente agregar otros elementos como las resistencias, bombillas o amperímetros (actividades 4, 5 y 6). Por el contrario, con un grupo grande de alumnos, el modelo acumula pequeños errores: piezas que caen, alumnos que se despistan, etc. y que desvían la atención del fenómeno físico que nos interesa.

Las reglas del modelo han sido descritas previamente en la primera parte del libro, en la descripción del modelo de piezas.

Para iniciar la actividad les explicamos que simularemos un circuito eléctrico.

El alumnado se pondrá en un círculo representando el cable, que comenzará y acabará en cada uno de los dos extremos de una mesa, que será la pila.

El maestro se pondrá en uno de los extremos de la mesa y representarán la pila. Cada alumno representará un átomo del cable conductor.

Al inicio les plantearemos la pregunta: «¿dónde están los electrones en este circuito?». La respuesta más habitual es «en la pila», pero si antes hemos trabajado el átomo, algunos de los alumnos deberían decir que los hay en todos los átomos, y, por lo tanto, están en todas partes allí donde hay materia. Si no obtuviéramos ninguna respuesta similar, recordémosles lo que habíamos trabajado sobre el modelo atómico hasta que salga esta idea.

Una vez que esto esté claro, les diremos que cada uno de nosotros representará un átomo del conductor y que cada pieza será un electrón. Para representar que cada átomo tiene sus electrones, les invitamos a que cada uno coja una pieza (un electrón).

Recordemos que, tal y como se describe en el apartado «El modelo de piezas», solo se puede utilizar una mano (la otra debe tenerse en la espalda) y que en todo momento cada estudiante debe tener una pieza en la mano, nunca más de una ni tampoco ninguna.

Establecemos la corriente: el docente, actuando como pila, intenta pasar una pieza al primer estudiante del circuito, que para poder coger la pieza (solo puede tener una en la mano) antes debe desprenderse de la suya pasándola al siguiente alumno, que se encontrará en la misma situación, y así sucesivamente. Esta secuencia llega al último alumno, el cual sí puede dejar su pieza sobre la mesa (pila) y coger la del compañero, quien por su parte ahora podrá coger la pieza que le ofrece su otro compañero, y así sucesivamente (figura 4).

A partir de este momento se pondrán en marcha progresivamente todas las piezas. Rápidamente se llega a un régimen estacionario, en el que veremos el movimiento continuado de todas las piezas a la vez, en el mismo sentido y al mismo ritmo: es entonces cuando se ha conseguido una representación de la corriente eléctrica, un movimiento colectivo de electrones. Sobre el estado transitorio, los momentos iniciales en que las piezas se empiezan a poner en movimiento desde un extremo del circuito, debemos explicarles que esto es una de las limitaciones del modelo y que en los circuitos reales este proceso es instantáneo.

APLICAMOS EL MODELO DE PIEZAS

Circuito abierto y cerrado, conexiones en paralelo, interruptor, resistencias e intensidad.

Actividad 4. Circuitos abiertos y cerrados, interruptor y resistencia

Esta actividad está pensada para entender qué es un circuito abierto y un circuito cerrado, además simular el efecto que tiene sobre la corriente eléctrica la inclusión de dos componentes básicos: el interruptor y la resistencia. Emplearemos el modelo de las piezas, cuyas reglas están descritas en el apartado «El modelo de las piezas».

Actividad relacionada con las ideas clave 2, 3 y 5.

Objetivos:

- Entender qué es un circuito cerrado y un circuito abierto.
- Conocer el funcionamiento del interruptor.
- Conocer el concepto de «rama».
- Darles una imagen mecánica y cualitativa del efecto de introducir una resistencia en un circuito.

Material necesario:

- Piezas de madera, de Lego, Multicubo o similares. Más o menos el doble de piezas que el número de estudiantes participantes.
- Un letrero con el signo positivo y otro con el signo negativo.
- Un letrero con la palabra «interruptor», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- Llamamos «circuito cerrado» a aquel que partiendo de un punto cualquiera lo podemos recorrer con continuidad, sin volver atrás y

pasando por la pila, hasta volver al punto de partida. Si esto no es posible, diremos que es un «circuito abierto».

- El interruptor nos permite abrir y cerrar un circuito.
- Al abrir el interruptor abrimos el circuito y la corriente se detiene instantáneamente a lo largo de todo el circuito.
- La corriente eléctrica solo circula si es un circuito cerrado.
- Un circuito puede tener bifurcaciones que definen diferentes ramas (figuras 8 y 11) (camino diferentes).
- En un circuito de una única rama (figuras 7 y 10) es indiferente el lugar donde se conecte el interruptor.
- Las resistencias ponen un freno al paso de la corriente eléctrica, el movimiento de los electrones es más lento cuanto mayor sea su resistencia.
- Los buenos conductores tienen una resistencia muy pequeña (pero nunca nula), y en ellos los electrones se mueven fácilmente.
- Los aislantes son materiales con una resistencia elevadísima al paso de la corriente, lo que implica que los electrones circulan con dificultades.
- Aislante y conductor no son conceptos absolutos, y hay una gradación continua de materiales entre estos dos extremos.

Algunas ideas del alumnado:

- Confusión con la terminología «circuito abierto» y «circuito cerrado», posiblemente potenciada por el hecho de que las expresiones coloquiales «cerrar la luz» representa abrir el circuito, y «abrir la luz» representa cerrar el circuito.
- Algunos niños y niñas imaginan que si cortamos un cable por el que circula una corriente eléctrica, esta corriente saldrá por el corte, como si fuera el agua de una manguera de riego, cuando en realidad al cortar el cable abrimos el circuito y la corriente se interrumpe instantáneamente.
- Es frecuente también la idea de que al abrir el interruptor de un circuito detendremos la corriente de la parte del circuito que hay antes del interruptor, pero que la corriente que ya había pasado seguirá circulando por el resto de circuito. En la línea de este razonamiento, a menudo tienen la convicción de que, incluso en un circuito simple

(figura 7), el interruptor debe ponerse en un determinado lugar, que generalmente está al lado de la pila.

Las dos últimas ideas nacen posiblemente del modelo hidráulico, que presenta la analogía con el agua que circula por una tubería o una manguera de riego.

La explicación científica:

El interruptor es el dispositivo que nos permite abrir y cerrar a voluntad un circuito. En esencia, el interruptor es una palanca con dos posiciones: una de ellas da continuidad al circuito (digamos que lo cierra), en la otra corta su continuidad (digamos que abre el circuito). En esta segunda posición del interruptor el cable queda cortado por un espacio de aire, y como el aire es muy buen aislante los electrones no pueden circular, de manera que la corriente se interrumpe.

La pila ejerce una fuerza sobre todos los electrones del conductor. A diferencia de nuestro modelo de piezas en que cada participante actúa solo sobre su vecino inmediato, esta fuerza (campo eléctrico) actúa a la vez sobre todos los electrones del conductor, desde un extremo del circuito hasta el otro, haciendo que cuando se cierra el circuito todos los electrones se muevan conjuntamente.

Abrir el circuito implica que los electrones, tanto a uno como al otro lado del interruptor, a pesar de sentir el campo eléctrico, no pueden desplazarse, y en esta situación los electrones se detienen instantáneamente en todos los puntos del circuito.

Entre las dos situaciones extremas: la del circuito abierto que no permite el paso de la corriente y la del circuito cerrado que lo permite con toda facilidad, hay unos materiales que, intercalados en el circuito, dejan pasar la corriente, pero ponen un cierto freno a su paso: son las resistencias.

Al poner una resistencia en un circuito, el flujo de corriente a través de la rama donde está conectada disminuye (en la actividad 5 veremos qué representa esto para la intensidad de la corriente).

Descripción de la actividad:

Antes de comenzar la actividad nombraremos un alumno que será el interruptor y otro que será la resistencia. Serán identificados con un letrero según la función que tiene cada uno en el circuito.

En una primera parte representaremos y ensayaremos qué pasa en el circuito cuando se abre y cierra el interruptor.

En una segunda parte, con el circuito cerrado representaremos y ensayaremos qué pasa cuando se intercala una resistencia. Veamos como lo podemos hacer.

Circuito con interruptor: antes de poner en marcha el modelo indicamos al alumno que hace de interruptor que empezará en posición de cerrado; por lo tanto, empezaremos como hemos hecho en la actividad 3. Acordamos con él que para abrir el circuito alzaré la mano con la que esté pasando las piezas, anunciando a la vez y de viva voz: «circuito abierto».

Hay que avisar de que el resto del grupo tiene que estar muy alerta en este momento, porque al oír la señal de «circuito abierto» todo el grupo tiene que detener el paso de piezas instantáneamente.

El modelo de piezas debería detenerse rápidamente a lo largo de todo el circuito; eso es difícil, y siempre hay estudiantes que siguen pasando las piezas. Si han seguido las normas del modelo, en el momento en que la corriente se detenga, cada estudiante debería tener una pieza en la mano.

Después podemos pedir al alumno que hace de interruptor que cierre el circuito e intentar retomar la corriente. Podéis también plantear la cuestión de si habría alguna diferencia colocando el interruptor en un lugar u otro del circuito, y si hay que simularlo con el modelo para llegar a comprobar que la posición en este caso (una única rama) es irrelevante.

La idea que hay que remarcar es el hecho de que al abrir o cerrar el interruptor la corriente se detiene o se pone en marcha instantáneamente a lo largo de todo el circuito al mismo tiempo. Este hecho se puede reproducir si se siguen bien las reglas del modelo.

Circuito con resistencia: antes de poner en marcha el modelo indicamos al estudiante que hace de resistencia que, como su nombre indica, debe oponer cierta resistencia a pasar las piezas a su compañero. Como la resistencia ha de tener un valor constante a lo largo de la modelización, acordaremos con él que la manera de simularlo será haciendo que coja y pase las piezas lentamente, a un ritmo fijado, por ejemplo, cogiendo la pieza y contando hasta tres antes de pasarla al compañero.

Si se siguen bien las normas del modelo, el ritmo de paso de las piezas se frenará respecto a cuando no había resistencia, y lo hará por igual en todo el circuito, a ambos lados de la resistencia.

Importante: una situación con la que fácilmente nos podemos encontrar cuando intentamos modelar la resistencia con el modelo de las piezas es que los alumnos situados después de la resistencia sigan pasando las piezas rápidamente y al mismo ritmo que si no hubiera resistencia. Esta situación se debe a que no siguen bien las reglas del modelo, y pasan su pieza al vecino antes de que les ofrezcan otra. Si se da esta situación, muchos alumnos situados a continuación del interruptor se quedarán sin pieza en la mano.

Si queréis incrementar la complejidad de la actividad, podéis combinar en un mismo circuito el interruptor y la resistencia.

La idea más importante para remarcar es el hecho de que la resistencia reduce el flujo de electrones a lo largo de todo el circuito.

Actividad 5. La intensidad y la velocidad de la corriente

Esta actividad tiene el objetivo de proporcionar un modelo que ayude al alumnado a comprender qué es la intensidad, conocer y entender su unidad de medida y comprender por qué los amperímetros (instrumento de medida de la intensidad) deben ser conectados en serie. Volvemos a emplear el modelo de piezas previamente descrito en el apartado «El modelo de las piezas».

Actividad relacionada con las ideas clave 1, 2, 3 y 5.

Objetivos:

- Comprender qué es la intensidad.
- Conocer qué es un amperímetro y cómo se conecta al circuito.
- Comprender el porqué de la aparente velocidad infinita de la corriente eléctrica.

Material necesario:

- Piezas de madera, de Lego, Multicubo o similares. Más o menos el doble de piezas que el número de estudiantes participantes.
- Dos letreros, uno con signo positivo y otro con signo negativo.
- Un letrero que diga «amperímetro», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.
- Un letrero que diga «resistencia», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.
- Un cronómetro.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- La intensidad es la cantidad de carga que pasa por la sección de un conductor en un determinado periodo de tiempo.
- En un circuito de una sola rama, la intensidad es la misma en cualquier punto del circuito.
- La unidad de medida de la intensidad es el Ampere (A).
- El instrumento que mide la intensidad es el amperímetro.
- Al situar una resistencia en el circuito la intensidad disminuye respecto al circuito original sin resistencia.
- El ritmo con el que circula la corriente es el mismo, antes y después de pasar por la resistencia.
- Cuando hay una resistencia el ritmo al que circulan las piezas es más lento, por lo tanto, la intensidad disminuye por igual en todo el circuito.
- En la corriente eléctrica el movimiento de cada uno de los electrones es lento, la apariencia de instantaneidad viene por tratarse de un movimiento colectivo todo a lo largo del conductor.
- La medida de intensidad en un circuito debe hacerse siempre conectando el amperímetro en serie, así a través del amperímetro pasa toda la corriente y da una medida correcta del flujo de carga eléctrica.

ca que lo atraviesa. Si se conecta en paralelo, la corriente se bifurca entre la rama del amperímetro y la del circuito; consecuentemente, a través de la rama del amperímetro circula solo una parte de la corriente total y no ofrece el recuento completo de toda la carga eléctrica que pasa por el circuito.

Algunas ideas del alumnado:

- Es frecuente que piensen que la corriente es menor después de haber pasado a través de una resistencia.
- Mayoritariamente, el alumnado no tiene una idea previa asociada al concepto de intensidad, por lo tanto, es un concepto que les es desconocido.
- Una comprensión errónea del concepto de intensidad refuerza el hecho de que el alumnado, por ejemplo, no vea ninguna razón lógica para tener que conectar el amperímetro en serie.
- La idea de que la corriente eléctrica se propaga a la velocidad de la luz o incluso instantáneamente está extendida entre el alumnado.
- Como consecuencia de la anterior creencia, cuando piensan en la corriente como movimiento de electrones, imaginan que estos se desplazan por los cables siempre a la velocidad de la luz.
- Podemos encontrar alumnos que interpreten la resistencia como un dispositivo que frena los electrones mientras pasan por su interior, y que una vez fuera recuperan su velocidad normal. Esta idea errónea se debe a que no ven el movimiento de los electrones como un movimiento colectivo, lo cual les lleva a concluir que una resistencia hace disminuir la intensidad en su interior y antes de ella (forma como un tapón), pero que una vez que los electrones la han pasado la intensidad recupera el valor normal sin resistencia. Una buena aplicación de las reglas del modelo puede ayudar a la comprensión de esta importante idea.

La explicación científica:

Se tendrá en cuenta la intensidad y la velocidad de los electrones.

Respecto a la **intensidad**, la medida de la corriente se realiza contando la cantidad de carga eléctrica que pasa a través del cable en un segundo. En nuestro modelo de piezas esto significa contar el número de piezas

que pasan por la mano de un alumno en un intervalo de tiempo determinado (por ejemplo, durante un minuto), y a esta cantidad le llamamos intensidad de la corriente eléctrica.

La carga se mide en Coulombs (C), un Coulomb es una cantidad muy grande de carga: para hacernos una idea imaginamos que en una mano tuviéramos una carga positiva de 1 C y en la otra mano, a un metro, una negativa también de 1 C. Hemos visto antes que cargas diferentes se atraen, pues bien, estas dos cargas de 1 C se atraerían con una fuerza equivalente a 900.000.000 kg (la masa de un elefante adulto macho es de 6.000 kg, aproximadamente). En cambio, ¿cuál es la carga de un único electrón? La carga de cada electrón es muy pequeña, de solo $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, esto quiere decir que necesitaríamos unos 10.000.000.000.000.000.000 electrones para conseguir sumar la carga de un Coulomb.

En el modelo de piezas contar las piezas que pasan por el cable es muy fácil y es una gran herramienta didáctica para entender el concepto de intensidad. Pero medir la intensidad en un circuito eléctrico real no es tan sencillo: la carga de un solo electrón es muy pequeña, y no los podemos contar uno a uno.

Físicamente, la intensidad se define como la cantidad de carga que atraviesa la sección unidad del cable en la unidad de tiempo, y se mide en Amperes (A), de manera que diremos que circula 1 Amper cuando a través del circuito pasa 1C cada un segundo: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

Como hemos visto antes, 1C es una cantidad muy grande de carga, y una intensidad de 1A también es una cantidad considerable. Muchos de nuestros aparatos electrónicos cotidianos funcionan con corrientes de miliamperes o microamperios, lo podemos comprobar leyendo los valores inscritos en los cargadores de los ordenadores o de los móviles.

Respecto a la **velocidad de los electrones**: con este modelo podemos poner de relieve un hecho contraintuitivo como este: cada uno de los electrones en la corriente se mueve muy poco a poco, y la sensación de velocidad «infinita» proviene de que es un movimiento colectivo. Todos los electrones que hay a lo largo del conductor se mueven a la vez, de manera que en el mismo momento en que un electrón sale de la pila,

otro está entrando por el otro extremo. Eso es lo que produce la sensación de que su velocidad es infinita o muy grande,

A partir de principios básicos de la física se puede calcular que la velocidad de un electrón a lo largo de un cable conductor es del orden de menos de un centímetro por segundo.

Con este valor de la velocidad, podemos entender que si los electrones salieran todos juntos de la pila y tuvieran que recorrer el circuito hasta volver al otro extremo de la pila, nos encontraríamos que para encender las luces de un extremo de una sala de 50m de longitud, con la pila en el otro extremo de la sala, tendríamos que esperar aproximadamente una hora y media a que se encendieran las luces (cosa que efectivamente nunca pasa).

Descripción de la actividad:

También tendremos en cuenta la intensidad y la velocidad de los electrones.

Sobre la **intensidad**: preparamos el espacio para realizar el modelo de piezas tal y como se describe en la actividad 3. Antes de comenzar la actividad nombraremos un par de alumnos que representarán el amperímetro. Les ponemos el rótulo de «amperímetro».

Las dos personas que hacen de amperímetro se repartirán las tareas: una se quedará dentro del circuito e irá contando las piezas que pasan a través de su mano. La otra, situada detrás y fuera del circuito, contará un tiempo de 30 segundos durante el cual su compañero debe ir contando las piezas.

Una vez se ha puesto en marcha el modelo y cuando las piezas ya fluyen regularmente a lo largo de todo el circuito es el momento de poner en marcha el amperímetro: cuando el compañero que tiene el cronómetro lo indique, el otro empieza a contar las piezas que pasan a través de su mano. Pasados, por ejemplo, 30 segundos, le debe indicar que deje de contar.

Si en estos treinta segundos ha contado 10 piezas, anotaremos que la intensidad es de: 20 piezas/minuto (10 piezas/30 segundos = 10 piezas x 60/30 [segundos/segundos] x 1 [minuto])

Repetimos la medida de intensidad, pero ahora intercalando un alumno que haga de resistencia. Imaginemos que en este caso el amperímetro ha contado el paso de 4 piezas en el mismo intervalo de tiempo (30 segundos). La intensidad será de 8 piezas/minuto.

Se trata de poner de relieve esta disminución del flujo de piezas a lo largo de todo el circuito, y por lo tanto de la disminución de la intensidad al intercalar una resistencia en un circuito.

Pensando en las actividades futuras sobre la ley de Ohm, y si lo veis adecuado para vuestro grupo, es interesante que vean que la pila no ha cambiado (las vueltas, V , no han cambiado, ni el empuje suministrado a las piezas), pero que al aumentar la resistencia R ha disminuido la intensidad; es decir, a voltaje constante $[V]$, si aumentamos la resistencia $[R]$, disminuye la intensidad $[I]$. Esta reflexión favorece una primera aproximación cualitativa a la ley de Ohm.

Sobre la **velocidad de los electrones**: mientras hacemos funcionar el modelo de piezas, y cuando conseguimos que se marche a un ritmo constante, podemos introducir una pieza diferente (más grande, de otro color,...). Esta pieza representa sencillamente un electrón que hemos marcado para poder seguir el ritmo al que se desplaza a lo largo del circuito.

Avisaremos una vez en el momento de introducirlo y otra vez en el momento en que retorne a la pila por el otro extremo.

Se trata de que el alumnado constate el elevado tiempo que tarda cada uno de los electrones en hacer el recorrido completo, aunque pueden constatar que cada vez que un electrón sale de la pila simultáneamente entra otro por el otro extremo.

Actividad 6. Formaremos circuitos en serie y en paralelo

Empleando nuevamente el modelo de piezas, en esta actividad distinguiremos entre las conexiones en serie y paralelo. Si antes hemos realizado la actividad 5, también podremos ver cómo cambia la intensidad en uno y otro caso cualitativamente o conectando un amperímetro.

Actividad relacionada con las ideas clave 1, 2, 3, 4 y 5

Objetivos:

- Aprender a identificar dos tipos diferentes de conexiones de un circuito eléctrico: en serie y en paralelo.
- Introducir los conceptos de «rama» y «nudo» en los circuitos eléctricos.
- Constatar cualitativamente que cuando en un punto del circuito este se divide en dos ramas en paralelo la intensidad en cada una de ellas es menor que la intensidad total.

Material necesario:

- Piezas de madera, de Lego, Multicubo o similares. Más o menos el doble de piezas que el número de participantes.
- Dos letreros, uno con signo positivo y otro con signo negativo para poner en los extremos de la pila.
- Un letrero que diga «amperímetro» por cada amperímetro que queramos situar, con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.
- Un cronómetro por cada amperímetro.
- Un letrero que diga «resistencia», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- En un circuito de una sola rama (en un circuito en serie) la intensidad es la misma en cualquier punto del circuito.
- La unidad de medida de la intensidad es el Ampere (A).
- El instrumento que mide la intensidad es el amperímetro.
- En un circuito con dos ramas en paralelo la corriente se reparte entre las dos ramas, y la intensidad en cada una de ellas es una parte de la intensidad total.
- En el punto (nudo) donde se unen de nuevo las dos ramas, la intensidad vuelve a tener su valor inicial. El reparto de la intensidad entre las dos ramas paralelas depende de los dispositivos (resistencias) que haya conectados en cada una de ellas.

- La medida de intensidad en una rama de un circuito debe hacerse siempre conectando el amperímetro en serie en la rama que se quiere medir.

Algunas ideas del alumnado:

- A menudo se les hace difícil distinguir entre las conexiones en serie y paralelo.
- Tienen dificultades para pasar de la representación gráfica del circuito a la construcción real del circuito.

La explicación científica:

Los circuitos eléctricos pueden llegar a ser muy complicados y pocas veces son un único lazo cerrado como los que hemos hecho en las primeras actividades.

Cuando tenemos un único lazo cerrado y vamos poniendo varios elementos (bombillas, motores, interruptores...) todos seguidos decimos que los estamos conectando en «serie», porque los elementos están todos uno a continuación del otro. En este caso, la corriente no tiene ninguna alternativa de camino y debe pasar necesariamente por todos los elementos.

Si en un punto del circuito hacemos una bifurcación, en ese punto (**nudo**) la corriente puede pasar por uno u otro cable (figura 20). Cada uno de los cables que salen del nudo definen una **rama**. Como hemos visto antes, la corriente solo circulará por todas las ramas si cada una de ellas está cerrada. Si al hacer esta bifurcación vemos dos cables (dos ramas) que a lo largo de una parte del circuito discurren en paralelo, diremos que esta es una conexión en paralelo.

La intensidad total que proporciona la pila se reparte entre las dos ramas a partir del nudo, y la proporción que pasa por una u otra depende de las resistencias que tenga cada rama (hemos visto que una resistencia hace disminuir la intensidad en la rama en que está conectada).

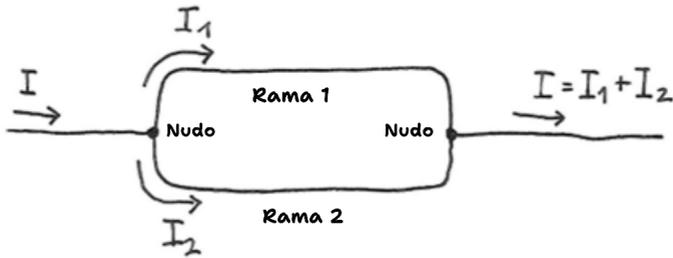


Figura 20. Las ramas 1 y 2 están conectadas en paralelo. La intensidad I suministrada por la pila se reparte entre ellas I_1 e I_2 .

Podemos ver este efecto situando un amperímetro antes del nudo y otro en cada una de las dos ramas en paralelo. La suma de estos dos últimos valores será la intensidad total, la medida antes del nudo (figura 20).

Descripción de la actividad:

Formaremos un circuito en paralelo. En un punto del circuito crearemos dos ramas conectadas en paralelo. Para ello situaremos a un alumno (**b**) que representará un nudo, y detrás de él unos cuantos alumnos formando una rama de alumnos **c, d...** de la rama 1 en paralelo con otra rama de alumnos **e, f...** de la rama 2, tal como se ve en la figura 21. Las ramas se volverán a unir más adelante en otro nudo similar al alumno **b**.

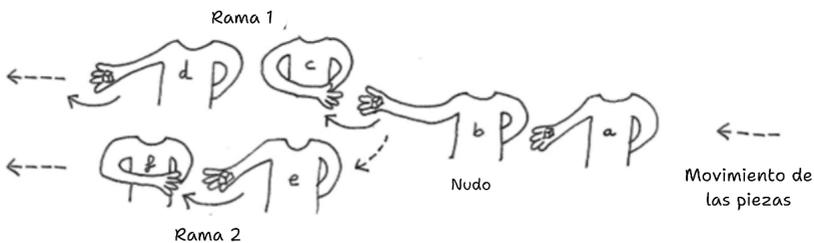


Figura 21. Alumnos representando una bifurcación en paralelo en un circuito con el modelo de piezas. Correspondería a uno de los extremos de la figura 20.

Cuando las piezas lleguen al alumno **b**, este las tendrá que ir pasando a uno u otro de los dos compañeros que tendrá al lado: al alumno **c** de la rama 1 o al alumno **e** de la rama 2. No debe pasarlos a uno y otro en una

alternancia rigurosa, debe pasarle al primero que pueda, pero intentando ser equitativo. El alumno que estará situado en el otro nudo (que no se ve en el dibujo) tendrá que ir cogiendo piezas que le llegan de los dos compañeros de las ramas 1 y 2, y tendrá que hacerlo con el mismo criterio que hemos dado al alumno **b**.

Mientras realizan la actividad podemos destacar lo siguiente:

- Las piezas se reparten circulando por igual en las dos ramas: la mitad de la corriente pasa por una y la otra mitad por la otra.
- El número de piezas que en un momento determinado circula por cada una de las ramas en paralelo es menor que el número de las que circulan antes y después de las bifurcaciones.

Estas observaciones se pueden hacer solo de manera cualitativa, pero si tenéis un grupo con un buen número de alumnos las podéis hacer de manera cuantitativa introduciendo tres amperímetros en el circuito:

- Sitúe un alumno como amperímetro en el circuito principal.
- Sitúe a otros dos alumnos como amperímetros en cada una de las dos ramas en paralelo.

Una vez establecido en el modelo un régimen de corriente estacionaria se pide a los tres estudiantes que hacen de amperímetros que recuenten las piezas.

Es suficiente contar piezas durante un intervalo de 30 segundos, y, si queréis, podéis convertir después la medida a piezas/minuto.

La intensidad medida por el amperímetro del circuito principal igualará, aproximadamente, la suma de las intensidades de las dos ramas en paralelo.

CONDUCTORES, AISLANTES Y RESISTENCIAS

Ser conductor o aislante no es un absoluto.

Actividad 7. El circuito humano

En esta actividad formamos un circuito eléctrico real (no un modelo) con nuestros cuerpos, de manera que el alumnado tienen una experiencia sensible de lo que quiere decir circuito abierto y cerrado y de lo que significa que un material sea conductor o aislante de la corriente eléctrica.

Actividad relacionada con las ideas clave 2, 3 y 5.

Objetivos:

- Consolidar las ideas de circuito abierto y cerrado.
- Identificar materiales conductores y aislantes del entorno inmediato.
- Comprobar que la distinción entre conductores y aislantes no es un absoluto.

Material necesario:

solo necesitamos un circuito de sensor táctil (*touch sensor*). Variantes de este dispositivo se pueden encontrar en algunas tiendas o webs de material de ciencias, que los ponen a la venta con nombres comerciales como Energy Ball, Ufo Ball y otros.



Figura 22. Los sensores táctiles se pueden encontrar en diversidad de formatos, según el fabricante.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- En un circuito solo pasa la corriente si el circuito está cerrado.
- Hay materiales aislantes y conductores.
- En un circuito de una sola rama podemos situar el interruptor en cualquier punto del circuito.

Algunas ideas del alumnado:

- A veces se observa la creencia de que el interruptor detiene la corriente solo a su alrededor. Así, pueden pensar que al abrir el interruptor solo se detiene la corriente que va hacia él; o al revés, solo se detiene la corriente después del interruptor, o incluso que a bastante distancia en ambos sentidos la corriente todavía puede circular.
- Normalmente no piensan en el cuerpo humano como conductor, generalmente esta propiedad la relacionan exclusivamente en los metales o cables.

La explicación científica:

El dispositivo contiene en su interior una pequeña pila eléctrica y un circuito electrónico capaz de detectar corrientes muy pequeñas, del orden de microamperios.

Nuestros cuerpos pueden conducir la corriente, aunque no sean muy buenos conductores. Cuando cerramos el circuito con nuestras manos circula una pequeña corriente eléctrica. El circuito electrónico detecta esta pequeñísima corriente y enciende el LED. Cabe decir que la corriente que circula a través de nuestros cuerpos no es la que enciende el LED, ya que tiene muy baja intensidad y es insuficiente. El circuito electrónico incluido en el dispositivo lo detecta y amplifica haciendo pasar por el LED una corriente de la intensidad adecuada.

El hecho de que no sentimos nada cuando el LED se enciende es por su bajísima intensidad. La corriente nos puede hacer daño (a nosotros y otros seres vivos) dependiendo de su intensidad, no de su voltaje. Por ejemplo, una bola de plasma puede crear entre 2000 V y 50.000 V; sin embargo, podemos tocarla tranquilamente, que no notaremos nada. La red eléctrica de casa solo tiene 220 V, pero puede ser muy peligrosa. Entre estos dos casos la diferencia se debe a los valores de la intensidad.

Descripción de la actividad:

Tendremos que coger el dispositivo por uno de sus contactos. Situamos al alumnado formando un circuito cerrado de manera que todos ellos se den la mano. El último alumno del circuito deberá tocar el otro contacto del dispositivo.

Antes de que el alumno cierre el circuito, les explicamos que nosotros haremos de circuito eléctrico y que la corriente circulará por nuestros cuerpos; sobre todo hay que avisarles de que no pueden solarse.

El momento en que el alumno toca el contacto es un instante de cierta tensión, e incluso podemos encontrar alumnos a los que les dé miedo participar en el circuito, ya que la idea que tienen es que, si nos pasa la corriente, nos hará daño.

Una vez que el LED se enciende, podemos mostrar qué es un circuito abierto soltando la mano de nuestro alumno, o pidiendo a alguien que lo haga. Es conveniente abrir y cerrar el circuito varias veces.

La siguiente exploración puede ser pedirles que en vez de darse la mano toquen la nariz de sus compañeros, o el cabello, o la ropa, etc., y ver si el circuito también queda cerrado.

Finalmente, podemos pedir que intercalen algún objeto entre dos de las manos para ver si circula la corriente; de esta manera, podremos ir encontrando materiales conductores y aislantes.

Actividad 8. Buscamos conductores y aislantes

Esta es una prolongación de la actividad anterior en la que utilizamos el mismo dispositivo para encontrar materiales aislantes y conductores.

Actividad relacionada con las ideas clave 2, 3 y 5.

Objetivos:

- Identificar materiales conductores y aislantes de nuestro entorno.
- Comprobar que la distinción entre conductores y aislantes no es un absoluto.

Material necesario:

- Un circuito con un sensor táctil.
- Todos aquellos materiales de los que se quiera averiguar si son o no conductores eléctricos. Pueden ser sólidos o líquidos.
- Puede ser interesante incluir cables eléctricos y cables eléctricos de los que habéis sacado el cobre interior, con la idea de mostrar cuál es el material conductor en un cable.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- Hacer una primera clasificación de materiales que son conductores o aislantes.
- Comprobar que un líquido poco conductor, como el agua, se puede convertir en un buen conductor añadiendo sal.

Algunas ideas del alumnado:

- No tienen una clara intuición de qué materiales pueden ser conductores eléctricos.
- Frecuentemente, asocian la conductividad exclusivamente a los sólidos.
- Generalmente, identifican los cables como material conductor, sin distinguir entre las partes que los constituyen.

La explicación científica:

El circuito electrónico del sensor detecta corrientes de intensidad muy pequeña, y, aunque no nos permite medir qué grado de conductividad tienen los materiales, sí nos permitirá distinguir aquellos materiales que son muy aislantes. De esta manera podemos elaborar mesas de materiales conductores y aislantes de nuestro entorno.

También puede ser interesante comprobar la conductividad eléctrica de varios líquidos, y ver si cambia al mezclarlo con algún otro líquido o al disolver sal u otras sustancias. Como ejemplo puede ser interesante comparar agua destilada con agua de mar.

Descripción de la actividad:

Podéis utilizar la siguiente tabla en que se encuentren todos los materiales con los que el alumnado va explorando, y al lado dos casillas: una donde apunta su predicción sobre si será o no aislante; otra donde pondrá el resultado de la comprobación experimental.

Material	Predicción		Comprobación experimental
	Aislante	Conductor	

Podéis utilizar sólidos y clasificarlos según el tipo de materiales de que están hechos (maderas, metales, papeles...) y también líquidos.

En el caso de los líquidos, se abre todo otro gran conjunto de nuevas experiencias: ¿La leche es conductora? ¿Y el aceite? ¿Y el agua oxigenada o el alcohol? ¿Y el vino, o los zumos de frutas...? Se pueden también realizar mezclas: si un líquido aislante lo mezclamos con un líquido conductor, ¿la mezcla es conductora? ¿Y si disolvemos sal o azúcar?

Incluso podéis comprobar la conductividad eléctrica de algunos alimentos: yogures, frutas, mantequilla, miel...

Actividad 9. Un modelo mecánico para la resistencia

En esta actividad utilizamos un modelo mecánico, muy participativo, para representar el efecto de una resistencia sobre la corriente eléctrica. El modelo se ha descrito previamente en el apartado: «El modelo de resistencia».

Actividad relacionada con las ideas clave 2, 3 y 5.

Objetivo:

- Identificar los efectos de la resistencia eléctrica sobre la corriente eléctrica a partir de un modelo mecánico.

Material necesario:

- Un espacio donde poder formar un pasillo con el alumnado.
- Un buen número de estudiantes; recomendamos un mínimo de veinte personas.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- Comprender cómo la resistencia altera la intensidad de la corriente eléctrica del circuito.
- Observar que entre los materiales aislantes y los conductores puede haber toda una gradación de valores.
- Entender que la intensidad de la corriente eléctrica disminuye al pasar por una resistencia, aunque la velocidad de los electrones individuales siga siendo la misma.
- Modelizar cómo el aumento de temperatura puede conllevar un aumento de la resistencia eléctrica del material.

Algunas ideas del alumnado:

- Es frecuente que piensen que la corriente es menor después de haber pasado a través de una resistencia.
- Tienen dificultad para diferenciar el movimiento individual y la velocidad de cada uno de los electrones del movimiento colectivo.

La explicación científica:

La resistencia eléctrica es una característica de cada material; aun así, puede cambiar con las condiciones del entorno, por ejemplo, por una variación de la temperatura. También puede variar si se introducen impurezas en el material o se disuelve alguna otra sustancia.

Para entender la resistencia que opone un sólido al paso de la corriente podemos imaginar un cable con sus átomos en unas posiciones determinadas. Cuando el electrón intenta pasar a través de él, puede ir chocando con estos átomos, y aunque globalmente su trayectoria sigue una dirección, la que marca el circuito, localmente el electrón sufre choques que lo hacen ir adelante y atrás. Esta trayectoria más errática de los electrones dentro de la resistencia tiene como consecuencia una disminución del flujo de electrones que la atraviesan, y por tanto de la intensidad.

En general, la resistencia eléctrica aumenta si aumenta la temperatura del material. Este hecho se puede entender con una visión microscópica del material, y que podemos modelizar en esta actividad: en un material frío, los átomos del conductor quedan bastante quietos en torno a su posición de equilibrio. Cuando el electrón pase empujado por el voltaje de la pila, encontrará obstáculos (los átomos) en unas posiciones relativamente fijas; en cambio, cuando el material está caliente, sus átomos vibran en torno a su posición de equilibrio, definiendo una zona mayor en la que los electrones pueden chocar con ellos (es como si los obstáculos se hicieran más grandes), de forma que los electrones encuentran obstáculos más grandes y la intensidad de la corriente disminuye respecto a cuando el material estaba frío.

Descripción de la actividad:

Dividimos el grupo en dos grupos de alumnos, los que harán de material resistente (átomos) y los que harán de electrones. Con tiza marcada sobre el suelo los límites de un hipotético cable, a lo largo del cual situaréis a los alumnos que hacen de resistencia. Podéis marcar también la posición de cada uno de ellos. Situémoslos formando una red (no los coloquéis en una única hilera). No es necesario que estos alumnos estén inmóviles, pero sí tienen que estar siempre muy cerca de su posición. Esta pequeña vibración permitida en cada átomo representa la temperatura. Sin embargo, no deben separarse mucho de su posición fija. Si queremos simular que la temperatura de la resistencia aumenta, les pediremos que se muevan con más amplitud alrededor de la posición que les hemos asignado.

Una vez situados todos los átomos de la resistencia, haremos entrar los electrones, que deben atravesar el conductor hasta salir por el otro extremo.

Los electrones deben moverse siguiendo dos normas:

- En línea recta hasta chocar con un átomo, que los desviará en una dirección cualquiera.
- Siempre, entre choque y choque, manteniendo la velocidad, la misma que llevaban cuando han entrado en la resistencia.

¿Qué observaremos? Aunque los electrones mantienen siempre su velocidad, tardan más en recorrer una determinada longitud por una resistencia que una longitud igual a lo largo de un conductor con poca resistencia.

La causa de esto es el choque con los átomos de la red, que los desvían aleatoriamente.

Si aumenta la temperatura de la resistencia, como los átomos vibrarán más intensamente, cada electrón sufrirá más choques y tardará más en atravesar la resistencia, lo cual en nuestro modelo significa un aumento de la resistencia.

Otro efecto que podrían apreciar es que en cada choque habrá una pérdida de energía. En el modelo esto no tiene más efecto que el golpe entre el alumnado, pero en un material esto se traduce en calor que se desprende cuando circula la corriente a través de la resistencia (el llamado efecto Joule). Este efecto puede ser de interés en algunos dispositivos, como, por ejemplo, en las tostadoras o las estufas. Podemos «medir» la intensidad contando el número de estudiantes (electrones) que atraviesan la resistencia en un tiempo determinado, simulando una resistencia fría y una resistencia caliente, y comprobando cómo el aumento de temperatura hace aumentar la resistencia.

¿POR QUÉ SE ACABA UNA PILA?

Entender el voltaje y la energía, una aproximación cualitativa a la ley de Ohm.

Actividad 10. Un modelo con cuerda. Introducción al potencial

El objetivo de esta actividad es construir un modelo de circuito eléctrico que facilite la introducción y comprensión de los conceptos de energía eléctrica y voltaje (o potencial). Con esta finalidad emplearemos el modelo de la cuerda descrito en el apartado: «El modelo de la cuerda».

Actividad relacionada con las ideas clave 1,2, 3, 4 y 5.

Objetivos:

- Comprender el papel de la pila como el dispositivo que proporciona la energía para mantener la corriente eléctrica.
- Introducir el concepto de energía eléctrica.
- La resistencia como dispositivo donde se disipa energía eléctrica.
- Comprender el mecanismo de disipación de energía eléctrica en forma de calor (efecto Joule) en las resistencias.

Material necesario:

- Una cuerda. Hay que unir los extremos de la cuerda haciendo un lazo cerrado. Debe ser lo suficientemente larga para que el grupo de clase la pueda sostener cuando se sitúan en círculo representando el circuito. También ha de ser mínimamente gruesa, puede ir bien usar una cuerda de un diámetro de al menos 1cm.
- Dos letreros, uno con signo positivo y otro con signo negativo, para poner en los extremos de la pila.
- Un letrero que diga «resistencia», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- La pila suministra la energía necesaria para crear la corriente eléctrica.
- Mientras están conectadas al circuito, las pilas suministran energía constantemente al circuito.
- Las pilas se gastan porque la reacción química que se produce en su interior se acaba.
- La pila suministra electrones al circuito, pero en la corriente participan también los electrones de todo el material conductor, que ya estaban en el cable.
- La pila crea un «empuje» sobre todos los electrones provocando que se muevan todos a la vez en un movimiento colectivo que es la corriente eléctrica.

Los dos últimos puntos son los más abstractos. Para trabajar más a fondo estas ideas habría que introducir el concepto de campo eléctrico, que corresponde a nivel de bachillerato.

- Las resistencias se calientan porque se oponen al paso de la corriente eléctrica. Esta oposición se debe a los choques de los electrones con los átomos de la red conductora y se traduce en un calentamiento de la resistencia.

Algunas ideas del alumnado:

- El alumnado tiene un desconocimiento general del concepto de energía.
- Confunden los diferentes mecanismos de generación de energía eléctrica (nuclear, eólica, solar, carbón...) con su naturaleza, llegando así a la conclusión de que hay muchas energías diferentes.
- También en la misma línea encontramos la confusión de pensar que «energías verdes», «energías alternativas», etc., son energías diferentes, y hablan a veces de «tipo de energía» cuando son sencillamente diferentes mecanismos de generación de la misma energía eléctrica.
- Debido al general desconocimiento del concepto de energía es frecuente que piensen en la energía eléctrica como una especie de fluido o empuje que sale de la pila y se propaga a lo largo del circuito.

La explicación científica:

Las pilas eléctricas (pilas) que usamos habitualmente en la escuela contienen en su interior compuestos que generan una reacción química que tiene como efecto desplazar electrones hacia uno de sus dos extremos, lo que está unido al terminal negativo de la pila.

En uno de sus terminales habrá un exceso de carga negativa y en el otro habrá un defecto de carga negativa. Debido a este desequilibrio, se crea todo a lo largo del circuito una fuerza sobre cada una de las cargas (lo que se llama un campo eléctrico) que tiende a moverlas en el sentido de disminuir este desequilibrio. Mientras la reacción química de la pila no se agote, el desequilibrio eléctrico sigue existiendo y por lo tanto continúa la corriente eléctrica a lo largo del circuito.

Los reactivos de la pila están en una cantidad muy limitada, y una vez que han reaccionado, dan lugar a otros productos químicos que por su naturaleza ya no producen esta reacción. Por eso, después de un tiempo de funcionar, los reactivos desaparecen como tales y decimos que la pila «se agota» porque los productos producidos no crean el desequilibrio eléctrico deseado en una pila.

El modelo también nos ofrece una representación mecánica de cómo conseguir calor a partir de la electricidad. Es el llamado efecto Joule, es decir, la conversión de energía eléctrica en calor. Los choques entre los electrones y los átomos del conductor conllevan una transferencia de energía que se manifiesta en forma de calor. En el modelo de la cuerda, los choques vienen representados por el rozamiento de la cuerda con las manos. Observamos con el modelo que, si la resistencia es mayor, la cantidad de calor disipado será mayor.

Descripción de la actividad:

Haremos un lazo cerrado con la cuerda. El lazo de cuerda debe ser lo suficientemente largo como para que poniendo a todo el alumnado haciendo un círculo, todos la puedan sostener con las manos.

Uno de los alumnos representará el papel de pila y le pediremos que estire de la cuerda, haciéndola circular hacia un lado, siempre al mismo ritmo.

Podemos explicar que este ritmo constante al que desplazamos la cuerda es una analogía con el voltaje constante de la pila. Mientras la pila no se gaste, este ritmo permanecerá constante, y eso en el circuito quiere decir que la intensidad de la corriente se mantiene constante. Esta analogía también permite representar lo que pasa cuando la pila ya está muy gastada: en el modelo, el alumno que mueve la cuerda se cansa y hace circular la cuerda más lentamente, esto representa en un circuito real la disminución de la intensidad cuando la pila se agota.

En todo momento, el resto del alumnado deben procurar no frenar la cuerda, que fácilmente pueden detener si cierran la mano, ya que la fuerza de fricción entre la cuerda y las manos es muy grande.

Con este modelo también podemos trabajar las pérdidas de energía que provocan las resistencias. Las manos, inevitablemente, frenan un poco la cuerda, representando esto la resistencia eléctrica del circuito. Lo que nota el alumnado cuando la cuerda circula es calor (han de tener cuidado de no quemarse las manos). Este calor es energía del movimiento de la cuerda que se pierde. Si asignamos a un alumno el papel de resistencia, tendrá que frenar la cuerda con sus manos, pero sin llegar a detenerla, y rápidamente notará mucho calor en las manos. En los circuitos reales pasa algo similar: cuando la corriente pasa por una resistencia se disipa energía en forma de calor, que se aprovecha, por ejemplo, en las tostadoras o las estufas eléctricas.

Es interesante remarcar algunos aspectos durante la actividad:

- La cuerda representa la corriente eléctrica.
- La corriente circula a la vez por todo el circuito.
- La pila mantiene la corriente eléctrica con su energía.
- El alumno que hace de pila debe invertir un buen esfuerzo en hacer circular la cuerda eso quiere decir invertir energía.
- Los conductores siempre oponen una cierta resistencia a la corriente (aunque sea muy pequeña) y esta resistencia representa una pérdida de energía en forma de calor (efecto Joule).

Actividad 11. Preinscripción cualitativa a la ley de Ohm

Esta actividad introduce al alumnado en la ley de Ohm. Empleando el modelo de piezas, se estudia la relación entre la intensidad, la resistencia y el voltaje en un circuito. La potencia del modelo de piezas nos da la posibilidad de introducir la ley de manera cualitativa, mostrando la relación entre magnitudes o bien hacerlo de manera cuantitativa realizando medidas de intensidad con las piezas cuando variamos la resistencia, lo que nos permitirá comprobar la ley de Ohm.

Actividad relacionada con las ideas clave 1,2, 3, 4 y 5.

Objetivo:

- Conocer la relación ya sea de manera cualitativa o cuantitativa entre los valores de la tensión (ΔV), la intensidad (I) y la resistencia (R).

Material necesario:

Empleamos el modelo de piezas como en la actividad 6. Necesitaremos:

- Piezas de madera, de Lego, Multicubo o similares. Más o menos el doble de piezas que el número de participantes.
- Dos letreros, uno con signo positivo y otro con signo negativo para poner en los extremos de la pila.
- Un letrero que diga “amperímetro” por cada amperímetro que queramos situar, con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.
- Un cronómetro por cada amperímetro.
- Un letrero que diga «resistencia», con un cordel para que se lo pueda colgar un estudiante en el cuello o enganchar en un lugar visible.

Ideas científicas que se pueden trabajar en esta actividad:

- Con un voltaje fijo, la intensidad que circula por una rama es inversamente proporcional a la resistencia de la rama.
- En una rama sin bifurcaciones la medida de la intensidad nos dará el mismo valor independientemente del punto de la rama en que lo midamos.
- Si la tensión no cambia (es constante), al aumentar la resistencia la intensidad disminuye, y viceversa. A pesar de estos cambios el valor

del producto $I \cdot R$ se mantiene constante y su valor es justamente el valor del voltaje.

- Empezar a comprender la ley de Ohm: $\Delta V = I \cdot R$
- La asociación de resistencias en paralelo.

Algunas ideas del alumnado:

- Es frecuente que piensen que la corriente es menor después de haber pasado a través de una resistencia.
- Tienen cierta dificultad para entender aspectos de proporcionalidad entre las variables que intervienen.
- Habitualmente muestran dificultades para traducir las relaciones empíricas entre variables a relaciones formales de la matemática.

La explicación científica:

Si imaginamos un circuito sencillo de solo una rama, formado por una pila y una resistencia (figura 5), con el modelo de piezas podremos introducir, al menos cualitativamente, la relación matemática que hay entre el voltaje de la pila, la intensidad que circula por el circuito y la resistencia que contenga el circuito.

En el circuito sencillo de la figura 5 la relación entre estas tres magnitudes se escribe: $V = I \cdot R$, donde V es el voltaje que proporciona la pila (que nos viene dado por el fabricante), I es la intensidad de la corriente (que podemos medir con un amperímetro) y R la resistencia que hayamos conectado en el circuito.

Por ejemplo, si usamos una pila de 6 v y conectamos una resistencia (bombilla o cualquier otro aparato) de 250Ω , la intensidad que circulará será de: $I = V/R = 6/250 = 0,024 \text{ A}$

Es fácil ver con esta relación matemática lo que podemos mostrar con el modelo de piezas: si el voltaje es constante y aumenta la resistencia que hay en el circuito, la intensidad disminuirá.

Para profundizar un poco más:

Esta relación entre el voltaje, la intensidad y la resistencia se puede aplicar a cualquier circuito o parte de él, por complejo que sea. De una manera más general, la relación se escribe $\Delta V = I \cdot R$, siendo ΔV el voltaje

entre dos puntos cualquiera del circuito. En este caso la I será la total que circule entre los dos puntos elegidos y la R la resistencia total entre esos dos puntos.

El símbolo Δ antes del voltaje indica solo que se trata de una diferencia de valores (valor final menos valor inicial). La razón de utilizar la diferencia de valores entre dos puntos es que, así como la medida de intensidad tiene un cero ($I = 0$ quiere decir que no circula corriente), el voltaje no tiene un cero absoluto, ya que se trata de una cantidad de energía asociada a cada carga, y en las medidas de energía solo podemos hablar de diferencias de energía. En el caso del circuito de la figura 5 esta diferencia es la que hay entre los dos puntos entre los que midamos el voltaje, que son los dos extremos de la pila. Este valor es justamente el voltaje que viene indicado en las pilas (1,5 v, 9 v, etc.).

Descripción de la actividad:

Situaremos el grupo en una rueda para hacer el modelo de piezas. Procederemos como a la actividad 6, pero ahora trataremos de hacer medidas de intensidad más cuidadosas.

En primer lugar, mediremos la intensidad sin poner ninguna resistencia al circuito. Recuerde que para hacer la medida hay que esperar a que las piezas circulen en un régimen estacionario. En general es práctico contar las piezas durante medio minuto, que es una duración lo suficientemente corta para que el procedimiento no se haga pesado.

Anotaremos este dato en la pizarra. Seguidamente introducimos en el modelo una resistencia (para ver cómo se hace mire la actividad 5) y volvemos a medir la intensidad, anotando el nuevo valor.

A continuación, ponemos una resistencia de un valor mayor, por ejemplo el doble, que el anterior y medimos de nuevo la intensidad. Para duplicar el valor de la resistencia en el modelo lo que hacemos es pedir al alumno que tarde el doble de tiempo que antes en recoger y pasar la pieza.

Un ejemplo hipotético de resultados podría ser este:

- a) Medida sin resistencia: han pasado 6 piezas en 30"
- b) Medida con una resistencia: han pasado 4 piezas en 30"

- c) Mide con una resistencia de valor doble a la anterior: han pasado 2 piezas en 30”

Estos resultados los podríamos recoger así:

- a) $I (R = 0) = 12$ piezas/min
b) $I (R) = 8$ piezas/min
c) $I (2 R) = 4$ piezas/min

Y estas serían las intensidades medidas en el modelo. El hecho que cabe destacar es que si duplicamos la **R**, la **I** se reduce a la mitad. Esto lo podemos expresar matemáticamente de esta manera: $I = (\text{un cierto valor})/R$.

A continuación, podemos hacer más pruebas cambiando los valores de la **R** para ver si siempre la **I** y la **R** mantienen esta relación. El resultado será afirmativo, aceptando las inevitables variaciones debidas a la manipulación del modelo de piezas.

En la expresión anterior, en el numerador hemos escrito: *un cierto valor*, porque para que la división tenga sentido en el numerador debe haber una cantidad, pero ¿cuál es esa cantidad?

Claro que debe estar relacionada con la corriente y que para que se verifique la relación debe tener siempre el mismo valor. Sabemos que esta cantidad es el voltaje de la pila, pero ¿cómo argumentarlo sin introducir ningún análisis matemático?

Un argumento cualitativo podría ser el siguiente: en nuestro circuito solo hay dos elementos, la pila y la resistencia. En nuestra experiencia con el modelo hemos modificado la resistencia, pero no la pila, que a pesar de los cambios en el valor de **R** ha intentado seguir trabajando normalmente. El único otro parámetro que puede intervenir en el establecimiento de la intensidad es, pues, la pila, que proporciona un voltaje (energía para cada carga) constante.

Este razonamiento no es ninguna demostración, es solo un argumento, más literario que físico para justificar la ley de Ohm, pero seguramente será justificación suficiente para vuestro curso.

NORMAS PARA LOS COLABORADORES

<https://bit.ly/3DKFESh>

EXTENSIÓN

Las propuestas de cada cuaderno no podrán exceder **la extensión de 50 páginas (en Word)** salvo excepciones, unos 105.000 caracteres; espacios, referencias, cuadros, gráficas y notas, inclusive.

PRESENTACIÓN DE ORIGINALES

Los textos han de incluir, en formato electrónico, un **resumen** de unas diez líneas y tres palabras clave, no incluidas en el título. Igualmente han de contener el **título**, un **abstract** y tres **keywords** en inglés.

Respecto a la **manera de citar y a las referencias bibliográficas**, se han de remitir a las utilizadas en este cuaderno.

EVALUACIÓN

La aceptación de originales se rige por el **sistema de evaluación externa por pares**.

Los originales son leídos, en primer lugar, por el **Consejo de Redacción**, que valora la adecuación del texto a las líneas y objetivos de los cuadernos y si cumple los requisitos formales y el contenido científico exigido.

Los originales se someten, en segundo lugar, a la **evaluación de dos expertos** del ámbito disciplinar correspondiente, especialistas en la temática del original. Los autores reciben los comentarios y sugerencias de los evaluadores y la valoración final con las correcciones y cambios oportunos que se han de aplicar antes de ser aceptada su publicación.

Si los cambios exigidos son significativos o afectan a buena parte del texto, el nuevo original se somete a evaluación de dos expertos externos y de un miembro del Consejo de Redacción. El proceso se lleva a cabo como «doble ciego».

REVISORES

<https://bit.ly/3oF4izw>

**ESTRATEGIAS PARA ENSEÑAR
LA ELECTRICIDAD. FORMANDO
AL PROFESORADO FORMADOR**

VÍCTOR GRAU TORRE-MARÍN
CAROLINA PIPITONE VELA