

49

Quaderns de Docència Universitària

Estratègies per ensenyar l'electricitat

Formant el professorat
formador

Víctor Grau Torre-Marín

Carolina Pipitone Vela



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Títol: *Estratègies per ensenyar l'electricitat: formant el professorat formador*

CONSELL DE REDACCIÓ

Directora: Núria Serrano Plana (cap de la Secció d'Universitat, IDP-UB. Facultat de Química)

Coordinador: David Bueno Torrens (Facultat de Biologia, UB)

Consell de Redacció: Direcció de l'IDP; Pilar Aparicio Chueca, Facultat d'Economia i Empresa (UB); Silvia Argudo Plans, Facultat de Biblioteconomia i Documentació (UB); Anna Forés Miravalles, Facultat d'Educació (UB); Natalia Judith Laso Martín, Facultat de Filologia i Comunicació (UB); Francesc Martínez Olmo, Facultat d'Educació (Universitat Illes Balears); Roser Masip Boladeras, Facultat de Belles Arts (UB); Antonio R. Moreno Poyato, Facultat d'Infermeria (UB); José Navarro Cid, Facultat de Psicologia (UB); Elena Iborra Ortega, Facultat de Medicina i Ciències de la Salut (UB); Max Turull Rubinat, Facultat de Dret (UB); Eva González Fernández, IDP (secretària tècnica) i l'equip de Redacció de l'Editorial OCTAEDRO.

Primera edició: març de 2025

Recepció de l'original: 09/04/2024

Aceptació: 01/07/2024

© Víctor Grau Torre-Marín, Carolina Pipitone Vela

© IDP/UB i Ediciones OCTAEDRO, S.L.

Ediciones OCTAEDRO

Bailèn, 5, pral. - 08010 Barcelona

Tel.: 93 246 40 02 - Fax: 93 231 18 68

www.octaedro.com - octaedro@octaedro.com

Universitat de Barcelona

Institut de Desenvolupament Professional

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

Tel.: 934035175

Aquesta obra està sota la llicència Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada de Creative Commons i la Universitat de Barcelona. Podeu reproduir, distribuir o comunicar públicament l'obra només sota els termes d'aquesta llicència. En cada còpia que reproduïu, distribuïu o comuniqueu públicament, hi heu de fer constar l'autor i la institució (IDP/ICE, UB). No podeu fer-ne un ús comercial ni tampoc obres derivades. El text complet de la llicència el podeu trobar a: <http://www.publicacions.ub.es/doi/licencia/resum-noderiv.htm>.

ISBN: 978-84-1079-050-6

Disseny i producció: Serveis Gràfics Octaedro

ÍNDEX

Presentació	5
I. FONAMENTS DE LA PROPOSTA	7
Reflexions sobre l'ensenyament de les ciències a la formació inicial del professorat	8
L'ús de models per superar els obstacles conceptuals en l'ensenyament del corrent elèctric a la formació inicial	11
Els models en l'ensenyament de l'electricitat	12
Les idees de l'alumnat i les dificultats per entendre el corrent elèctric	14
El pas del model de partícules al model d'àtom	18
Quan, com i què explicar en el pas del model de partícules al model atòmic	20
La modelització com a estratègia per l'ensenyament de l'electricitat en la formació del professorat	23
Tres models bàsics per el professorat formador	27
El model de les peces	27
Conceptes que es poden treballar amb el model	27
Material	27
Regles del model	27
El model de la corda	29
Conceptes que es poden treballar amb el model	29
Material	29
Regles del model	29
El model de resistència	30
Conceptes que es poden treballar amb el model	30
Material	31
Regles del model	31
Idees clau i la seva relació amb els models	32

Coneixements bàsics d'electricitat per al professorat	35
Sobre l'estructura de la matèria	35
Sobre la càrrega elèctrica	36
Sobre la simbologia emprada en la representació dels circuits	37
Sobre els circuits: branques i circuits en sèrie i en paral·lel	37
Sobre conductors i aïllants	39
Sobre el corrent elèctric	40
Sobre la intensitat del corrent elèctric	42
Sobre la resistència elèctrica	44
Sobre el voltatge	45
Sobre la relació entre la intensitat, el voltatge i la resistència	46
Resum de conceptes bàsics i activitats relacionades	49
La importància dels materials de laboratori	51
II. PROPOSTA D'ACTIVITATS	53
Dibuixem l'electricitat	54
Activitat 1. Viatge imaginarí a l'interior d'un material conductor	54
Àtoms i càrregues elèctriques	57
Activitat 2. Com es comporten les càrregues elèctriques?	57
Com és el corrent elèctric?	61
Activitat 3. Un model de corrent elèctric amb peces	61
Aplicuem el model de peces	65
Activitat 4. Circuits oberts i tancats, interruptor i resistència	65
Activitat 5. La intensitat i la velocitat del corrent	69
Activitat 6. Fem circuits en sèrie i en paral·lel	74
Conductors, aïllants i resistències	78
Activitat 7. El circuit humà	78
Activitat 8. Cerquem conductors i aïllants	80
Activitat 9. Un model mecànic per a la resistència	82
Perquè s'acaba una pila?	86
Activitat 10. Un model amb corda. Introducció al potencial	86
Activitat 11. Aproximació qualitativa a la llei d'Ohm	89

PRESENTACIÓ

L'ensenyament de l'electricitat és un dels temes que presenta una certa dificultat per al professorat durant la seva formació inicial. Tot i no tenir més dificultats didàctiques que, per exemple, l'estudi dels éssers vius o els ecosistemes, l'ensenyament de l'electricitat imposa un cert respecte a aquest alumnat universitari que pot acabar plantejant-lo com una activitat exclusivament manipulable en la que es fan alguns circuits elèctrics. Aquest plantejament és incomplet ja que no aconsegueix augmentar la comprensió del fenomen. És com si, per comprendre la germinació, ens limitéssim a plantar una mongeta i comprovar que si l'hem regat adequadament passats uns dies creix una mongetera. En aquest cas només veiem el resultat, ens perdem tots els detalls del procés. De manera similar, en fer el circuit veiem el resultat, però no garantim la comprensió sobre què és el corrent elèctric. L'ensenyament de la didàctica de les ciències experimentals demana aprofundir més, ajudar a entendre quins i com són els processos implicats.

Per aconseguir aquest procés d'ensenyament-aprenentatge proposem al professorat de didàctica de les ciències fer ús de models mecànics, que proporcionen a l'alumnat una imatge sobre la que podem treballar i construir les idees clau de la naturalesa del corrent elèctric. En aquest sentit és una proposta atípica per l'ensenyament de l'electricitat, ja que no es centra exclusivament en els circuits sinó que incorpora el treball a partir de models.

El llibre té dues parts. La primera part, «Fonaments de la proposta», es dedica a diferents aspectes relacionats amb els processos d'ensenyament-aprenentatge de l'electricitat. Aquesta primera part inclou:

- Breu explicació sobre l'ensenyament de les ciències experimentals i la metodologia emprada en aquesta proposta.
- Explicació de les principals dificultats de l'alumnat per entendre el corrent elèctric, posant-les en relació amb les idees prèvies (*misconceptions*).
- Idees per ajudar al professorat formador a promoure en els docents el canvi des del model de partícules al model atòmic, que ens permet introduir les càrregues elèctriques.

- La modelització com estratègia docent en l'ensenyament de l'electricitat.
- Presentació de tres models concrets per a l'ensenyament de l'electricitat.
- Identificació dels coneixements necessaris per al professorat formador, amb les explicacions d'aquests conceptes.
- Recull dels conceptes bàsics que hauria de desenvolupar l'alumnat, i que pot ser d'interès per dissenyar la docència.
- Presentació de les idees clau: aquelles idees bàsiques sobre les que es poden construir posteriorment altres idees més complexes.

La segona part és una extensa «proposta d'activitats», que permet al professorat formador fer una tria en funció del nivell i temps del que disposi. Les activitats es presenten seguint un ordre de complexitat creixent: des d'una exploració inicial de les idees fins a una aproximació qualitativa a la llei d'Ohm. Cadascuna de les activitats es relaciona amb les idees clau, els conceptes bàsics a aprendre i les idees intuïtives sobre el fenomen.

I perquè hem creat aquest text? El llibre neix de les recerques, experiència i reflexions dels autors en didàctica de les ciències experimentals, especialment en didàctica de la física. També de l'experiència en la formació inicial de professorat de primària a la Universitat de Vic, Universitat Autònoma de Barcelona i la Universitat de Barcelona i en els màsters de formació del professorat de secundària de la Universitat de Barcelona i la Universitat Pompeu Fabra.

Al llarg de més de deu anys d'experiència en formacions i assessoraments a escoles de primària i secundària, els autors han detectat que, freqüentment, el professorat expressa inseguretats per afrontar la docència de l'electricitat. Aquesta inseguretats l'atribueixen bàsicament a dos motius: les mancances en la seva formació en física durant el grau i l'escassetat de materials didàctics amb orientacions per poder-los portar a l'aula.

Esperem que aquest text ofereixi al professorat formador un punt de partida per fer-ho de manera més didàctica i alhora ajudi a comprendre millor què és el corrent elèctric. Aquest és el primer pas per aconseguir que el professorat perdi la por a treballar el tema: una temàtica com aquesta, tan important en el món actual, bé s'ho mereix.

I. FONAMENTS DE LA PROPOSTA

REFLEXIONS SOBRE L'ENSENYAMENT DE LES CIÈNCIES A LA FORMACIÓ INICIAL DEL PROFESSORAT

Com es fa la ciència als centres d'ensenyament? Des de la formació inicial del professorat és important conèixer com es treballa la ciència als centres. És difícil donar una resposta única, i qualsevol categorització que féssim no respondria a la realitat, ja que no només cada centre, també cadascun dels docents té la seva pròpia manera de fer que el diferencia dels altres. Tot i això, per introduir el que pot ser una ciència de qualitat a l'ensenyament distingirem a continuació entre dos models extrems. En fem una caricatura, amb tòpics que segurament no s'adapten a cap realitat concreta, però que ens serviran per comparar-los amb el que pensem que hauria de ser la ciència a ensenyar. Aquests dos models els podem anomenar transmissiu i *hands-on*.

El model transmissiu seria aquell en que s'introdueixen les ciències com un bloc de coneixements, ben establert i què cal aprendre, sense ser qüestionats: una ciència dogmàtica. No ens referim només a la classe magistral, també a la implementació distorsionada de bones estratègies pot portar a una activitat reduïda a la cerca d'informació en llibres, revistes i sobretot Internet. Encara que la cerca d'informació es deixa a càrrec de l'alumnat i li demani un paper més actiu, no deixa de ser un aprenentatge purament de transmissió i de reproducció d'allò que ha trobat. L'experimentació sovint n'és absent o es limita a reproduir algun experiment que serveix per il·lustrar o comprovar uns resultats, no hi ha treball d'investigació, reflexió o construcció de noves idees. Generalment aquestes metodologies propugnen el paper del docent com a guia, que intervé només si se'l demana, arribant a defensar de vegades que no ha d'intervenir i deixar que sigui l'alumnat qui construeixi per ell mateix els conceptes. Donada la dificultat i nivell d'abstracció de molts temes aquest paper poc actiu del professorat no facilita la comprensió profunda del tema.

El model que hem anomenat *hands-on* és contrari a l'anterior, en el sentit que dóna un pes més gran a l'experimentació enfront el discurs, però que si no es fa bé pot acabar convertint-se en el mateix. La seva aparença és més moderna i més «científica», perquè promou l'experi-

ència a l'aula, però la duu a l'extrem, ja que moltes vegades la directriu és que el mestre no ha d'intervenir. Semblaria que és un model més proper al constructivisme, però manté una tesi ingènua: defensa que l'alumnat de manera natural, movent-se segons els seus interessos i tenint a l'abast un ric entorn experimental i material ja anirà descobrint els perquè dels fenòmens. En aquest model el paper del professorat torna a ser marginal. Com abans, la complexitat o grau d'abstracció d'alguns conceptes comportarà que no siguin ben compresos si no hi ha hagut la guia activa del professorat que els ajudi a qüestionar les seves idees i explicacions del fenomen.

Una mancança que comparteixen els dos models es que no proporcionen idees sobre com es construeix el coneixement científic. Ensenyar ciències no és només explicar un conjunt de continguts, també és explicar **com es fa ciència, com es construeixen les explicacions i què diferencia la ciència d'altres disciplines**. Cal doncs un plantejament en l'ensenyament de la ciència que ofereixi a l'alumnat els elements de pensament crític necessaris per distingir el que és ciència del que no ho és, i mostrar que el coneixement està en constant evolució, que no és absolut ni definitiu, que ha de ser contrastable i que sempre ha d'estar sotmès a crítica o verificació.

Si volem aproximar l'alumnat a la ciència haurem d'involucrar-los en activitats similars als mètodes de treball de la comunitat científica. Fer ciència, tant en recerca com a l'ensenyament, compren un seguit d'activitats que de manera resumida podem agrupar en dos grans blocs. Unes activitats que deriven de l'experiència: obtenir dades, fer-ne l'anàlisi i establir els fets empírics. Un altre tipus d'activitats, relacionades amb l'activitat teòrica i els raonaments: construir les explicacions i posar-les a prova. Totes aquestes activitats no tenen un ordre prefixat, no hi ha cap norma general sobre l'ordre en que s'han de fer unes i altres. De vegades convindrà començar per un model o explicació, fer després les observacions i posar-la a prova. En altres situacions ens convindrà començar per alguna observació passant després a fer experiències o algunes explicacions provisionals. El rígid esquema del «mètode científic» que de vegades trobem als llibres de text no es correspon amb el mètode real de treball de la comunitat científica, ni amb la ciència escolar que promou el pensament crític.

Fer bona ciència a l'escola, des del nostre punt de vista, significa formar al professorat per incorporar les activitats pròpies de la ciència: observar, mesurar, analitzar els muntatges experimentals, elaborar explicacions, qüestionar-les i potser intentar refutar-les o comprovar-les, fer servir models, fer prediccions amb els models o imaginar nous experiments, etc... i de manera col·lectiva elaborar noves i més completes explicacions de les que en discutirem la seva versemblança i potència explicativa.

L'ÚS DE MODELS PER SUPERAR ELS OBSTACLES CONCEPTUALS EN L'ENSENYAMENT DEL CORRENT ELÈCTRIC A LA FORMACIÓ INICIAL

Generalment, l'alumnat en formació inicial té escassos coneixements sobre la naturalesa de l'electricitat. Per altre banda la pròpia temàtica té unes característiques que dificulten el seu ensenyament. La suma d'aquestes casuístiques marquen el tema com un dels difícils d'ensenyar per al docent. A continuació veurem quins són aquest obstacles conceptuals.

Des de el punt de vista de l'ensenyament trobem en el corrent elèctric unes característiques que el fan difícil d'ensenyar per al professorat i, evidentment, difícil de comprendre per a l'alumnat:

- **És invisible:** si bé podem veure el corrent elèctric en els llamps o en algunes experiències de laboratori, no el veiem mai en l'ús diari que en fem.
- **Sembla que es transmet a velocitat infinita:** en connectar els aparells elèctrics aquests semblen respondre instantàniament.
- **La comprensió de la naturalesa corpuscular de la matèria:** el fet que la matèria no és contínua (com percebem quotidianament) sinó que està feta de partícules. Que les entitats implicades (àtoms i electrons) són de dimensions extremadament petites, escapant totalment a l'experiència humana. Assumir aquest model no és un pas fàcil, ja que va contra l'evidència quotidiana de continuïtat. Prova d'això és que fins a finals del segle XIX científics com Henry Poincaré, Ernst Mach o Pierre Duhem encara veien en els àtoms una ficció instrumental de la que caldria desprendre's un cop avançats mes la física. És ben comprensible doncs que per a l'alumnat la idea no sigui intuïtiva.

Tots aquests elements fan de l'electricitat un tema conceptualment difícil, ja que el seu estudi implica un elevat grau d'abstracció. Per aquest motiu requereix d'un bon acompanyament del professorat en l'elaboració de les explicacions i construcció de coneixements.

Generalment però, l'ensenyament de l'electricitat s'introdueix formant part d'algun projecte interdisciplinari, taller de tecnologia o activitats STEM. En aquests casos la guia del professorat, necessària per a la construcció i comprensió del coneixement físic, no hauria de quedar en segon terme per tal d'evitar el caure en activitat tipus *hands on*.

Treballant d'aquesta manera cal pensar molt bé el disseny de l'activitat i el paper del professorat en ella. Cal procurar que un espai, que ha de ser d'aprenentatge de les ciències, no es limiti a una classe amb activitats manipulables on fer circuits, robots, etc. Si bé aquestes propostes experimentals aporten un vessant pràctic interessant i sovint contextualitzat (podem fer maquetes de semàfors, planxes, rentadores...), que permeten apropar l'alumnat a l'àmbit tecnològic, freqüentment es mostren insuficients per aportar els coneixements necessaris per comprendre la naturalesa del corrent elèctric i per tant la construcció del vessant científic.

Per entendre l'electricitat i comprendre els circuits és necessari ensenyar sobre la seva naturalesa i una manera adient de fer-ho és proporcionar a l'alumnat un model mecànic clar i senzill amb el que pugui visualitzar els conceptes. Aquesta necessitat de modelitzar els conceptes per entendre'ls es fa més necessària en temes amb un elevat grau d'abstracció, com és aquest de l'electricitat.

Els models en l'ensenyament de l'electricitat

En física l'ús de models és molt freqüent, i és de molta utilitat especialment en aquells fenòmens en que només es manifesten els efectes però no hi ha una percepció directa de l'entitat. Per exemple, en el cas del corrent elèctric observem que s'encén la bombeta o que gira el motor, però en cap cas veiem el corrent elèctric.

En un sentit general, els models són representacions d'un fenomen, objecte o idea científica.¹ Ens serveixen per representar allò que no podem observar directament (mon no visible) però que expliquen el que succeeix en el nostre entorn (mon visible). És freqüent parlar de models

1. Ornek, F. (2008). Models in science education: applications of models in learning and teaching science. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3 (2), 35-45.

conceptuals, que són representacions creades per professors o investigadors per facilitar la comprensió o l'ensenyament d'un determinat contingut. Aquestes representacions poden ser formulacions matemàtiques, gràfics, analogies o objectes materials. Els models sempre són limitats: només poden representar algunes de les propietats, però mai poden il·lustrar de manera plena el fenomen físic.

En l'ensenyament de la física a l'educació primària els models, especialment els models fets amb objectes materials, que són models mecànics, poden tenir un paper molt important en el procés inicial de comprensió. Aquests models proporcionen a l'alumnat una representació material que pot manipular, convertint aquells ens abstractes (el corrent elèctric en el nostre cas) en objectes manipulables, amb els quals poden visualitzar relacions, comportaments, restriccions, etc.

La imatge mecànica i manipulable proporcionada per aquests models dóna a l'alumnat un referent que l'ajudarà a construir el concepte i aprofundir en la seva comprensió. Constitueix doncs una base sobre la que desenvolupar posteriorment explicacions més elaborades, entendre els resultats de les experiències i finalment donar més sentit a la formulació de models matemàtics.²

Us proposem aquí una aproximació a l'ensenyament de l'electricitat en que partirem de l'ús de tres models mecànics, que explicarem en detall més endavant. Aquests models són:

- El **model de les peces**. Aquest és el model més important. Ens permet modelitzar diferents conceptes bàsics: el moviment dels electrons en el circuit, el concepte d'intensitat i la seva mesura, la velocitat del corrent elèctric, circuits oberts i tancats, connexions en sèrie i paral·lel, etc.
- El **model de la corda**. És un model pensat especialment per treballar els conceptes relacionats amb l'energia, i amb ell podem il·lustrar conceptes com els de potencial elèctric, el paper de la pila en un circuit, l'efecte Joule, etc. Complementa molt bé l'anterior model.

2. Kress, G., Ogborn, J. i Martins, I. (1998). A satellite view of language: some lessons from science classrooms. *Language Awareness*, 7 (2-3), 69-89.

- Un **model de la resistència**. Serveix per simular el que succeeix amb el corrent elèctric quan passa a través d'una resistència.

Abordant l'ensenyament de l'electricitat a partir d'aquests models és fàcil promoure preguntes, contrastar idees, discutir possibles respostes i elaborar explicacions amb l'alumnat. Així mateix són una bona eina per superar els obstacles ja esmentat.

El treball combinat d'experimentació amb models i de reflexió ajuda a assentar les bases perquè el professorat en formació inicial pugui endin-sar a l'alumnat en continguts més avançats d'electricitat i electrònica.

Les idees de l'alumnat i les dificultats per entendre el corrent elèctric

Els infants tenen explicacions per a tot, i elaboren les seves particulars explicacions que els serveixen per donar resposta a tota mena de fenòmens. Aquestes idees les construeixen a partir de les seves experiències quotidianes: el que senten a l'escola, les seves experiències sensibles, allò que veuen o senten a casa o al carrer, els contes que se'ls expliquen, les pel·lícules que veuen, etc. Amb totes aquestes informacions i el que ells i elles imaginin són capaços de construir les seves teories i explicacions dels fenòmens. És el que anomenem «idees prèvies», *misconceptions*, etc. Aquestes explicacions sovint no tenen una consistència lògica (tampoc busquen tenir-la), i les poden aplicar fent un raonament o el seu contrari a situacions diferents segons el resultat que convingui explicar. Sobre la naturalesa de l'electricitat l'alumnat té idees molt confuses en les que barregen termes com energia, llamps, llum, electrons, etc. i en pocs casos aquesta idea és propera a la realitat científica del que és i del com es genera.

Alguns estudis fets sobre les idees prèvies recullen exemples com els següents:

- Alguns alumnes la descriuen segons alguna característica de context proper: per la seva funció a la vida quotidiana; per la seva perillositat; per associació amb la llum o la calefacció ;o fent altres conne-

xions més imaginatives: «L'electricitat està en el Sol» (Westley, 10 anys), «Jo penso que ens arriba via satèl·lit» (Kelly Ann, 9 anys).³

- D'altres associen el corrent elèctric amb energia, l'imaginem com una «energia», «llamps» o «guspises» sense precisar què es vol dir amb això.
- També n'hi ha que l'entenen com una massa fluida, que es mou a la velocitat de la llum o a velocitat infinita. Aquesta idea sobre la seva elevada velocitat és una concepció molt generalitzada: sigui quina sigui la concepció que tenen sobre el corrent elèctric, sovint pensen que circula a velocitat infinita o bé a la velocitat de la llum.

A la figura 1 podeu veure algunes representacions d'alumnat de cicle superior de primària sobre com imaginem el corrent elèctric. Els dibuixos els van obtenir els autors en un grup d'alumnes de cinquè de primària d'una escola de Barcelona i en el grau de mestres de primària. Es va demanar a l'alumnat que imaginés com veurien el corrent elèctric si es fessin molt petits i poguessin entrar en un cable. Els dibuixos que van fer són molt variats, però es poden classificar, independentment de la seva edat, en categories molt similars a les obtingudes en altres estudis.⁴ En particular podem reconèixer les següents categories:

1. com un fluid,
2. com si fos una energia,
3. com una força,
4. com si fos un llampec,
5. com si fossin fils,
6. com partícules que es mouen pel cable,
7. com ones,
8. com un moviment d'electrons, que sovint dibuixen circulant en renglera pel centre del cable.

Tot i així poden aparèixer dibuixos sorprenents, com el dibuix A de la figura 1, on es veuen unes espirals que semblen avançar pel cable, o el C, en que l'infant ha dibuixat unes petites piles que es mouen al llarg del cable fins arribar a la bombeta.

3. Osborne, J. F., Black, P., Meadows, J. i Smith, M. (1991). *Electricity. Primary SPACE project research report*.

4. Kibble, B. (1999). How do you picture electricity? *Physics Education*, 34 (4), 226.

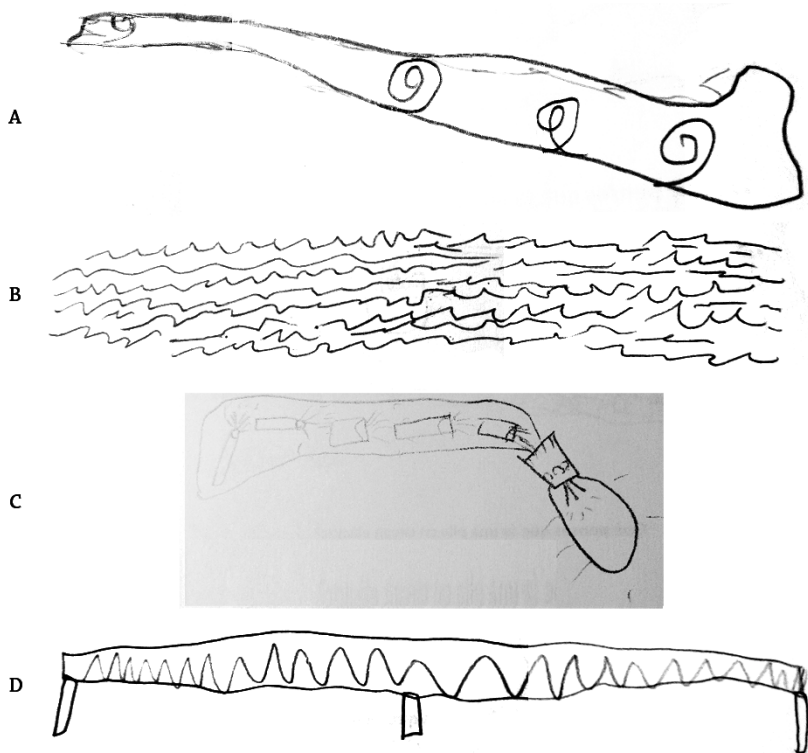


Figura 1. Com s'imaginen el corrent elèctric. Dibuixos fets per alumnes de cicle superior de primària i del Grau de Mestre de Primària.

És molt freqüent també la confusió entre llum i l'electricitat, possiblement potenciat per l'ús col·loquial dels termes, que els fem servir indistintament («Se n'ha anat la llum» quan s'ha tallat el corrent elèctric, «No hi ha llum» quan hi ha una avaria i no hi ha corrent elèctric...). Aquesta manera d'expressar-nos en la vida quotidiana fomenta la confusió entre ambdós conceptes. L'ús correcte del llenguatge a classe de ciències és un aspecte que el docent ha de tenir molt present, ja que pot induir a confondre conceptes. Per exemple, quan parlem d'electricitat fem referència al moviment dels electrons, i aquests quan passen per la bombeta fan que emeti llum. En aquest cas una entitat (la llum) és

producte de l'altre (el corrent elèctric) però són entitats diferents. En el cas del Sol potser encara queda més clar que son entitats diferents, ja que el Sol emet llum tot i que no hi ha cap corrent elèctric.⁵

5. Andre, T. i Ding, P. (1991). Student misconceptions, declarative knowledge, stimulus conditions, and problem solving in basic electricity. *Contemporary Educational Psychology*, 16 (4), 303-313.

EL PAS DEL MODEL DE PARTÍCULES AL MODEL D'ÀTOM

Comprendre bé el corrent elèctric implica tenir uns coneixements mínims del model corpuscular de la matèria. Més enllà del coneixement de la matèria com a «partícules», per comprendre l'origen de l'electricitat, cal introduir algunes idees bàsiques sobre els àtoms. Per tant ens hem d'assegurar que l'alumnat hagi treballat prèviament la naturalesa corpuscular (discontínua) de la matèria, és a dir: que està feta de partícules.⁶ Aquest coneixement és necessari perquè ara caldrà fer un pas més i comprendre que aquestes partícules que introduïm a primària tenen una estructura complexa i que és en aquesta estructura on trobem els electrons: els protagonistes del corrent elèctric.

Alguns autors consideren que aquest pas de partícules (sense distinció entre elles) a «àtoms» és un pas conceptual que s'hauria de fer als primers cursos de l'ESO, en els quals es comença consolidant el model de partícules i cap a 3r s'introdueixen ja àtoms i molècules.⁷ Hi ha autors⁸ però que proposen avançar la introducció dels conceptes d'àtom i molècula ja a cicle superior de primària o primers cursos de secundària, argumenten que ajuda a consolidar la comprensió macroscòpica de la matèria (per exemple la natura dels gasos), tot i que deixen com una qüestió encara oberta l'estudi dels beneficis que pot tenir aquesta primerenca introducció.

Aquesta disparitat de criteris no posa gaire llum a la confusió ja plantejada per Mullhall⁹ sobre quan (a quins nivells) i com (amb quins models o analogies) ensenyar el corrent elèctric. En qualsevol cas per entendre el corrent elèctric cal introduir el concepte d'electró, i per tant considerem que d'una manera o altra ens caldrà fer aquest pas.

6. Amat, A., Martí, J. i Grau, V. (2016). *Investiguem la matèria*. Ajuntament de Barcelona.

7. Marchán Carvajal, I. i Sanmartí, N. (2014). De com l'àtom es va fer útil i ensenyable. *Educació Química*, 19, 26-32.

8. Wiser, M. y Smith, C. L. (2009). Learning and teaching about matter in grades k-8: when should the atomic-molecular theory be introduced? A: *International handbook of research on conceptual change* (pp. 233-267). Routledge.

9. Mulhall, P., McKittrick, B. i Gunstone, R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science Education*, 31 (4), 575-587.

Com ja hem dit proposem al professorat començar a treballar l'electricitat després d'haver treballat amb el model de partícules. Un cop assimilat aquest model, haurem de tenir present alguns punts importants (figura 2):

- Cal fer veure a l'alumnat que els constituents de la matèria que fins ara n'hem dit partícules tenen una estructura més complexa (les molècules), que al seu torn estan formades per unes parts encara més petites (els àtoms).
- Que les parts que anomenem àtoms contenen unes partícules més petites que són els electrons.
- I finalment que alguns d'aquests electrons són els que podran donar lloc al corrent elèctric.

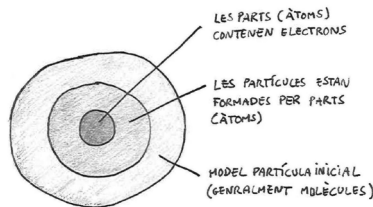


Figura 2. Refinament del model de partícules.

Mentre treballem amb l'alumnat el pas del model de partícules al model atòmic cal insistir en que hi ha un canvi d'escala. Per què hi ha un canvi d'escala? Perquè ara incorporem a les partícules inicials les seves subestructures, que fins ara no havíem necessitat per explicar fenòmens bàsics relacionats amb la matèria (so, calor, densitat, etc.). Això comporta un canvi del model per explicar l'estructura de la matèria i el seu comportament.

En fer aquest pas de model haurem d'anar en compte de no identificar unívocament les partícules d'abans amb els àtoms d'ara, perquè no sempre és així: per exemple, quan fins ara els hem parlat de la part mínima d'aigua i en dèiem «partícula d'aigua», això en realitat és una molècula d'aigua i no pas un àtom. Els àtoms els trobem en les subestructures de la molècula d'aigua, que la formen dos àtoms d'hidrogen i un àtom d'oxigen. En canvi si ens referim al ferro, la partícula més petita de ferro ara sí que coincideix amb l'àtom de ferro.

Quan, com i què explicar en el pas del model de partícules al model atòmic

El pas al model d'àtom implica un canvi d'escala i la introducció de nous detalls sobre la constitució de la matèria. Generalment l'alumnat ja està familiaritzat amb el model del sistema solar, que és similar al model atòmic que podem introduir. Tot i que el model atòmic actual ja no és el model proposat per Bohr, l'aproximació històrica a l'evolució dels conceptes físics és un bon mètode per a comprendre poc a poc els conceptes moderns de la física. Per exemple Gaston Bachelard¹⁰ descriu el paral·lelisme entre la construcció dels conceptes de la física i l'aprenentatge que hi ha en el camí des del concret fins al més abstracte. Una manera d'afrontar aquest pas és fer-ho en diferents etapes.

En una primera etapa podem començar recuperant la idea que tota la matèria està feta de partícules, però sense anar més enllà. Fins aquest moment no els haurem plantejat si les partícules tenen una estructura interna, però per entendre el fenomen del corrent elèctric se'ns fa necessari imaginar que aquelles partícules han de tenir una estructura més complexa. Ara és quan caldrà explicar que aquestes partícules no són només «boles», sinó que si les miréssim de més a prop, amb una major resolució, veuríem que tenen unes parts, els anomenats àtoms, que formen l'estructura i que en aquestes parts hi ha uns elements més petits que anomenem electrons i són els responsables del corrent elèctric.

Una segona etapa hauria d'incloure algunes idees respecte a l'estructura atòmica. No cal fer un estudi a fons de l'àtom, només necessitarem que sàpiguen el més elemental:

- Que té un nucli amb pràcticament tota la massa i unes partícules molt lleugeres (els electrons) que tenen càrrega negativa i orbiten al seu voltant.
- Sobre el nucli només ens cal saber que està format per protons (amb càrrega positiva) i neutrons (sense càrrega), que entre ells estan units molt fortament i que per això són molt difícils d'arrencar.
- La unió tan forta entre les partícules del nucli ens permet entendre perquè no tenen cap paper en el corrent elèctric, com sí que el tenen els electrons, que poden ser arrencats més fàcilment.

10. Bachelard, G. (1993). *La formació del espíritu científic*. Siglo XXI.

- Que els àtoms tenen tantes càrregues negatives (electrons) com positives en el nucli (protons), de manera que cadascun dels àtoms té una càrrega total nul·la. I com que els cossos formats per aquests àtoms de càrrega total nul·la, els objectes tenen també una càrrega elèctrica globalment nul·la.

De vegades els àtoms poden perdre algun electró, quedant descompensats elèctricament i tindran per tant una càrrega total positiva (hi ha més protons que electrons). Però com que els àtoms tendeixen a tenir les mateixes càrregues positives i negatives (càrrega total zero), si un àtom perd un electró tendirà a agafar-ne un d'algun àtom veí per recuperar la seva neutralitat.

La idea important a treballar és que els àtoms sempre tendeixen a compensar les seves càrregues per esdevenir globalment neutres.

El tercer pas és convenient per comprendre el mecanisme del corrent elèctric, lligar-lo amb l'estructura de l'àtom i entendre perquè hi ha materials conductors.

En aquesta etapa explicarem de manera molt qualitativa com s'agrupen els àtoms. Una bona manera pot ser fer una analogia amb les persones: a algunes els agrada anar soles, a d'altres en parelles i d'altres en grups més nombrosos. Àtoms com els d'heli o tots els altres gasos nobles tendeixen a anar sols. En aquest cas, la partícula més petita de gas seria l'àtom, i a diferència del que hem dit abans sobre l'aigua, ara sí que les partícules de l'anterior model coincideixen amb els àtoms que ara introduïm.

Hi ha altres àtoms que tendeixen a agrupar-se de dos en dos, per exemple els d'hidrogen o oxigen. El gas oxigen, per exemple, està format per parelles d'àtoms que es mouen conjuntament, cada parella forma una unitat: la molècula d'oxigen. En aquest cas la partícula més petita de gas oxigen seria un grup de dos àtoms d'oxigen (la molècula), de forma que ara aquestes partícules del model inicial de partícules no coincideixen amb els àtoms que ara introduïm.

També hi ha àtoms que s'agrupen de tres en tres, de quatre en quatre o formant grups més grans.

Finalment n'hi ha alguns que s'agrupen formant grans xarxes. Els àtoms s'ajunten en grans grups, com els espectadors en un estadi, creant xarxes extenses. Els metalls en són un exemple: el ferro, el coure, la plata... En aquest cas la partícula més petita, encara que s'agrupin en grans xarxes, torna a ser l'àtom, així la part més petita que es pot fer d'una barra de ferro seria un àtom de ferro.

Sigui en parelles o en grans grups la manera que tenen els àtoms de mantenir-se units és compartint alguns dels seus electrons, que van movent-se d'un àtom a l'altre. En el cas dels metalls com el coure (Cu), que formen una gran xarxa (figura 3), els àtoms comparteixen els seus electrons que poden anar movent-se d'un àtom a l'altre.

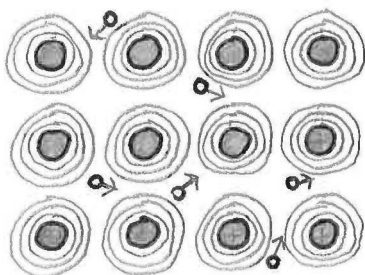


Figura 3. Representació de l'estructura atòmica d'un material conductor on hi veiem la xarxa d'àtoms i els electrons que es van compartint entre ells.

Aquesta idea que els electrons són compartits pels àtoms i que poden moure's entre ells, encara que pugui semblar allunyada del tema en realitat és una idea important per comprendre bé el mecanisme del corrent elèctric. També ens pot ajudar a comprendre i donar sentit a les regles del model de les peces.

LA MODELITZACIÓ COM A ESTRATÈGIA PER L'ENSENYAMENT DE L'ELECTRICITAT EN LA FORMACIÓ DEL PROFESSORAT

La metodologia que proposem al professorat de didàctica de les ciències està basada en la investigació i la modelització. La idea és construir models per representar el nostre món i així entendre'l millor: una cerca constant de coherència entre els fenòmens observats i allò que podem explicar amb el model.

La modelització és una tasca important a l'aula de ciències, que serveix alhora per comprendre els fenòmens i fer reflexionar l'alumnat sobre la naturalesa del coneixement científic. Amb aquesta metodologia mostrem que els models explicatius no són definitius, sinó que són limitats i s'han d'anar corregint, il·lustrant així com es construeix el coneixement científic. A través de l'experimentació a l'aula podem recollir noves observacions o situacions físiques, que intentarem explicar amb el model. En aquest procés pot ser que el model ens expliqui els fets sense dificultats, això el reforçarà perquè el nostre model és coherent amb allò observat. També pot passar que el model no ens expliqui les noves observacions, llavors l'haurem de modificar, ja sigui canviant-lo totalment, retocant alguna part o afegint-hi nous detalls.

Aquesta manera de treballar va més enllà del *hands-on* abans explicat. Aquí els experiments es fan amb una clara intenció científica i didàctica, no es limiten a comprovar allò que s'ha après, o simplement per motivar l'alumnat, serveixen per discutir els fenòmens, posar a prova explicacions i així entendre'n la seva naturalesa. El paper del professorat també és essencial: ensenyant a observar, plantejant qüestions, posant de relleu incoherències o coincidències entre experiments i models i en definitiva creant una tasca de ciència autèntica a l'aula.

Proposem basar l'ensenyament del corrent elèctric en el treball amb models. A ulls de la física acadèmica els models que proposem no són una representació fidel del corrent elèctric, però considerem que la proposta serveix com una primera aproximació a l'ensenyament de l'electricitat. Cap d'aquests models no representa amb rigor el fenomen físic, però si coneixem les seves limitacions poden ser de molta utilitat per

fomentar el raonament, la construcció de les idees bàsiques i posar a prova les idees de l'alumnat. Tal com argumenta Arnold B. Arons¹¹ en el seu text *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», «nonconductor», «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*.

L'electricitat és una àrea central de la física en els currículums de tots els nivells d'educació (primària, secundària i universitat), i per això hi ha una gran quantitat d'estudis sobre el seu ensenyament i aprenentatge. Malgrat això no hi ha un clar consens sobre quins models funcionen millor per al seu ensenyament.¹² Dos models es fan servir habitualment: l'hidràulic i el del camp elèctric.

Potser per motius històrics (per l'antiga creença en l'existència d'un fluid elèctric) s'ha estès molt l'ús del model hidràulic o de flux d'aigua¹³¹⁴. Aquest model té força limitacions, ja que no ajuda a discriminar entre corrent elèctric i energia elèctrica, però a més no reuneix els requisits que hauria de tenir un bon model didàctic (com veurem a continuació), ja que pressuposa en l'alumnat alguns coneixements sobre pressió i fluids que possiblement no tenen.

Per altra banda emprar el model de camp elèctric té poc sentit, ja que el concepte de camp és molt abstracte i el seu estudi correspon al nivell de

11. Arons, A. B. i Redish, E. F. (1997). *Teaching introductory physics* (p. 362). Wiley.

12. Mulhall, P., McKittrick, B. i Gunstone, R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science Education*, 31 (4), 575-587.

13. Stannard, P. i Williamson, K. (2006). *Science world* 9 (3.^a ed.). MacMillan

14. Hewitt, P. (1987). *Conceptual physics*. Addison-Wesley

segon de batxillerat. Això l'invalida com model per construir explicacions o com a suport visual per entendre nous conceptes.

Quin pot ser doncs un bon model didàctic inicial?

Vegem primer quins són els criteris per la tria d'un bon model didàctic. Seguint el treball de Christina Hart¹⁵ podem citar sis criteris que fan útil un model:

- El model ha de ser intel·ligible d'entrada a l'alumnat, s'ha de veure com a plausible i ha de ser productiu (que permeti entendre fenòmens, suggereixi qüestions, experiències, ...).
- Els mecanismes emprats en el model han de ser clarament comprensibles a l'alumnat, de manera que puguin emprar-lo fent servir les seves pròpies paraules.
- Ha de permetre articular i raonar sobre les dificultats conceptuals i les idees prèvies de l'alumnat.
- Ha d'estimular la participació, ja que així es promouen converses d'aula més riques.
- Ha d'ajudar l'alumnat a avançar cap a una major comprensió del que són els consensos i models en la ciència.
- Hauria de donar informació sobre la naturalesa i el propòsit dels models en el pensament científic i entre altres coses, al fet que tots els models tenen limitacions i no es poden aplicar més enllà d'aquests límits, i que pot ser que s'hagi d'utilitzar una varietat de models per tal de construir una explicació completa del fenomen.

En l'ensenyament de l'electricitat no hi ha un únic model que ens permeti treballar totes les idees clau i es per això que en aquest text proposem l'ús de tres models materials, cadascun d'ells verifica bona part dels criteris esmentats. Aquests models són:

- **El model de peces** per entendre el corrent, la intensitat, les connexions en sèrie i paral·lel, etc.
- **El model de la corda** per treballar sobre l'energia (el voltatge) de la pila.
- **Un model per a la resistència** que ajudarà a entendre què és una resistència i com afecta al pas del corrent.

15. Hart, C. (2008). Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. *Research in Science Education*, 38 (5), 529-544.

El model de peces¹⁶ és el més productiu i interessant. Aquest model és una de les moltes variants del model de transport d'electrons¹⁷. El repertori inclou variacions sobre el model de multituds de persones en moviment¹⁸: persones movent-se pels passadissos o cotxes a les autopistes, que poden modelar eficaçment la resistència i el seu efecte a tot el circuit. Altres versions utilitzen persones que porten caramels, camionetes que transporten i descarreguen pa, o carros de la compra dels supermercats. Tots ells són models que també poden ajudar a distingir entre càrrega i energia i per tant també a modelar el paper de les piles. Aquí us proposem un model específic per treballar el voltatge, el model de la corda¹⁹.

Respecte a la modelització de la resistència, tot i que es pot treballar amb els altres dos models, us proposem un tercer model específic²⁰ per a això.

16. Ashmann, S. (2009). The pennies-as-electrons analogy. *Science and Children*, 47 (4), 24.

17. Heywood, D. (2002). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education*, 32 (2), 233–246.

18. Gentner, D. i Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. A: D. Gentner i A. L. Stevens (eds.). *Mental models* (pp. 99-129). Erlbaum.

19. Carrier, S. i Rex, T. (2013). Learning the ropes with electricity. *Science and Children*, 50 (7), 36.

20. Choi, K. i Chang, H. (2004). The effects of using the electric circuit model in science education to facilitate learning electricity-related concepts. *Journal of the Korean Physical Society*, 44 (6), 1341.

TRES MODELS BÀSICS PER EL PROFESSORAT FORMADOR

En aquest apartat presentem en detall tres models bàsics per l'ensenyament de l'electricitat. El seu ús didàctic l'explicarem en les activitats corresponents.

El model de les peces

Conceptes que es poden treballar amb el model

El model de les peces que proposem proporciona una visualització mecànica de què és el corrent elèctric, i permet visualitzar multitud d'idees: el moviment col·lectiu dels electrons, el paper de la pila en un circuit, el concepte d'intensitat (vegeu l'explicació del concepte d'intensitat a l'apartat de coneixements bàsics), la necessitat de tenir el circuit tancat, els circuits en sèrie o paral·lel, la resistència i la seva repercussió en la intensitat, etc. Possibilita també una aproximació qualitativa a la llei d'Ohm.

Material

Necessitarem peces, totes iguals i d'una mida que siguin fàcils d'agafar i passar-les de mà en ma. Les peces de Multicub o Lego tenen una mida apropiada. També es poden fer de manera molt econòmica tallant petites peces d'un llistó de fusta, que després caldrà polir-les per evitar fer-se mal amb les estelles. Fins i tot es pot fer amb altres elements com caramels, però va millor si són una mica més grans, ja que se'ls hauran d'anar passant de mà en ma. És convenient que les peces siguin totes elles de la mateixa mida i en una quantitat d'aproximadament el doble del nombre d'alumnes participants en el model.

Regles del model

L'alumnat es col·loca en rotllana formant un circuit tancat (serien les persones «b», «c», «d»... de la figura 4). En un punt de la rotllana poseu una taula on deixareu les peces, aquesta taula representarà la pila i la gestionarà el professorat (seria la persona «a» de la figura 4).

Les peces representen els electrons i els alumnes els àtoms del conductor, i per tant abans de començar cada alumne (àtom) ha de tenir a la mà una peça (un electró).

L'alumnat només pot fer servir una mà (l'altre l'ha de tenir sempre a l'esquena) i a la mà ha de tenir en tot moment un electró i només un (no poden quedar-se sense ni tenir-ne més d'un). El motiu de fer servir només una mà és evitar que l'alumnat acumuli peces a les seves mans. En aquest model tenir una única peça representa l'estat de neutralitat de càrrega a que tendeixen tots els àtoms.

A un extrem de la taula (pila) es situa un bon nombre de peces que el mestre («a») anirà introduint al circuit. Aquest serà l'extrem negatiu de la pila.

El mestre intenta passar una peça a la primera persona del circuit («b»), aquest alumne li ha d'agafar la peça, però abans ha de desfer-se de la que ja te a la mà (recordeu que en tot moment n'ha de tenir una i només una a la mà). Això ho farà passant abans la seva al seu altre veí («c»). Cadascun dels alumnes només intentarà passar la seva peça cap a la dreta si el seu company de l'esquerra li demana que li agafi la seva, si no rep aquesta demanda no passarà la seva peça.

Aquest segon veí («c») es troba en la mateixa situació que («b»): vol agafar la peça que li passa («b») però abans s'ha de desfer de la seva pròpia peça passant-li a («d»), i així successivament.

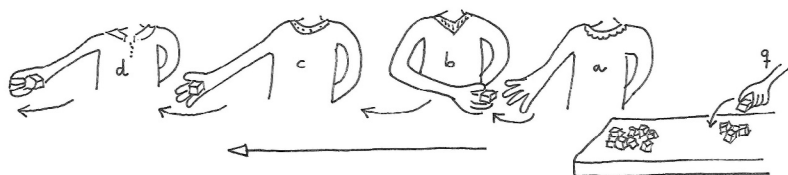


Figura 4. Representació del model de peces. La figura «a» representa el mestre que introdueix peces al circuit d'alumnes («b», «c», «d»...). El darrer alumne «q» ha de deixar sobre la taula les peces que li vagin passant.

En un principi tot el circuit es trobarà en aquesta situació (tots intenten passar la seva peça a l'alumne de la seva dreta) fins al moment en que l'alumne que està a l'altre extrem de la pila («q») deixi la seva peça

a la taula: llavors «q» pot agafar la peça que li intenta passar el seu veí, i així successivament, de manera que s'estableix un moviment col·lectiu de peces que representarà el corrent elèctric.

En aquest moment ja tenim el model en marxa: el mestre («a») va agafant peces de la taula per introduir-les al circuit (simulant la pila) i aquestes haurien d'anar corrent d'alumne en alumne de manera que tot moment cada alumne hauria de tenir una peça a la ma: o bé l'està recollint o bé l'està passant. A l'apartat d'activitats veurem com podem fer servir aquest model.

Fixeu-vos que si tothom segueix correctament les regles del model en el moment en que «a» deixa de passar peces el moviment s'hauria d'aturar sobtadament a tot el circuit, ja que cap alumne rep pressió de la seva esquerra per passar la seva peça cap a la dreta, i a més cada alumne hauria de quedar aturat amb una peça a la ma.

El model de la corda

Conceptes que es poden treballar amb el model

El model de la corda complementa molt bé el de les peces, ja que proporciona un model per entendre l'energia associada al corrent elèctric (voltatge), un concepte que no podem treballar amb el model de les peces.

Material

Una corda de cert gruix, aproximadament d'1cm de diàmetre. Ha de tenir la llargària suficient perquè els participants la puguin sostenir fent una rotllana. Eviteu cordills prims, que poden cremar o tallar les mans. Una corda d'escalada pot anar molt bé. Unirem els seus extrems fent un llaç tancat de corda.

Regles del model

L'alumnat es situa en cercle subjectant el llaç de corda.

Un d'ells, el que fa de pila, estira de la corda fent-la circular, mentre la resta d'alumnes deixen que la corda llisqui per les seves mans.

Així, l'alumne que estira la corda està subministrant energia al sistema i l'està fent circular, representant el que fa la pila amb els electrons del circuit: crear un moviment conjunt de tots ells al llarg dels cables.

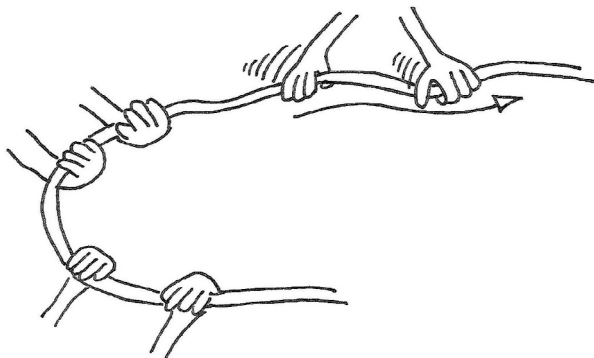


Figura 5. Representació del model de la corda. Una persona va estirant del llaç de corda per fer-la circular en un sentit. Mentre les altres senzillament aguanten la corda amb les mans perquè no caigui.

La fricció entre la corda i les mans dels alumnes sol ser gran, i en general costa fer circular la corda. Aquesta elevada fricció farà que ràpidament l'energia aparegui com a calor, així que cal tenir cura que ningú no es cremi les mans.

El model de resistència

Aquest model és de fet una escenificació dels electrons circulant per una resistència.

Conceptes que es poden treballar amb el model

Entendre què és una resistència i com afecta al pas del corrent elèctric. Constatar les pèrdues d'energia quan un corrent travessa una resistència. Comprovar que una resistència elevada comporta una disminució de la intensitat del corrent. Si es fa servir el model en cursos més avançats la intenció dels electrons de travessar la resistència pot ser vista com una analogia amb el camp elèctric que mou els electrons en un sentit.

Material

No cal cap material. És un model que es fa amb l'alumnat. Només cal buscar un passadís o un espai prou ampli per poder situar una part de l'alumnat dempeus, en posicions fixes simulant els àtoms d'un fil conductor i amb espai perquè la resta del grup pugui moure's entre aquells, simulant el moviment dels electrons.

Regles del model

Es fan dos grups amb l'alumnat: els que faran el paper d'àtoms del fil conductor resistent i els que faran d'electrons.

Marqueu un passadís d'uns dos o tres metres d'amplada on es situaran, en posicions fixes, els alumnes que representen els àtoms de la resistència.

La resta de grup representarà els electrons, que hauran de passar d'un extrem a l'altre al llarg de la resistència. En desplaçar-se, els electrons han de fer en tot moment trajectes rectilinis. En aquests trajectes aniran topant amb els àtoms de la resistència, que els desviaran de la seva direcció inicial i els faran descriure trajectòries erràtiques que dificultaran el seu pas a través de la resistència.

IDEES CLAU I LA SEVA RELACIÓ AMB ELS MODELS

A la formació del professorat es molt important que sigui capaç de identificar les idees clau de cadascun dels temes que ha d'ensenyar. Les idees clau són una selecció d'idees fonamentals necessàries per estructurar els conceptes bàsics i que proporcionen el marc sobre el que construir posteriorment conceptes més complexes per aprofundir en el tema. Establir una bona selecció d'idees clau és important a l'hora de fer el disseny de la planificació didàctica.

És possible que cadascuna d'elles calgui treballar-la repetidament al llarg del tema. Assimilar les idees clau donarà a l'alumnat eines per aprofundir i construir nous coneixements, ja que en darrera instància en són els fonaments.

Les idees clau que proposem estan pensades per a un nivell introductor, són força qualitatives perquè s'han triat pensant en una primera aproximació a l'electricitat. És ben possible que per fer l'estudi a un nivell més avançat calgui canviar, quantificar o afegir algunes altres idees (per exemple si es planteja un estudi més aprofundit del voltatge o de la llei d'Ohm).

Llistem a continuació les cinc idees clau que proposem (taula 1). Les idees 1 a la 4 fan referència a l'origen i naturalesa del corrent elèctric, mentre que la 5 va específicament a entendre què és la resistència elèctrica. Com que tots els conductors i dispositius presenten una certa resistència elèctrica, aquesta també ha de formar part de les idees clau.

Taula 1. Relació d'idees clau i models

Idea clau	Models relacionats
1 El corrent elèctric és un moviment conjunt dels electrons dels àtoms del material.	Peces
2 Aquest moviment és col·lectiu: es mouen tots alhora i sempre d'un extrem a l'altre de la pila a través del circuit.	Peces, corda

Idea clau	Models relacionats
3 Només es pot establir un corrent si el circuit està tancat, perquè només així els electrons poden anar passant a través dels àtoms veïns del material conductor fins retornar a l'altre extrem de la pila.	Peces
4 La pila posa en moviment alhora tots els electrons del conductor.	Corda
5 Les resistències posen obstacles al moviment dels electrons ocasionant dissipació d'energia.	Peces, corda, resistència

Les idees clau 1 i 2 proporcionen a l'alumnat una explicació senzilla de la naturalesa del corrent elèctric alhora que, amb l'ajuda del model de peces, ofereix una imatge mecànica del corrent que serveix per a la comprensió de diversos conceptes lligats als circuits i la intensitat.

La idea clau 3 és important per entendre el disseny de circuits i es complementa amb la idea clau 2. Aquesta idea es més entenedora si es treballa amb el model de peces i fent referència al que haurem explicat sobre els àtoms i els seus electrons.

Amb les idees clau 1, 2 i 3 podem aprofundir en el concepte d'intensitat, també dels tipus de connexions, però no serveix per treballar cap concepte relacionat amb l'energia elèctrica, ni per tant amb els generadors. És per això que cal introduir la idea clau 4.

La idea clau 4 connecta amb la noció d'energia elèctrica i per tant serveix per introduir el concepte de voltatge (trobareu l'explicació d'aquest concepte a l'apartat de coneixements bàsics).

Finalment la idea clau 5 és necessària perquè tot conductor o dispositiu elèctric presenta certa resistència al pas del corrent, encara que sigui petita. Cal doncs treballar el concepte de resistència elèctrica, entendre'n el seu significat i la seva relació amb el voltatge i la intensitat. Aquesta idea clau ens permet entendre més endavant la llei d'Ohm.

Les cinc idees clau presentades estan íntimament relacionades amb els tres models que proposem: el de les peces, el de la corda i el de la resistència. En la següent figura (figura 6) hem descrit les relacions entre les idees clau i els models. L'esquema admet una doble lectura: ens permet veure quines idees treballa cadascun dels models o bé amb quins models podem treballar cadascuna de les idees clau.

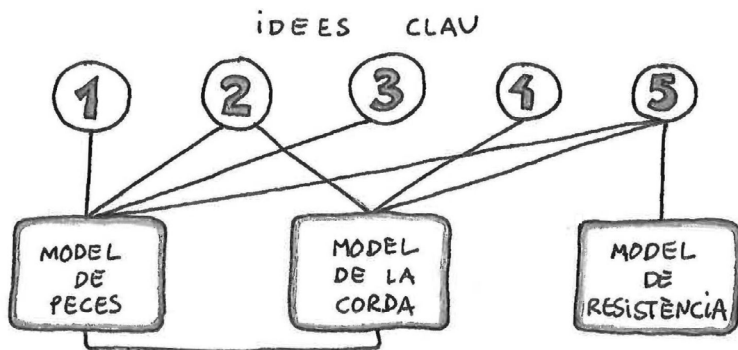


Figura 6. Relacions entre idees clau i models.

El model de les peces és el que permet treballar més idees clau: 1, 2, 3 i 5, relacionades amb la naturalesa del corrent, els electrons, la intensitat, la resistència i les connexions en sèrie i en paral·lel. Però tot i el seu abast, no serveix per parlar del concepte de voltatge (idea 4), d'aquí la introducció del model de la corda.

El model de la corda, en canvi, es sobretot per treballar el voltatge, i ens ajuda a abordar les idees 2, 4 i 5. També té altres possibilitats, ja que es podria fer servir en el batxillerat como model mecànic inicial per introduir el paper del camp elèctric en el conductor, que de fet és el responsable que s'estableix el corrent.

El model de resistència és específic per treballar la idea 5. Ara bé, això no vol dir que el concepte de resistència només es pugui treballar amb aquest model, ja que els altres dos també poden servir per treballar la idea 5.

Pensem que una adequada combinació dels models pot ser molt útil per aconseguir una bona comprensió de les idees bàsiques sobre el corrent. De fet es podria prescindir del model de resistència, però considerem que com més oportunitats de visualitzacions diferents s'ofereixin a l'alumnat tant més bona pot ser la comprensió d'aquests conceptes i per tan una manera d'atendre millor la diversitat de l'aula.

CONeixEMENTS BàSICS D'ELectRICITAT PER AL PROFESSORAT

Per treballar amb comoditat el tema el professorat ha de tenir clars uns coneixements mínims d'electricitat, per això en aquest apartat fem un resum del que hem considerat les idees més importants. Les explicacions, en un llenguatge assequible, mantenen el rigor científic necessari a primària.

Sobre l'estructura de la matèria

A mode de llistat podríem seleccionar les següents idees sobre l'estructura atòmica de la matèria:

- La matèria està feta d'àtoms.
- Els àtoms tenen una estructura amb un nucli i uns electrons que orbiten al seu voltant.
- El nucli de l'àtom està format per protons (càrrega positiva) i neutrons (sense càrrega).
- Els electrons que orbiten al voltant del nucli tenen càrrega negativa.
- Els àtoms tendeixen a tenir càrrega total nul·la, és a dir, cada àtom contindrà tants electrons com protons. Si un àtom perd un electró intentarà atrapar-ne un altre per tornar a tenir càrrega total zero.
- En el nucli, protons i neutrons estan molt fortament units, són molt difícils de separar i no juguen cap paper en el corrent elèctric.
- Els electrons que orbiten al voltant del nucli estan més feblement units a l'àtom que no pas els protons del nucli atòmic i són aquests electrons els que formen part del corrent elèctric.
- En alguns àtoms els electrons més allunyats del nucli poden ser arrencats amb facilitat de l'àtom i ser compartits amb els àtoms veïns. Aquests electrons són els que constituïran el corrent elèctric.

Sobre la càrrega elèctrica

Les partícules que formen la matèria tenen diverses propietats que les caracteritzen. Les dues més conegudes i que a nivell de primària ens poden interessar són la massa i la càrrega elèctrica.

Totes les partícules que formen els àtoms tenen massa, però, com ja hem dit abans, no totes les partícules tenen càrrega elèctrica: n'hi ha que no en tenen (diem que són neutres), n'hi ha que tenen càrrega elèctrica negativa i n'hi ha que la tenen positiva.

Cal remarcar que «càrrega» és un constructe abstracte i no una substància: és una propietat que inferim en veure «com» aquests objectes interaccionen els uns amb els altres, però no podem dir «què» és.





Els científics del segle XVII van descobrir que quan fregaven alguns materials (vidre, catxú, ambre...) amb draps de determinats teixits (llana, seda...) alguns d'aquests materials s'atreien entre ells i d'altres es repel·lien. Així van concloure que hi havia dos tipus de càrrega elèctrica que van anomenar «positiva» i «negativa». Aquests són termes completament arbitraris i bé es podien haver anomenat «vermella» i «blava» o «A» i «B». En aquestes experiències van observar que si les càrregues eren d'igual tipus es repel·lien però si eren de diferents tipus s'atreien.

Freqüentment l'alumnat tendeix a identificar o relacionar les càrregues elèctriques amb els pols magnètics dels imants, però cal tenir present que les càrregues elèctriques i els imants són de naturalesa diferent i convé no barrejar el seu estudi, ja que això pot portar a confusions en nivells més avançats. En cursos preuniversitaris ja estudiaran la relació profunda que hi ha entre magnetisme i electricitat, però a nivells inicials els podem considerar com dos fenòmens diferents.

Sobre la simbologia emprada en la representació dels circuits.

Per representar els elements dels circuits elèctrics es fa servir una simbologia estàndard (taula 2). Els símbols dels elements que farem servir venen resumits a la següent taula.

Taula 2. Relació d'elements i símbols

Element	Símbol
Interrupctor	
Pila	
Llum	
Resistència	

Sobre els circuits: branques i circuits en sèrie i en paral·lel.

Els circuits elèctrics sempre han de ser trajectes tancats, això vol dir que sortint d'un punt qualsevol, sempre hi puguem retornar, havent passat per la pila i sense haver de recorre'l enrere.

El circuit més senzill és el que en diem d'una única branca: un únic llaç tancat (figura 7).

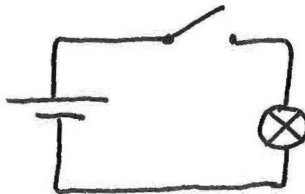


Figura 7. Circuit elèctric simple.

El circuit anterior es pot bifurcar en un punt qualsevol, com pot ser el punt A del següent dibuix (figura 8). Ambdues branques de la bifurcació s'han de tancar a través de la pila, si una de les branques no ho fa no hi haurà corrent en aquell llaç de fil (figura 9).

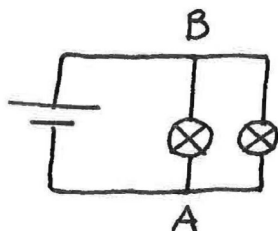


Figura 8. Circuit elèctric amb dues branques. Per les dues hi pot circular el corrent.

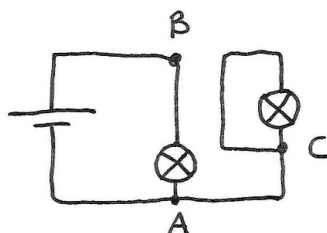


Figura 9. A través de la branca AB circularà el corrent (el llum s'encendrà), però no a través de la branca AC ja que no es tanca a través de la pila (el llum no s'encendrà).

En un cas com el de la figura 8 direm que el circuit té dues branques.

En general, els circuits poden ser complexos i tenir moltes branques interconnectades, però si ens limitem als casos més senzills, distingirem dos tipus de connexions: circuits en sèrie i en paral·lel.

Quan tots els elements del circuit estan connectats un darrere l'altre, en filera, com es mostra a la figura 10, direm que els elements estan connectats en **sèrie**.

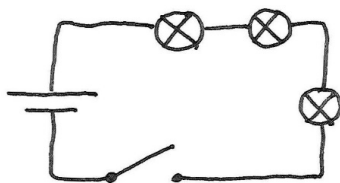


Figura 10. Circuit elèctric amb tres làmpades connectades en sèrie
Ara imagineu que en un circuit d'una única branca, en un punt A hi ha una o més bifurcacions que es tornen a connectar més endavant en el punt B de la branca anterior, tal com es veu a la figura 11.

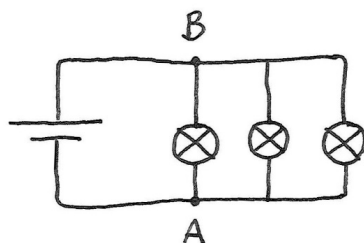


Figura 11. Circuit elèctric amb tres làmpades connectades en paral·lel.

El corrent pot circular ara per qualsevol dels tres camins entre A i B, llavors direm que aquestes tres bombetes estan connectades en **paral·lel**.

Sobre conductors i aïllants

Hi ha materials fets d'àtoms dels quals es poden arrencar amb facilitat els electrons, són els elements que s'anomenen «conductors». En són exemple els metalls: el coure, la plata, el ferro, l'or, l'estany...

En canvi hi ha altres materials dels que no és tan fàcil arrencar electrons. D'ells en diem que són materials «aïllants», com per exemple el vidre.

Per tal que l'alumne entengui com és que hi ha materials conductors i d'altres aïllants és important deixar clares les següents idees: els electrons són molt lleugers i en alguns àtoms (per exemple en els metalls) els electrons més allunyats del nucli poden ser arrencats fàcilment i passar d'un àtom al seu veí amb molta facilitat. Amb els materials con-

ductors es construeixen els cables i els dispositius elèctrics. Contràriament hi ha àtoms que tenen fortament lligats tots els seus electrons i es fa molt difícil arrencar-ne i fer-los circular cap als àtoms veïns. En seria un exemple el recobriment de plàstic dels cables dels electrodomèstics, que evita que ens passi el corrent a nosaltres.

No podem posar una frontera clara i ben definida entre conductors i no conductors, sinó que trobem tota una gradació: des de materials que són molt bons conductors (plata) fins a materials molt aïllants (com l'aire o el sofre), passant per d'altres que sense ser aïllants són menys conductors (l'acer inoxidable).

Així doncs, ser aïllant o conductor no és un absolut i un mateix material pot ser aïllant a voltatges baixos però permetre el pas de corrent quan se'l sotmet a voltatges elevats. L'aire en pot ser un exemple: si separem dos cables en el circuit que fem amb els nostres alumnes quedarà un tros d'aire entre ells, el circuit queda obert i el LED s'apagarà perquè el corrent no hi podrà circular, en canvi, si el voltatge fos de desenes de milers de volts, el corrent sí que podria circular a través de l'aire i això és justament el que passa amb els llamps: que el corrent elèctric passa dels núvols a terra a través de l'aire.

Sobre el corrent elèctric

Anem a veure ara què és el corrent elèctric. El corrent elèctric consisteix en un moviment conjunt dels electrons d'un material conductor (**primera idea clau**), però hem dit abans que els electrons estan units a l'àtom, de manera que per viatjar a través del material prèviament els electrons han de ser arrencats dels àtoms. Però com s'aconsegueix arrencar electrons d'un àtom?

Com hem comentat a l'apartat que fa referència a la càrrega elèctrica, els científics del segle XVII van arribar a la conclusió de l'existència de dos tipus de càrrega elèctrica. En aquest cas aconseguïen acumular càrregues en objectes fregant-los, aquesta és doncs una primera manera d'arrencar electrons dels àtoms: mecànicament, per fregament. En les experiències d'electricitat estàtica els objectes queden carregats elèctricament però no s'estableix cap corrent elèctric permanent com suc-

ceeix en els circuits, ja que un cop es descarrega l'objecte cal tornar a fregar-lo per carregar-lo. Tot i que en aquestes experiències també estan implicats els electrons no són adequades per crear el corrent elèctric constant i controlable necessari en els circuits elèctrics. És el que s'anomena electricitat estàtica.

Una segona manera d'arrencar electrons dels àtoms és a través de determinades reaccions químiques. A les piles es produeixen unes reaccions químiques capaces d'acumular electrons en un dels seus dos terminals. A diferència del mètode de fregament amb les piles s'aconsegueix una separació continuada i constant de les càrregues elèctriques. Mentre hi hagi prou reactius la reacció es mantindrà en marxa, i proporcionarà aquest desequilibri de càrrega entre els seus extrems. Amb la reacció química les piles proporcionen l'energia necessària per mantenir aquest desplaçament de càrregues i empènyer els electrons de tot el conductor al llarg del circuit. Aquest moviment és el que constitueix el corrent elèctric.

Podem fer-nos una imatge del corrent elèctric imaginant els àtoms d'un cable conductor (figura 12) dels quals han estat arrencats alguns electrons dels seus àtoms. Com que es tracta d'un material conductor els electrons podran ser compartits amb els àtoms veïns. La pila crea una empenta sobre tots ells, fent-los moure en el mateix sentit al llarg del cable. Cadascun dels àtoms tendeix a mantenir-se neutre (amb càrrega total nul·la), de manera que els llocs buits que deixen els electrons arrencats tendeixen a ser ocupats per electrons arrencats d'àtoms veïns, de manera que veuríem un moviment col·lectiu d'electrons que van saltant d'àtom en àtom, tots alhora en una mateixa direcció: això és un corrent elèctric (**segona idea clau**).

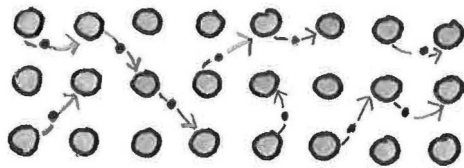


Figura 12. Moviment dels electrons al llarg del conductor. Representació d'un corrent elèctric.

És important remarcar que els electrons estan en tots i cadascun dels àtoms del cable i, per tant, en establir un corrent elèctric hi participen electrons de tot el conductor del circuit. Aquesta idea és la que hem recollit com a **quarta idea clau**.

Només podrem establir corrent en un circuit si els seus cables defineixen un camí tancat. Aquesta és la **tercera idea clau** i que cal comprendre bé: com que es tracta d'un moviment conjunt de tots els electrons al llarg del cable conductor, aquest només es podrà produir si el circuit està tancat. Si tallem el circuit (per exemple amb un interruptor) el corrent s'interromp instantàniament a tot el circuit. La idea es pot entendre molt bé amb el model de la corda, ja que aturant-la en un punt qualsevol s'interromp instantàniament el moviment a tot el circuit. En el model de les peces també hauria de funcionar, però l'experiència ens mostra que encara que s'interrompi el pas de peces en un punt sovint els participants segueixen passant les seves peces, infringint les regles del model i fent que no es vegi aquest efecte en el model.

Un darrer punt a tractar sobre el corrent elèctric és la seva aparent velocitat infinita: pensem en els llums d'un gran edifici, quan tanquem un interruptor els llums s'encenen tots ells aparentment de manera instantània. Això porta a l'errònia idea que els electrons circulen a una gran velocitat, idea que estaria lligada a la creença que els electrons surten de la pila i recorren el circuit. El fet però és que cadascun dels electrons es mou molt poc a poc, però com que es mouen alhora els electrons de tot el cable del circuit (idees clau 2 i 4), els llums s'encenen tots alhora.

Sobre la intensitat del corrent elèctric

El concepte d'intensitat és important i fàcilment comprensible per als alumnes si fem servir el model de peces (com s'explicarà a l'activitat 5). De manera qualitativa, la intensitat d'un corrent és una mesura de quantes càrregues passen a través d'aquell cable per unitat de temps. Per posar una analogia, seria com comptar quants cotxes passen per un punt d'una carretera en sentit nord els dimecres entre les 8h i les 9h. Si imaginem un circuit format per una única branca com el de la figura 13,

la intensitat que hi haurà en tots els punts del circuit serà la mateixa: és a dir, tant si mesurem la intensitat en el punt A, el B o qualsevol altre obtindrem el mateix valor (aquesta és una idea sobre la qual convé insistir perquè quedi ben clara, i per això pot anar bé referir-se al que observem en el model de peces).

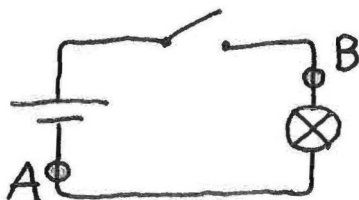


Figura 13. Circuit elèctric d'una branca.

Per altra banda, imaginem que, en un punt qualsevol d'aquest circuit, s'interromp el corrent (amb un interruptor, tallant el cable...): el corrent deixarà de fluir instantàniament en tots els punts del circuit i la intensitat serà zero. Per fer-vos una imatge d'aquest fet recordeu que es tracta d'un moviment col·lectiu: podeu fer referència a la corda de l'activitat 10 on això queda ben clar, o bé una cadena que llisca, en que cada baula seria un electró. Si aturem una qualsevol de les baules s'aturarà instantàniament el moviment en totes les baules de la cadena (tots els electrons), tant les que hi ha abans com després de la baula que hem aturat.

Com mesurem la intensitat elèctrica en un circuit? L'aparell s'anomena amperímetre i ens dona una mesura de la quantitat de càrrega que passa per un punt del cable en la unitat de temps. Igual com fariem en l'analogia de la carretera, si volem mesurar la intensitat de cotxes ens haurem de situar en la carretera per veure passar tots i cadascun dels cotxes. De la mateixa manera haurem de connectar l'amperímetre en sèrie en el circuit (figura 14), de forma que tota la càrrega passi al seu través i es pugui fer el recompte correcte.

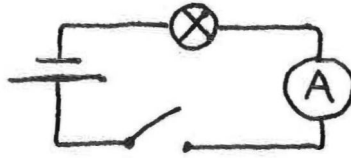


Figura 14. En un circuit l'amperímetre sempre ha d'estar connectat en sèrie.

Els amperímetres de debò mesuren de manera diferent a com ho fem nosaltres en el model de peces. La raó és que la càrrega elèctrica d'un electró és enormement petita. Per veure com n'és de petita penseu que la unitat de càrrega és el Coulomb (C) que se'n diu així en honor a Charles-Agustin de Coulomb (França, 1736-1806). Doncs bé, per aconseguir 1C de càrrega negativa hauríem d'ajuntar: 6.241.509.074.460.762.607 electrons! A diferència del que farem amb el nostre model de peces (activitat 5) l'amperímetre real no compta els electrons un a un (com sí que fem nosaltres en el model), sinó que compta coulombs, és a dir, grups de 6.241.509.074.460.762.607 electrons. Així doncs l'amperímetre ens diu quants coulombs passen en un segon a través d'aquell cable. Si hi passa 1C cada segon es diu que hi circula 1 Ampere, és a dir, $1A = 1C/s$. Aquesta és la unitat d'intensitat de corrent elèctric, l'Ampere, i d'aquí el nom d'amperímetre per l'aparell que la mesura.

Sobre la resistència elèctrica

Abans hem distingit entre conductors (materials pels que hi circula fàcilment el corrent elèctric) i aïllants (materials en els que el corrent elèctric no hi circula o molt poc). Aquesta característica dels aïllants d'oposar-se al pas d'un corrent al seu través és el que se'n diu resistència: el coure presenta poca resistència, però la fusta o el plàstic molta.

Es diu que la resistència d'un material és inversament proporcional a la seva conductivitat: com més bon conductor és un material menys resistència té i viceversa.

Per entendre què és la resistència ens podem imaginar els electrons movent-se a través d'un material. En el seu moviment els electrons tro-

ben els àtoms del material que són com obstacles amb els qui topen, entorpint el seu pas (figura 12). En aquest viatge accidentat els electrons van perdent energia cada cop que xoquen, en aquests xocs fan vibrar els àtoms del material, i com podeu recordar del model corpuscular de la matèria, l'agitació de les partícules és el que anomenem calor: el conductor s'escalfa.

En poques paraules: quan un corrent circula per un conductor que tingui una certa resistència, part de l'energia es perd en forma de calor. Si la resistència és gran, el conductor s'escalfarà molt i això, per exemple, és el que s'aprofita en les torrades de pa (si mireu a dins hi veureu uns fils conductors que de tant que s'escalfen amb el corrent es posen al roig) o per escalfar l'aire en els assecadors de cabell.

La resistència elèctrica es mesura en Ohms, simbolitzat per la lletra grega Ω , en honor a Georg Simon Ohm, que va descobrir el 1826 una relació senzilla, però molt important, entre el voltatge, el corrent i la resistència (la llei d'Ohm).

Sobre el voltatge

El voltatge és el concepte més abstracte en aquest tema del corrent elèctric.

Hem dit abans que el corrent elèctric és el moviment col·lectiu dels electrons en el conductor, però què és el que fa moure els electrons?

Per moure qualsevol objecte en la vida quotidiana ens cal una certa energia. Doncs bé, per moure els electrons (que són partícules amb massa) també cal energia. Aquesta energia és la que subministren les piles i la quantitat d'energia que subministra la pila a cada electró és el que anomenem voltatge. Cal deixar ben clar que el voltatge no flueix a través del circuit, el voltatge és aquella «pressió elèctrica» (característica de cada pila) que provoca el moviment dels electrons en el circuit.

Per entendre-la ens podem remetre al model de la corda que presentem a l'activitat 8. En el model l'alumne que estira de la corda representa la pila, que inverteix una quantitat d'energia en moure la corda. Els elec-

trons del circuit venen representats per la corda i, com els electrons que formen el corrent elèctric, tota la corda es mou alhora. Si en qualsevol punt de la corda s'interromp el moviment, la corda s'atura instantàniament en tota la seva longitud igual com succeeix amb el corrent quan un interruptor obre el circuit.

La unitat de mesura del voltatge és el Volt, i el simbolitzem amb la lletra V . L'aparell per mesurar-lo és el voltímetre. A l'escola fem servir voltatges baixos, de l'ordre de $3V$ a $9V$.

Hi ha piles de poc voltatge (per exemple les AA de $1,5V$) que subministren poca energia al corrent elèctric. Amb elles si tallem un cable d'un circuit, els electrons no podran travessar d'un extrem a l'altre travessant l'aire, i el motiu és que tenen poca energia. Imaginem ara un voltatge de milions de volts: els electrons tindrien molta energia i podrien saltar a través de l'aire fins l'altre extrem del cable. Això és el que passa en els llamps: el voltatge entre núvols o entre els núvols i la terra és de milions de volts i el corrent pot saltar a través de l'aire que habitualment és aïllant.

Sobre la relació entre la intensitat, el voltatge i la resistència

La relació entre aquestes tres magnituds ve donada per l'anomenada llei d'Ohm, que ens diu que els seus valors estan relacionats d'aquesta manera: $V = I \cdot R$ [1].

Encara que a primària no cal fer un estudi detallat de la llei d'Ohm, si ho veieu adequat per al vostre curs, hi podeu fer una aproximació qualitativa amb el model de les peces (vegeu l'activitat 11).

La llei d'Ohm estableix una relació entre les tres quantitats bàsiques en un circuit: el voltatge V de la pila, la resistència R que hi ha en el circuit i la intensitat I que hi circula.

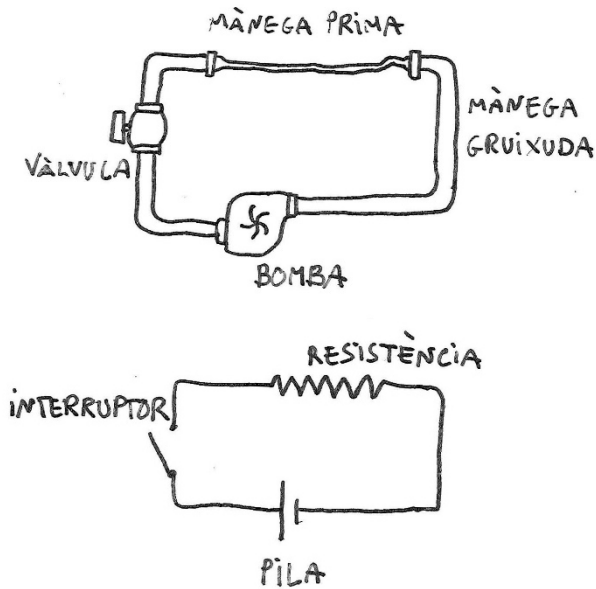


Figura 15. En un circuit hidràulic la mànega prima presenta resistència al flux d'aigua que ve impulsat per la bomba, reduint el flux d'aigua respecte al que hi hauria si tota la mànega fos gruixuda. El mateix succeeix amb el corrent elèctric: la intensitat del corrent (flux d'aigua) produït per la pila (bomba) serà menor si hi ha una resistència (mànega prima) que si no n'hi ha (mànega gruixuda).

Una manera fàcil d'entendre aquesta relació és fent l'analogia amb un circuit hidràulic. Imaginem un circuit amb una sola branca, una resistència i una pila d'un determinat voltatge. Podem fer un paral·lelisme amb un circuit hidràulic amb una bomba i una mànega més prima que la resta de circuit (figura 15). Igual que la bomba fa circular l'aigua per les canonades, la pila és l'element que genera la «pressió» que fa moure els electrons en el circuit, creant el corrent, i aquesta pressió és tant més gran com major sigui el voltatge. La mànega prima té el mateix efecte sobre l'aigua que la resistència sobre el corrent elèctric: en redueix el flux. La pila provoca el moviment de les càrregues amb una certa energia, i aquesta «pressió elèctrica» que fa la pila és constant. Amb una mateixa «pressió», si hi posem una resistència (que dificulta el pas del corrent) la intensitat (el flux d'electrons) disminuirà, de la mateixa manera que una mànega prima redueix el flux d'aigua.

És a dir: amb un voltatge fixat si augmenta la resistència disminueix la intensitat i viceversa. Això és que expressa la relació [1]: si V és constant, quan augmenti la resistència R el valor de la intensitat I haurà de disminuir i, recíprocament, si disminueix R augmentarà I .

Vegem un exemple d'aplicació de la llei d'Ohm en un context quotidià: Perquè hem d'evitar tocar objectes elèctrics amb les mans mullades? La resistència elèctrica del cos humà pot ser molt variable: si la pell està molt seca pot ser de 500.000Ω , mentre que si està mullada amb aigua de mar és de només uns 100Ω . Si toquem una pila de $12v$ amb les mans seques no notarem res (la resistència és tan elevada que la intensitat serà molt petita), però tocar la pila de $12V$ amb les mans humides pot ser molt desagradable ja que la resistència és molt menor i la intensitat de corrent que circula pel nostre cos és molt més gran.

RESUM DE CONCEPTES BÀSICS I ACTIVITATS RELACIONADES

Aquest llistat pot servir com una guia resum de les idees importants i amb quines activitats treballar-les (taula 3). El llistat no és exhaustiu ni tancat i segons el nivell d'aprofundiment que us plantegeu fer en el tema podeu prendre'n només una selecció de totes les llistades o bé el podeu modificar incloent-ne de noves.

Taula 3. Resum de conceptes i d'idees clau

Conceptes bàsics a desenvolupar per l'alumnat		
Tema	Idea a treballar	Activitat relacionada
El corrent elèctric	Anomenem corrent continu a aquell que és sempre en el mateix sentit al llarg del circuit, com el subministrat per les piles.	3, 5
	La pila posa en moviment el conjunt d'electrons que ja estan en els àtoms tot al llarg del conductor.	3, 4, 5
	El desplaçament de cadascun dels electrons al llarg del conductor és lent, degut en part a la gran quantitat de xocs amb els àtoms del conductor que els desvien constantment de la seva trajectòria. L'aparença d'instantaneïtat ve pel fet que es tracta d'un moviment col·lectiu tot al llarg del conductor.	3, 4, 5
Intensitat	La intensitat és la quantitat de càrrega que passa per un conductor en un determinat període de temps.	5
	En un circuit d'una sola branca la intensitat és la mateixa en qualsevol punt del circuit.	5, 6
	La seva unitat de mesura és l'Ampere (A). L'aparell que la mesura és l'amperímetre.	5
	La mesura d'intensitat s'ha de fer sempre connectant l'amperímetre en sèrie a la branca en que es fa la mesura.	5, 6
	En passar a través d'una resistència, la intensitat no canvia, és la mateixa a banda i banda, ja que es tracta del nombre d'electrons que hi circulen.	4, 5

Conceptes bàsics a desenvolupar per l'alumnat		
Tema	Idea a treballar	Activitat relacionada
Resistència	La resistència és l'oposició que presenta el material al pas del corrent elèctric.	4, 9
	Hi ha materials en els quals el corrent pot circular sense gaires dificultats ni pèrdues d'energia: són els materials conductors.	4, 8, 9
	Hi ha materials en els quals el corrent hi circula amb dificultats i amb pèrdues d'energia: són els materials aïllants.	4, 8, 9
	No hi ha materials perfectament aïllants o conductors. Hi ha una gradació entre ambdós.	4, 8, 9
	Quan en un circuit s'hi afegeix una resistència la intensitat en el circuit disminueix.	4, 5, 11
Voltatge	El voltatge és l'energia subministrada per la pila a cadascuna de les càrregues.	3, 10
	El voltatge és el responsable del moviment de les càrregues en el circuit.	10
	La seva unitat de mesura és el Volt (V). L'aparell que la mesura és el voltímetre.	-
	Les piles creen el voltatge per una reacció química al seu interior.	-
	Quan la pila s'escalfa (el voltatge es fa zero) s'atura el corrent elèctric, es a dir el moviment dels electrons.	10, 11
Circuits elèctrics	Direm que un circuit està tancat si el podem resseguir amb continuïtat des d'un punt fins a tornar al punt de partida, passant per la pila i sense tornar enrere. Si no és així diem que el circuit està obert.	4
	Per obrir i tancar circuits fem servir l'interruptor.	4
	En els circuits elèctrics hem de tenir almenys una pila.	3, 4
	Un circuit elèctric només funcionarà si està tancat.	3
	Si en un punt del circuit hi ha una bifurcació i es separa en dues branques que es tornen a unir més endavant, direm que aquelles dues branques estan connectades en paral·lel.	4
	Si en un circuit no hi ha cap bifurcació diem que és un circuit amb els elements connectats en sèrie.	6
	En un circuit d'una única branca la intensitat és la mateixa en tots els seus punts.	5, 6
	En un circuit amb dues branques en paral·lel el corrent es reparteix entre les dues branques, essent la intensitat en cadascuna d'elles una part de la inicial. El valor en cadascuna d'elles depèn de la resistència de la branca. En el punt on s'uneixin de nou les dues branques la intensitat torna a tenir el seu valor original, que és la suma de les dues intensitats.	6, 11

LA IMPORTÀNCIA DELS MATERIALS DE LABORATORI

Un bon ensenyament experimental demana d'un espai i equipament adequats. En el cas de l'electricitat aquest material és molt senzill: cables, interruptors, llums... i si bé en trobem a qualsevol ferreteria, no sempre són els més adequats.

El bon material didàctic hauria de reunir dues característiques: a) ser fiable i robust davant l'ús continuat dels alumnes i b) ser transparent: evitar caixes negres per poder veure l'interior dels dispositius sempre que sigui possible.

A l'hora d'afrontar el treball experimental amb el corrent elèctric podem adoptar dues estratègies, cadascuna té els seus avantatges i inconvenients: una és construir el nostre propi material per fer els circuits, l'altra comprar material ja fet.

Si optem per construir els nostre propi material: en aquest cas proposarem a l'alumnat que fabriqui els seus propis interruptors i connexions. Fent-ho així estarem treballant les habilitats manuals i experimentals, així com les destreses constructives i la imaginació. És una via molt interessant perquè l'alumne ha d'entendre bé què és i com funciona un interruptor, una connexió, un polsador, etc. i imaginar com construir-lo (requisit b). Un altre avantatge de fer-ho així és el baix cost del material, ja que es poden emprar clips, xinxetes, etc. La contrapartida és que sovint aquests materials casolans són febles i poc fiables. Són habituals els mal contactes, que a l'hora de fer i provar circuits poden portar més maldecaps dels que voldríem, fins i tot malentesos en el funcionament dels circuits.

Si optem per comprar material ja fet: la fiabilitat de les connexions no serà cap problema, per tant podreu centrar tots els esforços en la comprensió del circuit elèctric. Si feu servir un bon material didàctic complirà be els dos requisits abans citats. El material que trobem a les ferreteries compleix molt bé el requisit (a) de fiabilitat, però no són transparents: són unes caixes tancades amb dos o més contactes en que no es veu què passa quan premem l'interruptor. En canvi a la figura 16 veiem un exemple d'interruptor que compleix els requisits didàctics (a) i (b).

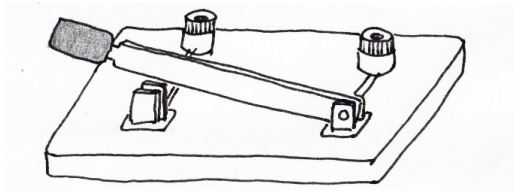


Figura 16. Tipus d'interruptor que s'adequa bé als requisits didàctics.

II. PROPOSTA D'ACTIVITATS

	Idees clau	Activitat associada	Models relacionats
1	El corrent elèctric és el moviment dels electrons dels àtoms del material.	3, 5, 6, 10	Peces
2	Aquest moviment és col·lectiu: es mouen tots alhora i sempre d'un extrem a l'altre de la pila a través del circuit.	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Peces, corda
3	Només es pot establir un corrent si el circuit està tancat, perquè només així els electrons poden anar passant a través dels àtoms veïns del material conductor fins retornar a l'altre extrem de la pila.	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Peces
4	La pila no proporciona el corrent del circuit sinó que posa en moviment els electrons del conductor (els electrons no surten només de la pila).	6, 10	Corda
5	Les resistències posen obstacles al moviment dels electrons ocasionant dissipació d'energia.	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Peces, corda, resistència

DIBUIXEM L'ELECTRICITAT

Com ens poden ajudar a ensenyar l'electricitat les idees inicials dels infants? Explorem les idees dels infants.

Abans de començar a explicar el tema al nostre alumnat és interessant conèixer quina és la idea que té sobre el corrent elèctric. Aquesta activitat ens permetrà saber de quins coneixements i idees parteix el nostre alumnat i per tant a quines concepcions ens haurem d'afrontar. Les més freqüents estan explicades a l'apartat «Les idees de l'alumnat i les dificultats per entendre el corrent elèctric». Conèixer les seves idees ens ajuda a comprendre el perquè de les seves explicacions i això ens permet guiar-los millor en la construcció del model físic del corrent elèctric.

El dibuix es una bona eina per esbrinar aquestes idees. Amb una explicació oral poden fer servir paraules que ens donin la falsa impressió d'un cert coneixement, tot i que no hi hagi una comprensió a fons. El dibuix, en canvi, demana a l'infant concretar aquella imatge, sovint ambigua, que té al cap i plasmar amb més detall la seva concepció.

Activitat 1. Viatge imaginari a l'interior d'un material conductor

Aquesta activitat té com a finalitat ajudar l'alumnat a explicitar les seves idees sobre el tema, fent-los veure els punts forts i febles de les seves explicacions, ajudant-los a formular preguntes o argumentar sobre les explicacions i relacionar-les amb les observacions.

Pot ser interessant repetir aquesta activitat al final del tema per així contrastar l'aprenentatge i el canvi en les seves idees sobre el corrent.

Objectiu:

- Identificar les idees que té l'alumnat sobre el corrent elèctric.

Material necessari:

- Full de paper.
- Llapis de colors.

Algunes idees dels infants:

Com s'ha vist a l'apartat «Les idees de l'alumnat i les dificultats per entendre el corrent elèctric», generalment aquest té una idea molt confusa sobre què és el corrent elèctric i com es genera. És habitual que quan se'ls pregunta pel corrent elèctric responguin fent referència a la seva funció, la seva perillositat, que l'associïn amb la llum o la calefacció o fins i tot respostes més imaginatives que la relacionen amb satèl·lits artificials, forces...

En demanar-los que dibuixin com imaginem que es veuria el corrent elèctric les seves respostes es poden agrupar (amb moltes variants particulars) en unes poques categories, tal com hem descrit a l'apartat «Les idees de l'alumnat i les dificultats per entendre el corrent elèctric»:

- com si fos un fluid,
- com si fos una energia,
- com una força,
- com si fos un llampec,
- com si fossin fils,
- com partícules que es mouen pel cable,
- com ones,
- com un moviment d'electrons, que sovint dibuixen circulant en renglera pel centre del cable.

Aquestes categories no són exclusives dels infants i poden aparèixer també en persones adultes amb pocs coneixements de la física bàsica.

Descripció de l'activitat:

És una activitat individual i convé que cada infant faci el seu dibuix personal.

Per plantejar-la els proposarem que imaginem que es fan molt petits i entren dins d'un cable per on hi circula un corrent elèctric. Se'ls demana que dibuixin com imaginem que veurien el corrent elèctric des de dins del cable.

Segurament tots els dibuixos entraran dins d'una de les categories mencionades. És interessant demanar als alumnes que expliquin el seu dibuix, compartint-lo amb la resta de classe. Sortiran moltes visions sobre el corrent, però en cap cas es tracta de jutjar-les ni de valorar si n'hi ha de més o menys correctes. Serà al llarg de les activitats que anirem construint un model del corrent.

Més endavant, després d'haver fet varies activitats podeu recordar algunes d'aquestes representacions i fer-ne una nova anàlisi a la llum dels continguts que aneu treballant. També podeu repetir l'activitat al final del tema, demanant-los un nou dibuix i comparant-lo amb el primer que havien fet.

ÀTOMS I CÀRREGUES ELÈCTRIQUES

La naturalesa del corrent elèctric i la seva vinculació amb el model corpuscular de la matèria.

En aquest apartat proposem una activitat per explicar i simular tres idees:

- Hi ha dos tipus diferents de càrregues, que les anomenem positives i negatives.
- Les forces que es fan les càrregues elèctriques entre elles poden ser atractives o repulsives.
- Establir una vinculació entre el model atòmic de la matèria i la naturalesa del corrent elèctric.

Aquest darrer punt és important perquè dóna sentit a les explicacions que haurem fet abans sobre el model atòmic de la matèria.

Per representar com són les forces entre càrregues elèctriques d'igual o diferent signe, es proposa una activitat amb imants. Alerta perquè es tracta només d'un model per representar-les, i cal tenir ben present que imants i corrent elèctric no tenen res a veure.²¹ En realitat sí que existeix una profunda relació entre camps magnètics i elèctrics, però al nivell de primària podem considerar-los independents. i que els imants només són l'eina per representar-ho.

Activitat 2. Com es comporten les càrregues elèctriques?

Objectiu:

- Conèixer que hi ha dos tipus de càrregues elèctriques i com són les forces que es fan entre elles.

Material necessari:

- Dos imants grossos.

21. En realitat sí que existeix una profunda relació entre camps magnètics i elèctrics, però al nivell de primària podem considerar-los independents.

- Paper.
- Cola.
- Retoladors gruixuts de dos colors.

Els imants en forma d'anell de ferrita de diàmetre 8cm o més poden anar bé i no són cars (figura 17). Necessitem dos imants per tota la classe, o si la fem en grups petits, un parell per cada grup.

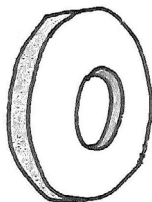


Figura 17. Imant de ferrita en forma d'anell.

Es important que l'imant sigui prou gran per tal que l'alumnat el pugui agafar i sigui visible per a la resta de classe. En aquests imants en forma d'anell cadascuna de les dues cares correspon a un pol. Per a la demostració heu de marcar un costat amb un signe $+$ i l'altre costat amb un signe $-$. Podeu folrar cada cara amb paper d'un color diferent. Cada costat simularà una càrrega positiva o negativa (figura 18).

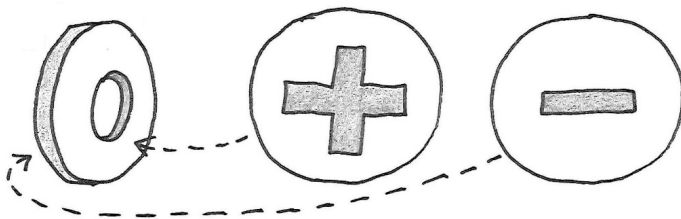


Figura 18. Folrar l'imant amb el signes de la càrrega positiva i negativa.

Important: les cares assignades com a càrrega positiva o com a càrrega negativa no tenen relació amb si es tracta del pol N o S de l'imant. Cal tenir aquesta idea ben clara, perquè l'alumnat tendeix a identificar el pol N de l'imant amb la càrrega elèctrica positiva i el pol S amb la negativa, però pols magnètics i càrregues elèctriques són, al nivell que

podem ensenyar a primària, de naturalesa diferent, sense cap connexió (*). Simplement es tracta d'una analogia per tal de facilitar la representació i construir la idea de carrega.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- Hi ha dos tipus de càrregues elèctriques: positives i negatives.
- Les càrregues del mateix signe es repel·leixen però si les càrregues són de signes diferents s'atrauen.

Algunes idees dels infants:

Fan una relació, i de vegades una identificació, entre el pol positiu d'una pila, les càrregues positives i el pol N d'un imant i també entre el pol negatiu de la pila, les càrregues negatives i el pol S de l'imat.

L'explicació científica:

En l'activitat estem representant una càrrega elèctrica amb un pol de l'imat. Com hem dit això només és una representació, i les forces magnètiques i elèctriques son forces de naturalesa diferent (en el fons estan relacionades, ja que els camps magnètics són creats per càrregues en moviment, però això correspon a un altre nivell (2n de batxillerat) i a més no té cap efecte en el nostre estudi).

Tots hem tingut l'experiència de que si enfrontem pols iguals de dos imants aquests es repel·leixen entre si, i en canvi enfrontant pols diferents de dos imants aquests s'atrauen. Això ens serveix per representar un fet que no podem observar directament: que dues càrregues elèctriques iguals es fan entre elles una força de repulsió i dues càrregues de signe diferent s'atrauen.

No és important si assigneu el signe positiu o negatiu de la càrrega a un o altre pol de l'imat, però sí que és necessari fer-ho igual en els dos imants.

Descripció de l'activitat:

La podeu fer per parelles, o bé una única parella que ho faci i ho mostri a tota la classe.

Posem els dos alumnes dempeus enfrontats l'un davant de l'altre. Cadascun dels dos alumnes aguanta un imant amb una de les cares mirant endavant. Els demanem que es vagin apropant poc a poc. L'objectiu és intentar unir els imants, que els mantindran sempre en la mateixa posició (figura 19).

Si enfronten dues cares que representin carregues del mateix signe quan s'apropin sentiran una força de repulsió. Si s'apropen cares que representin carregues de signes diferents sentiran una força d'atracció que els unirà ràpidament.

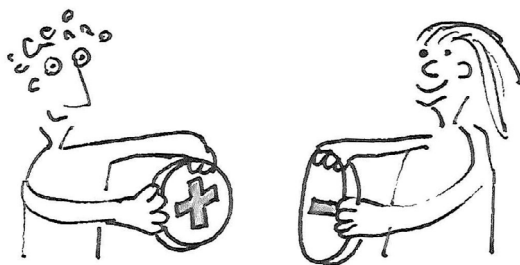


Figura 19. Simulant el comportament de les càrregues amb dos imants.

D'aquesta manera l'alumnat sentirà físicament la força que els atrau o repel·leix, ajudant-los a consolidar millor aquesta idea.

COM ÉS EL CORRENT ELÈCTRIC?

Entendre la naturalesa del corrent elèctric.

L'activitat que proposem en aquest apartat està pensada per oferir a l'alumnat un model mecànic del corrent elèctric. En aquest apartat descrivim l'activitat més senzilla que es pot fer amb el model de peces i serveix per practicar el seu funcionament. Les regles d'aquest model estan descrites a l'apartat: «El model de les peces».

Activitat 3. Un model de corrent elèctric amb peces

Activitat relacionada amb les idees clau 1, 2, 3 i 4.

Objectiu:

- Proporcionar a l'alumnat un model mecànic del corrent elèctric.

Material necessari:

- Peces de fusta, de Lego, Multicubs o similars. Més o menys el doble que el nombre d'alumnes participants.
- Un rètol amb el signe positiu i un altre amb el signe negatiu.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

L'objectiu principal de la l'activitat és donar a l'alumnat una imatge mecànica per començar a entendre el corrent elèctric.

Ens fixarem en les següents idees fonamentals:

- El corrent elèctric és el moviment col·lectiu dels electrons dels àtoms que constitueixen el material (idees clau 1 i 2).
- Aquest moviment només es pot establir si el circuit està tancat, perquè només així els electrons poden anar passant a través dels àtoms del conductor fins retornar a la pila (idea clau 3).
- La pila empeny els electrons en aquest moviment (idea clau 4).

- Aquest model, ens permetrà treballar posteriorment més conceptes, tal com es descriu a les activitats 4, 5 i 6.

Algunes idees dels infants:

- Hi ha molta diversitat de concepcions intuïtives sobre què és el corrent elèctric, com hem vist a l'experiència 1, i la idea que sigui un moviment de càrregues (electrons) no és el més habitual.
- Sovint pensen en el corrent com una mena d'energia (indefinida) que travessa els cables a la velocitat de la llum. Li poden atribuir la forma de guspines, raigs, ones, etc.
- Sigui el que sigui el que imaginem sobre la naturalesa del corrent, el més habitual és atribuir-li una velocitat altíssima (la velocitat de la llum o infinita).
- Pressuposen que tot el corrent elèctric, sigui el que sigui, surt de la pila.
- Si entenen el corrent com el moviment d'electrons normalment pensen que els electrons surten tots ells de la pila i es mouen a la velocitat de la llum a través dels cables.
- Confonen els fenòmens elèctrics amb els magnètics. Sovint identifiquen les càrregues elèctriques amb els pols magnètics i barregen ambdues entitats en les seves explicacions.

L'explicació científica:

A l'interior de la pila es produeix una reacció química que té com a efecte acumular electrons en un dels seus dos extrems. Aquesta acumulació de càrregues en els extrems de la pila crea a tot l'espai del voltant el que s'anomena un «camp elèctric» que exerceix una força sobre tots els electrons. Així quan unim els dos extrems de la pila amb un cable conductor, els electrons, tant els de la pila com els del cable, estan sotmesos a aquesta força i poden moure's circulant a través d'ell, intentant compensar el desequilibri de càrregues creat per la pila entre els seus dos extrems.

Com havíem dit cada àtom tendeix a estar en equilibri elèctric (amb el mateix nombre de càrregues negatives que positives), i intenta tenir sempre el nombre d'electrons necessari per aconseguir globalment una càrrega nul·la. Això és el que representem en el model imposant que cada alumne ha de tenir sempre a la mà una i només una peça (si en

tingués dues representaria un àtom que tindria càrrega global negativa i si no en tingués cap representaria un àtom que la tingués positiva).

El moviment dels electrons des de l'extrem negatiu de la pila fins al positiu només es pot aconseguir si no hi ha cap tall en el conductor, és a dir, si és un circuit tancat. Si el cable està tallat, com que l'aire és un bon aïllant (vegeu activitats 8 i 9), els electrons no poden seguir circulant i el corrent s'interromp instantàniament a tot el circuit.

Quan fem un circuit tancat podem fer tantes bifurcacions com ens convingui, però el corrent només passarà per aquelles branques que descriguin camins tancats des del pol negatiu de la pila fins al pol positiu (vegeu la figura 9). Si una branca no descriu aquest camí tancat per ella no hi circularan els electrons. Trobareu una explicació més detallada a l'apartat de «coneixements bàsics d'electricitat per al professorat».

Descripció de l'activitat:

Aquesta és una activitat que recomanem fer-la amb un nombre d'alumnes d'aproximadament entre tretze i no gaire més de vint. Grups de menys alumnes fan difícil treballar alguns conceptes, ja que no es podran fer bifurcacions ni posteriorment posar-hi altres elements com les resistències, bombetes o amperímetres (activitats 4, 5 i 6). Contràriament, amb un grup gran d'alumnes el model acumula petites errades: peces que cauen, alumnes que es despisten, etc. i que desvien l'atenció del fenomen físic que ens interessa.

Les regles del model han estat descrites prèviament a la primera part del llibre, a la descripció del model de peces.

Per iniciar l'activitat els expliquem que simularem un circuit elèctric.

L'alumnat es posarà en un cercle representant el cable, que començarà i acabarà en cadascun dels dos extrems d'una taula, que serà la pila.

El mestre es posarà a un dels extrems de la taula i representaran la pila. Cada alumne representarà un àtom del cable conductor.

D'entrada els plantejarem la pregunta: «on estan els electrons en aquest circuit?». La resposta més habitual és: «a la pila», però si abans hem treballat l'àtom alguns dels alumnes haurien de dir que n'hi ha en

tots els àtoms, i per tant hi són a tot arreu allà on hi ha matèria. Si no obtinguéssim cap resposta similar recordem-los el que havíem treballat sobre el model atòmic fins que surti aquesta idea.

Un cop això clar, els direm que cadascun de nosaltres representarà un àtom del conductor, i que cada peça serà un electró. Per representar que cada àtom té els seus electrons, els convidem a que cadascú agafi una peça (un electró).

Recordem que tal com es descriu a l'apartat «El model de peces» només es pot fer servir una mà (l'altre s'ha de tenir a l'esquena) i que en tot moment cada alumne ha de tenir una peça a la mà, mai més d'una ni tampoc cap.

Establim el corrent: el mestre, actuant com a pila, intenta passar una peça al primer alumne del circuit, que per poder agafar-li (només en pot tenir una a la mà) abans ha de desprendre's de la seva passant-la al següent alumne, que es trobarà en la mateixa situació i així successivament. Aquesta influència arriba al darrer alumne que aquest sí: pot deixar la seva peça sobre la taula (pila) i agafar la del company, qui per la seva banda ara podrà agafar la peça que li ofereix el seu altre company, i així successivament (figura 4).

A partir d'aquest moment es posaran en marxa progressivament totes les peces. Aviat s'arriba a un règim estacionari, en el qual veurem el moviment continuat de totes les peces alhora, en el mateix sentit i al mateix ritme: és llavors quan haurem aconseguit una representació del corrent elèctric, un moviment col·lectiu d'electrons. Sobre l'estat transitori, els moments inicials en que les peces es comencen a posar en moviment des d'un extrem del circuit, els hem d'explicar que això és una de les limitacions del model, i que en els circuits reals aquest procés és instantani.

APLIQUEM EL MODEL DE PECES

Circuit obert i tancat, connexions en paral·lel, interruptor, resistències i intensitat.

Activitat 4. Circuits oberts i tancats, interruptor i resistència

Aquesta activitat està pensada per entendre què són els circuits oberts i tancats i simular l'efecte que té sobre el corrent elèctric la inclusió de dos components bàsics: l'interruptor i la resistència. Emprarem el model de les peces, les regles del qual estan descrites a l'apartat: «El model de les peces».

Activitat relacionada amb les idees clau 2, 3 i 5.

Objectiu:

- Entendre què és un circuit tancat i un circuit obert.
- Conèixer el funcionament de l'interruptor.
- Conèixer el concepte de «branca».
- Donar-los una imatge mecànica i qualitativa de l'efecte d'introduir una resistència en un circuit.

Material necessari:

- Peces de fusta, de Lego, Multicubs o similars. Més o menys el doble que el nombre d'alumnes participants.
- Un rètol amb el signe positiu i un altre amb el signe negatiu.
- Un rètol que hi digui «interruptor», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne al coll.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- Anomenem «circuit tancat» a aquell que partint d'un punt qualsevol el podem recórrer amb continuïtat, sense tornar enrere i passant per la pila, fins tornar al punt de partida. Si això no és possible direm que és un «circuit obert».
- L'interruptor ens permet obrir i tancar un circuit.

- En obrir l'interruptor obrim el circuit i el corrent s'atura instantàniament al llarg de tot el circuit .
- El corrent elèctric només circula si és un circuit tancat .
- Un circuit pot tenir bifurcacions que defineixen diferents branques (figures 8 i 11) (camins diferents)
- En un circuit d'una única branca (figures 7 i 10) és indiferent el lloc on es connecti l'interruptor.
- Les resistències posen un fre al pas del corrent elèctric, el moviment dels electrons es més lent com major sigui la seva resistència.
- Els bons conductors tenen una resistència molt petita (però mai nul·la), i en ells els electrons s'hi mouen fàcilment.
- Els aïllants són materials amb una resistència elevadíssima al pas del corrent, això implica que els electrons hi circulen amb dificultats.
- Aïllant i conductor no són conceptes absoluts, i hi ha una gradació contínua de materials entre aquests dos extrems.

Algunes idees dels infants:

- Confusió amb la terminologia «circuit obert» i «circuit tancat». Possiblement potenciada pel fet que les expressions col·loquials «tancar el llum» representa obrir el circuit, i «obrir el llum» representa tancar el circuit.
- Alguns infants imaginem que si tallem un cable pel que circula un corrent elèctric aquest corrent sortirà pel tall, com si fos l'aigua d'una mànega de rec, quan en realitat en tallar el cable obrim el circuit i el corrent s'interromp instantàniament.
- És freqüent també la idea de que en obrir l'interruptor d'un circuit aturarem el corrent de la part del circuit que hi ha abans de l'interruptor, però que el corrent que ja havia passat seguirà circulant per la resta de circuit. En la línia d'aquest raonament sovint tenen la convicció que, fins i tot en un circuit simple (figura 7), l'interruptor s'ha de posar en un determinat lloc, que generalment és al costat de la pila.

Les dues darreres idees neixen possiblement del model hidràulic, que fa l'analogia amb l'aigua que circula per una canonada o una mànega de rec.

L'explicació científica:

L'interruptor és el dispositiu que ens permet obrir i tancar a voluntat un circuit. En essència l'interruptor és una palanca amb dues posicions: una d'elles dóna continuïtat al circuit (diem que el tanca), en l'altra talla la seva continuïtat (diem que obre el circuit). En aquesta segona posició de l'interruptor el cable queda tallat per un espai d'aire, i com que l'aire és molt bon aïllant els electrons no hi poden circular, de manera que el corrent s'interromp.

La pila exerceix una força sobre tots els electrons del conductor. A diferència del nostre model de peces en que cada participant actua només sobre el seu veí immediat, aquesta força (camp elèctric) actua alhora sobre tots els electrons del conductor, des d'un extrem del circuit fins a l'altre, fent que quan es tanca el circuit tots els electrons es moguin conjuntament.

Obrir el circuit implica que els electrons, tant a un com a l'altre costat de l'interruptor, tot i sentir el camp elèctric no poden desplaçar-se i en aquesta situació els electrons s'aturen instantàniament en tots els punts del circuit.

Entre les dues situacions extremes: la del circuit obert que no permet el pas del corrent i la del circuit tancat que el permet amb tota facilitat, hi ha uns materials que, intercalats al circuit, deixen passar el corrent però que hi posen un cert fre al seu pas: són les resistències.

En posar una resistència en un circuit el flux de corrent a través de la branca on està connectada disminueix (a l'activitat 5 veurem què representa això per a la intensitat del corrent).

Descripció de l'activitat:

Abans de començar l'activitat nomenarem un alumne que serà l'interruptor i un altre que serà la resistència. Seran identificats amb un rètol segons el paper que té cadascun d'ells en el circuit.

En una primera part representarem i assajarem què passa en el circuit quan obrim i tanquem l'interruptor.

En una segona part, amb el circuit tancat representarem i assajarem què passa quan s'hi intercala una resistència.

Vegem com ho podem fer.

Circuit amb interruptor: abans de posar en marxa el model indiquem a l'alumne que fa d'interruptor que començarà en posició de tancat, i per tant començarem com hem fet a l'activitat 3. Acordem amb ell que per obrir el circuit alçarà la mà amb la que estigui passant les peces, anunciant alhora de viva veu: «circuit obert».

Cal avisar que tothom ha d'estar molt alerta a aquest moment, perquè en sentir el senyal de «circuit obert» tothom ha d'aturar el pas de peces instantàniament.

El model de peces s'hauria d'aturar ràpidament al llarg de tot el circuit, això és difícil, i sempre hi ha alumnes que segueixen passant les peces. Si han seguit les normes del model, en el moment que el corrent s'aturi tothom hauria de tenir una peça a la mà.

Després podem demanar a l'alumne que fa d'interruptor que tanqui el circuit i intentar reprendre el corrent. Podeu també plantejar la qüestió de si hi hauria alguna diferència posant l'interruptor en un lloc o altre del circuit, i si cal simular-ho amb el model per arribar a comprovar que la posició en aquest cas (una única branca) és irrellevant.

La idea a remarcar és el fet que en obrir o tancar l'interruptor el corrent s'atura o es posa en marxa instantàniament al llarg de tot el circuit alhora. Aquest fet es pot reproduir si es segueixen bé les regles del model.

Circuit amb resistència: abans de posar en marxa el model indiquem a l'alumne que fa de resistència que, com el seu nom indica, ha d'oposar certa resistència a passar les peces al seu company. Com que la resistència ha de tenir un valor constant al llarg de la modelització acordarem amb ell que la manera de simular-ho serà fent que agafi i passi les peces lentament, a un ritme fixat per exemple, agafant la peça i comptant fins a tres abans de passar-la al company.

Si es segueixen bé les normes del model el ritme de pas de les peces s'alentirà respecte a quan no hi havia resistència, i ho farà per igual a tot el circuit, a ambdós costats de la resistència.

Important: una situació amb la que fàcilment ens podem trobar quan intentem modelar la resistència amb el model de les peces és que els alumnes situats després de la resistència segueixin passant les peces ràpidament, al mateix ritme que si no hi hagués resistència. Aquesta situació es deu a que no segueixen bé les regles del model, i passen la seva peça al veí abans que els n'ofereixen una altra. Si es dona aquesta situació molts alumnes situats a continuació de l'interruptor es quedaran sense peça a la mà.

Si voleu incrementar la complexitat de l'activitat podeu combinar en un mateix circuit l'interruptor i la resistència.

La idea més important a remarcar és el fet que la resistència redueix el flux d'electrons al llarg del circuit.

Activitat 5. La intensitat i la velocitat del corrent

Aquesta activitat té l'objectiu de proporcionar un model que ajudi a l'alumnat a comprendre què és la intensitat, conèixer i entendre la seva unitat de mesura i comprendre perquè els amperímetres (instrument de mesura de la intensitat) han de ser connectats en sèrie. Tornem a emprar el model de peces prèviament descrit a l'apartat: «El model de les peces».

Activitat relacionada amb les idees clau 1, 2, 3 i 5

Objectiu:

- Comprendre què és la intensitat
- Conèixer què és un amperímetre i com es connecta al circuit
- Comprendre el perquè de l'aparent velocitat infinita del corrent elèctric

Material necessari:

- Peces de fusta, de Lego, Multicubs o similars. Més o menys el doble que el nombre d'alumnes participants.
- Dos rètols, un amb signe positiu i un altre amb signe negatiu.
- Un rètol que hi digui «amperímetre», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.

- Un rètol que hi digui «resistència», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.
- Un cronòmetre.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- La intensitat és la quantitat de càrrega que passa per la secció d'un conductor en un determinat període de temps.
- En un circuit d'una sola branca la intensitat és la mateixa en qualsevol punt del circuit.
- La unitat de mesura de la intensitat és l'Ampere (A),
- L'aparell que mesura la intensitat és l'amperímetre.
- En situar una resistència en el circuit la intensitat disminueix respecte al circuit original sense resistència.
- El ritme amb el que circula el corrent es el mateix tant abans com després de passar per la resistència.
- Quan hi ha una resistència el ritme a que circulen les peces és més lent per tant, la intensitat disminueix per igual a tot el circuit.
- En el corrent elèctric el moviment de cadascun dels electrons és lent, l'aparença d'instaneïtat ve pel fet que es tracta d'un moviment col·lectiu tot al llarg del conductor.
- La mesura d'intensitat en un circuit s'ha de fer sempre connectant l'amperímetre en sèrie, així a través de l'amperímetre hi passa tot el corrent i fa una mesura correcta del flux de càrrega elèctrica que el travessa. Si es connecta en paral·lel el corrent es bifurca entre la branca de l'amperímetre i la del circuit, consegüentment a través de la branca de l'amperímetre hi circula només una part del corrent total i no fa el recompte complet de tota la càrrega elèctrica que passa pel circuit.

Algunes idees dels infants:

- És freqüent que pensin que el corrent és menor després d'haver passat a través d'una resistència.
- Majoritàriament l'alumnat no té cap idea prèvia del concepte d'intensitat, per tant es un concepte que els és desconegut.
- Una comprensió errònia del concepte d'intensitat afavoreix per exemple, que l'alumnat no vegi cap raó lògica per haver de connectar l'amperímetre en sèrie.

- La idea que el corrent elèctric es propaga a la velocitat de la llum o fins i tot instantàniament es força estesa entre l'alumnat.
- Com a conseqüència de l'anterior creença, quan pensen en el corrent com a moviment d'electrons, imaginem que aquests es desplacen pels cables sempre a la velocitat de la llum.
- Podem trobar alumnes que interpretin la resistència com un dispositiu que frena els electrons mentre passen pel seu interior, i que un cop fora recuperen la seva velocitat normal. Aquesta idea errònia és deguda a que no veuen el moviment dels electrons com un moviment col·lectiu. Això els porta a la conclusió que una resistència fa disminuir la intensitat en el seu interior i abans d'ella (fa com un tap), però que un cop els electrons l'han passada la intensitat recupera el valor normal sense resistència. Una bona aplicació de les regles del model pot ajudar a la comprensió d'aquesta important idea.

L'explicació científica:

Respecte la **intensitat**, la mesura del corrent es realitza comptant la quantitat de càrrega elèctrica que passa a través del cable en un segon. En el nostre model de peces això significa comptar el nombre de peces que passen per la mà d'un alumne en un interval de temps determinat (per exemple durant un minut), i d'aquesta quantitat en diem intensitat del corrent elèctric.

La càrrega es mesura en Coulombs (C), un Coulomb és una quantitat molt gran de càrrega: per fer-nos una idea imaginem que en una mà tinguéssim una càrrega positiva d'1 C i a l'altra mà, a un metre, una negativa també d'1 C. Hem vist abans que càrregues diferents s'atrauen, doncs bé, aquestes dues càrregues d'1 C s'atraurien amb una força equivalent a 900.000.000 kg (la massa d'un elefant adult mascle es de 6.000 kg, aproximadament). I en canvi, quina és la càrrega d'un únic electró? La càrrega de cada electró és molt petita, de només $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, això vol dir que necessitaríem uns 10.000.000.000.000.000.000 electrons per aconseguir sumar la càrrega d'un Coulomb.

En el model de peces comptar les peces que passen pel cable és molt fàcil i és una gran eina didàctica per entendre el concepte d'intensitat. Però mesurar la intensitat en un circuit elèctric real no és tan senzill: la càrrega d'un sol electró és molt petita, i no els podem comptar un a un.

Físicament la intensitat es defineix com la quantitat de càrrega que travessa la secció unitat del cable en la unitat de temps, i es mesura en Ampères (A), de manera que direm que circula 1 Amper quan a través del circuit passa 1 C cada segon: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

Com hem vist abans 1 C és una quantitat molt gran de càrrega, i una intensitat de 1 A també és una quantitat considerable. Molts dels nostres aparells electrònics quotidians funcionen amb corrents de mili amperes o microamperes, ho podem comprovar llegint els valors inscrits als carregadors dels ordinadors o dels mòbils .

Respecte la velocitat dels electrons, amb aquest model podem posar de relleu un fet contra intuïtiu: que cadascun dels electrons en el corrent es mou molt poc a poc, i que la sensació de velocitat «infinita» prové del fet que és un moviment col·lectiu. Tots els electrons que hi ha al llarg del conductor es mouen alhora, de manera que en el mateix moment en que un electró surt de la pila un altre està entrant per l'altre extrem. Això és el que produeix la sensació que la seva velocitat és infinita o molt gran,

A partir de principis bàsics de la física es pot calcular que la velocitat d'un electró al llarg d'un cable conductor és de l'ordre de menys d'un centímetre per segon.

Amb aquest valor de la velocitat, podem entendre que si els electrons sortissin tots junts de la pila i haguessin de recórrer el circuit fins a tornar a l'altre extrem de la pila, ens trobaríem que per encendre els llums d'un extrem d'una sala de 50 m de llargada, amb la pila a l'altre extrem de la sala, hauríem d'esperar aproximadament una hora i mitja a que s'enceguessin els llums (cosa que efectivament mai passa).

Descripció de l'activitat:

Sobre la **intensitat**, preparem l'espai per fer el model de peces tal com es descriu a l'activitat 3. Abans de començar l'activitat nomenarem un parell d'alumnes que representaran l'amperímetre. Els hi posem el rètol «d'amperímetre».

Les dues persones que fan d'amperímetre s'han de repartir les tasques: una es quedarà dins el circuit i anirà comptant les peces que passen

a través de la seva ma. L'altra, situada al seu darrere i fora el circuit, comptarà un temps de 30 segons durant el qual el seu company ha d'anar comptant les peces.

Un cop s'ha posat en marxa el model i quan les peces ja flueixen regularment al llarg de tot el circuit és el moment de posar en marxa l'amperímetre: quan el company amb el cronòmetre indiqui l'altre comença a comptar les peces que passen a través de la seva ma. Passats, per exemple, trenta segons li ha d'indicar que deixi de comptar.

Si en aquests trenta segons ha comptat 10 peces anotarem que la intensitat és de: 20 peces/minut (10 peces /30 segons = 10 peces x 60/30 [segons/segons] x 1 [minut])

Repetim la mesura d'intensitat però ara intercalant un alumne que faci de resistència. Imaginem que en aquest cas l'amperímetre ha comptat el pas de 4 peces en el mateix interval de temps (30 segons). La intensitat serà de 8 peces/minut.

Es tracta de posar de relleu aquesta disminució del flux de peces al llarg de tot el circuit, i per tant de la disminució de la intensitat en intercalar una resistència en un circuit

Pensant en les activitats futures sobre la llei d'Ohm, i si ho veieu adequat per al vostre grup, és interessant fer-los notar que la pila no ha canviat (els volts, **V**, no han canviat, ni l'empenta subministrada a les peces), però que en augmentar la resistència **R** ha disminuït la intensitat: és a dir, a voltatge constant [**V**] si augmentem la resistència [**R**] disminueix la intensitat [**I**]. Aquesta reflexió afavoreix una primera aproximació qualitativa a la llei d'Ohm.

Sobre la **velocitat dels electrons**, mentre fem funcionar el model de peces, i quan aconseguim que marxi a un ritme constant, podem introduir una peça diferent (més gran, d'un altre color,..). Aquesta peça representa senzillament un electró que hem marcat per tal poder seguir el ritme a que es desplaça al llarg del circuit.

Farem un avís al moment d'introduir-lo i un altre en el moment en que retorni a la pila per l'altre extrem.

Es tracta que l'alumnat constati l'elevat temps que triga cadascun dels electrons a fer el recorregut complet, tot i que poden constatar que cada vegada que un electró surt de la pila simultàniament n'entra un altre per l'altre extrem.

Activitat 6. Fem circuits en sèrie i en paral·lel

Emprant novament el model de peces, en aquesta activitat distingirem entre les connexions en sèrie i paral·lel. Si abans hem fet l'activitat 5 també podem veure com canvia la intensitat en un i altre cas, qualitativament o bé connectant-hi un amperímetre.

Activitat relacionada amb les idees clau 1, 2, 3, 4 i 5.

Objectiu:

- Aprendre a identificar dos tipus diferents de connexions en un circuit elèctric: en sèrie i en paral·lel.
- Introduir els conceptes de «branca» i «nus» als circuits elèctrics.
- Constatar qualitativament que quan en un punt del circuit aquest es divideix en dues branques en paral·lel la intensitat en cadascuna d'elles és menor que la intensitat total.

Material necessari:

- Peces de fusta, de Lego, Multicubs o similars. Més o menys el doble que el nombre d'alumnes participants.
- Dos rètols, un amb signe positiu i un altre amb signe negatiu per posar als extrems de la pila.
- Un rètol que hi digui «amperímetre» per cada amperímetre que hi vulguem situar, amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.
- Un cronòmetre per cada amperímetre.
- Un rètol que hi digui «resistència», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- En un circuit d'una sola branca (en un circuit en sèrie) la intensitat és la mateixa en qualsevol punt del circuit.
- La unitat de mesura de la intensitat és l'Ampere (A),

- L'aparell que mesura la intensitat és l'amperímetre
- En un circuit amb dues branques en paral·lel el corrent es reparteix entre les dues branques, i la intensitat en cadascuna d'elles és una part de la intensitat total.
- En el punt (nus) on s'uneixen de nou les dues branques la intensitat torna a tenir el seu valor original. El repartiment de la intensitat entre les dues branques paral·leles depèn dels dispositius (resistències) que hi hagi connectats en cadascuna d'elles.
- La mesura d'intensitat en una branca d'un circuit s'ha de fer sempre connectant l'amperímetre en sèrie en la branca que es vol mesurar.

Algunes idees dels infants:

- Sovint se'ls fa difícil distingir entre les connexions en sèrie i paral·lel.
- Tenen dificultats per passar de la representació gràfica del circuit a la construcció real del circuit.

L'explicació científica:

Els circuits elèctrics poden arribar a ser molt complicats i poques vegades són un únic llaç tancat com els que hem fet en les primeres activitats.

Quan tenim un únic llaç tancat i hi anem posant diversos elements (bombetes, motors, interruptors...) tot al seu llarg diem que els estem connectant en «sèrie», perquè els elements estan tots un a continuació de l'altre. En aquest cas el corrent no té cap alternativa de camí, i ha de passar necessàriament per tots els elements.

Si en un punt del circuit fem una bifurcació, en aquell punt (**nus**) el corrent pot passar per un o altre cable (figura 20). Cadascun dels cables que surten del nus defineixen una **branca**. Com hem vist abans el corrent només circularà per totes les branques si cadascuna d'elles està tancada. Si en fer aquesta bifurcació veiem dos cables (dues branques) que al llarg d'una part del circuit discorren en paral·lel, direm que aquesta és una connexió en paral·lel.

La intensitat total que proporciona la pila es reparteix entre les dues branques a partir del nus, i la proporció que passa per una o altra depèn

de les resistències que tingui cada branca (hem vist que una resistència fa disminuir la intensitat en la branca en que està connectada).

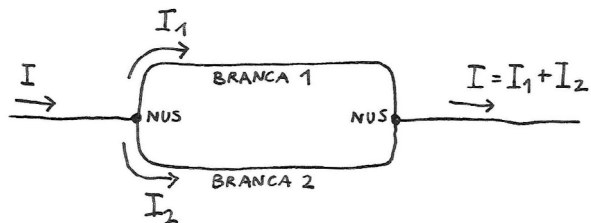


Figura 20. Les branques 1 i 2 estan connectades en paral·lel. La intensitat I subministrada per la pila es reparteix entre elles I_1 i I_2 .

Podem veure aquest efecte situant un amperímetre abans del nus i un altre en cadascuna de les dues branques en paral·lel. La suma d'aquests dos darrers valors serà la intensitat total, la mesurada abans del nus (figura 20).

Descripció de l'activitat:

Fem un circuit en paral·lel. En un punt del circuit crearem dues branques connectada en paral·lel. Per a això situarem, a un alumne (**b**) que representarà un nus, i després d'ell uns quants alumnes formant una branca d'alumnes **c, d...** de la branca 1 en paral·lel amb una altra branca d'alumnes **e, f...** de la branca 2, tal com es veu a la figura 21. Les branques es tornaran a unir més endavant en un altre nus similar a l'alumne **b**.

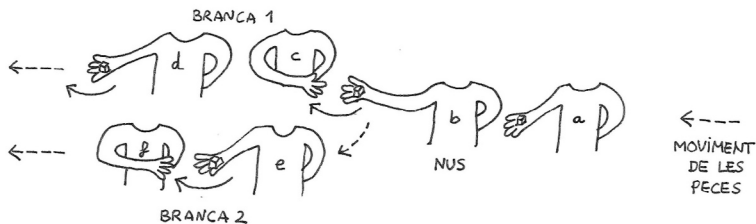


Figura 21. Alumnes representant una bifurcació en paral·lel en un circuit amb el model de peces. Correspondria a un dels extrems de la figura 20.

Quan les peces arribin a l'alumne **b** aquest les haurà d'anar passant a un o altre dels dos companys que tindrà al costat: a l'alumne **c** de la branca 1 o a l'alumne **e** de la branca 2. No ha de passar-los a un i altra en una alternança rigorosa, ha de passar-li al primer que pugui però intentant ser equitatiu. L'alumne que estarà situat a l'altre nus (que no es veu al dibuix) haurà d'anar agafant peces que li arriben dels dos companys de les branques 1 i 2, i haurà de fer-ho amb el mateix criteri que hem donat a l'alumne **b**.

Mentre fan l'activitat podem destacar:

- Les peces es reparteixen circulant per igual en les dues branques: la meitat del corrent passa per una i l'altra meitat per l'altra.
- El nombre de peces que en un determinat temps circula per cadascuna de les branques en paral·lel és menor que el nombre de les que circulen abans i després de les bifurcacions.

Aquestes observacions es poden fer només de manera qualitativa, però si teniu un grup amb un bon nombre d'alumnes les podeu fer de manera quantitativa introduint tres amperímetres en el circuit:

- Situeu un alumne com amperímetre en el circuit principal.
- Situeu uns altres dos alumnes com amperímetres en cadascuna de les dues branques en paral·lel.

Un cop establert en el model un regim de corrent estacionari demaneu que tots tres amperímetres facin un recompte de les peces.

És suficient comptar peces durant un temps de 30 segons, i si voleu convertir-ho després la mesura a peces/minut.

La intensitat mesurada per l'amperímetre del circuit principal igualarà, aproximadament, la suma de les intensitats de les dues branques en paral·lel.

CONDUCTORS, AÏLLANTS I RESISTÈNCIES

Ser conductor o aïllant no és un absolut.

Activitat 7. El circuit humà

En aquesta activitat fem un circuit elèctric real (no un model) amb els nostres cossos, de manera que els alumnes tenen una experiència sensible de què vol dir circuit obert i tancat i del que significa que un material sigui conductor o aïllant del corrent elèctric.

Activitat relacionada amb les idees clau 2, 3 i 5.

Objectiu:

- Consolidar les idees de circuit obert i tancat.
- Identificar materials conductors i aïllants de l'entorn immediat.
- Comprovar que la distinció entre conductors i aïllants no és un absolut.

Material necessari:

- Només necessitem un circuit de sensor tàctil (*touch sensor*). Variants d'aquest dispositiu es poden trobar en algunes botigues o webs de material de ciències, que els posen a la venda amb noms comercials com Energy Ball, Ufo Ball i d'altres.



Figura 22. Els sensors tàctils es poden trobar en diversitat de formats, segons el fabricant.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- En un circuit només hi passa el corrent si el circuit està tancat.
- Hi ha materials aïllants i conductors.
- En un circuit d'una sola branca podem situar l'interruptor en qual-sevol punt del circuit.

Algunes idees dels infants:

- De vegades s'observa la creença que l'interruptor atura el corrent només al seu voltant. Així poden pensar que en obrir l'interruptor només s'atura el corrent que va cap a ell, o a l'inrevés: només s'atura el corrent després l'interruptor, o fins i tot que a prou distància en ambdós sentits el corrent encara pot circular.
- Normalment no pensen en el cos humà com a conductor, generalment aquesta propietat la relacionen exclusivament als metalls o cables.

L'explicació científica:

El dispositiu conté al seu interior una petita pila elèctrica i un circuit electrònic capaç de detectar corrents molt petits, de l'ordre de micro-Ampers.

Els nostres cossos poden conduir el corrent, encara que no siguin molt bons conductors. Quan tanquem el circuit amb les nostres mans hi circula un petit corrent elèctric. El circuit electrònic detecta aquest petitíssim corrent i encén el LED. Val a dir que el corrent que circula a través dels nostres cossos no és el que encén el LED, ja que té molt baixa intensitat i és insuficient. El circuit electrònic inclòs al dispositiu el detecta i amplifica fent passar pel LED un corrent de la intensitat adequada.

El fet que no sentim res quan el LED s'encén és per la seva baixíssima intensitat. El corrent ens pot fer mal (a nosaltres i altres éssers vius) depenent de la seva intensitat, no pas del seu voltatge. Per exemple una bola de plasma pot crear entre 2000 V i 50.000 V, i no obstant podem tocar-la tranquil·lament que no notarem res. La xarxa elèctrica de casa només té 220 V però pot ser molt perillosa. Entre aquests dos casos la diferència està en els valors de la intensitat.

Descripció de l'activitat:

Haurem d'agafar el dispositiu per un dels seus contactes. Situem l'alumnat formant un circuit tancat de manera que tots ells es donin la mà. El darrer alumne del circuit haurà de tocar l'altre contacte del dispositiu.

Abans que l'alumne tanqui el circuit els expliquem que nosaltres farem de circuit elèctric i que el corrent circularà pels nostres cossos, i sobretot avisar-los que no es deixin anar.

El moment en que l'alumne toca el contacte és un instant de certa tensió, i fins i tot podem trobar alumnes que els faci por participar del circuit, ja que la idea que tenen és que si ens passa el corrent ens farà mal.

Un cop el LED s'encén podem mostrar què és un circuit obert deixant anar la mà del nostre alumne, o demanant a algú d'ells que ho faci. És convenient obrir i tancar el circuit diverses vegades.

La següent exploració pot ser demanar-los que en comptes de donar-se la mà toquin el nas dels seus companys, o el cabell, o la roba, etc. i veure si el circuit també queda tancat

Finalment podem demanar que intercalin algun objecte entre dues de les mans per veure si hi circula el corrent, d'aquesta manera podem anar trobant materials conductors i aïllants.

Activitat 8. Cerquem conductors i aïllants

Aquesta és una prolongació de l'activitat anterior en la que fem servir el mateix dispositiu per trobar materials aïllants i conductors.

Activitat relacionada amb les idees clau 2, 3 i 5.

Objectiu:

- Identificar materials conductors i aïllants del nostre entorn.
- Comprovar que la distinció entre conductors i aïllants no és un absolut.

Material necessari:

- Necessitem un circuit amb un sensor tàctil.
- Tots aquells materials dels que vulguem esbrinar si són o no conductors elèctrics. Poden ser sòlids o líquids.
- Pot ser interessant incloure cables elèctrics i cables elèctrics dels que hagueu tret el coure interior, amb la idea de mostrar quin és el material conductor en un cable.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- Fer una primera classificació de materials que són conductors o aïllants.
- Comprovar que un líquid poc conductor, com l'aigua, es pot convertir en un bon conductor afegint-hi sal.

Algunes idees dels infants:

- No tenen una clara intuïció de quins materials poden ser conductors elèctrics.
- Freqüentment associen la conductivitat exclusivament als sòlids.
- Generalment identifiquen els cables com material conductor sense distingir entre les parts que els constitueixen.

L'explicació científica:

El circuit electrònic del sensor detecta corrents d'intensitat molt petita, i encara que no ens permet mesurar quin grau de conductivitat tenen els materials, si que ens permetrà distingir aquells materials que són molt aïllants.

D'aquesta manera podem elaborar taules de materials conductors i aïllants del nostre entorn.

També pot ser interessant comprovar la conductivitat elèctrica de diversos líquids, i veure si canvia en mesclar-lo amb algun altre líquid o en dissoldre-hi sal o altres substàncies. Com a exemple pot ser interessant comparar aigua destil·lada amb aigua de mar.

Descripció de l'activitat:

Podeu fer servir la següent taula en que hi hagi tots els materials que l'alumnat va explorar, i al costat dues caselles: una on apunta la seva predicció sobre si serà o no aïllant i la segona en que posarà el resultat de la comprovació experimental.

Material	Predicció		Comprovació Experimental
	Aïllant	Conductor	

Podeu emprar sòlids i classificar-los segons el tipus de materials de que estan fets (fustes, metalls, papers, ...) i també líquids.

En el cas dels líquids s'obre tot un altre gran conjunt de noves experiències: la llet és conductora? I l'oli? I l'aigua oxigenada, o l'alcohol? I el vi, o els suc de fruites...? Es poden també fer mescles: si un líquid aïllant el mesquem amb un líquid conductor, la mescla és conductora? I si hi dissolem sal o sucre?

Fins i tot podeu comprovar la conductivitat elèctrica d'alguns aliments: iogurts, fruites, mantega, mel...

Activitat 9. Un model mecànic per a la resistència

En aquesta activitat fem servir un model mecànic, molt participatiu, per representar l'efecte d'una resistència sobre el corrent elèctric. El model s'ha descrit prèviament a l'apartat: «El model de resistència».

Activitat relacionada amb les idees clau 2, 3 i 5.

Objectiu:

- Identificar els efectes de la resistència elèctrica sobre el corrent elèctric a partir d'un model mecànic.

Material necessari:

- Un espai on poder fer un passadís amb els alumnes.
- Un bon nombre d'alumnes, recomanem un mínim de vint alumnes.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- Comprendre com la resistència altera la intensitat del corrent elèctric del circuit.
- Observar que entre els materials aïllants i els conductors hi pot haver tota una gradació de valors.
- Entendre perquè la intensitat del corrent elèctric disminueix en passar per una resistència encara que la velocitat dels electrons individuals segueixi sent la mateixa.
- Modelitzar com l'augment de temperatura pot comportar un augment de la resistència elèctrica del material.

Algunes idees dels infants:

- És freqüent que pensin que el corrent és menor després d'haver passat a través d'una resistència.
- Tenen dificultat per diferenciar el moviment individual i la velocitat de cadascun dels electrons del moviment col·lectiu.

L'explicació científica:

La resistència elèctrica és una característica de cada material. Tot i així, pot canviar amb les condicions de l'entorn, per exemple per una variació de la temperatura. També pot variar si s'introdueixen impureses en el material o s'hi dissol alguna altra substància.

Per entendre la resistència que oposa un sòlid al pas del corrent podem d'imaginar un cable amb els seus àtoms en unes posicions determinades. Quan l'electró intenta passar a través d'ell pot anar xocant amb aquests àtoms, i tot i que globalment la seva trajectòria segueix una direcció, la que marca el circuit, localment l'electró pateix xocs que el fan anar endavant i enrere. Aquesta trajectòria més erràtica dels electrons dins la resistència té com a conseqüència una disminució del flux d'electrons que la travessen, i per tant de la intensitat.

En general la resistència elèctrica augmenta si augmenta la temperatura del material. Aquest fet es pot entendre amb una visió microscòpica del material, i que podem modelitzar en aquesta activitat: en un material fred els àtoms del conductor resten bastant quietes a l'entorn de la seva posició d'equilibri, quan l'electró hi passi empès pel voltatge de la pila, trobarà obstacles (els àtoms) en unes posicions relativament fixes; en canvi quan el material està calent els seus àtoms vibren a l'entorn de la seva posició d'equilibri, definint una zona més gran en la que els electrons poden xocar amb ells (és com si els obstacles es fessin més grans), de forma que els electrons troben obstacles més grans i la intensitat del corrent disminueix respecte a quan el material era fred.

Descripció de l'activitat:

Dividim el grup aula en dos grups d'alumnes: els que faran de material resistent (àtoms) i els que faran d'electrons.

Amb guix marqueu sobre el terra els límits d'un hipotètic cable, al llarg del qual situareu els alumnes que fan de resistència. Podeu marcar també la posició de cadascun d'ells. Situeu-los formant una xarxa (no els poseu en una única filera). Aquests alumnes no cal que estiguin immòbils, però sí que han d'estar sempre molt aprop de la seva posició. Aquesta petita vibració permesa a cada àtom representa la temperatura. Mai però, s'han de separar gaire de la seva posició fixa. Si volem simular que la temperatura de la resistència augmenta els demanarem que es moguin amb més amplitud al voltant de la posició que els hem assignat.

Un cop situats tots els àtoms de la resistència farem entrar els electrons, que han de travessar el conductor fins a sortir per l'altre extrem.

Els electrons s'hi han de moure seguint dues normes:

- S'han de moure en línia recta fins a xocar amb un àtom, que els desviarà en una direcció qualsevol.
- S'han de moure sempre, entre xoc i xoc, mantenint la velocitat, la mateixa que duien quan han entrat a la resistència.

Què observarem? Tot i que els electrons mantenen sempre la seva velocitat triguen més a recórrer una determinada longitud per una resistència que una longitud igual al llarg d'un conductor amb poca resistència.

La causa d'això és el xoc amb els àtoms de la xarxa, que els desvien aleatòriament.

Si augmenta la temperatura de la resistència, com que els àtoms vibraran més intensament, cada electró patirà més xocs, i trigarà més a travessar la resistència, i això en el nostre model significa un augment de la resistència.

Un altre efecte que els podrem fer notar és que en cada xoc hi haurà una pèrdua d'energia. En el model això no té més efecte que el cop entre alumnes, però en un material això es tradueix en calor que es desprèn quan circula el corrent a través de la resistència (l'anomenat efecte Joule). Aquest efecte pot ser d'interès en alguns dispositius, com per exemple en les torrades o les estufes. Podem fer una «mesura» de la intensitat comptant el nombre d'alumnes (electrons) que travessen la resistència en un temps determinat, simulant una resistència freda i una resistència calenta, i comprovant com l'augment de temperatura fa augmentar la resistència.

PERQUÈ S'ACABA UNA PILA?

Entendre el voltatge i l'energia, una aproximació qualitativa a la llei d'Ohm.

Activitat 10. Un model amb corda. Introducció al potencial

L'objectiu d'aquesta activitat és construir un model de circuit elèctric que faciliti la introducció i comprensió dels conceptes d'energia elèctrica i voltatge (o potencial). Amb aquesta finalitat emprarem el model de la corda descrit a l'apartat: «El model de la corda».

Activitat relacionada amb les idees clau 1,2, 3, 4 i 5.

Objectiu:

- Comprendre el paper de la pila com el dispositiu que proporciona l'energia per mantenir el corrent elèctric.
- Introduir el concepte d'energia elèctrica.
- La resistència com a dispositiu on es dissipa energia elèctrica.
- Comprendre el mecanisme de dissipació d'energia elèctrica en forma de calor (efecte Joule) a les resistències.

Material necessari:

- Una corda. Cal unir els extrems de la corda fent un llaç tancat. Ha de ser prou llarga perquè el vostre grup d'alumnes la pugui sostenir quan es situen en cercle representant el circuit. També ha de ser mínimament gruixuda, pot anar bé fer servir una corda d'un diàmetre d'almenys 1 cm.
- Dos rètols, un amb signe positiu i un altre amb signe negatiu per posar als extrems de la pila.
- Un rètol que hi digui «resistència», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- La pila subministra l'energia necessària per crear el corrent elèctric.
- Mentre estan connectades al circuit, les piles subministren energia constantment al circuit.
- Les piles es gasten perquè la reacció química que es produeix al seu interior s'acaba.
- La pila subministra electrons al circuit però en el corrent hi participen també els electrons de tot el material conductor, que ja eren al cable
- La pila crea una «empenta» sobre tots els electrons fent que es moguin tots alhora en un moviment col·lectiu que és el corrent elèctric.

Els dos darrers punts són els més abstractes. Per treballar més a fons aquestes idees caldria introduir el concepte de camp elèctric, que respon a un nivell de batxillerat.

- Les resistències s'escalfen perquè s'oposen al pas del corrent elèctric. Aquesta oposició és deguda als xocs dels electrons amb els àtoms de la xarxa conductora i es tradueix en un escalfament de la resistència

Algunes idees dels infants:

- L'alumnat té un desconeixement general del concepte d'energia.
- Confonen els diferents mecanismes de generació d'energia elèctrica (nuclear, eòlica, solar, carbó...) amb la seva naturalesa, arribant així a la conclusió que hi ha moltes energies diferents.
- També en la mateixa línia trobem la confusió de pensar que «energies verdes», «energies alternatives», etc. són energies diferents, i parlen de vegades de «tipus d'energia» quan són senzillament diferents mecanismes de generació de la mateixa energia elèctrica.
- Degut al general desconeixement del concepte d'energia és freqüent que pensin en l'energia elèctrica com una mena de fluid o empenta que surt de la pila i es propaga al llarg del circuit.

L'explicació científica:

Les piles elèctriques (piles) que fem servir habitualment a l'escola contenen al seu interior compostos que generen una reacció química que té com efecte desplaçar electrons cap a un dels seus dos extrems, el que està unit al terminal negatiu de la pila.

En un dels seus terminals hi haurà un excés de càrrega negativa i a l'altre hi haurà un defecte de càrrega negativa. Degut a aquest desequilibri es crea tot al llarg del circuit una força sobre cadascuna de les càrregues (el que s'anomena un camp elèctric) que tendeix a moure-les en el sentit de disminuir aquest desequilibri. Mentre la reacció química de la pila no s'esgoti, el desequilibri elèctric segueix existint i per tant continua el corrent elèctric al llarg del circuit.

Els reactius de la pila hi estan en una quantitat molt limitada, i un cop han reaccionat donen lloc a uns altres productes químics que per la seva naturalesa ja no produeixen aquesta reacció. És per això que després d'un temps de funcionar els reactius desapareixen com a tals i diem que la pila «s'esgota», perquè els productes produïts no creen el desequilibri elèctric desitjat en una pila.

El model també ens ofereix una representació mecànica de com aconseguir calor a partir de l'electricitat. És l'anomenat efecte Joule, és a dir, la conversió d'energia elèctrica en calor. Els xocs entre els electrons i els àtoms del conductor comporten transferència d'energia que es manifesta en forma de calor. En el model de la corda els xocs venen representats pel frec de la corda amb les mans. Observem amb el model que si la resistència és més gran la quantitat de calor dissipada serà major.

Descripció de l'activitat:

Farem un llaç tancat amb la corda. El llaç de corda ha de ser prou llarg com perquè posant tot l'alumnat fent un cercle, tots la puguin sostenir amb les mans.

Un dels alumnes farà el paper de pila i li demanarem que estiri de la corda, fent-la circular cap a un costat, sempre al mateix ritme.

Podem explicar que aquest ritme constant a que desplaçem la corda es una analogia amb el voltatge constant de la pila. Mentre la pila no es gastï aquest ritme romandrà constant, i això en el circuit vol dir que la intensitat del corrent es manté constant. Aquesta analogia també permet representar el que passa quan la pila ja està molt gastada: en el model l'alumne que mou la corda es cansa i fa circular la corda més lentament, això representa en un circuit real la disminució de la intensitat quan la pila s'esgota.

En tot moment la resta d'alumnes han de procurar no frenar la corda, que fàcilment poden aturar si tanquen la ma, ja que la força de frec entre la corda i les mans és molt gran.

Amb aquest model també podem treballar les pèrdues d'energia que provoquen les resistències. Les mans, inevitablement, frenen una mica la corda, representant això la resistència elèctrica del circuit. El que noten els alumnes quan la corda circula és escalfor (ull, cal anar en compte de no cremar-se les mans), aquesta calor és energia del moviment de la corda que es perd. Si assignem a un alumne el paper de resistència haurà de frenar la corda amb les seves mans però sense arribar a aturar-la, ràpidament notarà molta escalfor a les mans. En els circuits reals passa quelcom similar: quan el corrent passa per una resistència es dissipa energia en forma de calor, aquesta calor s'aprofita per exemple en les torradores o les estufes elèctriques.

És interessant remarcar alguns aspectes durant l'activitat:

- La corda representa el corrent elèctric.
- El corrent circula alhora per tot el circuit.
- La pila manté el corrent elèctric amb la seva energia.
- L'alumne que fa de pila ha d'invertir un bon esforç en fer circular la corda això vol dir invertir-hi energia.
- Els conductors sempre oposen una certa resistència al corrent (encara que sigui molt petita) i aquesta resistència representa una pèrdua d'energia en forma de calor (efecte Joule).

Activitat 11. Aproximació qualitativa a la llei d'Ohm

Aquesta activitat introdueix l'alumnat a la llei d'Ohm. Emprant el model de peces s'estudia la relació entre la intensitat, la resistència i el voltatge en un circuit. La potència del model de peces ens dóna la possibilitat d'introduir la llei de manera qualitativa, mostrant la relació entre magnituds o bé fer-ho de manera quantitativa: fent mesures d'intensitat amb les peces quan variem la resistència, fet que ens permetrà comprovar la llei d'Ohm.

Activitat relacionada amb les idees clau 1,2, 3, 4 i 5

Objectiu:

- Conèixer la relació ja sigui de manera qualitativa o quantitativa, entre els valors de la tensió (ΔV), la intensitat (I) i la resistència (R).

Material necessari:

Fem l'activitat amb el model de peces, com a l'activitat 6. Necessitarem:

- Peces de fusta, de Lego, Multicubs o similars. Més o menys el doble que el nombre d'alumnes participants.
- Dos rètols, un amb signe positiu i un altre amb signe negatiu per posar als extrems de la pila.
- Un rètol que hi digui «amperímetre» per cada amperímetre que hi vulguem situar, amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.
- Un cronòmetre per cada amperímetre.
- Un rètol que hi digui «resistència», amb un cordill perquè se'l pugui penjar un alumne.

Idees científiques que es poden treballar en aquesta activitat:

- Amb un voltatge fix la intensitat que circula per una branca és inversament proporcional a la resistència de la branca.
- En una branca sense bifurcacions la mesura de la intensitat ens donarà el mateix valor independentment de en quin punt de la branca el mesurem.
- Si la tensió no canvia en augmentar la resistència la intensitat disminueix, i viceversa. Malgrat aquests canvis el valor del producte $I \cdot R$ es manté constant i el seu valor és justament el valor del voltatge.
- Començar a comprendre la llei d'Ohm: $\Delta V = I \cdot R$
- L'associació de resistències en paral·lel

Algunes idees dels infants:

- És freqüent que pensin que el corrent és menor després d'haver passat a través d'una resistència.
- Tenen certa dificultat per entendre aspectes de proporcionalitat entre les variables que intervenen.
- Habitualment mostren dificultats per traduir les relacions empíriques entre variables a relacions formals de la matemàtica.

L'explicació científica:

Si imaginem un circuit senzill de només una branca format per una pila i una resistència (figura 5), amb el model de peces podrem introduir, si més no qualitativament, la relació matemàtica que hi ha entre el voltatge de la pila, la intensitat que circula pel circuit i la resistència que contingui el circuit.

En el circuit senzill de la figura 5 la relació entre aquestes tres magnituds s'escriu: $V = I \cdot R$, on V és el voltatge que proporciona la pila (que ens ve donat pel fabricant), I és la intensitat del corrent (que podem mesurar amb un amperímetre) i R la resistència que haguem connectat en el circuit.

Per exemple, si fem servir una pila de 6v i hi connectem una resistència (bombeta o qualsevol altre aparell) de 25Ω , la intensitat que hi circularà serà de: $I = V/R = 6/250 = 0,024 \text{ A}$

És fàcil veure amb aquesta relació matemàtica el que podem mostrar amb el model de peces: si el voltatge és constant i augmenta la resistència que hi ha al circuit, la intensitat disminuirà.

Per aprofundir un mica més:

Aquesta relació entre el voltatge, la intensitat i la resistència es pot aplicar a qualsevol circuit o part d'ell, per complex que sigui. D'una manera més general la relació s'escriu $\Delta V = I \cdot R$, essent ΔV el voltatge entre dos punts qualsevols del circuit. En aquest cas la I serà la total que hi circuli entre els dos punts triats i la R la resistència total entre aquells dos punts.

El símbol Δ davant del voltatge indica només que es tracta d'una diferència de valors. La raó de fer servir la diferència de valors entre dos punts és que així com la mesura d'intensitat té un zero ($I=0$ vol dir que no hi circula corrent), el voltatge no té un zero absolut, ja que es tracta d'una quantitat d'energia associada a cada càrrega, i en les mesures d'energia només podem parlar de diferències d'energia. En el cas del circuit de la figura 5 aquesta diferència és la que hi ha entre els dos punts entre els que mesurem el voltatge, que són els dos extrems de la pila. Aquest valor és justament el voltatge que ve indicat en les piles (1,5 v, 9 v, etc.).

Descripció de l'activitat:

Situarem el grup en rotllana per fer el model de peces. Procedirem com a l'activitat 6, però ara mirarem de fer mesures d'intensitat més acurades.

En primer lloc mesurarem la intensitat sense posar cap resistència al circuit. Recordeu que per fer la mesura cal esperar que les peces circulin en un règim estacionari. En general és pràctic comptar les peces durant mig minut, que és una durada prou curta perquè el procediment no es faci pesat.

Anotarem aquesta dada a la pissarra. Seguidament introduïm al model una resistència (per veure com es fa mireu l'activitat 5) i tornem a mesurar la intensitat, anotant el nou valor.

A continuació posem una resistència d'un valor major, per exemple el doble, que l'anterior i mesurem de nou la intensitat. Per duplicar el valor de la resistència en el model el que fem és demanar a l'alumne que trigui el doble de temps que abans a recollir i passar la peça.

Un exemple hipotètic de resultats podria ser aquest:

- a) Mesura sense resistència: han passat 6 peces en 30"
- b) Mesura amb una resistència: han passat 4 peces en 30"
- c) Mesura amb una resistència de valor doble a l'anterior: han passat 2 peces en 30"

Aquests resultats els podríem recollir així:

- a) $I (R = 0) = 12 \text{ peces/min}$
- b) $I (R) = 8 \text{ peces/min}$
- c) $I (2 R) = 4 \text{ peces/min}$

I aquestes serien les intensitats mesurades en el model. El fet a destacar és que si dupliquem la R la I es redueix a la meitat, això ho podem expressar matemàticament d'aquesta manera: $I = (\text{un cert valor})/R$

A continuació podem fer més proves canviant els valors de la R per veure si sempre la I la R segueixen aquesta relació. El resultat serà afirmatiu, acceptant les inevitables variacions degudes a la manipulació del model de peces.

A l'expressió anterior, al numerador hi hem escrit: (*un cert valor*), i és que perquè la divisió tingui sentit al numerador hi ha d'haver una quantitat, però quina és aquesta quantitat?

És clar que ha d'estar relacionada amb el corrent i que per tal que es verifiqui la relació ha de tenir sempre el mateix valor. Sabem que aquesta quantitat és el voltatge de la pila, però com argumentar-ho sense introduir cap anàlisi matemàtica?

Un argument qualitatiu podria ser el següent: en el nostre circuit només hi ha dos elements, la pila i la resistència. En la nostra experiència amb el model hem modificat la resistència, però no la pila, que tot i els canvis en el valor de R ha intentat seguir treballant normalment. L'únic altre paràmetre que pot intervenir en l'establiment de la intensitat és doncs la pila, que proporciona un voltatge (energia per a cada càrrega) constant.

Aquest raonament no és cap demostració, és només un argument, més literari que físic per justificar la llei d'Ohm, però segurament serà justificació suficient per al vostre curs.

NORMES PER ALS COL-LABORADORS

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

EXTENSIÓ

Les propostes del Quadern no podran excedir **l'extensió de 50 pàgines (en Word)**, uns 105.000 caràcters, espais, referències, quadres, gràfiques i notes incloses.

PRESENTACIÓ D'ORIGINALS

Els textos han d'incloure, en format electrònic, un **resum** d'unes deu línies i tres paraules clau, no incloses al títol. Igualment han de contenir el **títol**, un **abstract** i tres **keywords** en anglès.

Per a les **formes de citar i referències bibliogràfiques** han de remetre's a les utilitzades en aquest *Quadern*.

AVALUACIÓ

L'acceptació d'originals es regeix pel **sistema d'avaluació externa per pars**.

Els originals són llegits, en primer lloc, pel **Consell de Redacció**, que valora l'adequació del text a les línies i objectius dels *Quaderns* i si compleix els requisits formals i els mínims de contingut científic exigits.

Els originals són sotmesos, en segon lloc, a **l'avaluació de dos experts**, especialistes en la temàtica de la qual tracta l'original i l'àmbit disciplinari corresponent. Els autors reben els comentaris i suggeriments dels avaluadors i la valoració final amb les esmenes i canvis que cal fer, si és el cas, abans de ser acceptat per a la seva publicació.

Si els canvis exigits són significatius o afecten bona part del text, el nou original és sotmès a l'avaluació de dos experts externs i d'un membre del Consell de Redacció. El procés es duu a terme com a «doble cec».

REVISORS

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

L'Institut de Desenvolupament Professional (IDP/ICE) de la Universitat de Barcelona inicià fa uns anys la publicació dels **QUADERNS DE DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA** amb l'objectiu de posar a l'abast del professorat universitari documents i materials de treball referits a temes relacionats amb la docència superior que facilitessin la seva formació, l'intercanvi d'experiències i la difusió de «bones pràctiques» docents. Amb aquests *Quaderns* pretenem estar atents als temes nous i emergents en l'actual conjuntura universitària, per tal de donar a conèixer i difondre iniciatives innovadores en el camp de la docència universitària, que responguin a les línies següents:

- Propostes de marcs de referència rigorosos i generals que ajudin a clarificar conceptes clau.
- Estratègies docents i bones pràctiques de planificació, metodologia i avaluació de l'ensenyament-aprenentatge, desenvolupades en contextos acadèmics específics i diversos.
- Tècniques i tàctiques, de marcat caràcter didàctic, presentades en materials i propostes concretes de treball i reflexió sobre la pràctica d'equips docents disciplinaris o interdisciplinaris.