

Este trabajo se centra en los obstáculos y dificultades para aprender los conceptos básicos de electrostática. Se han analizado obstáculos conceptuales como dificultades relacionadas con la demanda cognitiva, con las concepciones de los alumnos y con la enseñanza en los libros de texto. De acuerdo con todo ello se proponen estrategias de enseñanza que han sido experimentadas con maestros en formación inicial.

Obstáculos para aprender conceptos elementales de electrostática y propuestas educativas

pp. 53-63

Ana Criado*
Pedro Cañal*

Universidad de Sevilla**

Introducción

Los obstáculos para la evolución conceptual en el aula pueden tener un origen muy diverso. A veces derivan de deficiencias en la enseñanza desarrollada, lo cual, a su vez, se relaciona con deficiencias en la formación del profesor en cuanto al conocimiento profesional deseable (Porlán y otros, 1996; Porlán y Rivero, 1998), mientras que en otros casos son obstáculos más próximos a los procesos de aprendizaje de los alumnos. Dentro de éstos, encontramos obstáculos de tipo conceptual originados, bien por la propia complejidad de los conocimientos a aprender, bien por la interacción de ese conocimiento con el pensamiento de los alumnos, o bien por la presencia de deficiencias conceptuales en los materiales y textos empleados.

En este trabajo se realiza primeramente una caracterización de obstáculos relativos a

los conceptos electrostáticos elementales, originados por los tres factores antes mencionados, y seguidamente se efectúa una propuesta para impulsar la superación de los mismos en la enseñanza.

Obstáculos originados por la complejidad de los conceptos electrostáticos

En los estudios sobre las dificultades de la enseñanza relativa a la electrostática no hay unanimidad en cuanto a la demanda cognitiva de los conceptos básicos (Bridham 1967, McIntyre 1974), pero la taxonomía que Gutiérrez (1984) aplica a la electricidad, basada en la teoría de Piaget, proporciona un referente útil, pese a sus limitaciones, para abordar el análisis de la demanda cognitiva de los con-

* Departamento de Didáctica de las Ciencias. Facultad de Ciencias de la Educación. Avda. Ciudad Jardín, 22. 41005 Sevilla. Correos electrónicos: acriado@us.es pcanal@us.es

** Miembros del grupo GAIA (Proyecto IRES).

ceptos básicos en este campo y, por tanto, de su complejidad y dificultad de aprendizaje, como se analiza en lo que sigue.

La interpretación de fenómenos electrostáticos cotidianos

Las atracciones o repulsiones eléctricas entre materiales plásticos de uso cotidiano, como las que se producen entre tiras de cinta adhesiva, o el fenómeno del “pelo de punta” y los calambres que “da” un niño tras tirarse por un tobogán de plástico, son eventos curiosos y cuya relación con la electricidad puede establecerse básicamente mediante una mera descripción. A partir de ahí se puede llegar en la enseñanza a concepciones con diferente nivel de profundización, por ejemplo interpretando esta electrización como resultado del contacto intenso entre dos objetos que estaban inicialmente neutros, mediante el paso de cargas negativas de uno a otro.

Para comenzar, habría que identificar las situaciones que se corresponden con fenómenos electrostáticos. Para ello es necesario empezar por aceptar que existen efectos (como los producidos por el acercamiento entre dos objetos), que se originan por causas no definibles sensorialmente ni directamente observables, (electrización, imantación), sino sólo detectables de forma indirecta. No obstante, la familiaridad que tienen actualmente los alumnos con los mandos a distancia, por ejemplo, es un factor que sugiere la posible “recalificación” de determinados conceptos, que fueron considerados en su momento como concretos o formales según el criterio de su posible o no percepción sensorial. Se abre, pues, la posibilidad de que la experimentación y descripción de algunos fenómenos de electricidad estática puede realizarse, en cierta forma, desde niveles educativos iniciales.

La carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad de la materia que sólo aparece en dos formas, positiva y negativa, por lo que constituye un ejemplo

de concepto definido por un par de caracteres antagónicos, cuyo aprendizaje es posible utilizando un pensamiento concreto, aunque la electricidad no resulte observable más que a través de sus efectos. Utilizando números bajos de cargas positivas y negativas, a partir del momento en que el alumno pueda sumar números enteros, éste estará capacitado para utilizar una representación de la materia neutra, de la materia electrizada y del proceso de electrización, entendido como paso de partículas cargadas de un cuerpo a otro.

Aunque el establecimiento de la relación de la carga eléctrica con los átomos no es algo estrictamente necesario para describir inicialmente los fenómenos electrostáticos, el avance en este terreno debe tomar en consideración dos aspectos: a) que toda la materia, en su nivel microscópico, tiene constitución corpuscular, es decir, no continua; b) que los corpúsculos, los átomos, están a su vez constituidos por partículas más pequeñas, algunas de las cuales están cargadas.

Para ello, sería necesario, en primer lugar, adoptar una visión microscópica de la materia como estructura granular, análoga, por ejemplo, a la de la arena, de forma que cada átomo sería, en esta analogía inicial, como un pequeño grano de arena. Entonces, conocida la existencia de dos tipos de cargas, éstas habrían de identificarse también como partículas “microscópicas” y ubicarlas en los átomos, lo que exige abordar cómo es el átomo por dentro.

Esta aproximación a la estructura del átomo conlleva mayor dificultad, pues a la abstracción previa de los conceptos de átomo y sus partículas eléctricas constitutivas, habrá que añadir nuevas cualidades abstractas, distinguiendo en aquél un núcleo interior y una corteza más externa, y localizando las cargas positivas (protones) en el primero y las negativas (electrones) en la segunda. Todo ello resultará complicado sin disponer de las posibilidades del pensamiento formal, aunque resulte atractivo intentarlo por la posibilidad que proporciona al alumno de acceder a la representación gráfica de un modelo atómico elemental.

La fuerza eléctrica

El hecho de que la fuerza eléctrica se produce a distancia, sin necesidad de un contacto directo entre los cuerpos que la experimentan, es un fenómeno observable y aunque la predicción sobre qué hará atractiva o repulsiva la fuerza entre dichos cuerpos no suele emerger espontáneamente, sí que es posible su comprensión *a posteriori* (Guisasola, 1996). De hecho, el pensamiento concreto permite realizar el seguimiento de un procedimiento ya planificado, siempre que el objetivo sea comprobar un enunciado teórico previamente asimilado. El enunciado “cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen”, constituye un razonamiento con el manejo de conceptos y relaciones bipolares que calan con facilidad en la mente del niño. Y ello es así hasta el punto en que el arraigo de estas ideas llega a constituir un obstáculo para diferenciar la interacción entre dos cuerpos cargados de la que se produce entre un objeto cargado y otro neutro, que se polariza en su presencia.

La lógica de clases y relaciones necesarias para utilizar estas reglas no supera las posibilidades del pensamiento concreto, pues tanto los pares negativo / positivo, como la relación entre parejas de objetos (así calificados) y las acciones atractivas o repulsivas son asimilables desde edades tempranas. La dificultad que se detecta estriba en que los estudiantes pueden establecer relaciones arbitrarias entre los datos y su interpretación, por lo que no se puede esperar que induzcan unívocamente, a partir de unos hechos experimentales (se atraen / se repelen), una única interpretación de los mismos (tienen cargas de signo contrario / tienen cargas del mismo signo).

En cuanto a la comprensión de los factores de los que depende la fuerza eléctrica, en ausencia de pensamiento formal sólo es posible que los alumnos establezcan relaciones entre la fuerza eléctrica y un sólo factor cada vez. La dependencia que tiene la variable fuerza del valor de las cargas en juego, entra dentro de la lógica causal del pensamiento concreto, resultando evidente que, a mayor presencia de la causa

(cantidad de carga), mayor será el efecto (intensidad de la fuerza). La relación fuerza - distancia se puede comprobar empíricamente de forma cualitativa y es compatible con el razonamiento causal que prevé que la contigüidad espacial es un nexo entre causa y efecto (cuánto más cerca estén los objetos más intensa será la fuerza con que interaccionan).

En cuanto a la comprensión del papel del medio a través del cual se ejerce la fuerza, si el alumno conoce el comportamiento de los imanes, un razonamiento analógico podría conducirle igualmente a aceptar el hecho de que la fuerza variará según la naturaleza de ese medio, es decir, que si interponemos diferentes materiales entre los objetos que interactúan eléctricamente la fuerza eléctrica cambiará. Pero esta influencia no es fácilmente comprobable en una experiencia sencilla (salvo que comparásemos medios interpuestos tan opuestos como un aislante y un conductor); y además ésta no es una idea imprescindible en el conocimiento básico sobre los fenómenos electrostáticos.

Para el pensamiento concreto, la expresión matemática de la Ley de Coulomb, aún obviando su carácter vectorial, ($F = k q_1 \cdot q_2 / r^2$), cae fuera de las posibilidades de comprensión: excede el número de dos variables a relacionar simultáneamente y conlleva considerar una función, la fuerza, cuya dependencia de una de las variables, la distancia, responde a una relación inversa del cuadrado, lo que cae fuera de las relaciones lineales susceptibles de ser entendidas en ausencia de pensamiento formal, como es común entre los alumnos, incluso de nivel universitario, cuando trabajan sobre contenidos poco familiares, ante los que pueden considerarse novatos.

Diferenciación entre las acciones magnéticas y electrostáticas

Para poder establecer esta distinción es necesario el pensamiento multicausal: considerar que un determinado efecto, la atracción entre objetos, puede ocurrir debido a diferentes causas, considerando al menos dos posibilidades: la

acción eléctrica o la acción magnética. La interpretación causal simple, que se suele traducir en este caso en atribuir al magnetismo toda atracción observada, es un obstáculo difícil de salvar. Tratándose tan sólo de lograr la distinción entre dos interacciones, es factible que el alumno logre diferenciar la interacción magnética de la eléctrica con un adecuado entrenamiento, pues ello puede lograrse atendiendo a un sólo criterio experimental. Un ejemplo, entre los existentes, sería comprobar que la interacción eléctrica se da entre cualquier tipo de material, mientras que la fuerza magnética de los imanes, simplificando, sólo se produce entre materiales que contengan hierro.

Materiales conductores y aislantes.

La experiencia cotidiana con la corriente eléctrica proporciona un aprendizaje vivencial que permite diferenciar entre materiales conductores y aislantes de la corriente eléctrica, adquiriéndose ideas sobre estas propiedades desde edades tempranas. Para su evolución deseable sólo queda asociar estas ideas con el concepto de partícula eléctrica y de movilidad o inmovilidad de las mismas dentro de los materiales. Ello es factible mediante la construcción de un modelo mental con símil mecánico, que calificaríamos de concreto, pues mediante el mismo se pueden imaginar las partículas eléctricas, bien rígidamente sujetas en los lugares que ocupan (materiales aislantes) o bien móviles, como una serie de bolas rodando (materiales conductores). El paso siguiente es relacionar cómo influye la posibilidad de movimiento de las cargas en el comportamiento de un objeto cargado de electricidad estática.

La inducción eléctrica

La atracción entre un objeto electrizado y otro neutro es uno de los fenómenos de electricidad estática más habituales sobre el que el novato, el no experto en esta temática, suele construir una explicación frecuentemente inadecua-

da, del tipo de "se debe a que ambos están cargados con cargas de diferente signo". Esta idea suele estar firmemente arraigada y constituye un obstáculo salvable, cara al aprendizaje de la explicación académica, pues no exige sino utilizar conjuntamente conceptos ya conocidos, como: a) la existencia de igual número de cargas positivas y negativas en la materia neutra; b) la producción de atracciones y repulsiones entre las cargas; c) la existencia de una mayor o menor movilidad de las cargas en un material y d) la posibilidad de separar cargas de un signo de las del otro. A partir de lo anterior, se puede comprender el proceso de separación polar de partículas eléctricas en un objeto neutro, cuando éste se somete a la influencia de otro cargado. La explicación del hecho de que tras esa polarización se produzca una fuerza neta de tipo atractivo, puede encontrarla el alumno en conceptos ya aprendidos anteriormente. No obstante, subsiste una dificultad: que el alumno tenga que manejar simultáneamente demasiados elementos de información. Una dificultad que puede disminuir su importancia si se emplea el recurso de representar gráficamente la situación, lo que proporciona un esquema visible sobre el que razonar.

Obstáculos originados por las ideas previas de los alumnos

En una revisión de treinta y cuatro trabajos de investigación sobre la enseñanza de conceptos de electrostática (Criado, 2000), se analizaron las ideas previas sobre dichos conceptos en alumnos que iban desde los seis años hasta jó-

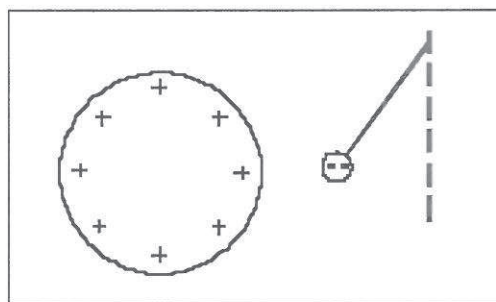


Figura 1. Inducción y atracción cargado-neutro.

venes universitarios. En el estudio se aportó también resultados obtenidos con alumnos de Magisterio. El inventario de concepciones expresadas se expone seguidamente, organizado según los mismos apartados que en la sección anterior.

En cuanto a la *identificación de fenómenos electrostáticos cotidianos por los alumnos*, se encontró que se suelen reconocer adecuadamente muchos de ellos, pero que también se identifican como electrostáticos otros fenómenos que no lo son, como la atracción de los imanes o las descargas producidas por la corriente de la red eléctrica. Y además, que se ignoran casos muy conocidos, como que los rayos son provocados por acumulación de electricidad estática en las nubes, u otros que lo son menos pero tienen gran relieve en la actualidad, como el hecho de que la fotocopiadora usa la fuerza electrostática para lograr que el polvillo de tóner se adhiera al papel.

Junto a la relación existente entre las imágenes mentales sobre la *naturaleza corpuscular de la materia* y el *proceso de electrización*, ciertos sesgos de razonamiento, como la interpretación del mundo de las partículas en términos de parámetros físicos observables, influyen en la interpretación del estado eléctrico. Por ejemplo, si se ha frotado un bolígrafo, se puede pensar que el estado eléctrico adquirido por éste consiste en un aumento en la agitación de las partículas del plástico, pero si el procedimiento empleado ha sido el de presionar sobre una transparencia y un folio, la electrización mutua se puede interpretar en este caso como una separación de partículas en el material, parecida a una deformación plástica.

La *electricidad* puede no diferenciarse del magnetismo; a veces se concibe como un tipo de estado energético de la materia; y, muy a menudo, como una especie de emanación o sustancia invisible, compuesta de partículas y sin peso. La imagen que los jóvenes poseen sobre el estado “electrizado” suele tomar los siguientes significados:

- “Ha tomado o cedido cargas” (concepción académica).
- “Se han separado sus cargas positivas y negativas”.

– “Se han creado cargas que no existían” (debido al calor, ...).

– “Las partículas se agitan a gran velocidad”.

El significado del estado “neutro” puede ser interpretado al contrario de lo anterior: partículas sin agitarse, igualdad en el número de partículas, etc.

Las explicaciones sobre *atracciones y sobre repulsiones entre dos objetos cargados* coinciden a menudo con la respuesta académica, pero no están ausentes las concepciones alternativas, ya que las nociones: “cargas distintas se atraen” y “cargas iguales se repelen” admiten interpretaciones diferentes. Una es que “*ambos objetos están neutros polarizados*” (respetando la polarización las reglas anteriores), y otra que “*ambos objetos poseen igual número de cargas de ambos signos*”; ello puede llevar a veces a considerar que “*dos objetos se atraen porque están cargados pero se repelen porque no lo están*”. Al explicar las repulsiones hay más dudas que con las atracciones y los alumnos sólo lo suelen hacer en forma verbal, sin arriesgarse a añadir cargas eléctricas para completar un dibujo al respecto.

En los procesos de *inducción*, la interacción cargado-neutro rompe la visión antagónica y dicotómica de las interacciones electrostáticas y este tipo de fuerza se interpreta como una atracción entre dos objetos cargados con cargas de distinto signo, o se supone nuevamente que ambos están neutros polarizados. La interpretación adecuada de la conocida experiencia del bolígrafo cargado que atrae papelitos neutros no es fácil para muchos alumnos y, curiosamente, se activan más concepciones alternativas al explicar este caso que al hacerlo con otro ejemplo de inducción semejante, como el de una transparencia electrizada que interacciona con un péndulo eléctrico (una bolita de papel de aluminio colgando de un hilo aislante), atrayéndolo.

En cuanto a experiencias sobre la *posibilidad de electrizar metales*, son pocos los alumnos que utilizan ideas académicas para interpretar los resultados y es donde menos evolución conceptual se observa. La perspectiva científica implicaría admitir que puede que haya trasvase de cargas hacia el objeto de metal pero que éste se irá descargando, irán pasando

aquellas a otros cuerpos, si no está debidamente aislado de los mismos

Las ideas previas de los alumnos sobre la electrización de cuerpos conductores tienen dos orígenes, uno en la interacción de sus concepciones iniciales con el conocimiento escolar y otro en la experiencia cotidiana del mismo, de la que se deriva generalmente una fijación en aspectos funcionales sobre los conductores y los aislantes. En cuanto a los esquemas interpretativos generados por la interacción del saber del alumno con el saber escolar, éstos resultan difíciles de modificar, pues muchos de los aspectos que incluyen son ideas adecuadas en sí mismas. Así ocurre, por ejemplo, con las expresiones “los metales poseen electrones libres” o “el enlace metálico es fuerte”, etc. El problema se manifiesta cuando el alumno realiza una particular síntesis de afirmaciones sobre los metales, que son válidas aisladamente una de otra, y piensa, por ejemplo, que “si los metales se pueden electrizar es porque tienen electrones libres”, que no es válido ya que implicaría que “los aislantes no pueden cargarse, ya que no poseen electrones libres”.

En cuanto a la otra causa de estas concepciones, radica en la circunstancia de que las personas, en su vida cotidiana, llegan a aprender que los metales y los materiales no metálicos tienen un comportamiento diferente frente a la electricidad y de ahí interpretan que no se podrán electrizar mutuamente o bien se niega que pueda haber carga en los aislantes.

Como recapitulación, añadiremos unas conclusiones sobre el nivel de arraigo de las ideas anteriores, elaboradas a partir del estudio de diferentes indicadores de su estatus cognitivo (Criado, 2000). Ordenando los conceptos de mayor a menor dificultad, y viendo si son las ideas académicas las que exhiben un más alto estatus cognitivo, o sí, por el contrario, son las diferentes concepciones de los alumnos sobre cada concepto las que están más fuertemente arraigadas, (antes, durante y después de la enseñanza), se puede tener un referente sobre la mayor o menor dificultad de superación del obstáculo que, en la práctica, representa cada concepto.

En el extremo de menor dificultad tenemos las explicaciones sobre las “atracciones entre cuerpos cargados” y el concepto de “neutro”, para los que las respuestas académicas tienen un mayor estatus. En el otro extremo se encuentran las interpretaciones de “la inducción” y de “la electrización de metales”, para las que son las concepciones alternativas las que poseen un mayor arraigo. En situación intermedia hallamos las interpretaciones sobre las “repulsiones” y el significado de “cargado”.

Obstáculos originados por los libros de texto

En los libros de texto dirigidos a los niños y a los jóvenes, se han encontrado bastantes aspectos susceptibles de mejora (Morón y otros 2001). En los temas de electrostática, los textos repiten habitualmente la misma secuencia tradicional de organización de los contenidos conceptuales e idénticos tipos convencionales de actividades prácticas, con lo que no contribuyen a provocar la necesaria evolución de las concepciones. Son particularmente comunes en estos materiales las siguientes deficiencias:

- Se recurre casi siempre a ejemplos de electrización por frotamiento y no a otros en los que la electrización ocurre por simple contacto, sin tener en cuenta que el primer procedimiento sugiere más imágenes mentales inadecuadas que el segundo. Así, se ignora la cantidad de ejemplos cotidianos de electrizaciones por simple contacto que ocurren al manejar materiales plásticos (plástico de envolver de cocina, bolsas de basura, envoltorios de celofán, algunas prendas de vestir, etc.).

- Se suele comenzar la lección haciendo referencia a la clásica experiencia de un objeto frotoado que atrae a otros cuerpos livianos, pero luego no se vuelve a retomar este fenómeno para interpretarlo, con lo que no se hace nada por evitar el desarrollo de la concepción alternativa sobre la inducción que se mencionó anteriormente.

- Aunque aparecen sistemáticamente fotos de descargas de rayos, no se aporta un esquema elemental que explique cómo éstas se originan

(Criado y Cañal, en prensa), de manera que los alumnos no son posteriormente capaces de evocar este fenómeno como proceso de tipo electrostático.

– Se omiten ejemplos de experiencias de electrización en las que participen metales, contribuyendo a la génesis de concepciones inadecuadas sobre las características de los mismos ante procesos electrostáticos.

¿Cómo superar los obstáculos reseñados en la enseñanza elemental sobre electrostática?

Aunque lo que se va a exponer está basado sobre todo en los resultados de un estudio relativo a la electrostática con maestros en formación inicial (Criado, 2000), muchas de las propuestas que se efectúan son aplicables a la enseñanza en cursos de primaria y secundaria, tanto en lo que se refiere a su utilidad para el necesario desarrollo profesional del profesorado de estos niveles, como en cuanto a las sugerencias que realiza sobre las características del conocimiento escolar a promover en estas etapas, ya que el mismo admite diferentes niveles de formulación. De esta forma, por ejemplo, las actividades en niveles más elementales pueden adaptarse sencillamente realizando las experiencias propuestas con materiales sencillos (Criado y otros, 1997) e interpretarlas como se ha sugerido en el apartado dedicado al análisis de la demanda cognitiva.

La identificación de las concepciones de los alumnos se puede efectuar en el transcurso de unas experiencias sencillas realizadas por ellos mismos o como demostraciones del profesor que los alumnos, en todo caso han de interpretar (Criado, 2000). Es conveniente que esta información sobre las concepciones iniciales se obtenga con suficiente antelación, a fin de introducir actividades específicas dirigidas al trabajo en torno a las mismas. Así, por ejemplo, si resulta que muchos estudiantes no son capaces de distinguir entre los conceptos “cargado” y “polarizado”, será conveniente plantear situaciones en las que deban dibujar las cargas eléc-

tricas, junto a las etiquetas verbales usadas para explicar las experiencias que se realice.

Otra forma tener en cuenta las ideas de los alumnos consiste en que, entre la información que manejen, se incluya los resultados globales obtenidos en el análisis de sus ideas personales, y desarrollar actividades específicamente dedicadas a que analicen y discutan hasta qué punto son adecuadas cada una de ellas.

También ayudaría a salvar los obstáculos que se han expuesto en las secciones anteriores el trabajo en torno a series de problemas agrupados en bloques, según el tipo de conceptos implicados. En una formulación adecuada para la formación del profesorado, pero que podría adaptarse a otros niveles educativos, podrían ser, entre otros, los siguientes:

1. ¿Qué sabemos de la interacción eléctrica? ¿Por qué es importante?
2. En las experiencias con objetos cargados se observan atracciones y repulsiones ¿Qué sugiere esto con respecto al origen de la electricidad y las cargas eléctricas?
3. ¿Cuál es la regla por la que se rigen estas interacciones? ¿En qué casos se van a producir atracciones y en qué casos repulsiones?
4. Después de un buen contacto entre dos objetos, se observan atracciones entre ellos. Por ejemplo entre dos tiras de fixo o entre una transparencia y un folio. ¿Qué puede sugerir esto sobre el tipo de electricidad que adquiere cada objeto?
5. Entre las fuerzas conocidas, ¿dónde está situada la fuerza eléctrica?
6. ¿De qué factores depende el valor de la fuerza eléctrica?
7. ¿Qué es la carga eléctrica? ¿Qué es exactamente “estar cargado” o “estar neutro”?
8. ¿En qué consiste el proceso de electrización por contacto?
9. ¿Cuáles son las diferencias en el comportamiento eléctrico de un conductor y de un aislante?
10. ¿Han de estar necesariamente cargados dos objetos cuando se dan atracciones entre ellos?
11. ¿Es necesario que haya contacto con un conductor para electrizarlo? ¿Cuántas formas hay de electrizar un objeto?

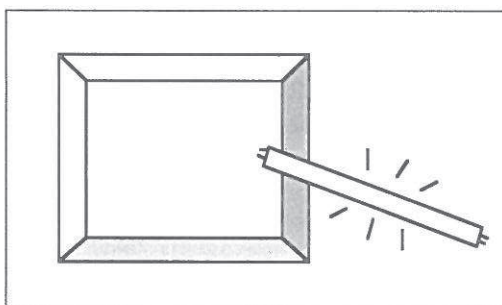


Figura 2. Descarga de electricidad de la pantalla de TV a través de un tubo fluorescente.

El trabajo relativo a cada uno de estos problemas debe apoyarse en la realización de experiencias que proporcionen el soporte empírico que resulta tan útil y conveniente en el trabajo sobre cuestiones abstractas y difíciles de abordar para la mayoría del alumnado como las de electrostática. A título de ejemplo, se propone la realización de experiencias como las siguientes:

En relación con la primera cuestión, además de identificar fenómenos electrostáticos cotidianos, se puede realizar una primera experiencia para detectar la electricidad de una transparencia electrizada o la acumulada en la pantalla de televisión (justo recién apagada). Para ello se sugiere el uso de un tubo fluorescente de linterna que luce cuando lo sostenemos con la mano por un extremo, mientras tocamos el objeto electrizado por el otro. La iluminación del tubo es pa-

tente con el aula a oscuras y al ser éste más pequeño que los utilizados para iluminar una estancia, es capaz de producir ráfagas de luz al contacto con un simple plástico electrizado. Ello aporta a esta experiencia varias ventajas: es más espectacular, menos conocida y por tanto más atractiva; y la relación entre el efecto (iluminación del tubo) y la causa (paso de electricidad) conecta con el uso cotidiano de este objeto.

La identificación de las interpretaciones sobre atracciones y repulsiones entre objetos cargados como el contenido de menor demanda cognitiva, es una buena razón para comenzar por él en los problemas 2, 3 y 4, en los que se pretende tratar este aspecto de una forma operativa. De esta manera, la primera noción de carga eléctrica es sencillamente una etiqueta descriptiva, posponiéndose la definición de carga eléctrica relacionada con los átomos. Dentro de las posibles experiencias de electrización, las que se producen por contacto, bien apretando una transparencia contra un folio, bien usando dos pares de tiras de cinta adhesiva (como la marca Scotch, no tratada contra la electricidad estática), parecen experiencias muy adecuadas, pues cuando la electrización se produce por contacto, sin frotamiento, no interfieren esquemas distractores que compitan con la idea de trasvase de cargas que queremos afianzar. Estas actividades servirán para interpretar otros fenómenos cotidianos, como la forma de electrizar-

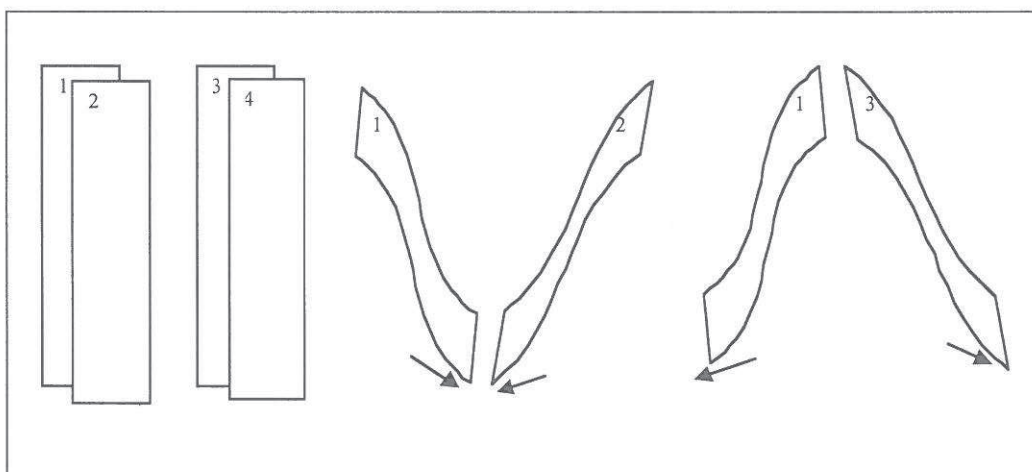


Figura 3. Atracciones y repulsiones entre dos tiras de cinta adhesiva Scotch cargadas previamente por contacto mutuo.

nos por contacto intenso con la tapicería del automóvil, que luego se traduce en una desagradable descarga en el momento en que roecemos un material conductor.

En los problemas 5 y 6 se explora la relación entre la interacción eléctrica y las demás interacciones físicas (gravitatoria, magnética, etc.). De esta forma, se sitúa a los alumnos en un esquema general y pueden formular hipótesis sobre la interacción eléctrica, fundadas en la posibilidad de cierto paralelismo formal con las demás.

En cuanto a actividades para los problemas 7 y 8, además de la consulta de documentación teórica, se puede volver sobre las experiencias anteriores, tratando de interpretarlas en función de la teoría eléctrica, para lo que bastaría la consideración por los alumnos de un modelo atómico simplificado que les permita comprender los fenómenos provocados, tal como el siguiente: la materia está constituida por átomos; en ellos las cargas positivas están en el núcleo central, mientras que los electrones están ubicados en capas que lo rodean; los electrones de la última capa son especiales: son los que participan en los fenómenos de electrización y son los que, al poseer mayor o menor movilidad, marcan la diferencia entre materiales conductores y aislantes.

La idea de que toda la materia es eléctrica implica que todos los materiales se pueden electrizar y que todos experimentarán una fuerza eléctrica; esto último ocurre aún cuando un objeto está neutro, como se puede comprobar en las experiencias relativas a los fenómenos de in-

ducción eléctrica. También son fundamentales (y ausentes en muchos textos salvo excepciones como Hetch 1987), las experiencias en las que se observa cómo un metal puede quedar electrizado y ello puede ocurrir en contacto con un aislante.

En relación con el problema 9, la diferenciación entre conductores y aislantes se puede centrar en establecer en qué difieren en cuanto a una primera noción de la ubicación (distribuida / localizada) de la carga eléctrica y la velocidad de los procesos de carga o de descarga. Como ejemplo experimental, está el caso en el que comprobamos que estábamos electrizados cuando nos descargamos bruscamente al tocar la carrocería del coche o cuando rozamos a alguien, mientras que estas descargas repentinas no ocurren si sólo entramos en contacto con materiales aislantes, a través de los cuales la descarga será paulatina y suave. También es posible comprobar la relatividad del concepto de aislante eléctrico, lo que es útil para la valoración realista de los riesgos eléctricos. Es algo que resulta verificable con el generador de van der Graaf de 400kV, para el que no hemos conocido otro buen material aislante que el poliestireno o corcho blanco. Aquí también se puede abordar la idea de "perforación" de un aislante, profundizando en la interpretación de la experiencia del tubo fluorescente, cuyo gas interior se vuelve conductor de la electricidad en las condiciones a las que lo sometemos.

Los problemas 10 y 11, se dedican a los fenómenos de inducción o influencia eléctrica, en relación con los cuáles puede abordarse la inter-

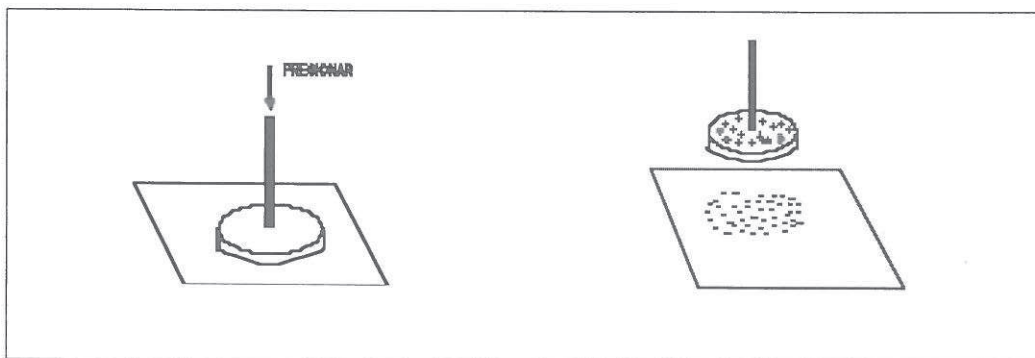


Figura 4. Electrización de placa metálica con mango aislante, por contacto con transparencia.

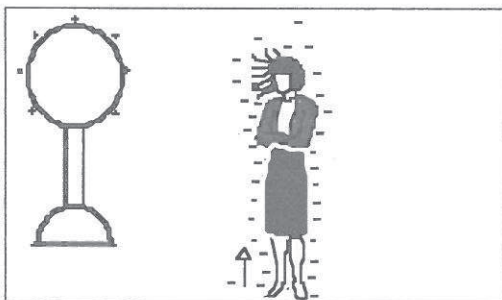


Figura 5. Persona que se carga por inducción cerca del generador.

pretación de la experiencia de un bolígrafo de plástico que se electriza por frotación, lo que se manifiesta por su capacidad de atracción de papelitos neutros.

De manera homóloga se puede sustituir el bolígrafo por una transparencia que se electriza cuando se aprieta contra un folio. También se puede evocar todas aquellas ocasiones en las que determinados tejidos de nuestra ropa se adhieren insistentemente a todo lo que les rodea. Una experiencia que resulta especialmente atractiva es la del proceso de carga, por influencia o inducción, de estudiantes próximos al generador, pero sin que exista contacto con el mismo, que luego pueden comprobar su electrización descargándose bruscamente al rozar a otros compañeros.

En síntesis, en este trabajo se ha pretendido analizar algunos de los más comunes obstáculos conceptuales en el aprendizaje sobre la electrostática básica y, en coherencia con dicho análisis, se han propuesto algunas actividades que, debidamente integradas en unidades didácticas de orientación constructivista e investigadora, pueden ayuda a salvar o disminuir la incidencia de dichos obstáculos.

REFERENCIAS

- BRIDGHAM, R. (1967). *An Investigation of Piagetian Tests as Predictors of Students Understanding of Electrostatics*. Tesis doctoral. Harvard University.
- CRIADO, A. M. (2000). "Un estudio didáctico en torno a la enseñanza de aspectos básicos de la electrostática en la formación inicial de maestros". Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
- CRIADO, A. M.; MORÓN M. C.; VENERO, C.; MARTÍNEZ, L. I. (1997). *Actividades para aprender electrostática. Fichas didácticas*. Sevilla: Ed. Venero.
- CRIADO, A. M.; CAÑAL, P. (en prensa) La identificación de fenómenos electrostáticos cotidianos por estudiantes de magisterio. Pendiente de publicación en *Alambique*.
- GUISASOLA, J. (1996). *Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el Bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista*. Tesis doctoral inédita. Universidad del País Vasco.
- GUTIÉRREZ, R. (1984). *Piaget y el currículum de ciencias*. IEPS. Madrid: Narcea.
- HETCH, E. (1987). *Física en perspectiva*. México. Addison-Wesley
- McINTYRE, P. J. (1974). Students' use of model in their explanations of electrostatic phenomena. *Science Education*, 58(4), 577-580.
- MORÓN M. C.; CRIADO, A. M.; MORÓN, M. J. (2001). Aspectos mejorables de la introducción de conceptos básicos de electrostática en los libros de texto. *Actas del 11º Encuentro Ibérico para la Enseñanza de la Física*. XXVIII Reunión Bienal de la Real Sociedad española de Física. Universidad de Sevilla.
- PORLÁN R. y RIVERO A. (1998). Ciencia profesores y enseñanza unas relaciones complejas. *Alambique* 8, 23-32.
- PORLÁN, R. y otros, J. (1996). Conocimiento profesional deseable y profesores innovadores: fundamentos y principios formativos. *Investigación en la Escuela*, 29, 23-28.

SUMMARY

This paper focuses on educational sort of difficulties to learn basic electrostatic concepts. Consideration is given to concepts cognitive demand, alternative conceptions and teaching deficiencies in books. According to the preceding analysis some teaching proposals, carried out with preservice primary science teachers, are suggested.

RÉSUMÉ

Cet article approche les difficultés pour apprendre les concepts basiques de l'électrostatique. On fait l'analyse des obstacles conceptuels comme difficultés racontées avec la demande cognitif, les conceptions des étudiants et l'enseignement dans les manuels scolaires. Avec tout ça, on propose des stratégies d'enseignement qui ont été éprouvées avec des professeurs dans formation initiale.