

Desarrollo de habilidades de pensamiento: formación del concepto de carga eléctrica

Thinking abilities improvement: electric charge concept establishment.

Dr. C. Fernando González Pérez

<fernangp6@gmail.com> <https://orcid.org/0000-0003-4077-7976>

Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías aplicadas de la Universidad de La Habana (Instec-UH), La Habana, Cuba

RESUMEN

El objetivo del artículo es proponer una secuencia experimental para formar el concepto de carga eléctrica, con suficiente rigurosidad para desarrollar habilidades de pensamiento. Esta propuesta tiene en cuenta las actuales investigaciones en Didáctica de las Ciencias y en Psicología Pedagógica, en particular las dedicadas al desarrollo de habilidades de pensamiento que han cobrado auge desde la década del 90. Se propone como procedimiento introducir preguntas, con un tipo de letras diferentes para ponerlas como ejemplo de lo que sería deseable que se preguntara un alumno, como parte de su proceso de pensamiento.

Palabras clave: enseñanza de la Física, carga eléctrica, habilidades de pensamiento.

ABSTRACT

In this article, an experimental sequence leading to the establishment of the electric charge concept, with the necessary level of rigor to develop thinking abilities is proposed. This proposal is based on state-of-the art research In Didactics of Sciences and Pedagogical Psychology, specifically in the field of thinking abilities, for which there has been increased attention since the 1990's. The general idea is to include questions written in a different font to show examples of what would be desirable that a student wonders, as part of his thinking process.

Key words: Physic teaching, electric charge, thinking abilities.

INTRODUCCIÓN

Los profesores de Física enfrentan una paradoja: Es necesario modernizar los cursos de Física y se presentan serias dificultades con la asimilación de los contenidos tradicionales. Una posible solución a esta paradoja es lograr que en los cursos de Física se haga énfasis en enseñar a pensar correctamente, aunque haya que sacrificar algo de contenido. Esto para la enseñanza media es evidente y aun en la universitaria, en aquellas carreras que necesitan una fuerte base en Física, habida cuenta de la tendencia a que las carreras sean cada vez más cortas para permitir el acceso más temprano a la educación de postgrado. Al analizar las insatisfacciones con el resultado del aprendizaje de los contenidos clásicos por los escolares¹. Se han analizado las causas de los bajos resultados, y se han establecido un grupo de factores esenciales que, a juicio de los referidos autores, en la actualidad no son debidamente atendidos²:

- “En la enseñanza de la ciencia, la modelación debe estar en correspondencia con la importancia que tiene en el desarrollo de esta. Al respecto señalan que aprender ciencia debe ser por tanto una tarea de comparar y diferenciar modelos, no de adquirir saberes absolutos y verdaderos.”
- “El desarrollo de capacidades generales debe estar por encima del aprendizaje de contenidos específicos. Los contenidos específicos de las materias, más que justificarse por sí mismos, deben de concebirse más bien como un vehículo para el desarrollo de capacidades más generales en los alumnos, que les permitan dar sentido a esos contenidos.”
- La disminución de los contenidos que se explican, para aumentar el porcentaje de asimilación. Un currículo que propone más contenidos de los que se pueden enseñar, conducirá inevitablemente al fracaso y la frustración de quien lo aplica.”

Lo anterior sirve para enfatizar en que este es una de los pilares en el que se fundamenta este y otros artículos escritos por él.

En la revisión bibliográfica realizada se constató que no abundan los trabajos con aplicaciones a la Física. El objetivo del presente trabajo es ofrecer a los profesores de Física, ejemplos de cómo proceder para contribuir al desarrollo de habilidades de pensamiento en sus estudiantes.

DESARROLLO

Análisis de la secuencia experimental para introducir el concepto de carga eléctrica:

Comienza con los experimentos de electrización por frotamiento. Si se suspenden de dos hilos de seda dos barras de ebonita (Figura. 1a), al frotarlas con seda, se observa que se repelen entre sí (Figura. 1b).

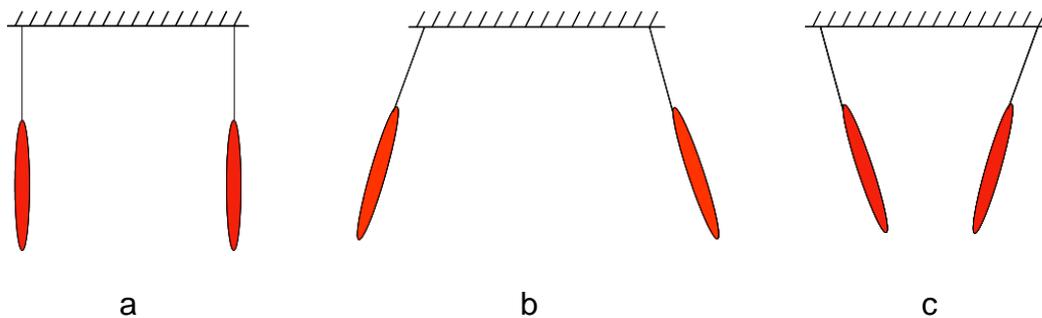


Figura 1. Atracción y repulsión electrostática

Si a una de las barras de ebonita se le frota con goma o papel, mientras que la otra se sigue frotando con seda, la fuerza que aparece entre ellas será de atracción (Figura.1c).

Si se intenta describir este fenómeno con la aparición de una nueva propiedad en las barras después de ser frotadas, podríamos decir que ambos cuerpos, en las condiciones descritas, adquieren propiedades distintas en los casos b y c. Para caracterizar los dos estados de esa propiedad que aparecen en el experimento, podemos decir que aparecen dos tipos de cargas a las que podemos dar denominaciones diferentes: blanca y negra, dulce y amarga, positiva y negativa; elegiremos esta última, y las ventajas de esta elección la veremos después. En general, se pueden utilizar dos denominaciones diferentes, que no tienen que ser necesariamente opuestas. Desde luego que de ahí a definir una magnitud física que caracterice el estado, debe avanzarse mucho más. Este es el primer paso para estudiar esta interacción que aparece en las barras al frotarlas; elijamos hablar de carga eléctrica, y para precisar mejor las cosas, hablaremos de interacciones electrostáticas, con lo que queremos significar que las cargas las consideramos en reposo, es decir estudiaremos el experimento cuando las cargas hayan adoptado definitivamente la posición en la que se quedan quietas.

¿Cree UD. que sea importante la forma que se le dé a las barras? ¿Cree mejor otra forma, distinta de la que se utiliza en el esquema?

El peso de cada una de ellas, ¿será importante?, ¿lo será el largo de los hilos?

Debemos realizar otros experimentos. Si se pone en contacto directo una de las barras de ebonita, previamente frotada con seda, goma o papel, y a la que denominamos A, con otra B, que no se ha frotado, esta última adquirirá la misma nueva propiedad que adquirió A, cualquiera que sea la naturaleza de ambos. El contacto puede hacerse a través de otro cuerpo C (Figura. 2), y entonces podrán suceder dos cosas:

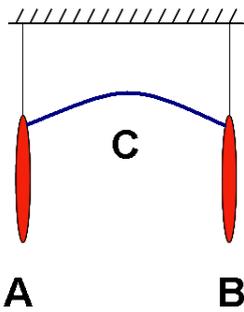


Figura 2. Contacto a través del cuerpo C

- B se electriza y se dice entonces que C es un conductor de la electricidad.
- B no se electriza y se dice que C es un aislante.

La realización de experimentos de este tipo permite concluir que:

- Son conductores: los metales, las disoluciones acuosas de sales y el aire húmedo, entre otros.
- Son aislantes: el vidrio, la madera, la goma y la porcelana, entre otros.

Aquí conviene hacer un comentario relativo a la clasificación de los materiales de acuerdo a su conductividad. Además de los conductores y los aislantes existen los semiconductores y los superconductores, la consideración de los cuales es innecesaria en este momento y complicaría el análisis del experimento. En cualquier caso, si se habla de conductores o aislantes, se estará aludiendo a alguno de los que aparece en la lista anterior

Se puede establecer otro hecho experimental que resulta importante. Si a las barras cargadas que se representan en la Figura 1, se le conecta a la tierra mediante el uso de cualquiera de los conductores que se han descubierto hasta ahora en esta exposición, durante un tiempo corto y se les desconecta después, pierden su carga, lo cual puede evidenciarse por la ausencia de fuerzas en los casos b y c, representados en la figura.

Se comprende lo hecho hasta ahora sólo tiene carácter cualitativo, para definir completamente una magnitud es necesario poder medirla y para ello debe definirse cuantitativamente, aunque sea de modo operacional, que es el que usaremos. Como un

hecho curioso relacionado con la necesidad de poder medir la carga que adquiere un cuerpo cuando se le frota, puede señalarse que la distinción entre conductores y no conductores es relativa; hay sustancias que no transmiten la electrización de A a B, si A está poco electrizado, pero que lo hacen si la electrización es muy intensa. Por supuesto, no se llegará a electrizaciones tan intensas que puedan hacer conductor al aire que separa a las dos barras.

¿Conoce UD. casos en los que el aire puede convertirse en un conductor? Liste los que recuerde.

Se puede elaborar un método semicuantitativo para medir la carga eléctrica. Pensemos que la repulsión entre cuerpos de la misma carga eléctrica puede tener lugar entre distintas partes de un mismo cuerpo y que si el cuerpo es conductor, la carga en él se distribuirá de alguna manera, que garantice que la repulsión no pueda separar más, a unas partes de la carga de las otras restantes. Si consideramos un cuerpo formado por un bulbo metálico unido al extremo de una barra metálica del mismo material, y que en el otro extremo tiene dos láminas muy finas (Figura.3), se encontrará que cuando este cuerpo se cargue por el bulbo, la carga se transmitirá a las láminas y la fuerza que aparecerá entre ellas, ocasionará que se separen entre sí. Normalmente, la barra se introduce en un recipiente de vidrio para evitar las corrientes de aire. Se construye así un instrumento que se denomina electroscopio.

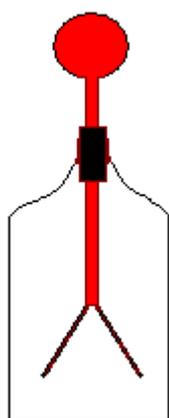


Figura 3. Electroscopio

Con él podemos saber si un cuerpo está cargado y además, podemos ordenar la magnitud de las cargas que adquiere un mismo cuerpo, en dos ocasiones diferentes. Se pone en contacto el cuerpo cargado con el bulbo del electroscopio, en las dos ocasiones, si el ángulo entre las láminas es el mismo, podemos suponer que la carga que adquirió el cuerpo en ambos casos, es la misma, si en un caso el ángulo es mayor, diremos que la carga es mayor. Pero no sabemos cuán mayor. La dependencia entre la magnitud de la carga y el ángulo, sólo podemos suponer que sea monótona creciente en sentido estricto, esto es, mientras mayor sea la carga del cuerpo al frotarlo, mayor será el ángulo, pero no podemos

llegar más lejos. Por otra parte, se subraya que hemos comparado las cargas que adquiere un mismo cuerpo en ocasiones distintas y no la que adquieren dos cuerpos diferentes.

¿Cree UD que es necesaria la suposición anterior?

Para avanzar en la definición operacional de carga eléctrica, que nos permita medirla, podemos cargar dos cuerpos idénticos (dos esferas metálicas del mismo material y con el mismo diámetro), con cargas opuestas. Esto puede lograrse frotando dos barras de ebonita idénticas, en cada caso del mismo modo de frotación, cada una con paños diferentes, uno de seda para una y otro de goma para la otra. Cada una de las barras, una vez cargadas, se ponen en contacto con una esfera diferente, con esto se logra que las esferas adquieran la misma cantidad de carga, lo cual puede comprobarse si las dos esferas, al poner a cada una de ellas en contacto con el electroscopio, provocan igual separación entre las láminas. Al poner en contacto ambos cuerpos entre sí y separarlos después, se observa que ninguno de ellos puede provocar un alejamiento de las láminas del electroscopio, lo que demuestra que ninguno tiene carga, esto es un hecho experimental y debe ser aceptado acriticamente. La explicación tiene otro carácter y por el momento no puede pasar de ser tentativa. Se concluye que algo le ocurrió a las cargas que tenían antes del contacto, se dice que las cargas se neutralizaron. Observe que el análisis parece verse favorecido por la elección que se hizo de nombrar las cargas opuestas como positiva una, y negativa la otra. Al neutralizarse parecería que las cargas de los cuerpos separados, se conservaran y se sumaran al ponerse en contacto. Esto, en este momento no pasa de ser un indicio, otras observaciones podrán confirmarlo o refutarlo, por lo pronto es una hipótesis. Alternativamente podríamos pensar en que las cargas “se destruyeron” o se transformaron en algo distinto. Debemos continuar acumulando resultados experimentales.

¿Puede concebir otro experimento que apunte, no que demuestre, que las cargas se suman?

Si se acerca una barra de ebonita cargada (Figura. 4a) a un electroscopio (inicialmente descargado, Figura. 4b), se observa que las láminas se alejan (Figura. 4c), al alejar el cuerpo, las láminas se acercan de nuevo (Figura. 4d). Si mientras el cuerpo está cerca, se conecta a tierra el bulbo del electroscopio, mediante un cable metálico, se corta la conexión y después se aleja el cuerpo cargado, se observa que las placas se mantienen alejadas, lo cual demuestra que el electroscopio quedó cargado. Se puede cargar de esta manera cualquier cuerpo conductor. Otro elemento lo constituye el hecho de que al acercar a un electroscopio cargado, un cuerpo con una carga opuesta a la suya, las láminas se acercan al alejar el cuerpo, vuelven a separarse.

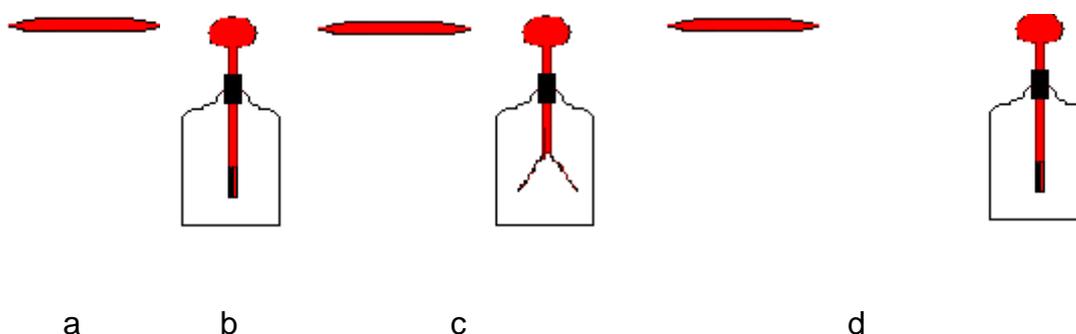


Figura 4. Electrización por inducción

De lo dicho en el párrafo anterior, se concluye que es posible cargar un cuerpo sin establecer contacto directo con él, a esto se le denomina electrización por influencia o por inducción. Se comprueba que a medida que el acercamiento entre el cuerpo cargado y el que se va a cargar, es mayor, la carga que este último adquiere aumenta, aunque siempre se mantiene menor que la del cuerpo inductor.

Esto de que la carga se mantiene menor que la del cuerpo inductor, ¿cree usted que esté demostrado? ¿Si fuese una hipótesis, cree que es necesario introducirla?

Si al cuerpo a cargar se le da una forma apropiada, una esfera hueca, y se introduce en el interior de ella, el cuerpo inductor, que puede ser una esfera metálica cargada unida a una barra aislante, se comprueba que la carga adquirida es igual a la del cuerpo inductor (Figura. 5). Desde luego que todas las afirmaciones sobre la comparación de las cargas, se sustentan en el uso del electroscopio como instrumento de comparación.

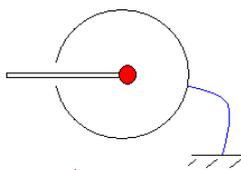


Figura 5. Introducción del cuerpo inductor

Todo lo que hemos hecho hasta aquí es de carácter descriptivo y los objetivos de la ciencia no son sólo estos, se trata siempre de entender el mecanismo que da lugar a estos hechos y sobre todo, se tiene la intención de poder hacer predicciones. Para ello, es necesario medir las cargas. Intentemos, con este propósito obtener fracciones conocidas de una carga dada. Se nos puede ocurrir poner en contacto una esférica metálica cargada, con otra idéntica a ella. De hecho, en algunos textos se usa este procedimiento para obtener la mitad de la carga inicial, por eso se quiere discutir esa posibilidad. Podemos llevar a cabo el experimento citado y comprobar que las cargas que aparecen en cada una de las esferas, después del contacto, son iguales y menores que la carga inicial. Este hecho aislado no permite decir que cada una de estas fracciones sea la mitad de la inicial. Observe que podríamos probar que es la mitad si supiéramos que la carga se conserva, pero nada nos conduce a pensar que esto es así, esto no podemos concluirlo de ninguno de los experimentos analizados hasta el momento. Definitivamente, debemos establecer un criterio para comparar cuantitativamente cargas diferentes y podemos hacerlo si se utiliza, en mayor medida, la aparición de fuerzas entre las cargas. Hagamos entonces el experimento que se muestra en la Figura 6.

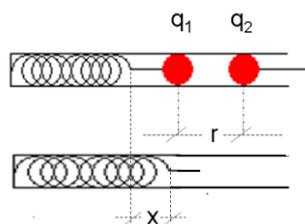


Figura 6. Medición de la fuerza electrostática

En el esquema se muestra un tubo de vidrio, en el interior del cual puede deslizarse sin fricción una esfera metálica, que está unida a un resorte, con el extremo opuesto fijo. Inicialmente se carga la esfera y después se pone en contacto con otra idéntica a ella. Se separan una distancia “ r ”, ambas esferas se repelen con una fuerza que puede medirse con la compresión “ x_1 ” del resorte. Ahora tomamos la esfera no unida al resorte y la descargamos conectándola a tierra, la volvemos a cargar al ponerla en contacto con la

esfera unida al resorte, las separamos de nuevo a la misma distancia “r” y medimos la fuerza de repulsión a través de la medición de la nueva compresión “x₂”. Podemos repetir la operación, siempre que nos resulte posible medir la compresión del resorte, que será cada vez menor. Se puede construir una tabla 1 con los valores de la compresión relacionados con el número de orden de la operación.

Tabla 1. Resultados experimentales

Número de orden	1	2	3	4	n
Compresión del resorte	X ₁	X ₁ /4	X ₁ /16	X ₁ /64	X ₁ /2n ²

Es de suponer que la fuerza de repulsión entre las cargas aumente cuando al menos el valor de una de ellas lo haga. Las dos consideraciones más simples son que dependa de la suma de las cargas o del producto. Veamos en la tabla 2, cuáles hubieran sido los resultados del experimento si la fuerza dependiera de la suma de las cargas.

Tabla 2. Resultados si la fuerza dependiera de la suma de las cargas

Número de orden	1	2	3	4	n
Compresión del resorte	X ₁	X ₁ /2	X ₁ /3	X ₁ /4	X ₁ /n

Evidentemente esta hipótesis, la más simple, no coincide con los resultados del experimento, además, no permite explicar otro hecho experimental y es que cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen y lleva además a un absurdo, dos cargas iguales de signo contrario se atraen y la hipótesis de la suma conduciría a que no se ejercería fuerza alguna entre ellas. Se puede comprobar fácilmente que si se supone que la fuerza depende del producto de las cargas se explican todos los resultados experimentales vistos hasta el momento. Ahora se dispone de un elemento más para decir que, en cada contacto de una esfera cargada con otra idéntica, inicialmente descargada, la carga se reduce a la mitad, con lo que cobra fuerza la hipótesis que se había formulado antes. Haciendo uso de lo anterior, se pueden interpretar los resultados del experimento al decir que la fuerza de repulsión entre cuerpos cargados es directamente proporcional al producto de las cargas de ambos.

¿Qué opina de la rigurosidad del razonamiento empleado?

Si mantiene fijo el valor de las cargas de ambos cuerpos, se puede estudiar la manera con la cual el valor de la fuerza depende de la distancia entre los cuerpos. Se encuentra que la fuerza decrece según el cuadrado de la distancia que los separa.

La construcción representada en la Figura 6, refleja en lo esencial los experimentos, que se realizaron para llegar a los resultados que hemos comentado, pero en realidad, la instalación experimental original, la Balanza de Cavendish fue más complicada. La generalización de los resultados obtenidos en el experimento de neutralización de cargas y de su división a la mitad, para interpretar la dependencia obtenida, en el experimento de la Figura 6, con el número de orden de la observación, nos conduce a establecer la hipótesis de la conservación de la carga. Si ocurriera que en posteriores experimentos se encontrara algo que contradice lo que se ha formulado, entonces habrá que realizar una nueva generalización que incluya el nuevo resultado experimental, pero que incluya también, como caso particular, a lo formulado antes, para englobar los resultados experimentales que se conocían hasta ese momento.

¿Qué utilidad le ve al párrafo anterior?

Muchas veces los experimentos se repiten y se realizan con una mayor exactitud, por ejemplo, la comprobación de que la fuerza electrostática depende del inverso cuadrado de la distancia, se ha repetido muchas veces, dada la trascendencia que tendría que el exponente de la distancia no fuera exactamente 2.

La parte del proceso más difícil de controlar, es la frotación. Ya se vio que es muy importante el paño con el cual se frota: si es de seda se obtiene una carga y si es de goma, una opuesta. Por el momento supongamos que se frota con el mismo paño, de seda o de goma, según convenga, pero siempre el mismo. El otro aspecto es el mecanismo de frotación. Esto nos lleva a realizar la frotación mediante un dispositivo cuyo funcionamiento sea más estable, es decir a utilizar una máquina, en lugar de hacerlo manualmente. Un esquema de una máquina que pudiera utilizarse, se muestra en la Figura 7.

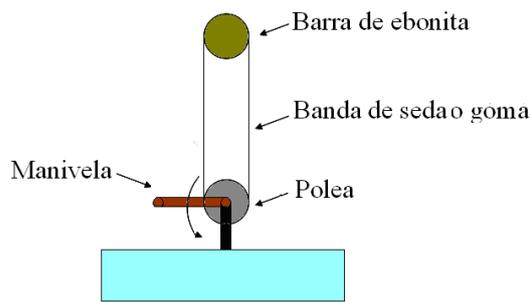


Figura 7 Máquina electrostática

Si se regula la tensión de la banda y se da a la manivela el mismo número de vueltas, siempre durante el mismo tiempo, y se hace el procedimiento con los mismos valores de temperatura ambiente y de humedad del aire, la carga que adquiere la barra es la misma en todos los casos y que por tanto, la que adquirirá la esfera, que cargamos para usarla como patrón, será la misma todas las veces que realicemos la operación.

Por supuesto que sólo debemos usar dos bandas: una de seda y otra de goma. Así podríamos construir un patrón, de carga unidad y obtener cargas fraccionarias. Con la hipótesis de conservación de la carga y la de simetría, podremos obtener la tercera parte de la carga inicial, si ponemos en contacto la esfera patrón con dos iguales a ella; la quinta si la ponemos en contacto con cuatro esferas y así sucesivamente. Es de resaltar la arbitrariedad en la elección del patrón, podemos cargar más o menos al cuerpo para tomar el patrón, lo único a tener en cuenta es que, una vez fijado el patrón, todo lo demás que hagamos tiene que estar en correspondencia con la elección realizada.

Con lo hecho hasta el momento, se puede hablar de validez interna de nuestras conclusiones, esto quiere decir que lo que se ha concluido se cumple siempre en nuestro laboratorio. Más que eso, lo que interesa es que cualquier investigador, en cualquier parte y en cualquier momento, obtenga los mismos resultados. A esto se le denomina validez externa y es lo que se busca en toda investigación científica. Para garantizar la validez externa, hay que estudiar las condiciones que garantizan la repetibilidad de los resultados al construir un patrón en otras condiciones, que se denomina patrón secundario. Por ejemplo: Si los resultados son tan diferentes al cambiar el tipo de material, uno debería investigar lo que ocurre con cambios más ligeros, con distintos tipos de seda o de goma, esto es algo que debe estudiarse para poder describir las condiciones en las que deben realizarse los experimentos destinados a construir un patrón secundario.

Para resumir los resultados de los experimentos con la instalación representada en la Figura 6, podemos escribir una ecuación que refleje las dependencias encontradas en los experimentos:

$$F = C \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

Esta es la expresión matemática de la Ley de Coulomb, podemos llamarla ley con todo rigor, en tanto expresa una relación regular entre los valores de las magnitudes que aparecen en ella. La constante C, depende de las unidades con las que se midan las magnitudes. En una ley natural no puede haber arbitrariedad, y se dijo que la elección del patrón de carga eléctrica unitaria es arbitraria. Estos hechos serían contradictorios si no existiera algo que se encargara de ajustar las cosas para eliminar la arbitrariedad: este rol lo desempeña la constante C. Al elegir un patrón, C toma un valor; si se elige otro; C cambia su valor, de manera que la relación entre la fuerza y la distancia (que se sabe bien como medir cada una de ellas), permanezca descrita por la ecuación (1), requisito indispensable para que ella pueda corresponder a la expresión matemática de una ley.

Podemos escribir ahora la expresión (1), con el uso de unidades del Sistema Internacional (SI). Se sabe que el cambio de unidades afecta el valor de la constante C de la ecuación (1), que es la más general. Se obtiene que:

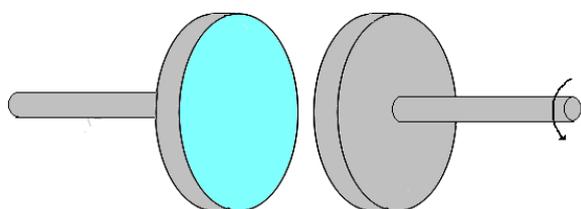
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2)$$

donde $\epsilon_0 = 8,8541878176 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$, C es la unidad de carga eléctrica y se denomina Coulomb.

¿Se da cuenta de que la ecuación 2, es más que una fórmula para determinar el valor de una magnitud, conocidos los valores de las restantes? Argumente.

Podemos ahora realizar otros experimentos para ahondar en las propiedades de las cargas eléctricas. Con la esfera hueca de la Figura 5, podemos inducir una carga q_1 , después introducir una carga q_2 , o hacer la inducción de ambas simultáneamente. Con un electroscopio se puede comprobar que ambos procedimientos son equivalentes y con el experimento del resorte medir que no sólo son iguales, sino que son iguales a $q_1 + q_2$.

En relación con lo que discutimos, hay otro experimento que resulta de interés. Cuando se frota un cuerpo con un paño, si el cuerpo se carga, lo hace también el paño. Esto puede comprobarse con el experimento que se representa en la Figura 8.



Se frota un disco de vidrio con otro idéntico a él, forrado de seda y se comprueba que ambos adquieren cargas iguales y de signo contrario.

Figura 8. Carga en los dos cuerpos al ser frotados uno con otro

Tres de los elementos que se han estado discutiendo: la división de las cargas entre cuerpos que se produce al poner cuerpos en contacto, la inducción simultánea producida por dos cargas, y la aparición de cargas en los dos cuerpos cuando uno frota al otro, se pueden resumir diciendo que en todos los fenómenos la carga eléctrica se conserva. Como sucede con cualquier otra ley física, es una conclusión que está sujeta a constantes comprobaciones y su validez depende de los resultados de ellas. En realidad, hasta el momento no se ha encontrado un fenómeno en el que la carga eléctrica no se conserve, es una de las leyes de mayor rango de validez.

En todo lo anterior no se ha tenido en cuenta para nada, la naturaleza de la carga eléctrica, se han estudiado sus propiedades, pero no se ha intentado responder a la pregunta de qué es la carga eléctrica. Responder a ella es equivalente a establecer un modelo de estructura de la sustancia. En la época en que se realizaron experimentos equivalentes a los descritos, esto constituía una frontera de investigación y surgieron tres modelos alternativos. En lo que sigue, se expondrán estos tres modelos, tomando las ideas de un texto de Física de los inicios de la segunda década del siglo XX³. Resulta curioso el modo de enfocar este asunto a más de 20 años de haberse descubierto el electrón.

La hipótesis de Symmons, que establece cinco afirmaciones³:

- a) La electrización del vidrio y la resina, cuando se les frota, se debe a dos fluidos distintos: el fluido vítreo y el resinoso. Al primero se le suele llamar fluido positivo y al segundo negativo.

- b) Las partículas del mismo fluido se repelen mutuamente, pero atraen a las del otro y sobre ambas ejercen atracción todos los cuerpos o la materia ponderable.
- c) Estos dos fluidos juntos o combinados forman un fluido neutro, del cual todo cuerpo en su estado natural o no electrizado encierra en sí una gran cantidad.
- d) Un cuerpo está electrizado positiva o negativamente según haya en él exceso de uno u otro fluido.
- e) Al frotar un cuerpo contra otro y por varias causas, el fluido neutro se descompone, quedando en uno de ellos el fluido positivo y en el otro el negativo, en una cantidad mayor que la normal. Por eso, al separarlos, aparece uno electrizado positivamente y el otro negativamente.

La hipótesis de Franklin, que sólo establece cuatro³:

- a) La electricidad es un fluido imponderable que se halla en todos los cuerpos. Estos no aparecen electrizados cuando contienen la cantidad que le es propia y normal.
- b) Si aumenta la cantidad por alguna razón, el cuerpo adquiere carga positiva y negativa si aquella disminuye.
- c) Al frotar dos cuerpos entre sí, pasa de uno al otro algo de fluido eléctrico, así aparece uno con electrización positiva y el otro con electrización negativa.
- d) Las partículas de fluido eléctrico se repelen mutuamente, pero las atrae con toda energía toda otra materia.

Hipótesis electrónica. No carece de fundamento probable que la electricidad es un fluido material, cuando no dos, compuesto de átomos llamados electrones. El electrón negativo parece que se pueda dar por separado de toda materia ponderable o solo, no así el positivo, que se muestra siempre unido a los átomos de los cuerpos, por eso creen algunos físicos que la electrización positiva no sea otra cosa sino el átomo de la materia ponderable, privado de algún electrón negativo. De ser así, habría un solo fluido eléctrico, el negativo, y la electrización positiva, contra lo que creía Franklin, resultaría de la falta o privación del fluido eléctrico, que resultaría negativo.

Cual sea la naturaleza de los electrones, que relación tengan con el éter, si son otras sustancias distintas, o un estado particular, de disociación tal vez, del mismo, porqué se da separado de otra materia el electrón negativo y no el positivo, son puntos oscuros, sobre los cuales nada se sabe. Hasta aquí las ideas expuestas en el citado texto.

Llama la atención que en este texto se hable todavía de la teoría del éter, 16 años después de que Albert Einstein publicara su famoso artículo “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, en el que presentó la Teoría Especial de la Relatividad y con la que terminó por abandonarse la teoría del éter. Y que se cuestione las razones por las cuales se separa el electrón de lo que llama “materia ponderable”, 8 años después de haberse descubierto el núcleo atómico.

Es útil saber que aplicaciones habían encontrado los fenómenos eléctricos en esa época que se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Fechas de construcción de importantes equipos eléctricos

Año	Descubrimiento	Año	Descubrimiento
1800	Batería eléctrica	1877	Soldadura eléctrica
1821	Motor eléctrico	1878	Tubo de rayos catódicos
1823	Electroimán	1879	Lámpara de hilo incandescente
1831	Dinamo	1879	Lámpara de arco
1834	Tranvía eléctrico	1885	Transformador de CA
1837	Telégrafo	1885	Submarino con propulsión eléctrica
1861	Horno eléctrico	1892	Motor de CA
1868	Pila seca	1893	Célula fotoeléctrica
1874	Telégrafo	1895	Rayos X
1876	Teléfono	1895	Telegrafía sin hilos

Se subraya que todo este avance se había hecho sin haberse descubierto el electrón, es decir sin haberse acercado notoriamente a la noción actual de estructura de la sustancia.

En el momento en que se hacen estas discusiones, se puede decir que no hay elementos que nos permitan preferir un modelo a otro. En la actualidad se tienen muchos elementos que apoyan el modelo electrónico, pero esto no debe privilegiarlo por encima de los demás en las discusiones que estamos teniendo.

Existe un cierto paralelismo entre lo que pueden pensar los alumnos con los experimentos que se les han mostrado y lo que pensaban los científicos en la época en que estudiaban los resultados de experimentos similares. En ese entonces surgieron los tres modelos que se vieron para explicar la conducción eléctrica. Se sabe que en la actualidad se acepta el modelo electrónico. La posibilidad de que surjan en los alumnos ideas que correspondan a modelos abandonados o rechazados, pero que son igualmente válidos con los elementos experimentales que se discuten, impone la condición de que se sea receptivo con las ideas que actualmente se considerarían erróneas y que no forman parte de la Física establecida.

CONCLUSIONES

Se proponen ejemplos de explicaciones que es posible dar a los hechos experimentales presentados y que luego, con un mayor número de evidencias experimentales, se han abandonado por la comunidad científica.

Hay formas de presentación de contenidos que pueden usarse, a saber: recomendar fuentes en los que aparezcan las discusiones deseadas, poner en red materiales elaborados por el profesor en los que se tratan temas que el tiempo no permite abordar en el aula. Una posibilidad la brinda el currículo oculto, Jackson, 1992.

Se recomienda que el profesor revise la correspondencia entre el carácter de las preguntas que se le formulan y las características del pensamiento crítico que se explican en la primera parte de este artículo y que formule además sus propias preguntas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Pozo JI, Gómez Cresp MA. Aprender y enseñar ciencia. Madrid: Editorial Morata; 1998

2 Jackson Philips W. La vida en las aulas. Madrid, España: Ediciones Morata; 1992

3 Valladares B. Tratado de Física Elemental. Madrid: Editorial Hijos de Gregorio del Amo;1921.

BIBLIOGRAFÍA

Amestoy de Sánchez M. La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento. *Investigación Educativa*. 2002; 4(1): 3-9.

Báez Alcaíno J, Onrubia Goñi J. Una revisión de tres modelos para enseñar las habilidades de pensamiento en el marco escolar. *Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Perspectiva Educacional. Formación de Profesores*. 2016 enero; 55(1): 94-113

Valenzuela J. *Habilidades de pensamiento y aprendizaje profundo*. Bélgica: Université Catholique de Louvain; 2008

Lara Coral A. Desarrollo de habilidades de pensamiento y creatividad como potenciadores de aprendizaje. *Revista Unimar*. 2012 enero –junio; (59):85-96

Serrano M y Tormo R. Revisión de programas de desarrollo cognitivo. el programa de enriquecimiento. instrumental (PEI). *Revista de Investigación y Evaluación Educativa*. 2000; 6(1):1

Halpern DF. *Thought and knowledge: An introduction to critical thinking* (4th ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum; 2003.

Barragán Gómez AL, Cerpa Cortés G. Transferencia de habilidades de pensamiento desde el curso de Física a otras disciplinas y a la vida diaria. *Lat. Am. J. Phys.Educ*. 2014; 8(1):52

Recibido: 23 de febrero de 2020

Aceptado con recomendaciones: 12 de mayo de 2020

Aceptado: 3 de junio de 2020