

## IV

### ¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?

(The Reader, 19 Noviembre 1864.)

La electricidad no es una substancia, sino un modo de movimiento.— Tiene por condición una diferencia en la estructura molecular, ó en el estado molecular de dos cuerpos.— Toda molécula tiene un estado vibratorio propio, procedente de su constitución química, y conserva su período propio de oscilación á toda temperatura, hasta en el estado sólido.— Objeción sacada de los espectros continuos dados por los cuerpos sólidos.— Respuesta.

*Electricidad por contacto.*— Yuxtaposición de dos metales diferentes, es decir, de dos grupos de moléculas animadas de movimientos vibratorios diferentes; comparación con las pulsaciones acústicas; producción de una onda diferencial, la cual crea dos ondas iguales, de sentido contrario, sincrónicas, y que parten del punto de contacto; el poder conductor; retorno y neutralización de las dos ondas; imposibilidad de producir una corriente.

*Electricidad térmica.*— Refuerzo de las vibraciones, y consecuentemente de las ondas diferenciales por el calor; nacimiento de una corriente; pila de Nobili.— Objeción: electricidad térmica producida por un sólo metal.— Respuesta: las dos piezas del mismo metal tienen necesidad de estar en estados moleculares diferentes.

Resumen de las probabilidades en favor de la hipótesis propuesta.

*Post-scriptum.*— De la aplicación de la hipótesis á las otras formas de electricidad.— Un indicio: poder de las moléculas complejas para absorber el calor; la mayor parte de este calor es absorbida por los elementos de la molécula. Cada molécula tiene así, además de su oscilación de conjunto, diversas oscilaciones internas más rápidas. Influencia de las moléculas compuestas entre sí. Acumulación del movimiento alrededor de los puntos donde la perturbación nace.

*Electricidad estática.*— Complejidad molecular de los cuerpos donde ella se produce; efecto del frotamiento sobre las oscilaciones de las moléculas y sus elementos; por qué esta electricidad permanece en la superficie; por qué las dos electricidades se producen simultáneamente.— De la *inducción.*— De la *electricidad voltáica.*

2.º *Post-scriptum.*— Una aclaración: por qué las ondas eléctricas se acumulan mutuamente al revés de las ondas ordinarias.— Argumentos puestos en forma en favor de la hipótesis.

Entre los físicos de mayor autoridad quizás no se encuentre uno sólo que, al emplear en estos últimos años la expresión el fluido eléctrico, lo haya hecho en un sentido distinto del convencional. Cuando distinguen entre las dos especies de electricidad, positiva y negativa ó vítrea y resinosa, emplean estas ideas como símbolos cómodos y no ven en ellas verdaderas entidades distintas. Hoy en día, que el calor y la luz están reconocidos como modos de movimiento, todo el mundo admite que las manifestaciones análogas de la fuerza deben ser también modos de movimiento.

¿Cuál es este modo particular de movimiento á que es debido la electricidad? He aquí planteada la cuestión. Es alguna especie de vibración molecular, distinta de la que producen los cuerpos luminosos: creo que este punto resulta admitido por cualquiera que no aborda el presente tema sin conocer los recientes descubrimientos de los sabios. Además de estas oscilaciones simples de donde resultan el calor y la luz, ¿no podemos suponer que se forman en ciertos casos oscilaciones compuestas? Veamos si las condiciones en las cuales la electricidad se forma no son las mismas en que pueden engendrarse oscilaciones compuestas; si además los fenómenos de electricidad no son de naturaleza para poder ser el efecto de ciertas oscilaciones, si, por último, no son especialmente de naturaleza para resultar de oscilaciones compuestas.

El antecedente constante de toda producción de electricidad es el contacto directo ó no entre sustancias heterogéneas, ya sea por sus estructuras moleculares, ya por sus estados moleculares. Luego si la electricidad es un cierto

modo de movimiento molecular, si en todas partes donde aparece ha debido haber en ella contacto entre substancias constituídas de moléculas desemejantes ó de moléculas que se encuentran en estados desemejantes, no podemos evitar esta conclusión; que la electricidad resulta de alguna acción recíproca de moléculas animadas de movimientos diferentes. ¿Cuál puede ser esta acción recíproca?

Antes de buscar la respuesta á esta pregunta, conviene separar una objeción que se pudiera presentar; puede negárenos nuestra suposición de que moléculas diferentes, cualesquiera que sea su estado de unión entre sí, resulten animadas de movimientos diferentes. Se admite de ordinario que en el estado gaseoso los elementos de cada substancia tienen una velocidad de vibración propia de ellos y diferente de la que pertenece á los elementos de toda otra substancia. El Profesor Tyndall ha hecho ver además que una vez condensados en el estado líquido los elementos de cualquier género, guardan aún una velocidad de vibración sincrónica con la de su estado de difusión gaseosa. Pero se pretende que una vez reunidos en masas sólidas los elementos de diferentes especies no conservan ya sus velocidades propias de vibración. Se admite que cada especie puede adoptar todos los estados vibratorios, porque todas las substancias sólidas, cualesquiera que ellas sean, producen ondas de éter de todas longitudes; prueba: todas dan un espectro continuo. No obstante me atrevo á creer que esta conclusión no es legítima. Está, y pienso poder probarlo, en desacuerdo con las leyes más elevadas de la Mecánica; y los hechos pueden explicarse sin ella, según mi opinión. Para comenzar por el argumento *á priori*, diré que está en contradicción con el principio de la persistencia de la fuerza. Toda diferencia en el estado vibratorio de dos clases de moléculas, A y B, consideradas en el estado gaseoso, es el indicio de una diferencia en los caracteres de estas moléculas. Que esta sea una diferencia de inercia, de volumen ó de forma, no importa aquí; en todo caso se trata

de una desemejanza en las acciones y reacciones ejercidas de una y otra parte por las moléculas sobre el medio que las pone en movimiento. Cuanto á decir que las moléculas A y B colocadas en dos condiciones idénticas tienen estados vibratorios diferentes, sin que exista ninguna fuerza diferencial en la una, es admitir un efecto sin causa, es negar la persistencia de la fuerza. Pues si hay entre ellas alguna fuerza diferencial gracias á la que reobran diferentemente sobre las fuerzas incidentes y adquieren estados vibratorios distintos, entonces esta fuerza diferencial debe persistir en todos sus estados de agregación para producir su efecto diferencial. Decir que una vez las moléculas de la especie A y las de especie B, aglomeradas de una parte y de otra, bajo la forma sólida no hay ya distinción entre sus estados vibratorios, es decir que la fuerza diferencial no produce ya ningún efecto, es negar la persistencia de la fuerza. Ahora, si llegamos á considerar la cuestión *á posteriori*, se nos preguntará cómo dos sólidos desemejantes en cuanto á la naturaleza de sus moléculas pueden, una vez calentados, dar el uno y el otro espectros visiblemente idénticos y que envuelven igualmente ondas etéreas de todas longitudes. Para responder examinemos de qué modo las acciones mutuas de las moléculas entre sí resultan afectadas por su estado de agregación. Si todas las partículas elementales estuviesen en las mismas condiciones, si todas sufriesen de sus inmediatas las mismas acciones y en el mismo grado, en tal caso no habría razón alguna para que tuviesen tiempos de vibración diferentes. Pero las condiciones en que se encuentran difieren de dos maneras, la una contingente, la otra necesaria. Por de pronto, la solidificación, aun estando completamente acabada, no puede menos de haber creado tensiones diferentes en los distintos puntos de la masa; aquí la cristalización es más completa; allá el frío se ha producido más rápidamente.

En segundo lugar, las partículas superficiales, la capa situada por debajo y las que siguen inmediatamente hasta

cierta profundidad, están sometidas á acciones coercitivas, muy diferentes de las que han obrado sobre las partes interiores, pues estas últimas están expuestas á las influencias de todas las partículas circundantes, y las partes exteriores no sufren estas influencias más que por una de sus caras. Pero como los períodos de oscilación deben depender por una parte del valor y de la distribución de las tensiones, los estados vibratorios de las moléculas de la superficie deben diferir del de las moléculas inmediatamente inferiores, y más aún del de las moléculas más profundas. Por consecuencia, las moléculas de la superficie no comunicarán solamente al medio ambiente un estado vibratorio correspondiendo al suyo, pues le transmitirán, además, las ondulaciones un poco diferentes de las moléculas subyacentes cuyo efecto habrán recibido, más las ondulaciones todavía un poco más diferentes de las partes más interiores, y así sucesivamente. Producirán además de ondas semejantes á las suyas, ondas un poco desemejantes, más desemejantes aún, y por fin, ondas de diversos órdenes y muy diferentes de las suyas. Darán ondas variadas, las unas más cortas que las suyas propias y representando las *diferencias* entre las diversas variaciones transmitidas por ellas, y otras más largas y respondiendo á las coincidencias periódicas de estas vibraciones. Así se llega á comprender cómo moléculas de dos clases diferentes, cuyos estados vibratorios propios son muy desemejantes, pueden, una vez reunidas en dos masas sólidas, producir las unas y las otras espectros continuos, como si estuviesen agitadas de los mismos movimientos.

Después de esta explicación preliminar, volvamos ya á nuestra interrogación: ¿Cuál debe ser esta influencia recíproca de las moléculas animadas de movimientos desemejantes, que sirve, según es sabido, de antecedente constante á toda turbación eléctrica? No será difícil encontrar la respuesta, si comenzamos por el caso más simple, el de la electrización por contacto. Si se trata de dos pedazos de un

mismo metal á la propia temperatura y se les aplica el uno contra el otro, no habrá excitación eléctrica. Pero si los dos pedazos son de metales diferentes hay producción de electricidad. Este hecho ha parecido una verdadera anomalía, hasta el punto de que fué puesto en duda; parecía derribar todas las hipótesis posibles. Pues bien, se puede explicar en la hipótesis de que la electricidad resulte de perturbaciones mutuas ejercidas entre movimientos moleculares desemejantes. En efecto, de un lado tenemos metales homogéneos en contacto; sus moléculas tienen oscilaciones sincrónicas, cada una ejercerá sobre la otra, y recibirá de ésta las acciones que debe recibir, sin que resulte de ello una oscilación de un nuevo orden. De otro lado tenemos dos masas de moléculas, cada una de las cuales tiene un período de oscilación propio de ella; sus entrecrocamientos no se armonizarán, pues, con el período de oscilación ni de la una ni de la otra; engendrarán un nuevo ritmo diferente de los otros dos y mucho más lento. El fenómeno que se llama en acústica las *pulsaciones*, aclarará bien éste. Todo el mundo conoce el hecho: dos cuerdas animadas de vibraciones diversas se acordan, de tiempo en tiempo, para emitir ondas aéreas en la misma dirección y el mismo instante; después, se separan cada vez más de la coincidencia y llegan á emitir en una misma dirección ondas intercalándose á igual distancia las unas entre las otras, emitiendo de nuevo ondas coincidentes. Por consecuencia, cuando sus tiempos de vibración difieren poco, y tienen necesidad de un momento de duración apreciable para cumplir sus períodos de acorde y de discordancia, resulta de ello en el sonido, para la oreja, como una fluctuación, una serie alternante de sonido más débil y de sonido más fuerte. En otros términos, además de la sucesión esencial de las ondas, que es simple y rápida, y que da los dos sonidos mismos, hay una sucesión de ondas compuestas y lentas, nacida de los conflictos y concordancias repetidas de las precedentes. Ahora, si las dos cuerdas, en vez de comunicar sus vibra-

ciones al aire, se las comunicasen una á otra, la misma sucesión alternante de pulsaciones harmónicas y contrarias se verificaría. Coloquemos ya cada una de las dos cuerdas en un grupo hecho de otras cuerdas parecidas, de manera que se comunique á las próximas sus vibraciones, normales y anormales; evidentemente, en cada uno de los grupos de cuerdas se propagará una de estas ondas compuestas, que vendrá á añadirse á sus rápidas oscilaciones simples. Por este ejemplo se verá claramente, me parece á mí, que si una masa de moléculas, dotada de un cierto estado vibratorio, es puesta en contacto con otra masa de moléculas, animada de vibraciones diferentes, debe resultar de ello una alternancia de coincidencias y de oposiciones entre sus movimientos moleculares, y que consiguientemente las moléculas deberán una después de otra acrecer y disminuir los movimientos los unos de los otros. En ciertos instantes se mueven en la misma dirección; luego, en otros instantes intermedios, se mueven en direcciones opuestas; de aquí los períodos con máximum y mínimum de desviación en sus movimientos propios. Y estas desviaciones máxima y mínima, transmitiéndose á las moléculas inmediatas y de ellas á las siguientes, darán por fin ondas perturbatrices, propagadas en el interior de cada una de ambas masas.

Veamos ahora las relaciones de estas ondas entre sí. Siendo iguales y contrarias la acción y la reacción, cualquiera acción que una molécula de la masa A ejerce sobre una molécula de B, irá acompañada por un efecto equivalente y opuesto. Si una molécula de la masa A, en un momento cualquiera, se mueve de manera que pueda imprimir á una molécula de B un momento adicional según una dirección determinada, el momento de A en esta dirección resultará disminuído en una cantidad igual. O dicho en otros términos: á toda onda de movimiento adicional propagado al través de las moléculas de B, responderá en reacción una onda de movimiento sustraído propagada en sentido inverso al través de las moléculas de A. Consi-

deremos estos dos hechos que están llenos de enseñanzas. Toda *adición* de movimiento facilitado durante uno de los períodos alternantes por las moléculas de A á las de B, debe propagarse al través de las moléculas de B *alejándose* de A, y al mismo tiempo habrá en ellas una *sustracción* de movimiento, á expensas de las moléculas de A, que se propagará al través de A *alejándose de B*. A toda onda de *acrecentamiento* de movimiento enviado al través de una de las masas, corresponderá una onda de *pérdida* enviada al través de la otra; y estas ondas, la una *positiva* y la otra *negativa*, serán perfectamente sincrónicas en sus oscilaciones y de valores perfectamente iguales. De donde se deduce la conclusión evidente de que si estas ondas, que parten de la superficie de contacto para marchar en sentido contrario al través de las dos masas, llegan á encontrarse, habrán de neutralizarse. La acción y la reacción, siendo iguales y contrarias, estos movimientos moleculares, que se podría designar con los signos *más* y *menos*, se anularán al añadirse, y el equilibrio será restablecido.

Estas ondas perturbatrices, positiva y negativa, recorrerán muy fácilmente las dos masas de moléculas. Las moléculas, y esta es una verdad hoy día demostrada, pueden absorber en provecho de sus propias vibraciones los movimientos rítmicos, las ondas, cuyos períodos son idénticos al suyo; pero no pueden absorber una serie de movimientos cuyos períodos difieran del suyo. Luego estas ondulaciones diferenciales, siendo muy largas con relación á las de las moléculas mismas, atravesarán fácilmente las masas de moléculas: éstas las *conducirán*. Además, observémoslo: si las dos masas de moléculas continúan tocándose, estas ondas positivas y negativas, alejándose en sentido inverso de la superficie de contacto, y llegando cada una por su lado á la superficie exterior de las dos masas se reflejarán en ellas; volviendo entonces hacia la superficie de contacto se encontrarán en ella y se neutralizarán. Luego si se juntan las superficies exteriores de las dos masas por un hilo

no se producirá en él corriente; porque el más corto camino para efectuar la neutralización es aquel que siguen las ondas reflejadas al través de las dos masas. Pero, en ausencia de toda corriente exterior, las dos masas no conservarán menos lo que llamamos estados eléctricos opuestos; lo que muestra, en efecto, un electrómetro sensible. En seguida, si se las separa, las ondas positivas y negativas, que se habrán propagado un instante antes, no estando de ningún modo neutralizadas las dos masas, revelarán de una manera más precisa sus estados eléctricos opuestos. Entonces, que se coloque entre ellas un conductor y las ondas positivas y negativas restantes se neutralizarán; en efecto, las ondas *positivas* lanzadas de una de las masas en el conductor, encontrando las ondas *negativas* venidas de la otra se aniquilarán, y el conductor resultará para las ondas de cada masa una línea de menor resistencia.

Ahora lleguemos á una clase próxima de hechos; los de la electricidad térmica. Que se haga calentar en su contacto estas dos masas de metal; y, por de pronto, hagamos que sus formas las permitan calentarse considerablemente en contacto, sin elevación notable de la temperatura de las partes alejadas. ¿Qué sucederá? El profesor Tyndall lo ha hecho ver con diversos gases y líquidos; en igualdad de circunstancias, cuando han recibido cierta dosis de este movimiento insensible de las moléculas, llamado calor, sus períodos de oscilación no resultan alterados; la dimensión sola de las oscilaciones se acrecienta; las moléculas realizan en el mismo tiempo una carrera más extensa. Como ya se ha visto, tenemos fundadas razones para creer que lo propio sucede en los sólidos; el cambio aparente que sufre el período de vibración se explica, ya hemos dicho cómo. Por lo tanto, si se calientan las superficies de contacto de dos metales, el resultado será el mismo que antes, en cuanto á la naturaleza y á los intervalos de las ondas diferenciales. Sin embargo, habrá algo nuevo en lo que concierne al poder de estas ondas. Porque si de una parte y de otra han recibido

de las moléculas un refuerzo, sus acciones perturbatrices mutuas también deberán ser reforzadas. Estas ondas positiva y negativa de movimiento diferencial, un poco más enérgicas que precedentemente, atravesarán también cada masa alejándose del punto de contacto, y, por lo tanto, ganando las extremidades frías. De aquí rebotarán hacia las superficies de contacto y tenderán esta vez aún á equilibrarse. Pero en su retorno encontrarán una cierta resistencia. Es un hecho bien establecido que al elevar la temperatura de un metal se debilita su poder conductor. Por consecuencia, si se ponen las extremidades de las dos masas en relación con la ayuda de alguna otra masa, cuyas moléculas puedan recibir fácilmente estas ondas diferenciales, ó dicho en otros términos, si se juntan estas dos extremidades por un conductor, será á lo largo de él donde las ondas positivas y negativas, en lugar de ser reflejadas directamente hacia las superficies de contacto, se encontrarán y se neutralizarán. Es decir, que una corriente se establecerá á lo largo del hilo, que juntará las dos extremidades frías de las masas metálicas.

Un paso más en la misma vía y llegamos á una explicación de la pila termo-eléctrica. Si se sueldan juntas cierto número de barras de metales diferentes, por ejemplo, de bismuto y de antimonio, haciéndolas alternar por parejas AB, AB, AB, etc., en tanto que permanezcan frías no hay en ellas rastro de corriente eléctrica; si se calienta igualmente todos los puntos, no hay tampoco huella de corriente eléctrica si no es en la medida en que se produciría una en frío en las dos extremidades del sistema. Pero si se calienta una soldadura sobre dos, una corriente eléctrica aparece en todo el hilo que junta las dos extremidades del sistema; y esta corriente es proporcional en intensidad al número de las parejas. ¿Cuál es la causa de este hecho? Evidentemente, en tanto que todas las junturas están á una misma temperatura, las ondas diferenciales que cada juntura envía hacia las dos próximas son iguales, y contrarias á

las de estas últimas y ninguna perturbación es posible. Pero si se calienta de dos juntas una, las ondas diferenciales positivas y negativas, lanzadas por las juntas calientes, serán superiores á las que partirán de las otras. Por consiguiente, si la junta de la barra A con la barra B es calentada, la otra extremidad de B soldada con A<sub>2</sub> y que no está calentada, recibirá una onda diferencial superior en potencia á la que ella envía. Además, la onda que sus moléculas hubieran sin esto dirigido sobre las de A<sub>2</sub>, tienen una acción que recibe de A y que ella transmite, y este acrecimiento de impulso, propagándose hasta la otra extremidad de B<sub>2</sub>, se añadirá al impulso que las moléculas de esta última barra, estando ellas mismas calentadas, habrían ya sin esto comunicado á las de A<sub>2</sub>; y así sucesivamente al través de toda la serie. Las ondas, añadiéndose las unas á las otras, resultan más enérgicas, y la corriente que atraviesa el hilo colocado entre las dos extremidades de la serie más intensa.

Contra esta teoría de la electricidad térmica se levantará acaso una objeción; y es que, en ciertos casos, se desarrollan corrientes termo-eléctricas entre masas de metal de la misma especie y hasta entre partes diferentes de una misma masa. Se añadirá que si estas perturbaciones eléctricas son debidas á las diferencias de los estados vibratorios de las moléculas en contacto, el calor no debe producir semejantes perturbaciones cuando se trata de moléculas de la misma especie, tanto más cuanto que el calor, según se presume, no cambia los períodos de las vibraciones moleculares. Esta objeción parece sería á primera vista, pero va á servir para robustecer nuestra teoría. Cuando las masas de moléculas son, además, homogéneas, una diferencia de temperatura no basta para engendrar una corriente termo-eléctrica. Aproximad mercurio frío y mercurio caliente y no tendréis excitación eléctrica. Todas las veces que hay producción de electricidad térmica entre masas de un mismo metal, se tiene la seguridad de que sus estructuras moleculares ofrecen

alguna diferencia; las unas habrán sido forjadas y las otras no; las unas recocidas, las otras de ningún modo. Cuando la corriente se establece entre partes distintas de una misma masa, es que estas partes se han cristalizado diversamente, ó bien que después de la fusión se han enfriado de diversos modos. Por mejor decir, se tiene la seguridad de que las moléculas, ya de dos masas, ya de dos partes de la misma masa, sostienen con las próximas relaciones diferentes, están en estados diferentes de tensión. Luego, si es verdadero el decir que los estados vibratorios de las moléculas de una misma especie son siempre idénticos é independientes de la temperatura, claro resulta también que es forzoso una condición, y es la de que sus movimientos no sean modificados por fuerzas coercitivas. Si las moléculas de tal masa están en esta disposición que produce la cristalización, mientras que las de otra masa no están ligadas en conjunto; ó si las relaciones de estas moléculas han sido modificadas en la una por el martillaje, y en la otra no, como habrán de sufrir en su modo de vibración influencias diversas, sus velocidades de vibración deberán resentirse de ello. Y con estas diferencias de velocidad, tenemos justamente la causa necesaria á nuestros ojos para producir la turbación eléctrica.

En resumen, ¿no podemos decir que estas acciones son las únicas apropiadas para explicar los fenómenos de electricidad, y que en las condiciones dadas, estas acciones no pueden dejar de producirse? Por una parte, siendo la electricidad un modo de movimiento, exige, para producirse, la transformación de algún movimiento preexistente; hasta es preciso que esta transformación sea de naturaleza capaz de poder crear dos nuevas especies de movimiento, iguales y de sentido contrario, y por último, que estos movimientos difieran entre sí como el *positivo* del *negativo*, á fin de que puedan neutralizarse mutuamente. Por otra parte, en los fenómenos precedentemente examinados, el movimiento molecular es el único origen de movimiento que se puede