

DISCURSOS

LEIDOS ANTE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA

DEL

SR. D. JOSÉ MARÍA DE MADARIAGA

el día 15 de Junio de 1902.



MADRID

IMPRENTA DE L. AGUADO

Calle de Pontejos, núm. 8.

1902

DISCURSO

DEL

Sr. D. JOSÉ MARÍA DE MADARIAGA

TEMA:

REFLEXIONES

ACERCA DE

ALGUNOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Y SOBRE SUS RELACIONES CON LOS DE LA LUZ

Señores Académicos:

Hay circunstancias en la vida en que la emoción, sobreponiéndose con fuerza irresistible al sereno discurso de la razón, dificulta, ya que no impida, la clara expresión de los sentimientos del alma. Tal es mi situación en estos momentos, en que, abrumado por el exceso de vuestra benevolencia, sólo comparable con la grande insignificancia de mis merecimientos, ni acierto á demostrar el reconocimiento que os debo por la honrosa distinción que me dispensasteis al abrirme las puertas de esta sabia Corporación, ni puedo substraerme al fundado temor de dejar defraudadas las esperanzas que pudierais haber concebido al elegirme.

Mas el llamamiento fué vuestro, y yo no debía, atendiendo á mis escrúpulos, dejar de acudir á él; que el hacerlo pudiera parecer descortesía, que no me era dado cometer. Vengo, pues, por deber de obediencia, á participar de vuestras sabias enseñanzas y trabajos, sin poder ofrecer otra cosa sino el concurso de mi buena voluntad para procurar aprovecharlas y contribuir á ellos.

Para cumplir la loable costumbre de rendir un homenaje respetuoso á la memoria del Académico cuya vacante voy á ocupar, del Ilmo. Sr. D. Manuel Ricò y Sinobas,

Doctor en Medicina y Ciencias Físicas, sirvióme de auxiliar eficaz la nota necrológica publicada en el *Anuario* de esta Academia del año 1900, escrita con tan clara concisión como pureza de lenguaje, y la cual contiene la relación de los principales trabajos científicos del ilustre Académico, algunos desconocidos para mí, que no tuve la dicha de tratarle, y confirma la idea admitida sobre las dotes excepcionales de su claro talento, mucho saber, y laboriosidad incansable.

Joven aún, obtuvo por oposición el Sr. Rico la cátedra de Física de la Universidad de Valladolid, dándose muy pronto á conocer ventajosamente en la Memoria que escribió sobre el siguiente tema, propuesto por el Gobierno: «Determinar las causas que producen las constantes sequías de Murcia y Almería, señalando los medios de removerlas si fuese posible; y, no siéndolo, de atenuar sus efectos». Yo no he de hacer ahora un análisis de esta Memoria, porque no es de ello ocasión, y porque fué ya examinada por quienes se hallaban en mejores condiciones que yo para juzgarla, y propusieron el premio que, en concurso extraordinario, le otorgó esta Academia en el año 1851. Mas sí he de decir que he leído complacido las 380 páginas de que se compone, y he visto, al hacerlo, al observador atento de los fenómenos de la Naturaleza, al investigador incansable de curiosos documentos y noticias, al erudito sin pretensiones, que con envidiable habilidad sabe trocar en amena una lectura que, de otra suerte, hubiera hecho árida la extensa estadística que necesariamente contiene, y al pensador profundo que se preocupa en mejorar la situación de los pueblos, buscando el remedio de los males que los fenómenos naturales les causan, más que en luchas imposibles ó estériles, en la adopción de sabias disposiciones, inspiradas en los buenos principios de la Economía Política.

Estudia el Sr. Rico las causas que pudieran producir las

sequías de nuestra costa S. E., con escasa propiedad calificadas de *constantes*, y señala, con acierto, como tales, la influencia hidrometeorica del Mediterráneo, la anual y estacional de los desiertos de África, la de la mesa central de España, la forma misma del relieve de las provincias objeto del estudio, y la indirecta del Pirineo sobre las aguas de lluvia del clima peni-ibérico. Fácil es comprender que tan diversas causas, obrando como fuerzas variables de una á otra época, han de producir en cada una de ellas resultado distinto, determinando, según su predominio respectivo, abundancia, escasez ó normalidad en las lluvias; y que, siendo todas de un orden físico natural tan elevado, su modificación radical por la industria del hombre ha de ser problema de difícil solución, no sólo en la época, ya algo remota, en que se escribió la Memoria, sino aun hoy día, en que son más numerosos los medios de que dispone la Ciencia para intentar la lucha.

Con datos irrefutables y reflexiones atinadas hace ver el sabio Académico que el clima de las provincias citadas no ha cambiado durante los siglos históricos, como frecuentemente se pensaba, estudiando para ello sucesivamente la España agrícola de los antiguos Iberos, la Visigoda, la Árabe, y la de las épocas de los Reyes de las casas de Austria y de Borbón, y atribuyendo las frecuentes quejas de los pueblos por la escasez de las cosechas, más que al cambio de clima, que realmente no ha existido, á las múltiples y frecuentemente contrarias vicisitudes por que pasaron aquéllos, trabajado s por las guerras con sus conquistadores, ó empeñados en luchas intestinas, nada propicias para el desarrollo de la agricultura.

Tócanse al final de esta Memoria problemas de actualidad, y que, por lo mismo que el abordarlos revela en el autor al hombre superior que se anticipa á su época, he de mencionar ligeramente. Me refiero á la influencia de los

montes sobre la producción de las lluvias, y á la construcción de pantanos, canales de riego, y pozos artesianos para remediar la escasez de aquéllas.

Dice el Sr. Rico que no hay razón física alguna que demuestre la supuesta modificación que las masas arbóreas ejercen en la cantidad de agua de lluvia en una comarca: juicio que no todos los meteorologistas aceptan, y que para ser fallado exige la presentación de pruebas incontrovertibles, que sólo pueden dar escrupulosas y repetidas estadísticas. Esto aparte, es lo cierto, en mi opinión, que los montes deben ser objeto de cultivo, no sólo por la riqueza que su explotación ordenada proporciona al hombre, sino porque, además, pueden servir de eficacísima defensa auxiliar contra los estragos que por la producción anormal de las lluvias tienen que lamentar, con harta frecuencia, los pueblos del S. E. de la Península. Así lo han entendido los Gobiernos de S. M. al crear comisiones de repoblación en varias cuencas hidrológicas, siguiendo el ejemplo de otros países y el consejo de entidades competentes en estas materias.

Y que así debe ser, se comprende fácilmente. Las raíces de los árboles forman red que da cohesión al suelo, y por lo mismo dificulta los efectos de la erosión que producen las lluvias al correr sobre una superficie desnuda; y sus copas y troncos sirven de obstáculo que hace perder velocidad á las aguas, y al mismo tiempo las dividen, disminuyendo, por consiguiente, los dos factores de su fuerza viva y los efectos de su poder de arrastre. El ataque de este mal en su origen, por medio de una repoblación arbórea científicamente dirigida, juntamente con el empleo de sencillas obras de fábrica, que corrijan el régimen torrencial de las vaguadas, y al par los asurcamientos laterales y de fondo en las mismas, evitando el deslizamiento de las laderas del terreno, permitirá simplificar y hará más eficaces las grandes

obras de defensa inferiores que, sin aquel auxilio, á causa de los arrastres, resultarán con frecuencia impotentes para vencer á enemigo tan formidable y pujante desde su nacimiento.

Con razón sobrada se llama la atención en esta Memoria sobre la complejidad é importancia que desde el punto de vista económico tiene la construcción de pantanos y canales de riego, y sobre la prudencia con que se debe aplicar este remedio. ¡Gran previsión la del Sr. Rico! El problema exige, en efecto, el concurso de ilustraciones muy variadas que, con su consejo, puedan determinar en qué sitios, en qué forma y con qué alcance, debe intentarse la solución para tener garantías de acierto y emplear debidamente el cuantioso capital que tales obras representan.

Muéstrase nuestro Académico poco partidario de los pozos artesianos, y en general del alumbramiento de aguas en la región que estudia, por creer el éxito muy incierto. Pocos trabajos se han ejecutado en las provincias del S. E. de España, que confirmen ó no esta opinión, y es de urgente necesidad que se emprendan los que en este sentido propuso el Sr. Mallada en la memoria leída en el Congreso de Minería celebrado en Murcia, sobre la «Necesidad é importancia en España de los Estudios hidrológicos, y de la explotación de las aguas subterráneas».

Por este breve apunte comprenderá quien no haya leído la Memoria del Sr. Rico, que este estudio le facilitase su acceso á la Academia, de la que fué nombrado Miembro Corresponsal en 1852, y algún tiempo después, cuando desde Valladolid pasó á desempeñar la Cátedra de Física Superior de la Univerdad Central, Académico de Número.

Desde entonces data la predilección que el Sr. Rico demostró por los estudios meteorológicos, de cuyos trabajos estuvo encargado durante algún tiempo en el Observatorio Astronómico, redactando el resumen de los verifica-

dos en el año 1854, que, de orden del Gobierno, se publicó en 1857, es decir, en una época en que esta parte de la Física no formaba todavía verdadero cuerpo de doctrina, y que en España se había cultivado poco.

A vencer este atraso contribuyeron, sin duda, los trabajos mencionados, señalando la buena marcha que debía seguirse para llevarlos á cabo, y dando la pauta para su exposición metódica, con la descripción, en primer término, de los aparatos empleados y métodos de observación seguidos, y después con la estadística, sabiamente comentada, de los resultados obtenidos.

Allí se consignan los de las observaciones termométricas, anemométricas y actinométricas efectuadas en el período citado, y también los de las relativas á los fenómenos de la electricidad atmosférica, acusados por el aparato de Ronnalds, entonces en boga.

Sobre el tema de la electricidad atmosférica versó el discurso que el Sr. Rico leyó en el día de su recepción en esta Academia, abundante en datos recogidos con probada constancia, y parco en suposiciones, poco fundadas, sobre las causas de este meteoro. Y en verdad que, aunque se han perfeccionado los medios de observación de estos fenómenos, no se ha adelantado mucho desde entonces en lo tocante al último punto señalado, y las opiniones no están unas con otras muy conformes; pues mientras Palmieri, Director del Observatorio del Vesubio, fundado en experimentos y observaciones repetidas durante muchos años, atribuye la electricidad atmosférica á la condensación del vapor de agua de la atmósfera, otros creen (y parece hipótesis más cómoda para explicar los fenómenos dependientes de este meteoro, como lo hace ver Mr. Pellat) que la Tierra debió recibir en el tiempo de su formación una carga eléctrica negativa que, por contacto, determina la electrificación de las capas de aire más próximas á la superficie,

y, por influencia, la carga positiva, que acusan generalmente en las superiores á aquéllas los electros copios ó electrómetros empleados. Las variaciones en el estado de humedad de las distintas regiones de la atmósfera, y los movimientos de las masas de aire más ó menos cargadas de agua, permiten entonces explicar los hechos frecuentemente grandiosos, y á veces imponentes, que produce la electricidad en la atmósfera. Las Memorias de esta Academia contienen, además, el estudio que el Sr. Rico hizo del huracán que pasó por la Península el día 29 de Octubre de 1842, y una noticia sobre las auroras boreales observadas en España durante el siglo xviii y parte del xix.

Fué también nuestro ilustre Académico compilador y comentarista de los libros del Saber de Astronomía del Rey Sabio D. Alfonso X, merced á cuyo trabajo resultó aquel monarca justificado de muchas imputaciones que infundadamente se le hacen, y salieron aquéllos del olvido, publicándose una esmerada edición en seis volúmenes, que costó el Gobierno de la Nación por los años 1863 á 67.

Sus aficiones de coleccionista le llevaron á reunir en su casa-habitación un verdadero museo de objetos curiosos, relacionados con la historia del desarrollo de las artes manuales é industriales en España; y su deseo de descubrir noticias que ilustren á la generación presente sobre los conocimientos científicos de los tiempos pasados, estimularon su actividad hasta lograr reproducir fotográficamente varios pliegos antiguos, que el archivo de esta Academia guarda como objetos curiosos de innegable utilidad, y como recuerdo cariñoso de su perdido individuo.

Por este breve apunte puede juzgarse que la vida científica del Sr. Rico y Sinobas fué una vida llena de merecimientos y modelo digno de atenta admiración para imitarle.

Rindiendo á su memoria el merecido tributo de mi re-

conocimiento por sus ejemplos, elevo al cielo mi súplica en demanda de que allá, en las regiones de la verdad, disfrute su espíritu de la posesión de ésta, sin las obscuridades y sombras de la tierra.

Al tratar de cumplir el deber que los Estatutos de esta sabia Corporación me imponen, he titubeado en la elección del tema que había de ser objeto de mi discurso. La reseña histórica del desarrollo de los conocimientos humanos en materia de electricidad, y la enumeración y exposición de los progresos realizados en los últimos tiempos en la rama de la Física que en este estudio se ocupa, tanto desde el punto de vista especulativo como desde el esencialmente técnico, ofrecíanme extenso campo. Mas la necesidad de dar satisfacción á mi espíritu con la *Exposición de algunas consideraciones sobre la explicación de ciertos fenómenos eléctricos y magnéticos, y de sus relaciones con los de la luz*, se ha impuesto en mí, no por el deseo de allanar dificultades, que no aspiro á vencer, sino más bien por el de someter á vuestro examen las ideas que la reflexión sobre estos fenómenos me ha sugerido.

Es indudable que existe en las personas que cultivan las ciencias físicas la tendencia á buscar entre los fenómenos que estudian relaciones que permitan facilitar su comprensión, y la enunciación de las leyes que los rigen; y es también cierta la de buscar una causa única como determinante de aquéllos, acaso por ser en el hombre innato el deseo de la unidad, por no avenirse bien su espíritu con el caos de los hechos aislados, y necesitar de la armonía en medio del desacuerdo aparente que aquellos fenómenos tomados aisladamente ofrecen. Por esto se ha fundado el principio de la *unidad de las fuerzas físicas*, y se han escrito

sobre este tema interesantes libros, tan admirables como el del P. Sechi y el del Sr. Echegaray, entre otros, y pronunciándose discurso tan ameno é instructivo como el leído por el Sr. Rojas en el acto de su recepción en esta Academia.

Para lograr aquel objeto ha sido necesario establecer hipótesis absolutamente indispensables, y realmente fecundas en resultados, que han acelerado el progreso de la Física.

Son las hipótesis, según la gráfica expresión de un sabio español, como andamios de la Ciencia, precisos para ir levantando el edificio de ésta, que, á medida que se va elevando, les sirve de apoyo, permitiendo su renovación más ó menos completa cuando por el transcurso del tiempo, que todo lo humano quebranta, lo exige el descubrimiento de nuevos hechos que no pueden ser por las primitivas satisfactoriamente explicados. Auxiliares precisos, de que no se podrá prescindir sino en el día, sin duda bien remoto, en que se haya podido enarbolar la bandera de conclusión de la obra, las hipótesis deben estar sólidamente establecidas y fundadas en hechos indiscutibles: no basta que sean ingeniosas, y que por su elegancia cautiven y atraigan: es de necesidad que estén contrastadas en la piedra de toque de la experimentación. Por marcada que sea nuestra inclinación á las grandes síntesis, en esta rama del saber humano ha de preceder el análisis minucioso de los hechos aislados.

Hipótesis hoy día generalmente admitida, y enunciada ya por Faraday, es la de la intervención del medio ambiente en la producción de los fenómenos. Nuestro espíritu, siempre acostumbrado á ver un medio material de comunicación de las acciones que la industria aprovecha, rechaza la acción á distancia: ya se emplea una correa, un engranaje, una palanca, el agua á presión, el aire ó el vapor... —¿ Por qué no ha de existir también un medio dotado

de propiedades convenientes para la transmisión de otras acciones que los cuerpos en presencia ofrecen? ¿Cómo concebir sin él fenómenos, como la imantación y la electrización por influencia, que, como todos los fenómenos físicos, exigen un cierto tiempo, por breve que sea, para su producción? La necesidad de explicar estos y otros fenómenos semejantes, y la de tener un concepto claro de la naturaleza de la luz y de los de ella directamente dependientes, ha inducido á admitir la existencia del *éter*, fluido sutilísimo, eminentemente elástico, imponderado, que todo lo llena y lo penetra, y en el cual están sumergidas, como en un océano, las partículas ponderables de los cuerpos.

Claro está que, si conociésemos bien las propiedades del *éter* y sus relaciones ó modo de conexión con la materia ponderable, y si de la constitución de ésta tuviésemos concepto cierto, la explicación de todos los fenómenos sería fácil. No temáis que yo moleste vuestra atención en este punto tan discutido y tan poco fecundo hasta ahora en resultados: no es mi propósito descender á un análisis tan prolijo, ni para él me siento con elementos suficientes. Permitidme, no obstante, que respetando, como debo, opiniones de sabios distinguidos (1), que prefieren prescindir de estas disquisiciones, yo, en mi ignorancia, siguiendo las huellas de otros (2), trate de preguntarme, para explicar ciertos hechos y su relación con otros más conocidos: ¿Qué es la electricidad? ¿Reviste este agente los caracteres de la materia, ó debe más bien considerarse como un modo de energía? Y al formular esta última pregunta, debo insistir en lo que acabo de apuntar: empleo la palabra *materia* en su acepción corriente, prescindiendo de lo que á su constitución se refiere, y atribuyo implícitamente á la

(1) Poincaré, Mascart.

(2) Maxwell.

voz *energía* sus dos modos de existencia, potencial ó actual.

Si se supone un conductor, cilíndrico p. e., electrizado y en equilibrio, la carga eléctrica es superficial, el interior de aquél no acusa señal ninguna de electricidad, y las acciones que ésta determina revelan la existencia de una capa exterior, de espesor inapreciable, aunque, como se comprende, determinado. La superficie del conductor es equipotencial, si bien la carga puede acumularse sobre aquélla en cantidades diferentes, según la curvatura que en unos puntos ú otros tenga. Si en presencia de este conductor se pone otro semejante, concéntrico con él, p. e., en este segundo se produce el fenómeno de la influencia; y si se le hace comunicar con tierra para darle un potencial cero, queda cargado de electricidad, y las propiedades que esta carga ofrece son distintas de las que presenta el cuerpo influyente ó inductor: es decir, que si uno de ellos tiene una carga positiva, la del otro es negativa. Si se suponen separados por un dieléctrico, tal como el vidrio, y se deshace el condensador formado, descargando las armaduras, al reconstruir aquél de nuevo, dando á éstas su primitiva disposición, el electrómetro acusará una carga eléctrica, y este hecho podrá observarse con intensidad decreciente repitiendo la operación un cierto número de veces, sin necesidad de cargar de nuevo el condensador. Dos preguntas sugiere la observación atenta de estos fenómenos. ¿Existen dos clases de electricidad, ó una sola? ¿La energía potencial del condensador radica en las armaduras ó en el dieléctrico? La primera está íntimamente ligada con la anteriormente formulada sobre qué sea esto que llamamos electricidad, y la respuesta vendrá después; la segunda puede contestarse inmediatamente: la energía radica, al menos en parte, en el dieléctrico, y es una de las pruebas más ciertas de la intervención del medio en la producción de estos fenómenos.

Supongamos todavía que aumenta la diferencia de potencial de las dos armaduras del condensador en cuestión. Sucederá, si este aumento es suficiente, que se producirá entre aquéllas la descarga por ruptura del equilibrio: saltará la chispa, y el dieléctrico se perforará, desapareciendo aquella diferencia, y quedando las armaduras en estado neutro, ó no electrizadas.

Es indudable que si en el dieléctrico radica más ó menos completamente la energía, ha de encontrarse aquél, antes de la descarga, en un estado de tensión especial, semejante al de un resorte ó serie de resortes que se distienden; y, siguiendo el símil, puede decirse que la descarga se produce cuando se traspasa el límite de elasticidad de aquéllos: el fenómeno anterior de la *descarga remanente* correspondería á sucesivas y graduales disminuciones de aquella tensión.

Para concretar, respecto al modo de ser de este resorte, es necesario formular alguna hipótesis sobre el del medio ambiente que separa las armaduras. El éter que penetra el dieléctrico puede encontrarse en estado de masa informe; ó sus elementos constitutivos poseen formas determinadas, con libertad para ejecutar ciertos movimientos, bajo la influencia de las fuerzas que los soliciten, ó privados de ella, según la naturaleza de la materia ponderable con la cual estén en relación. Sin duda es más natural y probable la segunda hipótesis, que Maxwell admite, ó deja presumir, suponiendo la existencia de *células* y *vórtices*, lo que, en mi opinión, facilita la explicación de muchos fenómenos eléctricos y magnéticos. Según ella, en contacto con la armadura llamada positiva existe una capa de pequeñísimas esférulas etéreas que constituyen la carga eléctrica de esta armadura; y esférulas semejantes, de dimensiones infinitesimales, respecto á las de las moléculas ponderables, existen en todo el dieléctrico, sirviendo de

enlace á los vórtices etéreos de dimensiones mayores que las células. Éstas sólo pueden tener movimientos de traslación en los cuerpos conductores, pasando de molécula á molécula de los mismos, cuando hay una causa que lo determine, es decir, una diferencia de potencial entre dos de sus puntos, y desviaciones (*displacements*) infinitesimales en los dieléctricos: en el primer caso, comunican á los vórtices movimientos de giro, causa de la producción del campo magnético; y en el segundo, deforman los vórtices, que resultan comprimidos del lado de la armadura positiva, y alargados lateralmente, por causa del cambio de lugar infinitesimal de las células, en el sentido de las líneas de fuerza. Compáranse estos dos modos de acción á los que ofrece un líquido en un conducto, pasando por los poros de una membrana permeable, colocada transversalmente, y deformando por la presión, sin atravesarla, otra semejantemente dispuesta, pero impermeable. En las células radica la electricidad, que se manifiesta desde el momento que nace una causa, diferencia de potencial, que las hace perder el estado neutro, colocándolas en dos modos de ser distintos, que se llaman *carga positiva* y *negativa*, caracterizados, respectivamente, por su compresión y reacción elástica y las de los vórtices, que tienden siempre á recobrar su forma primitiva en los dieléctricos, en los que, como he apuntado, los últimos no tienen libertad para girar, que es su único modo posible de movimiento.

Admitido esto, quedan explicadas: la polarización del dieléctrico que Maxwell supone fundadamente, la cual consiste en estos dos estados que en las caras opuestas de células y vórtices ha producido la deformación; y la presión electrostática, que tiende siempre á hacer escapar las cargas eléctricas de los conductores en equilibrio, y que no es otra cosa sino la acción que, procedente de la armadura á potencial más alto, deforma el medio, y la reacción

elástica de las células y vórtices que le constituyen. En general, cuando se dice que un cuerpo toma una carga positiva, debe verse en otro ú otros cuerpos la negativa correspondiente, la cual es inseparable de aquélla, como lo son el anverso y reverso de una hoja.

La descarga por la chispa no es tampoco difícil de explicar, al menos de un modo general. Cuando, por causa del crecimiento de la diferencia de potencial, la presión electrostática, $2 \pi K \sigma^2$, dependiente también de la forma de las armaduras, llega á adquirir un cierto valor, distinto para cada dieléctrico, la reacción elástica de las células y vórtices, variable, asimismo, con la naturaleza de aquél, determina el restablecimiento brusco del equilibrio, por la explosión de un verdadero conflicto, realmente desconocido en sus detalles, entre el *éter* y la materia ponderable, cuyas partículas interesadas en él chocan sin duda violentamente entre sí, produciendo calor y luz, es decir, la chispa de aspectos muy variados, según la forma y disposición de las armaduras entre las cuales salta. Esta descarga brusca tiene carácter oscilatorio, puesto que se observa, por medio del espectroscopio, que hay arrastre de la materia que forma los electrodos en los dos sentidos; y lo prueba también el examen óptico de la chispa por medio de un espejo giratorio. No debo separarme del camino emprendido, llamando vuestra atención sobre la importancia del estudio de la chispa eléctrica, que llevan hoy á cabo por medio de la fotografía, y en muy diversas circunstancias, diferentes experimentadores, para tratar de buscar por medio de él alguna luz que pueda ir aclarando la penumbra en que están para nosotros estos fenómenos.

Antes de ocuparme en el estudio de la descarga en atmósferas enrarecidas, diré algunas palabras sobre un hecho, que establece una interesante relación entre los fenómenos eléctricos y los luminosos.

La *capacidad inductiva específica*, ó relación entre las capacidades electrostáticas de dos condensadores, sólo diferentes por la distinta naturaleza del dieléctrico que separa sus armaduras, es una prueba más de la intervención del medio en estos fenómenos, y significa la facilidad más ó menos grande con que en los diferentes dieléctricos se producen las desviaciones ó corrientes de transporte (*displacements*), que Maxwell supone en la inducción electrostática.

Sabido es que estas capacidades inductivas, determinadas para varios cuerpos, guardan relación constante con los cuadrados de los índices de refracción respectivos de la luz: como que son á estos cuadrados directamente proporcionales, y, por tanto, inversamente á los de las velocidades de propagación de la luz en los mismos dieléctricos: velocidades á su vez iguales, como después diré, á las de las ondas ó perturbaciones electro-magnéticas.

Este resultado da á entender que estas ondas y la luz en los cuerpos transparentes, únicos en que para este agente ha podido hacerse la comparación (1), se transmitirán tanto más fácilmente cuanto menor sea la capacidad inductiva del cuerpo que se considere, alcanzando la velocidad su mínimo valor en los metales, en los que la *inducción* adquiere el máximo, convirtiéndose en *conducción*.

He dicho que la capacidad inductiva depende de la facilidad mayor ó menor con que en un dieléctrico se producen estas corrientes de transporte: la energía intrínseca de un condensador, por otra parte, crece proporcionalmente á esta capacidad inductiva; luego la energía, siempre proporcional á la fuerza viva de la materia etérea, en

(1) Aun cuando en las determinaciones experimentales se observan anomalías á esta ley para varios cuerpos, pueden explicarse aquéllas por la diferente longitud de onda, que implica diferente refrangibilidad.

que consisten la luz ó las perturbaciones electro-magnéticas, se debe propagar sin menoscabo, con pérdida menor al menos, en los cuerpos de menor capacidad inductiva, que es precisamente lo que la experiencia demuestra.

Además, si el coeficiente de proporcionalidad de la ley de Coulomb es inversamente proporcional á la capacidad inductiva en cada dieléctrico, se comprende que deba serlo directamente al cuadrado de la velocidad de propagación de la luz ó de las perturbaciones electro-magnéticas en los mismos: lo cual está conforme con lo que indica la expresión de sus dimensiones, que son las del cuadrado de una velocidad en el sistema electro-magnético de unidades de medida, y lo que demuestra también la experiencia, respecto á la determinación de su valor por la relación de las medidas de una misma cantidad de electricidad, en los sistemas electro-magnético y electrostático.

La descarga que venimos estudiando varía, si en vez de producirse en el aire á la presión ordinaria se disminuye ésta, colocando los electrodos en un tubo de vidrio que contenga un gas enrarecido. Si la presión es de $\frac{1}{1.000}$ de atmósfera, la descarga aparece en los tubos de Geisler como un haz luminoso, estratificado frecuentemente, y de coloración variada, según la naturaleza del vidrio del tubo y la del gas. La explicación es aún posible. Es evidente que la disminución de presión ha dado á las moléculas de gas que quedan en el tubo una gran independencia, y, por lo mismo, la facultad que antes no podían tener, de moverse con libertad, cuando por haber tomado una carga eléctrica, al venir á tocar á los electrodos, son por éstos repelidas. Conocida es la explicación de estas atracciones y repulsiones entre los cuerpos electrizados, mediante la consideración de la presión electrostática, siempre positiva, como la misma hipótesis de las células y vórtices lo hace comprender,

según antes dije. Es claro que entonces cada fila de moléculas extendidas entre los dos electrodos estará en caso análogo (salvo la suspensión) al de una serie de péndulos de médula de saúco, colocados en línea entre las armaduras de una botella de Leyde, del modo que suelen disponerse para estudiar la descarga por transporte. Las dos más próximas á los electrodos sufrirán, por influencia, la acción de éstos, y serán primeramente atraídas, y repelidas en seguida; y obrarán sobre las inmediatas, y éstas sobre las siguientes, produciéndose, en definitiva, una serie de oscilaciones ó vibraciones de estas moléculas, que entre sí neutralizarán sus cargas eléctricas, es decir, harán volver al estado neutro las células que sustentan. En los puntos en que esta neutralización se produce, es decir, en los de choque, habrá luz, y no se producirá ésta en los intervalos: la estratificación luminosa queda así explicada. Si la sección del tubo disminuye, las moléculas obligadas á aliñarse estarán más próximas, y los estratos resultarán más estrechos, pudiendo llegar á no observarse si el tubo se adelgaza suficientemente.

Supóngase ahora que se disminuye la presión hasta $\frac{1}{1.000.000}$ de atmósfera: los fenómenos que entonces se observan varían completamente de aspecto: las moléculas, en un estado de grandísima soltura, no se encuentran, ni chocan, por consiguiente, entre sí. Diríase que cada una de ellas transporta su carga eléctrica correspondiente hasta el punto de destino, sin el cambio violento que la apretura determina en el caso de la chispa, ni el más suave de la especie de *trecheo*, que significa el fenómeno de la estratificación. Entonces el tubo aparece con una coloración amarillento-verdosa en la región opuesta al cátodo, y se tiene lo que S. W. Crookes llama *materia radiante*, y Herr Lenard designa con el nombre de *rayos catódicos*.

Yo no he de entrar á discutir las dos opiniones, como en otra ocasión lo hice (i), aunque confieso que tanto las ideas que llevo expuestas, como los experimentos mismos realizados con los tubos de Crookes, me inclinan á participar más bien de los puntos de vista del físico inglés. He de insistir, no obstante, sobre la dificultad de dar explicación al fenómeno en su origen, porque me parece punto interesantísimo, y al que se ha atendido poco, con la preocupación de sostener una ú otra de las opiniones apuntadas. Parece indudable que del cátodo parten las moléculas por él repelidas, y que vienen á chocar con fuerza en el anti-cátodo, produciendo en el vidrio el fenómeno de luminiscencia que acabo de señalar. Mas ¿por qué razón estos fenómenos quedan circunscritos al cátodo? ¿Cómo es que no se observan semejantemente en la región del ánodo? Cuestión es ésta de solución difícil, porque no se comprende que las moléculas, electrizadas negativamente por su contacto con el cátodo, se substraigan á la atracción que sobre ellas ejerce el ánodo, y, en vez de dirigirse hacia éste, vayan á chocar contra la pared del tubo de vidrio en una región determinada, ni tampoco se ve claro por qué no habían de producirse fenómenos semejantes en el antiánodo. Y aunque parece hoy día confirmado que se producen también *rayos anódicos*, es lo cierto que la diferencia grandísima de los efectos deja subsistente la duda mencionada. Relacionado con este fenómeno está también el de disgregación del cátodo, producida, sin duda, por la viva repulsión de las partículas, y la especie de pulverización que aquél sufre, y que obliga, para prolongar la duración del tubo, á construir aquél de aluminio, que es metal que resiste mucho al efecto señalado. Hechos son éstos hoy inexplicables, y que, el día que puedan verse con claridad,

(i) Conferencias en el Ateneo de Madrid.—Curso 1896 á 97.

es posible que obliguen á modificar las ideas que tenemos respecto á la naturaleza de la electricidad.

Para los que suponen que este agente consiste en estados de diferente condensación y enrarecimiento del *éter*, y atribuyen á la descarga el carácter de un flujo etéreo que siempre va del polo + al —, la explicación de este fenómeno es fácil, aparentemente: el flujo va, dicen, del + al —; y en éste, las moléculas, por aquel flujo arrastradas, se electrizan negativamente y son repelidas con violencia en dirección normal á la superficie del cátodo. Aparte de que, según llevamos visto, es muy difícil atribuir á la descarga el carácter que se supone, ¿cómo explicar la substración de estas partículas á la atracción que sobre ellas ha de ejercer el ánodo? Se comprendería, sí, que las paredes del tubo sufriesen el choque de algunas y diesen origen á coloraciones ó fenómenos de luminiscencia; pero es difícil explicar que éstas se produzcan con tal regularidad en el anticátodo.

Hasta ahora he considerado la electricidad estática (en estado potencial) ó en movimiento en los cuerpos no conductores. Antes de estudiarla en los que lo son, desde los puntos de vista cinético y dinámico, diré algunas palabras sobre el *magnetismo*.

Aparece para mí indudable que este agente es debido á un movimiento de rotación, que en la hipótesis de Maxwell, anteriormente formulada, radica en los vórtices etéreos. Se prueba en la Mecánica general, y se demuestra experimentalmente, que, cuando en un sistema existen cuerpos susceptibles de girar alrededor de sus ejes, y se imprime á dicho sistema un movimiento general de giro, todos aquellos ejes se orientan en una misma dirección, y su movimiento se produce en el mismo sentido que el de aquél: así lo demuestran palpablemente algunos experimentos que pueden hacerse con el giroscopio. Supóngase una barra de hierro colocada en un campo magnético, p. e. el producido por una

corriente eléctrica. Si la hipótesis de los vórtices es exacta, bajo la influencia de aquel campo ó acción general directriz, los vórtices se orientarán, y su movimiento de giro se producirá siempre en el mismo sentido. Admitido esto, la propiedad magnética resulta de que en cada una de las bases de la barra se verá á los vórtices girar en sentido distinto; y es natural que movimientos que resultan diferentes tengan también distintas propiedades. Esta tendencia al paralelismo hace ver que, si se ponen en presencia dos polos de la misma naturaleza, en los que los movimientos de giro se produzcan en el mismo sentido, para un mismo observador que pudiera verlos, siéndolo de distinto entre sí, deberán repelerse, como se atraerían dos que fuesen de distinta naturaleza. De manera análoga se puede explicar la dispersión de las líneas de fuerza magnéticas, que, partiendo de la región Norte de la barra imantada en toda la mitad de este nombre, vienen á cerrarse á través del aire sobre la Sur; é igualmente se comprende la imposibilidad de tener un solo polo aislado, porque, es claro, que si por una de las caras se ve el movimiento en un sentido, por la otra se verá en el opuesto.

Esta hipótesis está perfectamente de acuerdo con la de Ampère, que atribuye á corrientes eléctricas elementales ó atómicas las propiedades magnéticas; y en manera alguna se opone á las de Weber y Ewing, que, suponiendo las barras magnéticas formadas por imanes elementales ó atómicos, no completan la explicación del fenómeno, y solamente varían los límites de la dificultad.

El valor más ó menos grande de la propiedad magnética, es decir, el del *momento magnético* para una barra de longitud determinada, ó, en general, el de la *inducción magnética*, dependerá de la mayor ó menor actividad del movimiento de los vórtices; la saturación corresponderá á la completa orientación de éstos; y lo que se llama *coeficiente*

de *permeabilidad* expresaría la relación de las facilidades del giro, es decir, de las velocidades de rotación en dos medios diferentes. El fenómeno de la *histéresis magnética* sería producido por la oscilación de las moléculas ponderables, que la orientación y desorientación de aquellos movimientos de giro hace aparecer bajo la forma térmica.

Se comprende también que estos movimientos se produzcan con diferente facilidad en unos cuerpos que en otros; y, aunque llama la atención que las propiedades magnéticas se encuentren circunscritas principalmente al hierro y á la mayor parte de sus derivados, no debe perderse de vista que un gran número de cuerpos, entre ellos algunas aleaciones, las ofrecen cuando se los coloca en condiciones de temperatura conveniente. Hay, pues, para estas propiedades *temperatura crítica*, como la hay para otros fenómenos físicos, como la licuefacción de los gases, por ejemplo. El interesante fenómeno del *diamagnetismo* tiene asimismo explicación sencilla en la hipótesis de los vórtices, si se admite que éstos pueden moverse más fácilmente en el aire que en el bismuto, tipo, como se sabe, de aquella clase de cuerpos, y que las líneas de fuerza tienden, por consiguiente, á recorrer el camino más permeable, obligando á la barra del citado metal á ponerse en cruz con la dirección del campo magnético en que se le ha colocado.

¿De dónde procede—se podrá preguntar—la energía necesaria para mantener en movimiento los vórtices? Porque si puede admitirse que éstos se desorientan fácilmente en el hierro dulce, una vez que cesa la fuerza magnetizante, en los imanes llamados permanentes esta orientación continúa después de cesar aquélla; y aun cuando, si el circuito magnético es abierto, van poco á poco perdiendo su imantación, esto es más bien debido á la dispersión antes apuntada que á la misma desorientación, que

es casi nula en un imán cerrado. Parece, pues, que en los cuerpos de grande fuerza coercitiva, la acción directriz no hace más que determinar la orientación, que persiste aun después de cesar la causa que la produjo. Esta objeción, subsistente cualquiera que sea el modo de considerar la propiedad magnética, se desvanece fácilmente. El principio de la conservación de la energía, base solidísima, juntamente con el de indestructibilidad de la materia, de la Física moderna, establece que aquélla se puede transformar de modos muy distintos, pero permaneciendo siempre constante el valor que daría la integración de sus distintas manifestaciones en cada momento. Al hombre, pues, no le es dado obtener la energía de la nada, sino transformarla solamente; pero es evidente que, en el origen de las cosas, la energía, como la materia, debió ser *creada*, y acaso plugo á la Sabiduría infinita de Dios hacer depositario de aquélla, en sus variadas formas iniciales, á este medio que llamamos *éter*, de cuya existencia tenemos verdadera necesidad para la explicación de muchos fenómenos.

Antes de terminar este breve estudio sobre el magnetismo, haré resaltar la relación íntima que existe entre algunos fenómenos ópticos y aquel agente, como medio de confirmar la hipótesis que vengo desarrollando, y en apoyo de la unidad de los agentes físicos que mencioné en un principio. Citaré primeramente la rotación del plano de polarización de la luz, producida por un campo magnético. Si entre los polos del electro-imán de Faraday se coloca una lámina birrefringente, y haciendo girar el analizador se produce la extinción, cuando la corriente no pasa por el hilo del devanado de aquél, la luz se restablece tan pronto como se cierra el circuito y se produce un campo magnético, y es necesario hacer girar á dicho analizador, en un sentido ó en otro, según la polaridad determinada en los núcleos del electro-imán, un cierto ángulo para restablecer la obscuridad.

Si la luz consiste en vibraciones del *éter*, transversales á la dirección de la propagación, al pasar el rayo luminoso por el primer prisma de Nicol queda polarizado; y, eliminado por reflexión total el rayo ordinario, sólo se propaga el extraordinario, cuyas vibraciones se producen en el plano de la sección principal del espato. Si, antes de interponer la substancia que ha de ensayarse, se coloca el segundo Nicol en cruz con el polarizador, claro está que el rayo extraordinario que había salido de aquél, al atravesar el analizador y perder por reflexión total su rayo ordinario, no le dará tampoco extraordinario, puesto que las vibraciones correspondientes serán nulas, como lo expresa la ley de Malus. Al interponer la substancia birrefringente, que supongo tallada oblicuamente al eje óptico del cristal, entre los polos del imán, la luz se restablece, puesto que, divididas las vibraciones del rayo extraordinario que sale del primer Nicol, y orientadas según los ejes de la sección elíptica correspondiente, las del extraordinario del analizador dejan de ser nulas. Hay, pues, necesidad de hacer girar un cierto ángulo á este segundo Nicol, para producir nuevamente la extinción. Si en estas condiciones se lanza la corriente eléctrica, que engendrará un campo magnético cuya dirección es la del eje del electro-imán, es decir, la media de propagación del rayo que atraviesa la substancia, la luz reaparece: lo cual es prueba cierta de que, bajo la influencia de aquel campo, el plano de polarización ha girado un cierto ángulo. El fenómeno se explica fácilmente, si el magnetismo consiste en el movimiento de giro de los vórtices; puesto que se comprende que, bajo su acción, la vibración única extraordinaria del primer Nicol haya girado en el sentido de aquéllos, y, dejando de ser normal á la sección principal del analizador, dé una componente de valor distinto según la substancia que se considere, que podrá permitir más ó menos fácilmente aquel

giro, y según la intensidad del campo que lo determina, circunstancias que expresa la fórmula empírica de Verdet. Opino que es ésta una prueba de las más fuertes que pueden aducirse en favor de la hipótesis que vengo estudiando sobre la naturaleza del magnetismo.

El fenómeno de Zeeman, descubierto hace unos cuatro años, pone asimismo de manifiesto la íntima relación del magnetismo con la luz. El hecho observado por el físico holandés consiste en un cambio en el número y situación de las rayas de emisión de los cuerpos gaseosos incandescentes, por la acción de un campo magnético sobre el foco luminoso: cambio que no puede confundirse con la inversión espontánea que las rayas de un espectro sufren por la acción de la atmósfera fría que rodea á la llama, ni tampoco con la complejidad que en su constitución ofrecen estas rayas, observadas con aparatos de gran poder dispersivo, porque la separación que entonces ofrecen los elementos lineales de una raya compleja es mucho menor que la que da el fenómeno de Zeeman.

Antes de este físico, Doeppler y Fizeau observaron un cambio en la longitud de onda de las rayas, cuando varía rápidamente la distancia del foco luminoso al observador: las diferencias $\lambda - \lambda'$ son proporcionales á la longitud primitiva λ , para todas las rayas que proceden de un mismo foco. Por otra parte, en el laboratorio dirigido por Rowland (América), M. Humphreys y MM. Ames y Jewel han estudiado las rayas de un arco voltaico bajo diferentes presiones, y han observado que las de los espectros de los metales se trasladan hacia el rojo, cuando la presión aumenta.

Al presente me interesa considerar los cambios sufridos por las rayas de un espectro, ocasionadas por la acción de un campo magnético sobre el foco luminoso.

Es cierto que, probablemente por insuficiencia de medios, los últimos experimentos que Faraday realizó en su apro-

vechada vida, y los llevados á cabo por Chautard, Tait y Fiévez para descubrir la influencia de la acción á que me vengo refiriendo, no fueron coronados por el éxito. Mas hoy día, gracias al perseverante trabajo de Zeeman, puede asegurarse que existe una acción directa del magnetismo sobre la emisión. Estudiaba este físico la reflexión de la luz sobre la superficie de los metales imantados, primero en Leyde y después en Groningue y Amsterdam, cuando descubrió este fenómeno curiosísimo que paso á analizar.

Supóngase un electro-imán de Faraday, y entre sus polos un foco luminoso, una llama de alcohol salado, por ejemplo. Antes de lanzar la corriente eléctrica, la luz observada en distintas direcciones con un buen espectroscopio da la raya *D*, característica del sodio; pero, si se excita el imán, la luz emitida no tiene en todas ellas la misma constitución. Supongámosla observada, primeramente en la dirección de las líneas de fuerza, para lo cual deberá estar perforado, según su eje, el núcleo de uno de los electros. La raya *D* ha desaparecido del espectro, y en su lugar se ven dos paralelas situadas á uno y otro lado de la primitiva. La separación de éstas es solamente de $\frac{1}{2}$ unidad Angström (1) para un campo magnético de 10.000 u. c. g. s.: lo cual exige para poderla percibir que se emplee un aparato de dispersión poderoso, bien sea un espectroscopio, ó mejor, una buena red de difracción por reflexión, como la de Rowland.

La luz de cada una de estas rayas está polarizada de modo distinto. Para comprobarlo, se recibe el rayo ó haz emitido en un analizador circular, antes de llegar al aparato de dispersión. Sabido es que un analizador de esta clase consiste en un Nicol con una lámina $\frac{1}{4}$ de onda, superpuesta á él, de modo que sus ejes de elasticidad, ó di-

(1) Unidad Angström = 10^{-10} metros.

recciones de vibración, formen ángulos de 45° con el haz incidente. La lámina $\frac{1}{4}$ de onda iguala la velocidad de las dos vibraciones, que, al atravesarla, da el rayo extraordinario que sale del Nicol, las cuales, interfiriendo, producen una vibración circular, que será *dextrogira* ó *levogira*, según que la dirección de vibración de mínima elasticidad de la lámina forme, con la sección principal del analizador, el ángulo de 45° , contados, á partir de ésta, en el sentido del movimiento de las agujas de un reloj, ó en el contrario. De todos modos, un analizador circular deja pasar solamente una de estas dos vibraciones, que se llaman *circulares* en la hipótesis corriente de las ondulaciones; y, dándole las dos posiciones indicadas, se pueden observar en el espectro las rayas d_1 ó d_2 , en que se ha desdoblado la primitiva D del sodio. Mr. Cornu ha comprobado que la raya d_2 , situada del lado del violeta, es decir, de menor longitud λ que la primitiva, está formada por vibraciones que tienen el sentido de las corrientes de Ampère, que pueden suponerse en el electro-imán, ó el sentido de la corriente magnetizante.

De estos hechos resulta que la raya D era compleja, y que la acción magnética la ha dividido en dos, que, por ocupar diferente lugar en el espectro, tienen distinta longitud de onda y frecuencia.

Si la luz consiste, como se supone hoy día, en vibraciones transversales rectilíneas, es preciso admitir que la vibración única que antes de excitar el campo daba origen á la raya D se ha dividido, por la acción de aquél, en dos, que han sido orientadas ó polarizadas circularmente por el mismo, y que, por lo tanto, giran en sentido inverso. Favorecido uno de estos movimientos por el de giro, que, como he dicho, es la esencia del magnetismo, y contrariado el otro, natural es que en el primero aumente la frecuencia, ó el número de vibraciones en la unidad de tiempo, y que

en el segundo disminuya; ó, lo que es lo mismo, que la raya d_1 avance hacia el violeta, y la d_2 retroceda hacia el color rojo.

Lo dicho hasta aquí sobre el fenómeno de Zeeman se refiere á modificaciones experimentadas en la luz por la acción de un campo magnético que comprende entre sus polos el foco luminoso, cuando se recibe en el espectroscopio ó aparato de dispersión el haz propagado en la dirección de las líneas de fuerza de aquél. Observado el foco en dirección perpendicular al campo, si éste es suficientemente intenso, las rayas aparecen múltiples, frecuentemente triples, y á veces cuádruples, observándose que el lugar que ocupan en el espectro no depende del sentido de la corriente.

Las tres rayas se pueden dividir en dos grupos: uno de dos rayas, que están polarizadas rectilíneamente de modo distinto que la tercera, en ángulo recto con ella, y paralelamente á las líneas de fuerza del campo; y el otro, de una ó más rayas, que lo están perpendicularmente á aquella dirección. Un prisma de Nicol puede separarlas poniendo de manifiesto lo que acabo de decir. El primer grupo corresponde á las rayas d_1 y d_2 antes observadas; y el segundo á la raya primitiva D , sencilla ó compleja. Si la luz se propaga por vibraciones transversales del *éter*, normales, por consiguiente, á la dirección del campo, parece evidente que, al mirar con el espectroscopio ó red el primer grupo de rayas (se supone eliminado el segundo por el prisma), se vean las dos d_1 y d_2 directamente á un tiempo, puesto que entonces se observan las vibraciones circulares *dextrogira* y *levogira*, que ha producido aquél, en proyección de costado; y como el cambio de polos no significaría sino que la vibración, antes favorecida, resulta después contrariada, y viceversa, se comprende que el examen hecho en el sentido indicado no acuse modificación ó diferencia en aquellas rayas.

Haciendo girar el prisma de Nicol 90° , las rayas d_1 y d_2 desaparecen, y se observa el grupo de una ó más (según la intensidad del campo y el poder dispersivo del aparato de observación), que tienen sus vibraciones paralelas á las líneas de fuerza magnética.

De manera que el campo ha orientado las vibraciones de la propagación del haz luminoso al obrar sobre el foco de luz, permitiendo descubrir, como por vía de análisis: 1.º, dos vibraciones circulares, *dextrogira* y *levogira*, correspondientes á las rayas d_1 y d_2 ; y 2.º, una vibración rectilínea, al parecer (1), paralela á la dirección de las líneas de fuerza, la que á veces se ve más compleja, y que, siendo longitudinal con relación á la dirección de observación primeramente apuntada, no puede hacerse perceptible.

En vez de observar directamente la emisión de un foco luminoso colocado en un campo magnético, se puede estudiar el fenómeno de Zeeman sobre la absorción, que está íntimamente ligada con aquélla, según la regla de Kirchhoff, que dice: «Si un cuerpo emite en una dirección determinada un haz luminoso, formado por vibraciones definidas por su período y su modo de polarización, este cuerpo es absorbente para un haz que propague en sentido inverso las mismas vibraciones». Sean, por ejemplo, dos llamas *A* y *B* que dan la raya del sodio. Si *A* es poco brillante y se la mira, colocada sobre el fondo iluminado de *B*, se destaca en sombra sobre ésta. Si *A* es bastante brillante, sus bordes aparecen oscuros, porque una llama de sodio está generalmente envuelta por una atmósfera poco luminosa, pero absorbente. Y si, en vez de realizar el experimento como acabo de indicar, se sitúa *B* entre los polos del electro-imán citado de Faraday, y en el trayecto, según las líneas de fuerza, se fija *A* (que antes se veía obs-

(1) Véase después, pág. 58.

cura), se la percibe luminosa y brillante, lo cual se explica fácilmente porque la luz, enviada por *B*, no tiene el mismo período vibratorio que antes y no es absorbida por la llama *A*. Para poder observar este fenómeno es suficiente una intensidad del campo magnético de 6.000 u. c. g. s.

Por otra parte, si se coloca en el campo la llama absorbente, se comprueba que las rayas de absorción cambian asimismo de período vibratorio.

Si, situada *B* en el campo, se mira *A* proyectada sobre la primera, pero normalmente á las líneas de fuerza, *A* se ilumina, pero los bordes negros no desaparecen por completo: lo cual prueba, como en el caso de la emisión, que la luz no tiene idénticas propiedades que en la dirección normal.

Lo mismo que allí, puede interponerse un Nicol, antes ó después de la segunda llama, orientándole de modo que no deje pasar más que las vibraciones verticales; y se ve entonces que los bordes negros desaparecen y no sufren alteración, si la sección principal del prisma gira 90°.

Los mismos fenómenos pueden también observarse con las rayas invertidas. Las negras, correspondientes á las brillantes de emisión, antes observadas, se comportan de igual modo que éstas.

Creo suficiente lo dicho sobre este curioso fenómeno para comprender que establece un nuevo enlace entre los fenómenos luminosos y el magnetismo, y suministra una prueba más de que este agente consiste en un *movimiento de rotación*.

Pasemos á estudiar el fenómeno de la corriente eléctrica. Si en vez de considerar un conductor cilíndrico electrizado, aislado y en equilibrio, suponemos que entre sus extremos se mantiene una diferencia de potencial constante,

los efectos son distintos de los anteriormente apuntados: toda la masa del conductor da señales de electrización y se calienta, y el medio ambiente que rodea á aquél acusa la existencia de propiedades magnéticas.

Las líneas de fuerza del campo engendrado envuelven al conductor y se extienden con intensidad decreciente, según lo expresa la ley de Biot y Savart para el caso de un conductor rectilíneo y prácticamente indefinido, y su sentido puede fácilmente deducirse de la conocida regla empírica de Ampère. Si el campo magnético consiste, como vengo admitiendo, en el movimiento de rotación de los vórtices, ¿cómo explicarse el hecho de que lo haya podido producir el nuevo fenómeno?

Por otra parte, ¿cómo darse cuenta del calentamiento del conductor, cuyas moléculas han debido desarrollar un trabajo que toma la forma térmica, determinada en magnitud por la ley de Joule?—Distingamos lo que sucede en la masa del conductor, y en el medio que le rodea. Si en aquella pueden las células etéreas moverse con libertad en sentido de la longitud, se concibe que bajo la influencia del campo de fuerza, creado por la diferencia de potencial supuesta en los extremos del conductor, puedan realmente efectuarlo, no siendo entonces este movimiento otra cosa sino el flujo eléctrico en que se suele suponer que consiste la corriente, así llamada por analogía con los fenómenos hidro y aerodinámicos. Mas, sin necesidad de pasar en esta hipótesis á la explicación del campo magnético engendrado, se encuentra una primera dificultad para dar la del calentamiento del conductor. Se supone generalmente que es aquél debido á la resistencia que encuentra en su movimiento la electricidad, considerándola semejante á un rozamiento: lo cual resulta violento, una vez que éste se produciría entre el *éter* y la materia ponderable, y nosotros no tenemos hoy por hoy concepto de esta clase de

trabajo. Y si se supone que el *éter* comunica algún modo de movimiento á las partículas ponderables, el cual pueda producir aquella elevación de temperatura, ¿qué clase de movimiento puede ser éste, cuando lo ha de engendrar un flujo dirigido siempre en el mismo sentido? En mi opinión, es más exacto suponer que entre las moléculas del conductor se produce la descarga por un mecanismo análogo al *transporte* apuntado anteriormente; es decir, que la carga eléctrica de dos moléculas contiguas determina el movimiento vibratorio de éstas, produciéndose en definitiva un doble movimiento de las células eléctricas en estado distinto de compresión y de distensión. Aquella vibración daría origen al calor observado, y habría de ser diferente, en identidad de otras circunstancias, con la naturaleza de la substancia del conductor, ó resistencia eléctrica específica de éste. Además, cuanto más largo sea el conductor, á mayor longitud alcanzará aquel movimiento vibratorio, y mayor será, por lo mismo, la resistencia eléctrica total de aquél. Por el contrario, cuanto más grande sea la sección, para una misma carga eléctrica total, menor será la que corresponda á cada par de moléculas, más pequeña la vibración de éstas, y menor, por consiguiente, aquella resistencia.

Para comprender bien la producción del campo magnético, conviene fijar la atención en el mecanismo de esta descarga por vibración, entre los átomos ó moléculas, en un todo semejante á la *descarga por transporte* que la médula de saúco produce en una botella de Leyde, saltando de una armadura á la opuesta. Conocidos, y fácilmente explicables los movimientos que por atracción ó repulsión se producen entre los cuerpos electrizados, supóngase que la esferilla de médula, puesta en contacto con la armadura positiva, p. e., es lanzada hacia la opuesta con su carga positiva, como suele decirse. Yo creo que aquí no debe verse

otra cosa sino la aproximación de una parte de la armadura positiva, como lo fué momentáneamente durante el contacto la médula de saúco, á la negativa, y, por consiguiente, el restablecimiento parcial del equilibrio, por el paso de las células que la acompañaban sobre dicha armadura negativa, cuando, acortada suficientemente la distancia, pudieron salvarla sin dificultad y sin llegar á producir verdadera chispa, como en la descarga brusca. Cuando la médula retrocede, no hace otra cosa sino aproximar la armadura negativa, ó, mejor dicho, una porción de ella á la positiva, facilitando, como antes, el paso desde ésta á aquélla de las células que se mueven en el mismo sentido, solicitadas por la fuerza eléctrica que tiende á hacerlas marchar siempre en el de los potenciales decrecientes. Se podrá pensar que de aquí ha de resultar una acumulación de células en la armadura negativa, y un enrarecimiento consiguiente en la positiva. Esta objeción se desvanece sin más que reflexionar que, cuando las células pasan de una á otra armadura, recobran, como los vórtices tienden á hacerlo, su forma primitiva, y cesa, por lo mismo, su reacción elástica, quedando en estado neutro, y, por consiguiente, libres y no sujetas á permanecer sobre las dichas armaduras: del mismo modo, ó análogo, que una lámina de acero, sujeta por un extremo y separada por una acción sobre el otro de su posición de equilibrio, permanece sin recobrarla mientras dura aquella acción, y queda libre y en posición normal, cuando ésta cesa.

En los cuerpos conductores, los átomos ó moléculas deben desempeñar el mismo papel que la médula de saúco en el caso de la botella de Leyde: son como los vehículos que, yendo y viniendo, ó vibrando en los espacios interatómicos ó intermoleculares, facilitan el paso de las células, aparentemente en dos sentidos, de $+$ á $-$, y de $-$ á $+$: en realidad, siempre desde el punto á potencial más alto,

hacia el que lo tiene más bajo. Todo pasa, en un conductor, en el caso que ahora considero, como si las células corriesen en el sentido de los potenciales decrecientes, y, desde este punto de vista, lícita es la asimilación del flujo eléctrico á una verdadera corriente.

El fenómeno es algo diferente, y requiere explicación aparte, cuando el cuerpo que la corriente atraviesa no es un metal, sino un líquido conductor. El paso de la electricidad se verifica entonces por *electrólisis*: el líquido se descompone, como se suele decir, y los productos de la descomposición se manifiestan en los electrodos ó partes del conductor metálico sumergidas en aquél, por medio de las que se relaciona con el generador de electricidad empleado. Se observan en tal caso varios hechos que merecen un breve examen, que no es otro mi propósito sino llamar vuestra atención sobre algunos puntos de este fenómeno, imperfectamente conocidos, ó no bien interpretados.

Es un hecho experimental que la electrolisis se inicia siempre que á un líquido conductor ó *electrólito* se aplica una diferencia de potencial; pero la descomposición y el flujo eléctrico cesan cuando aquélla no alcanza un cierto valor que para cada electrólito se deduce, muy aproximadamente, de la ley de Lord Kelvin, que establece una relación fija entre aquél y el número de calorías que representa la formación del compuesto que se considera.

Es explicable que la descomposición se inicie aun con una fuerza electromotriz mínima, por el hecho del contacto de los electrodos con el líquido. Para bien comprenderlo, es necesario acudir á la hipótesis sobre la constitución de las disoluciones, que, fundado en hechos comprobados, formuló S. Arrhenius en 1887.

Según el profesor de la Universidad de Upsala, cuando se hace una disolución en agua de cloruro de potasio, *ClK*, p. e., no se tienen porciones de esta sal en tal es-

tado, en cada volumen de disolución que se considere, sino que éstos contienen los átomos de cloro y de potasio, por separado, en mayor ó menor proporción, según la concentración del líquido; mas no en el estado neutro, sino cargados de electricidades de naturaleza contraria, es decir, en el estado de *iones* libres en el agua.

La cohesión química, generalmente pequeña, debe, según estas ideas, romperse más ó menos completamente por el hecho de la disolución; y entonces quedan los *iones*, aunque desunidos, entremezclados, y es necesaria una fuerza que los oriente y los transporte después, haciéndolos caminar en sentido inverso á los de distinta carga eléctrica, hasta llegar á los electrodos, donde, neutralizadas aquéllas, queden en el estado de simples átomos, y, por lo mismo, se precipiten. Se comprende entonces que una fuerza electromotriz mínima pueda iniciar la electrólisis; mas ¿por qué ésta se detiene, si aquélla no tiene un valor suficiente?

La razón debe ser ésta. Supóngase, por ejemplo, una disolución de SO_4Cu , y los electrodos de platino. La contrapresión osmótica, ó tensión de disolución, disminuye en el cátodo, y el cobre se precipita, no pudiendo permanecer disuelto á causa de la aglomeración de sus *iones* en este punto, allí acumulados por la acción directriz del voltaje empleado; y al mismo tiempo, esta contrapresión aumenta en el ánodo, por lo mismo que ha disminuído la cantidad de cobre en el líquido, como consecuencia de su depósito en el cátodo. De lo cual resulta un desnivel entre estas dos presiones, en los dos electrodos; y como todo desnivel tiene naturalmente tendencia á desaparecer, de aquí que se necesite una fuerza que lo sostenga y aumente para que la electrólisis continúe.

Una prueba, en apoyo de esta explicación, parece ser el hecho de que, si los electrodos son del metal que contiene

la disolución, de cobre en este caso, esta fuerza de polarización es muy pequeña, y no necesita tener otro valor que el necesario para vencer la resistencia eléctrica del baño: lo cual se comprende fácilmente, porque el desnivel á que antes se hizo alusión desaparece á cada momento, por el hecho de la disolución del cobre en el ánodo.

Si la densidad de corriente es grande, los *iones*, al aproximarse al electrodo que los atrae, se repelen unos á otros, la fuerza de polarización es mayor, y el metal no se adhiere bien al electrodo.

La cantidad de *iones* puestos en movimiento resulta, en esta hipótesis, evidentemente proporcional á la intensidad de la corriente, puesto que ellos son el vehículo que conduce la carga eléctrica en dos sentidos opuestos. Así resulta la exactitud de la ley de Faraday.

Queda en pie una duda: ¿por qué la fuerza electromotriz, que ha de aplicarse al baño para producir la electrólisis, ha de estar en relación con el calor de formación de éste?

Recordemos lo dicho anteriormente. Bajo la acción de la corriente, los *iones* libres, por el hecho de la disolución, son orientados y transportados á los electrodos: trabajo común al caso en que el ánodo es soluble y la fuerza electromotriz de polarización muy pequeña, y al en que no sucede ninguna de estas dos cosas: luego este trabajo no debe tener enlace ninguno con el calor de formación. Mas no se pierda de vista que los *iones* no son meros átomos en estado neutro, sino que están cargados de electricidad, y han debido adquirir esta carga por el hecho de la combinación. El principal trabajo de la corriente eléctrica consistirá entonces en descargar estos *iones* en los electrodos, haciéndolos pasar al estado de átomos neutros.

Supuesto este modo de ver, para que un metal se disuelva en un ácido es necesario que los átomos de aquél pasen al referido estado de *iones*, los cuales en una disolución

acuosa quedan más ó menos completamente disociados de los del radical ácido, según el grado de concentración del líquido. Los metales ofrecen diferencias desde este punto de vista; pues mientras el cobre, p. e., absorbe energía para que esta conversión de sus átomos en *iones* se efectúe, y la disolución requiere líquidos muy oxidantes, el zinc, por el contrario, desprende calor y es necesario que sus átomos hallen medio de tomar su carga eléctrica. Esta última circunstancia explica por qué el zinc puro no se disuelve en el $SO_4 H_2$ sino cuando se cierra por un alambre de cobre, sumergido en el líquido, el par voltaico formado; porque entonces los *iones* de hidrógeno, que pierden su carga en el electrodo cobre, suministran por medio del hilo interpolar á los átomos de zinc los que éstos necesitan para tomar aquel estado ó carga eléctrica.

Según esta hipótesis, sin duda más satisfactoria que la de Grothus, y más completa que la cinética de Clausius, la energía de la combinación determina principalmente la electrización de los átomos, convirtiéndolos en *iones*; y la corriente en la electrólisis, su descarga y depósito consiguiente. Se comprenderá ahora que, según sea mayor ó menor la energía ó el calor de formación de un electrólito, la carga eléctrica que tomen los átomos sea distinta, ó lo que es lo mismo, que lo sea su energía de *ionización*, y, por lo tanto, el potencial de unos y otros *iones*, y el voltaje necesario para producir la electrólisis. Los átomos no tendrían, pues, *esencialmente*, una naturaleza eléctrica determinada, como se admitía en la teoría electroquímica del gran Berzelius, sino que la adquirirían por el hecho de la combinación (1).

(1) Se dijo anteriormente que la regla de Lord Kelvin, fundada en el principio de la conservación de la energía, permite deducir, muy aproximadamente, del calor de formación de un electrólito el valor de la fuerza electromotriz necesaria para pro-

Queda por explicar la producción del campo magnético, observado en el caso del conductor metálico.

Supongamos el filete central de células, alineadas según la dirección del eje del conductor; y simétricamente, á uno y otro lado de éste, en cada sección meridiana, otra fila de células intercaladas entre los vórtices, á los cuales han de transmitir el movimiento. Comunicado éste en la primera

ducir su descomposición. Es fácil determinar, por analogía, con los principios de la Termodinámica, el valor exacto de esta fuerza electromotriz, y, por consiguiente, el de la pila reversible correspondiente.

Supóngase una de estas pilas, y admitamos que su resistencia eléctrica sea despreciable, y que lo sea también, por consiguiente, el efecto Joule. Sean J , el equivalente mecánico de la caloría; M , la cantidad de calor absorbida en la reacción; y W , el trabajo eléctrico producido. El primer principio, ó de la equivalencia, exige que la cantidad (1) $d(JM) - dW$, que representa la diferencia entre los valores infinitésimos de la energía térmica absorbida, y del trabajo eléctrico producido, sea una diferencial exacta: la de la energía química interior. Mas, si llamamos c á la capacidad térmica del electrólito, t la temperatura, m la cantidad de calor absorbida, cuando la unidad de cantidad de electricidad atraviesa el sistema, se puede escribir

$$\begin{aligned} dM &= c \cdot dt + m \cdot dq, \\ dW &= E dq, \end{aligned}$$

si E designa la fuerza electromotriz de la pila, y q la cantidad de electricidad.

Multiplicando por J los dos miembros, se tiene

$$JdM = Jc dt + Jm dq;$$

y, por consiguiente, la expresión (1) se convertirá en

$$(2) \quad Jc dt + (Jm - E) dq,$$

que debe ser una diferencial exacta. Para que esto suceda, es necesario y suficiente, según se demuestra en análisis para el caso de dos variables, que aquí son t y q , de las cuales son también

semivibración á las moléculas colocadas en los paralelos correspondientes á los terminales del conductor, con su cortejo de células correspondiente, obrarán por influencia sobre las inmediatas, y éstas, á su vez, sobre las siguientes, y bien pronto se generalizará este movimiento vibratorio á lo largo de aquél, produciéndose en el choque la neutralización de las cargas eléctricas, y dando origen al calor que

función los coeficientes no constantes de la expresión (2), que

$$\frac{d(Jc)}{dq} = \frac{d(Jm - E)}{dt},$$

ó, puesto que J es constante,

$$(3) \quad J \left(\frac{dm}{dt} - \frac{dc}{dq} \right) = \frac{dE}{dt}.$$

El segundo principio, ó de Carnot, se expresa analíticamente, formando la diferencial, que debe ser exacta, de la *entropía*, s .

Será en el caso actual,

$$ds = \frac{dM}{T} = \frac{c}{T} dt + \frac{m}{T} dq,$$

en donde T es la temperatura absoluta $= t + 273^\circ$, y las demás letras tienen la significación ya indicada.

Se tendrá, pues, según el teorema antes invocado,

$$\frac{d\left(\frac{c}{T}\right)}{dq} = \frac{d\left(\frac{m}{T}\right)}{dt};$$

ó, lo que es lo mismo,

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{dc}{dq} = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot T - m}{T^2} = \frac{1}{T} \cdot \frac{dm}{dt} - \frac{m}{T^2};$$

$$\text{y } \frac{m}{T} = \frac{dm}{dt} - \frac{dc}{dq}.$$

expresa la ley de Joule. Habrá, pues, á lo largo del alambre un movimiento de las células, es decir, de la electricidad, transportadas en sentido de los potenciales decrecientes por la vibración de los átomos ó moléculas.

Como consecuencia de este movimiento de las células, los vórtices girarán en un sentido ó en otro, siempre el mismo, según sea el de aquéllas, formando las líneas de fuer-

Sustituyendo en (3), será, puesto que $dt = dT$,

$$J \frac{m}{T} = \frac{dE}{dt}, \text{ y } m = \frac{T}{J} \cdot \frac{dE}{dt}:$$

luego, dado un estado de concentración inalterable del electrolito, si se le quiere mantener á una temperatura constante, es necesario suministrarle una energía térmica igual á $\frac{T}{J} \cdot \frac{dE}{dt}$ por cada unidad de cantidad de electricidad que le atraviese. Esta cantidad de calor es producida por las reacciones químicas.

Si Ω es la suma de las energías químicas por cada unidad de cantidad de electricidad, se tendrá

$$(4) \quad \Omega = E - T \frac{dE}{dT}.$$

Generalmente $\frac{dE}{dT}$ es negativo, ó, lo que es lo mismo, la fórmula de Lord Kelvin da un valor superior al que se deduce de la (4) de von Helmholtz, y, por consiguiente, el par voltaico se calienta.

Debe observarse, sin embargo, que, si en cuanto al signo es exacta la fórmula (4), no está perfectamente comprobado que las variaciones de la fuerza electromotriz, por grado de temperatura absoluta, sean los que ella indica en su segundo término, que, en opinión de MM. Chrouschoff y Sitnikoff, corresponde á la fuerza electromotriz de contacto entre los metales del par y los líquidos: lo cual está de acuerdo con los interesantes experimentos de Mr. Bouty sobre este punto.

Análoga observación puede hacerse respecto á la fórmula de Nernst, que da el valor de la diferencia de potencial entre el electrodo metálico y el electrolito, en función de la relación de la tensión de disolución de este electrodo á la presión osmótica del *ión* metálico correspondiente.

za magnética cerradas, que, por la dilatación de aquellos vórtices en su ecuador, tendrán tendencia á acortarse en el sentido de su longitud, como ya lo suponía Faraday. Es claro que, para que el movimiento se produzca en los vórtices situados en cada mitad de una sección meridiana, en el mismo sentido, es necesario suponer que la impulsión que reciben las células de los filetes centrales es más grande que la de los de la periferia: en lo cual no se ve inconveniente, si se admite que la presión en sentido radial de las células sobre los vórtices disminuye del centro á la circunferencia, lo que es natural que suceda, dada la tendencia que la electricidad tiene á escapar de los conductores. Todo esto se refiere á los fenómenos producidos en la masa del conductor: en el aire, ó en general en el medio aislador en que esté colocado aquél, las células no pueden tener más que movimientos de giro, que comunican á los vórtices que forman las líneas de fuerza magnética, las cuales se van extendiendo con una cierta velocidad de propagación, de que después hablaré. Á medida que se consideran puntos más distantes, la velocidad de rotación irá disminuyendo, por lo mismo que la acción de la corriente alcanza á líneas de mayor radio, y la intensidad del campo será menor, como lo confirma la experiencia.

Acaso esta manera de concebir los fenómenos podrá parecer un poco artificiosa; pero, sobre qué para toda transmisión de acciones ha de existir un cierto mecanismo, ¿no merecería igual calificativo la hipótesis de las vibraciones transversales del éter, que hoy día se admite para explicar los fenómenos de la luz? Sin duda que sí, y con igual fundamento al menos.

Tratemos ahora de explicar la regla de Ampère en el electromagnetismo, y el admirable fenómeno de la inducción electromagnética, ó, por lo menos, veamos la posibilidad de hacerlo. Supóngase, p. e., una corriente rectilínea

vertical ascendente, cuyo alambre conductor tenga libertad para moverse por un modo adecuado de suspensión: las líneas de fuerza magnética tendrán, según lo antes dicho, en cada plano horizontal, para un observador que mirase de arriba para abajo, sentido contrario al del movimiento de las agujas de un reloj. Si en la proximidad de aquél se imagina una barra ó aguja imantada, fija, dirigida hacia el Norte, el principio, invocado anteriormente, de la tendencia al paralelismo de los sistemas en rotación permite comprender fácilmente el movimiento que tomará el hilo, que será hacia la izquierda del muñeco que, según aquella regla empírica, se supone personificando la corriente.

Al llegar á la explicación de la inducción electromagnética, permitidme que, respetuoso, consagre un recuerdo de admiración al sabio eminente que previó y descubrió este fenómeno importantísimo, en el que han tomado origen y vida, puede decirse con verdad, la mayor parte de las grandes aplicaciones industriales que hoy se hacen de la electricidad: al gran Faraday, varias veces citado en estas páginas. Ciertamente que la inducción electromagnética sería un fenómeno misterioso, sin admitir la intervención del medio ambiente en su producción: porque ¿cómo concebir, por una simple acción de presencia, que las variaciones que puedan surgir en el campo magnético de un imán ó de una corriente hagan nacer en el circuito ó conductor, llamado *inducido*, una corriente, ó, cuando menos, una fuerza electromotriz? Seguramente hay aquí un cierto mecanismo, desconocido realmente, pero no inexplicable.

En el circuito *inductor*, del que supongo un trozo horizontal, circula (permítase la frase) una corriente de izquierda á derecha, p. e.; y, según lo anteriormente dicho, las células formarán filetes longitudinales, que, en definitiva, avanzarán constituyendo la corriente y poniendo en rotación á los vórtices en la masa del conductor. El movimien-

to de giro se transmitirá al medio que rodea á aquél, sirviendo las células del mismo, que entonces no tienen libertad para trasladarse y sí sólo para girar, de órganos intermedios de comunicación del movimiento, que llegará, de este modo, hasta el conductor inducido, en el cual, mientras la corriente sea constante, no surgirá diferencia alguna de nivel eléctrico, ó causa que determine un movimiento de traslación de las células. Mas, si el campo magnético aumenta, porque aumente la corriente, es decir, si aumenta la velocidad de giro de los vórtices, como este crecimiento exige un tiempo, y, por consiguiente, se transmitirá *sucesivamente* desde la superficie al centro del conductor inducido, las células se moverán con movimiento de traslación, ó tendrán, al menos, tendencia á hacerlo, en el sentido que les imprima el vórtice de mayor velocidad, que será siempre el más exterior de los dos que la comprendan, es decir, en sentido inverso al de la corriente inductora.

Si, por el contrario, el campo inductor disminuye, los vórtices centrales conservarán mayor velocidad que los periféricos, y el movimiento de las células se producirá en sentido directo con relación á la corriente inductora, hasta tanto que las velocidades se igualen. Esto, por lo que se refiere á la inducción, por variación del campo inductor, sin movimiento del conductor inducido.

En este caso, que es el de la mayor parte de las máquinas magneto ó dínamo-eléctricas, la explicación no es tampoco difícil, en la hipótesis que vengo desarrollando. El conductor que se mueve, cortando las líneas de fuerza del campo, determinará por este hecho una dilatación en los vórtices del mismo, que va dejando tras sí, y una contracción en los que están delante: resultando de aquí un esfuerzo tangencial, predominante en el sentido del último, en la superficie de la célula comprendida entre cada dos, la cual, por lo mismo, tenderá á moverse, como lo indica la ley de Lenz.

Si el conductor se mueve paralelamente al campo, es decir, sin cortar las líneas de fuerza de éste, no se producirán estos efectos, y no habrá inducción, conforme los hechos demuestran.

Se ha visto la relación íntima que existe entre los fenómenos magnéticos y algunos dependientes de la luz: relación que resalta de un modo todavía más admirable entre éstos y algunos eléctricos.

Supóngase que una corriente alterna, sinusoidal, p. e., circula por un conductor lineal, es decir, de sección despreciable, y prácticamente rectilíneo é indefinido. Las líneas de fuerza magnética que nazcan de esta corriente se irán extendiendo por el ambiente, formando, en este caso, circunferencias, cuyo centro estará en el punto del conductor en que éste corte al paralelo correspondiente; porque es claro que se encontrarán situadas, las relativas á cada punto de aquél, en planos al mismo perpendiculares. Estas líneas de fuerza, cuya velocidad de propagación en un medio homogéneo se comprende que ha de ser uniforme, cambiarán de sentido con la corriente; mas, como todo fenómeno físico requiere para su producción un cierto tiempo, tales cambios se producirán periódicamente, y tanto más retrasados con respecto á la corriente, cuanto mayor sea la distancia del punto que se considere al conductor. De manera que una dirección rectilínea cualquiera, normal á aquél en uno de sus puntos, que sería una radiación de propagación, encontrará á las mencionadas líneas de fuerza; y, en cada uno de los puntos de intersección, la intensidad del campo magnético será distinta, según lo expresa, para este caso, la aludida ley de Biot y Savart. El fenómeno se podría representar por una curva sinusoidal de senos decrecientes, cuyas abscisas fuesen los tiempos, y las ordenadas las intensidades correspondientes del campo para el punto que se considere; ó, bien, longitudes tomadas sobre

el conductor y aquellas intensidades, respectivamente, para un momento dado.

Entre este fenómeno de propagación de las ondas electromagnéticas, engendradas por una corriente alterna, y el de la transmisión de la luz, hay grande analogía. Como en la luz, existen en este caso ondas que sirven para el desarrollo del fenómeno; y así como allí, en un rayo, cuando está polarizado, se distinguen tres direcciones, que son la de la radiación propiamente dicha, y las dos rectangulares entre sí y normales á aquélla, que representan las vibraciones orientadas del *éter*, así aquí hay un rayo de fuerza eléctrica, que es la dirección de la propagación que se considera, y dos normales á él y perpendiculares entre sí, que son la de la fuerza magnética y la de la corriente eléctrica.

He dicho que la velocidad de propagación de estas ondas es uniforme en un medio homogéneo; y añadiré que, según lo demostró Maxwell (1), deduciendo las ecuaciones de una perturbación electromagnética, é introduciendo después la hipótesis de que la conductividad del medio fuese cero, por suponerle no conductor, aquella velocidad es igual á la de la luz en un mismo medio homogéneo: en el aire de 300.000 kilómetros por segundo.

Aquella analogía y esta deducción sirvieron al célebre profesor de la Universidad de Cambridge para establecer su teoría electromagnética de la luz, por suponer que este agente físico tiene por origen una de estas perturbaciones: puntos de vista importantísimos que demuestran el valor de aquel genio que previó, con veinte años al menos de anticipación, la existencia de pruebas irrecusables, que ahora apuntaré, en favor de la unidad de las fuerzas físicas.

La corriente alterna, que hemos supuesto, puede ser de

(1) *Traité d'Electricité et Magnetisme*. Tomo II, pág. 489.

período más ó menos largo, y, en consecuencia, la longitud de onda correspondiente será diferente. Es fácil calcular que para una frecuencia de 100 períodos por segundo, como tienen algunos alternadores industriales, la longitud de onda resulta de 3.000 kilómetros. Y es evidente que ondas de tal longitud no pueden someterse á una comparación experimental con las de luz, que para el color rojo, es decir, el de mayor longitud de onda del espectro visible, sólo tienen un valor = $0^{\text{mm}}, 000 \text{ ó}$. Mas ¿cómo producir ondas de menor longitud? Los trabajos de Fedeersen, en este sentido, no fueron decisivos.

Al malogrado profesor H. Hertz corresponde la gloria de la solución. Pensó, al efecto, utilizar la descarga de un condensador, partiendo del estudio analítico hecho años antes por Lord Kelvin: estudio que demuestra ser esta descarga oscilatoria, cuando la resistencia óhmica, la auto-inducción, y la capacidad del circuito satisfacen á una cierta inecuación de condición: circunstancia que la experimentación comprueba igualmente, cuando se examina la chispa de aquélla con un espejo giratorio á gran velocidad.

Esta descarga oscilatoria, ó corriente alterna rapidísima, proporciona, en efecto, el medio de tener períodos, en la función armónica que representa el fenómeno, de duración, si no igual á los de la luz, al menos comparable con la de éstos. La teoría da el valor del período, en función de las magnitudes indicadas, y de él se deduce que, variando convenientemente la auto-inducción, la resistencia y la capacidad del circuito, se pueden obtener descargas muy rápidas, que, aunque de frecuencia todavía mucho menor que la de los fenómenos luminosos, permiten, no obstante, efectuar con fruto un estudio experimental comparativo.

Recordaré que los trabajos del ilustre profesor de Carlsruhe tuvieron por principal objeto medir la longitud de onda de una perturbación electromagnética en el aire, y

á lo largo de un hilo ó alambre conductor, y que si sus primeras determinaciones no dieron la comprobación de la exactitud de la teoría de Maxwell, quizá por la influencia extraña que en el fenómeno pudieron ejercer circunstancias perjudiciales de la sala de experimentación, ó por otras causas, es lo cierto que, empleando *excitadores* y *resonadores* de dimensiones reducidas, aquella demostración fué concluyente para el aire, como lo había sido para el caso de uno ó dos hilos conductores; y la igualdad de las velocidades de propagación de la luz y de las ondas de Hertz resultó comprobada por la medida de la longitud de onda, que se halló conforme con los valores que da el cálculo.

Sabido es que el procedimiento seguido por Hertz consistió en emplear un *excitador* ó *vibrador* en relación con el circuito secundario de un carrete de Ruhmkorff, capaz de dar una chispa de unos 10 á 15 centímetros de longitud; y un aparato llamado *resonador*, en el cual, por inducción producida por la variación del flujo magnético engendrado por la descarga oscilatoria del excitador, que alimentan las chispas primarias del carrete, se producen otras, naturalmente más débiles que las primarias, pero que permiten estudiar el fenómeno.

Estas chispas son más pronunciadas cuando el *resonador* y el *vibrador* son *sintónicos*, es decir, perfectamente acordes en todas sus condiciones de resistencia, autoinducción y capacidad, circunstancias que trataré de explicar en breve. Empleando el resonador grande de Hertz, de forma circular, con micrómetro de chispas, y haciendo reflejar las ondas sobre una pantalla metálica conveniente, normal á la radiación de la dirección, para hacerlas estacionarias, como lo hizo Savart con las ondas sonoras, se puede determinar la distancia entre dos nudos, que da evidentemente la semilongitud de onda en el aire. Este experimento exige algunas precauciones. Las esferillas del ex-

citador han de estar perfectamente limpias, porque, de otra suerte, la chispa secundaria deja de producirse á muy pequeña distancia de aquél cuando al resonador se dan diferentes posiciones entre el vibrador y el espejo ó pantalla. Por esto MM. Sarazin y de la Rive hacen saltar las chispas primarias en la vaselina, que, evitando la oxidación de las esferas del micrómetro, mantiene limpia su superficie.

La pantalla-espejo ha de ser de dimensiones suficientes, relativamente á la longitud de onda, para que la difracción no pueda enmascarar el fenómeno. Para el vibrador y resonador grandes de Hertz, el cálculo da (1) una longitud de unos seis metros. Si para un rayo de luz roja, en que $\lambda = 0^{\text{mm}}00006$, se toma una superficie de reflexión, de $0^{\text{m}^2}, 000001$, p. e., para un rayo eléctrico de $\lambda = 6^{\text{m}}$, se necesitaría una superficie de un mirímetro cuadrado, á fin de evitar los efectos de la difracción (2).

Moviendo el resonador entre el vibrador y el espejo, en dirección normal á ambos, se pueden observar los puntos en que la chispa deja de producirse ó disminuye mucho, que serán los *nudos*, determinados por la interferencia de las ondas directas y de las reflejadas sobre el espejo. La distancia entre dos consecutivos da el valor de λ .

Hertz empleó también un *vibrador* y un *resonador abiertos*, es decir, rectilíneos, de pequeñas dimensiones; pero que,

(1) La fórmula es $\lambda = 3 \times 10^{10} \cdot \sqrt{L \cdot C} \times 2 \pi$ unidades C. G. S, en la que L y C representan respectivamente el coeficiente de autoinducción y la capacidad del circuito.

(2) El principio de semejanza permite establecer que entre las dimensiones correspondientes debe existir la misma relación que entre las longitudes de onda, que vale $\frac{6^{\text{m}}}{0^{\text{m}}, 0000006} = 10.000000$, y, por consiguiente, el lado del espejo, para las ondas de Hertz, deberá ser igual á $0^{\text{m}}, 001 \times 10.000000 = 10.000^{\text{m}}$, para evitar los efectos de la difracción.

aun cuando los fenómenos sean entonces menos marcados, permiten confirmar la teoría de Maxwell.

Tratemos de interpretar el proceso ó manera de producirse esta reflexión de las ondas electro-magnéticas, y los fenómenos de interferencia indicados. Desde luego puede asegurarse que la reflexión, cualquiera que sea su esencia íntima, se producirá con cambio de signo de las ondas, lo mismo que para las ondas sonoras ó las luminosas, en el caso, p. e., de los anillos de Newton. Una onda incidente produce, por inducción electromagnética en el espejo metálico, una fuerza electromotriz, retrasada, con respecto al flujo variable de aquélla, un cuarto de período; la corriente engendrada por esta fuerza electromotriz lo estará, á su vez, con relación á ella, á causa de la auto-inducción, que es muy grande, por serlo la frecuencia; y este último retraso será menor de $\frac{1}{4}$ de período, porque, de lo contrario, no existiría la corriente secundaria, pero estará próximo á dicho valor, por la razón apuntada de la rapidez del fenómeno. El flujo magnético, que la corriente inducida en el espejo haga nacer, tendrá, pues, un retraso próximo á $\frac{1}{2}$ período con relación al flujo incidente: de suerte que, en un momento determinado, existirán en la línea que separa el vibrador del espejo verdaderos nudos, en los que los flujos incidente y reflejado tendrán el mismo signo y atravesarán al resonador, colocado horizontalmente, por cara opuesta, destruyéndose más ó menos completamente sus efectos. Digo más ó menos completamente, porque el valor del flujo reflejado será necesariamente menor que el del incidente. En los diferentes momentos que se puedan considerar, las cosas pasarán como si se supone corrida la pantalla, paralelamente á sí misma, á lo largo de aquélla distancia.

He hablado de una manera general de corriente inducida en el espejo; y este punto merece un análisis más detenido,

que permitirá ver claramente por qué las dimensiones de aquél deben ser comparables á las de la longitud de onda. La corriente secundaria aludida tendrá en la superficie del espejo, en un semiperíodo, un cierto sentido, y su efecto será elevar la temperatura de la chapa metálica de que esté formado, cambiando este sentido, en el siguiente semiperíodo, por el opuesto; pero siempre irá hacia los bordes, porque, siendo grandísima la frecuencia, como que es la misma del fenómeno inicial, tiene, como es sabido y puede demostrarse sin dificultad, tendencia á circular solamente por la periferia del cuerpo conductor donde se desarrolla.

Según esto, si se emplea un espejo muy pequeño, relativamente á la longitud de onda, la del flujo magnético correspondiente á la corriente central, y las engendradas por las corrientes periféricas, interferirán, y, destruyéndose, puesto que el valor del primero de aquellos flujos es igual y de signo contrario á la suma de los segundos, dejarán libre la acción de la onda incidente, y no se percibirá el *nudo* por la desaparición ó disminución de la chispa en el resonador, que seguirá produciéndola sin atenuación. No sucederá lo mismo si el espejo es grande; porque entonces las ondas periféricas no interferirán con la central.

Esta misma explicación hace comprender que, si el espejo es grande, se producirá la *resonancia* detrás de él, y se podrá ver la chispa, la cual no se observaría en el caso de uno pequeño, si no se produjesen entonces fenómenos de verdadera difracción, originados por los rayos incidentes que enrasan los bordes de aquél y vienen á caer sobre el resonador allí colocado, haciéndola saltar.

Supongo despreciable en esta explicación el espesor de la pantalla metálica; porque, si no lo fuera, la inducción producida en su masa por las ondas secundarias, de que estamos tratando, daría origen á un nuevo flujo, que ha-

bría que combinar con los anteriores para deducir ó explicar los efectos producidos. Podría entonces suceder que la chispa cesase, ó por lo menos disminuyese notablemente, detrás del espejo de grandes dimensiones, á causa de la neutralización del flujo secundario por el que podríamos llamar terciario, últimamente considerado. Sabido es que un tubo de Branly sólo deja de acusar la existencia de las ondas de Hertz cuando se le dispone en una caja herméticamente cerrada.

Importa en estas observaciones precaverse de las superficies metálicas que puedan reflejar las ondas en el laboratorio de trabajo: las vigas metálicas de los techos, ó las cubiertas de zinc, pueden, en efecto, producir reflexiones inconvenientes que, viniendo á caer sobre el resonador, impidan determinar la existencia de los *nudos*: dificultad con que he tropezado en más de una ocasión.

En los electrólitos las ondas pasan sin producir efectos de descomposición, acaso porque la rapidez de los cambios no permite ni aun la orientación de los *iones*: de un modo semejante á lo que sucede con un imán que permanece inmóvil, cuando se le coloca en el campo de aquéllas con libertad para girar.

En lo que vengo exponiendo respecto á las ondas de Hertz, no con el propósito de someterlas á un estudio completo, que esto exige más espacio del que aquí debo ocupar, sino con el de señalar y procurar explicar las íntimas relaciones de estos fenómenos con los de la luz, se ha supuesto que la propagación se efectúa en el aire. Puede estudiarse también á lo largo de hilos metálicos, según los dos modos clásicos de experimentación, de Hertz y Sarazin y de la Rive, llamado *electrostático*, y de Blondlot, ó *electrodinámico*. No es mi propósito molestaros, que hartó vengo haciéndolo, con su descripción; mas sí diré que los resultados son más fáciles de observar, por resultar el campo con-

centrado, y están conformes con los obtenidos en el caso de la propagación en el aire.

Dije anteriormente que el excitador y el resonador debían estar acordes, y dar para la perturbación magnética que los recorra igual longitud de onda. Sucede, en efecto, que para un mismo excitador, distintos resonadores dan longitudes, λ , diferentes, y se produce aquí un fenómeno que los Sres. Sarazin y de la Rive llaman de *resonancia múltiple*, semejante en cierto modo al que producen varios vidrios de colores distintos al ser atravesados por un mismo haz de luz blanca, los cuales no dejan pasar sino las ondas correspondientes á su color propio. Mr. Poincaré da otra explicación de este hecho, admitiendo que el resonador no produce esta selección de ondas, sino que el amortiguamiento de las ondas directas, mucho más rápido que el de las del resonador, es causa de que éste reciba la impulsión de la onda reflejada cuando aún dura en él la acción de la directa, ya extinguida en el hilo, produciendo unas veces un refuerzo, y otras una debilitación de la chispa en el mismo resonador.

Que en la reflexión de las ondas electromagnéticas deben cumplirse las leyes de Descartes, como lo confirma la experimentación, es evidente, puesto que obedecen, lo mismo que las luminosas, al principio del *tautocronismo*, el cual permite explicar también el hecho, asimismo experimental, de que, á través de los dieléctricos, las ondas se refractan, de modo que los senos de los ángulos de incidencia y de refracción guardan la relación inversa y constante en que están las velocidades de propagación en los dos medios.

Las ondas electromagnéticas de Hertz y las ondas luminosas tienen, pues, propiedades iguales: se propagan con la misma velocidad, se reflejan sobre los cuerpos metálicos, y sufren la refracción sencilla en los dieléctricos, obe-

deciendo á las mismas leyes; ofrecen fenómenos de difracción semejantes; y, según M. Bose lo ha comprobado, usando como polarizador y como analizador dos redes polarizantes de Hertz (1), también hay cuerpos para ellas birrefringentes. ¿Serán unas y otras de la misma naturaleza? ¿En qué estriban las diferencias esenciales, si las hay?

Cierto que la diferencia, por grande que sea, de las longitudes de onda no es realmente esencial, porque también existen, aunque menores, entre las longitudes de onda de los distintos colores del espectro. Mas las ondas de Hertz, si bien se examina, no tienen verdadera semejanza más que con las ondas luminosas polarizadas. Las de Hertz lo están, en efecto, siempre; y, además, si la hipótesis de las células y los vórtices es exacta, las vibraciones son circulares, produciéndose en el plano que contiene la dirección de la propagación, y es normal á la de la chispa que da la corriente oscilatoria.

Aquí surge ahora una dificultad: ó la semejanza en las propiedades, que dejamos apuntada, depende sólo de la naturaleza periódica de la función, y entonces no hay inconveniente en admitir que la luz, ó su modo de propagación, mejor dicho, consiste en las vibraciones rectilíneas y transversales del *éter*, y las ondas de Hertz en vibraciones circulares; ó las vibraciones de la luz son también circulares, como las de las ondas hertzianas.

Para admitir lo último hay una razón, y es la identidad de la velocidad de propagación. Veamos si en ello puede haber inconveniente, por lo que se refiere á la explicación de los fenómenos luminosos.

Si las vibraciones de esta naturaleza fueran circulares, debería suponerse cada rayo constituido por una serie de vórtices y células, que girando, ya en un sentido, ya en

(1) De acción semejante á las turmalinas en óptica.

otro, según el punto que en un momento dado se considere en la dirección de aquél, determinara la propagación del fenómeno, en el aire, con la velocidad de 300.000 kilómetros por segundo. En cada uno de estos vórtices y células cambiaría á cada instante el sentido del movimiento, ó, lo que es lo mismo, el eje de giro, en la luz natural, correspondiendo estos rapidísimos cambios á los que en el foco luminoso produjesen las variaciones de dirección de las descargas interatómicas, origen del fenómeno. La polarización consistiría en la orientación de estas vibraciones, según los tres círculos máximos, normal uno de ellos á la dirección del rayo, y conteniéndole los otros dos, perpendiculares entre sí y al primero. Éste sería evidentemente inútil para la visión, en la dirección considerada, puesto que no sirve para la transmisión de movimiento alguno en tal sentido.

Si un haz luminoso así constituido incide sobre una substancia birrefringente, se produce la orientación dicha; mas como las velocidades de giro no pueden entonces ser las mismas para las dos vibraciones, de aquí que se produzcan dos rayos, ordinario y extraordinario, que pueden fácilmente separarse. Así, p. e., al pasar un haz luminoso á través de un prisma de Nicol, quedarían subsistentes la vibración circular, que contiene la dirección del rayo, y la normal á ella en el plano de la sección principal, es decir, la que se produce en esta sección y constituye el rayo extraordinario, y eliminada la normal á la dicha sección.

La rotación del plano de polarización por la acción del magnetismo se explica también fácilmente; porque, dejando el polarizador la vibración extraordinaria, es natural que, si aquel agente consiste en un movimiento de rotación, el plano de aquélla gire, en el sentido de este movimiento, lo que consienta la naturaleza de la substancia ensayada en cada caso.

El mismo fenómeno de Zeeman creo que puede de igual modo explicarse en esta hipótesis. En efecto, cuando aquél se observa en la dirección de las líneas de fuerza, se comprende que, bajo la acción de éstas, se reúnan en una sola las dos vibraciones útiles para la visión, y que resulte así una vibración compleja que, observada en un aparato de dispersión, dé dos rayas separadas, para un metal determinado, puesto que para una de ellas el movimiento resulta favorecido por el campo y debe avanzar hacia el violeta, y para la otra contrariado, y es natural que retroceda hacia el color rojo. La acción del polarizador circular, de que antes hablaba, consistiría en la detención de las semivibraciones de sentido contrario, ó del mismo sentido que el movimiento del campo, según la posición de la lámina $\frac{1}{4}$ de onda. Cuando el fenómeno se observa en dirección perpendicular al campo, las dos vibraciones reunidas subsisten, puesto que su plano no es enteramente normal á la dirección de la observación, por haberle inclinado, según decíamos al hablar de la polarización rotatoria magnética, la acción misma del dicho campo; y como, además, queda entonces útil para la visión la tercera vibración, paralela á la actual dirección del rayo, de aquí que puedan percibirse tres rayas, una de ellas la central, correspondiente á esta última vibración, situada donde la primitiva, es decir, en medio de las otras dos que llamábamos antes d_1 y d_2 .

La interferencia, fenómeno fundamental en el estudio de la óptica, consistiría, según el valor de las distancias del punto donde se produce al foco, en la oposición ó coincidencia de los movimientos de giro de los vórtices y células, lo cual exige, para observar claramente su efecto, que los rayos que interfieran procedan del mismo origen; porque, siendo tan rápidamente variables aquellos movimientos, sería imposible que, procediendo de orígenes distintos, coin-

cidiesen ó estuvieran en oposición completa: hecho que, como es sabido, la experimentación confirma plenamente.

En suma, yo no veo inconveniente en admitir que las vibraciones luminosas sean circulares, porque creo que pueden de este modo explicarse los fenómenos de la luz, ó su mayor parte al menos; y, sin declararme acérrimo defensor de esta idea, porque, como daba á entender al principio, en materia de hipótesis hay que ser ecléctico y en modo alguno sistemático, sí diré que deponen en favor de aquélla su armonía con la hipótesis de Maxwell para explicar algunos fenómenos eléctricos y magnéticos, y el hecho de significar un modo de transmisión de las acciones, indudablemente más racional, mecánicamente considerado, que el un tanto violento que representa la separación transversal de las partículas etéreas en las vibraciones rectilíneas.

Como resumen de las ideas que llevo expuestas, formularé las siguientes conclusiones:

La electricidad radica en el *éter*, ya en estado de energía potencial, electricidad estática, ya en el de energía actual, electricidad dinámica.

El magnetismo es un movimiento de rotación.

La hipótesis de las células y los vórtices permite explicar muchos fenómenos producidos por estos dos agentes.

Entre ellos y los luminosos existe íntimo enlace, que induce fundadamente á presumir la unidad de las causas que los producen, y la posible identidad de naturaleza de las ondas luminosas y de las hertzianas.

Como puede presumirse, por lo poco que de unos y otros fenómenos conocemos, el original que ofrecen al estudio y las investigaciones del hombre es magnífico, admirable, como ordenado y dispuesto por la infinita Sabiduría de Dios. Mas la imagen que de él hemos formado es aún muy imperfecta: ni el objetivo tuvo poder de penetración bastante, ni la exposición fué justa; y, al revelar la placa, al interpretar los hechos no debidamente observados, resulta velada ésta, y sin contornos definidos aquélla, siquiera el conjunto permita formar concepto de la grandeza y hermosura de la realidad. Son necesarios, y lo serán por mucho tiempo, un trabajo asiduo, una observación perseverante y una interpretación desapasionada y sin prejuicios de los fenómenos observados. A esta empresa hay hoy día consagradas muchas energías en los pueblos cultos, persuadidos de que el estudio fundamentado de las ciencias físicas es medio eficazísimo de adelanto y prosperidad.

Mas, al tocar este punto, desconsoladora tristeza invade mi alma... Perdonadme si, con el deseo de desvanecerla, abuso de vuestra bondad, procurando llevar á vuestro ánimo los sentimientos de que me encuentro poseído.

Entre los nombres que he citado, y muchos que he omitido, de físicos, algunos eminentes, que en varias partes del mundo se han dedicado y se dedican á este género de investigaciones, no figuran los españoles. Aquí en España, donde tenemos sabios matemáticos, químicos distinguidos, naturalistas y geólogos ventajosamente conocidos en el mundo de la ciencia, cuyos trabajos son motivo de noble satisfacción para sus autores, y timbre de gloria para el país que los cuenta como hijos; aquí donde hay físicos de tan grande valor, que sus escritos, modelo de profundidad en el concepto y de claridad en la exposición, son apreciadísimos y consultados siempre con fruto; aquí donde tales

muestras de aptitud existen, no pueden, los que á las ciencias físicas consagran sus desvelos, dedicarse á investigaciones propias, que aumenten el caudal de los conocimientos en esta rama del saber humano. Tienen que limitarse, en general, á estudiar, con doble trabajo del que sería menester en otras circunstancias, lo que se hace fuera, y á discurrir sobre ello sin otros elementos que los necesarios para entregarse á una investigación exclusivamente matemática.

El profesor español de Física vive en atmósfera poco apropiada, falto de comunicación frecuente con los de otros países, é imperfectamente dotado de los elementos materiales más indispensables. Yo no sé si en esta pintura habrá alguna exageración, por el hecho de verme atacado del mal que señalo. Creo que no: porque, decidme, ¿en qué gabinetes españoles de Física se ha podido observar el fenómeno de Zeeman? ¿En cuántos es familiar la determinación de la constante de Verdet, en la polarización rotatoria magnética? ¿Dónde ha podido hacerse una determinación segura de la longitud de las ondas de Hertz? Los que hemos sentido la necesidad de intentar algunos de estos trabajos y otros semejantes, nos hemos visto detenidos á los primeros pasos: apenas hemos podido cerciorarnos de la verdad de tales fenómenos, y esto con medios casi siempre deficientes, y muchas veces primitivos, incapaces, por lo mismo, de proporcionar acierto en la observación y seguridad en los resultados.

Al hacer constar estas deficiencias, pensando que difícilmente hallaré ocasión más propicia para ello, por la solemnidad que dais á la presente, he de abrigar la esperanza de que, sentida la necesidad, se remedie, en la medida de lo posible; pues hoy, que por todas partes suena la palabra *regeneración*, no debe descuidarse reforma tan necesaria como será dar al estudio de la Física la importancia

que debe tener, dotando á los centros de enseñanza de los medios de experimentación indispensables, no sólo para que el profesorado dé á conocer los hechos descubiertos, sino para que pueda, guiado por la clara luz de las verdades teóricas, entregarse á investigaciones propias: que el hacerlo, lejos de ser innecesario, es, por lo contrario, utilísimo desde el punto de vista científico, y también en el terreno de la práctica. ¿Quién pudiera pensar, en efecto, el año 1831, en que Faraday previó y descubrió la inducción electromagnética, que, cuarenta años más tarde, había de dar Gramme, fundado en aquel descubrimiento, la solución de transformar la energía mecánica en eléctrica, medio fácil y el más económico de producir la última, fomentando, en consecuencia, el desarrollo de tan maravillosas y variadas aplicaciones de la electricidad como hoy utilizamos? ¿Quién había de sospechar que los puntos de vista puramente teóricos de Maxwell habían de alcanzar, veinte años después de expuestos, la prueba de la experimentación en los trabajos de Hertz, y que éstos, algún tiempo más tarde, pasarían del campo de los gabinetes de Karlsruhe y de Bonn al terreno de la práctica, en la aplicación importantísima de la telegrafía sin conductores?...

Perdonad, os repetiré, mi insistencia, y sirva de disculpa á mis expansiones la nobleza de los afectos que las inspiran: el amor á nuestra España y el amor á la Ciencia.

DISCURSO

DEL

SR. D. FRANCISCO DE PAULA ROJAS

Señores Académicos:

Cuando recibí de la Academia el altísimo honor de ser llamado á su seno, quedé obligado á grande y eterna gratitud. Tal sentimiento ha espoleado constantemente mi voluntad para ser útil á tan sabia Corporación en sus trabajos, sin poder lograrlo á completa satisfacción mía sino una sola vez: aquella en que propuse á mis compañeros, como candidato para la Sección de Ciencias Físicas, á D. José María de Madariaga. Tan satisfecho me dejó aquel acto, mío exclusivamente, inspirado en el interés por la Academia, que hoy, cuando aquella iniciativa recibe su espléndida y fausta consagración, al dar la bienvenida al que habéis elegido para asociarlo á vuestras tareas, viendo yo en él al obrero distinguido de la ciencia, lleno del vigor para el trabajo que dan la plenitud de las fuerzas físicas y la de una privilegiada inteligencia; cuando de Madariaga paso la mirada á mi interior, y me encuentro, no diré como Cervantes, «puesto ya el pie en el estribo», pero sí en una decadencia tal de cuerpo y espíritu, que aconseja preparar las postreras despedidas y ultimar las finales recomendaciones, me parece encontrarme en análoga situación á la

de aquel famoso Ministro de Francia, cuando, antes de expirar, hizo la presentación y el elogio, como sucesor suyo, del hacendista Colbert. Así yo también, para dar todo el valor posible al justo elogio del nuevo compañero y á la acertadísima elección de la Academia, me atrevo á decirlos con aquellas históricas palabras: «Señores Académicos, mucho os debo; pero, dejándoos á Madariaga, creo pagaros ampliamente mi deuda».

Y dicho esto, poco más agregaré para no torturar la modestia del nuevo Académico.

Como estudiante en la Escuela de Minas, fué modelo entre los mejores; y como Ingeniero del ramo, al servicio del Estado, dejó en todos los trabajos de su profesión luminosas huellas de su paso, hijas de un espíritu tan observador como incansable. Llamado á la enseñanza en la Escuela donde se formó, cultivó con loable empeño la Química, llegando á ser pronto maestro sobresaliente en tan difícil ciencia. Y, creada en dicha Escuela la enseñanza de la Electrotecnia, es hoy en este vastísimo ramo de la Física una eminencia nacional: sin haber por eso descuidado otro género de estudios, porque á ello le incitaban, por un lado, su constante anhelo de saber, y, por otro, la facilidad que le daba una amplia y sólida base matemática.

Ha dado á luz pocos escritos; porque, fuera del tiempo empleado en su cátedra, el resto, en estos últimos diez ó doce años, lo ha dedicado al estudio teórico y práctico de la electricidad. Trabajador infatigable, obrero investigador, consume el tiempo que le queda libre en su laboratorio eléctrico, luchando brazo á brazo con la Naturaleza: único procedimiento para que ésta se deje arrancar alguno de sus secretos. Allí ha repetido y estudiado, en la escala que le han permitido los menguados recursos experimentales de que ha dispuesto, todos los recientes descubrimientos de la ciencia de la electricidad: los rayos catódicos, los rayos

Roentgen, las oscilaciones hertzianas; allí ha batallado contra el rudo embate de las dudas y objeciones que brotan de la atenta consideración de fenómenos tan oscuros como complicados; y allí ha resuelto algunas y hecho sobre otras, y sobre ciertos detalles de los resultados experimentales, atinadas reflexiones, que todos hemos podido apreciar en las conferencias teóricas y experimentales que dió en el Ateneo, y de las cuales, en cierta medida, fuí yo el instigador, delatando al por tantos conceptos ilustre Sr. D. Segismundo Moret, Presidente entonces de aquel afamado Centro de ilustración, las altas cualidades que para explicar aquellas conferencias reunía, como ningún otro, el Sr. Madariaga: es decir, que yo casi descubrí, como ahora se dice, á Madariaga, oculto en el rincón de su laboratorio. Y no extrañéis que me lisonjee con este descubrimiento, á pesar de que antes que yo hubieron de hacerlo los Profesores de la Escuela de Minas y los que fueron alumnos del que hoy recibimos y festejamos aquí; porque, ya que no pueda preciarme de otro género de descubrimientos, que dan luz propia, natural es que me contente con los que solamente la prestan reflejada.

En la cátedra del Ateneo, no solamente afirmó Madariaga su personalidad científica, sino que hizo brillar sus dotes de Profesor, entre las cuales sobresale la fluidez, espontaneidad, propiedad y corrección de su lenguaje. No se interrumpe por nada la fluencia de su palabra: tanto que, cerrando los ojos, parece su explicación lectura hecha con voz clara, en la cual las oraciones y los períodos se suceden unos á otros con tono igual, sin la menor interrupción para encontrar una rebelde palabra que, siendo la más propia, no acude á llenar su puesto en el discurso. Cual tenor que repite una por él muy sabida cantata, y que se acompaña á la vez con adecuado instrumento, sigue nuestro Profesor su curso explicatorio, sin cuidarse, al parecer,

de las fórmulas y figuras que simultáneamente van trazando las manos en el encerado, sucediéndose estos elementos auxiliares de la plática tan ajustados á la oración, como van acordes las notas del canto y del acompañamiento: admirable concordancia entre las manos que ejecutan primorosamente cálculos y figuras, y las ideas que con ellos se corresponden.

Alguna vez, sin embargo, tienen que lamentar sus alumnos tan admirable conjunto de facilidades en su Profesor, que suele traducirse por una enorme cantidad de ciencia en poco tiempo vertida, pero que exige de los oyentes grandes dosis de atención y perspicacia suma para ser asimilada. Todo ello como consecuencia de las cualidades del temperamento científico que bosquejo. Porque el Sr. Madariaga, carácter frío y contenido en público, con perfecto dominio de sí, de su palabra y de la ciencia que explica, suele encerrarse en la severidad y aridez de la misma ciencia, donde solamente imperan la razón y la verdad desnuda; y la verdad, física ó matemática, desnuda, no siempre presenta á primera vista á los alumnos los atractivos de la Venus de Milo. Fuera de la cátedra, en la soledad del laboratorio, tratando de la ciencia entre amigos, compañeros ó discípulos, la frialdad impuesta desaparece, y se ve al hombre apasionado y ardiente, ponderando las conquistas de la ciencia con toda la vehemencia y el calor con que se expresaba en situación análoga el inolvidable P. Secchi, con el cual, bajo el último punto de vista que considero, y aun de algún otro, tiene el nuevo Académico alguna semejanza.

Entre los escritos dados á luz por Madariaga, y publicados en la *Revista Minera*, citaré, como el de mayor mérito por su originalidad, el que lleva por título *Ensayo de una Teoría Elemental y Cálculo de las Bombas centrífugas*. Trabajo revelador de que el sabio profesor de la Escuela

de Minas cultiva con gran fruto todos los ramos de la Física y de la Mecánica.

El discurso reglamentario que acabamos de oír viene á comprobar la opinión que se desprende del boceto acabado de mencionar. El nervio de este trabajo, su tendencia, su verdadera tesis se encuentra dilucidada entre los múltiples fenómenos y datos que analiza, para que de ellos se desprenda como por sí sola la demostración.

Por cualquier parte que se abra este discurso se descubre al profesor: su estrecha y escrupulosa conciencia no puede contentarse con citar un fenómeno físico que á su propósito conviene traer, sino que ha de describirlo primero, analizarlo después, presentar las opiniones formuladas para su explicación por los físicos que le han principalmente estudiado, y manifestar la suya, si no coincide con la de aquéllos, apoyándola con las razones que su gran erudición y clarísimo ingenio le sugieren. Sistema que ha prolongado considerablemente su trabajo, como no podía menos, por cuanto sus argumentos se basan sobre hechos y descubrimientos, novísimos en su mayor parte, oscuros por su naturaleza, y sujetos muchos á controversia. Por esto el discurso del Sr. Madariaga no es para leído y bien apreciado á la primera lectura, sino para ser estudiado. La idea que en todo él palpita, el eje alrededor del cual agrupa el autor todos los hechos, fenómenos é hipótesis que á su objeto convienen, la tesis de tan meditado trabajo, es comprobar, por todos los caminos que los recientes progresos científicos ofrecen, la influencia que sobre todos los fenómenos físicos ejercen el medio en el cual se desarrollan, y principalmente la del éter, aplicando la hipótesis de Maxwell, y estableciendo relaciones íntimas entre los fenómenos eléctricos y los lumínicos.

Los principales puntos que abraza el discurso son: la naturaleza de la electricidad y del magnetismo, la induc-

ción electrostática, la chispa eléctrica en el aire y en los gases enrarecidos, los rayos catódicos y los rayos de Roentgen, el magnetismo en sus relaciones con la luz, la nueva teoría de la electrólisis, y las oscilaciones hertzianas y su identidad con las luminosas. Asuntos todos de grandísima transcendencia, que el autor presenta tan perfectamente encadenados como lo están en su entendimiento. Sobre la explicación de algunos expresa su complaciente conformidad; acerca de otros, manifiesta sus dudas y vacilaciones; y, á propósito de no pocos, confiesa que cuantas hipótesis y teorías se han ideado para explicarlos, no los sacan de la penumbra en que se ocultan.

Menos afortunado yo, la duda me asalta á cada paso en lo concerniente á esas nuevas teorías, las objeciones se agolpan á mi espíritu, y el resultado triste de todo ello es que mi caudal científico, nunca abundante, se me va reduciendo á una serie de signos de interrogación.

Trata el discurso en primero y preferente lugar, y con mucha razón, del *éter*: como que éste es el alma del Universo, el que todo lo llena, el que no solamente ejerce influencia indudable sobre todos los fenómenos, sino que, compartiendo con la materia ponderable toda la energía del Universo, entre ambos engendra todos los fenómenos del orden físico. El estudio de la luz nos reveló la existencia del *éter*, obligándonos á reconocerle una inmensa elasticidad y una densidad específica muy pequeña: tanto que, si se me permite una exageración, diré que casi consiste en concederle un certificado de materialidad.

No admite el Sr. Madariaga la acción á distancia, cosa que ningún hecho puede comprobar, porque no podemos huir de la presencia del *éter*. Esto vale tanto como decir que no puede la materia obrar sobre la materia sino por contacto ó choque; que cuando un cuerpo parece que obra á distancia sobre otro, lo verifica, en realidad, merced á

una cadena material visible ó invisible; y que no hay más que una sola fuerza en la Naturaleza: la materia en movimiento. Estos principios son considerados como evidentes verdades por algunos; mas para otros no pasan de meras hipótesis. De todos modos, partiendo de ellos, empezaré recordando un bosquejo que en otro tiempo tracé, á modo de interpretación borrosa de los principales fenómenos del orden físico. Aceptada esta base para discutir sobre ella, no puedo admitir sino con desconfianza, y á título provisional, cualquier hipótesis que no manifieste la tendencia á explicarlo todo por el movimiento y por las infinitas transformaciones de éste. Sírname de disculpa para esta repetición de antiguas ideas la necesidad de entrar con un criterio determinado y fijo en el examen de algunas, no de todas las cuestiones del inmenso campo que comprende el discurso de nuestro nuevo compañero.

Recordemos el experimento vulgar que se hace con un carrete de hilo metálico aislado, con alma de hierro dentro.

Si con este electro-imán y una pila formamos circuito, sabemos que la corriente eléctrica pasa por un período variable, empezando su valor por cero y terminando por el que corresponde á la fórmula de Ohm. Durante este período, la energía suministrada por la pila se emplea en dos cosas: en calentar el circuito, una; y la otra, que es la que aquí importa considerar, en la formación del *campo magnético*. Campo, que es para mí evidente, que consiste en una cierta *modificación* del éter que rodea al electro-imán. Pero, en virtud de los principios de que hemos partido, y suponiéndolos ciertos, esa *modificación* no puede consistir en otra cosa sino en una modificación de los movimientos que antes tenían los átomos del éter, cuya energía, en las cercanías del electro-imán, ha debido aumentar: aumento de energía, podremos decir, que reside en el éter, en estado *potencial*, como decimos que lo está en un

resorte del reloj al cual damos cuerda; aun cuando, en rigor, esa energía sea *cinética*, como lo es toda energía, dentro de los principios de que partimos. En el caso del resorte me parece imposible que el éter, que exteriormente le rodea, no sufra alguna modificación por el solo hecho de haber dado cuerda, esto es, por el solo hecho de haber cambiado la *estructura* interna del resorte, comprendiendo en la palabra *estructura* todo aquello que se refiere á las distancias medias de los átomos, ponderables é imponderables, del acero; á las trayectorias, probablemente cerradas, de los primeros átomos; á las velocidades de éstos, tanto de rotación como de traslación; al paralelismo, ó no paralelismo, de los ejes de rotación; etc., etc. Porque es evidente que el hecho de arrollar el resorte, ó de estirarlo longitudinalmente, cambia su interna estructura: con lo cual las trayectorias de sus átomos ponderables é imponderables han debido cambiar; y, estando el éter externo en perfecta comunicación con el interno, es imposible que á un cambio en la estructura del segundo no responda otro en la del primero: cambio que se extenderá á una cierta distancia, quizás muy pequeña, del resorte. Mientras subsista la fuerza de tracción que estira el resorte, subsistirá un nuevo estado de equilibrio dinámico forzado, entre la fuerza de tracción y el éter externo, sobre el cual ha venido en último término á refluir la mencionada fuerza, sirviendo de intermedio, entre ella y el éter externo, el resorte estirado.

No se ha comprobado, ni quizás se pueda comprobar nunca, esa modificación del éter externo al resorte, por más que á mí me parezca que no puede menos de existir, no sólo en este caso particular, sino en todos aquellos en que varíe la estructura interna de un cuerpo; y claro es que, si cesa de obrar la fuerza de tracción, el éter externo nos devuelve, por el intermedio del resorte, el trabajo que

empleamos en producir la deformación del acero. Del mismo modo, en el ejemplo del electro-imán, ó de un simple carrete, la corriente eléctrica se encarga de producir el cambio de estructura en el alambre del carrete, y este cambio arrastrará consigo el del éter externo, formando así el campo magnético. Y, cuando rompemos el circuito y suprimimos con ello la acción de la corriente, la energía almacenada en el campo magnético vuelve á su punto de partida, y aparece bajo la forma de *extra-corriente*.

En estos dos ejemplos paralelos se percibe una gran analogía. En ambos hemos conseguido operar una modificación en el éter externo, por medio de una modificación producida en la estructura interna de un cuerpo ponderable.

Lo que acabamos de decir para la formación del campo magnético es aplicable á la formación del campo eléctrico, que produce en su rededor todo conductor electrizado. Estos tres campos, el magnético, el eléctrico y el del resorte, á que llamaré *elástico*, por más que este nombre cuadre también á los dos primeros, tienen por caracteres esenciales:

1.º Que, si bien necesitan para su formación una cierta cantidad de energía, que conservan en estado potencial, no exigen nuevo consumo de energía para su conservación.

2.º Que, si se traslada en el espacio el carrete, el conductor electrizado y el resorte, que son como los sostenes de sus respectivos campos, éstos les siguen en sus movimientos del modo que después se verá.

Y 3.º Que los movimientos de los átomos etéreos, constitutivos de esos campos, aunque desconocidos para nosotros, serán distintos, aunque puedan coexistir sobreponiéndose.

Ahora bien: si todo eso fuese cierto, si esos campos elásticos son producidos por unos movimientos, especiales y desconocidos, de los átomos ponderables de los cuerpos,

lícito es inferir que un origen análogo pueden tener los *campos gravitatorios*, que acompañan á los astros, y en general á todo cuerpo. Y así como atribuimos las acciones eléctricas y magnéticas de los cuerpos á sus respectivos campos, podemos atribuir á los gravitatorios la ficticia atracción á distancia. Mas como esta ficticia atracción parece coetánea de la materia ponderable, hemos de admitir que los átomos de ésta gozan, *ab initio*, de ciertos y desconocidos movimientos, propios para engendrar los campos gravitatorios, elásticos como los anteriores.

Y no son solos esos movimientos de los átomos ponderables los que hay que considerar como esenciales á la materia; sino otros movimientos vibratorios, muy distintos de los anteriores, coexistentes con ellos, y que constituyen el calor, sin el cual no podemos concebir lo que serían los cuerpos.

Todo astro tendrá en su rededor, á más del campo gravitatorio, un campo calorífico, que puede ser lumínico también, y que en rigor se extiende hasta lo infinito; pero el campo calorífico se diferencia esencialmente de los que hemos llamado elásticos: 1.º, porque exige para su sostenimiento un consumo perpetuo de energía, de parte del astro que lo sostiene; y 2.º, porque esa energía se disemina por el éter, ó es recogida por los cuerpos ó astros con los cuales tropieza en su propagación, sin que vuelva nunca por sí misma al astro de donde surgió: mientras que, en los demás campos elásticos, la energía potencial que contienen volvería al astro de donde surgió, en cuanto cesasen (cosa imposible), los especiales movimientos de los átomos ponderables, que originaron *ab initio* y que sostienen luego esos campos.

Si en el Universo no hubiese más que un solo astro, aun cuando éste tendría su campo gravitatorio etéreo, permanecería inmóvil en el espacio, porque todo sería simé-

trico en derredor suyo. Mas, si hubiera dos astros, los dos campos gravitatorios se cortarían, quedaría rota la simetría etérea al rededor de cada uno, y la consecuencia sería una ficticia atracción, producida por ser la presión etérea menor entre los astros que en la parte externa, ó una ficticia repulsión, si sucedía lo contrario. La experiencia dice que sucede lo primero; pero la teoría (si merece tal nombre este mero conato de interpretación) nada podría decirnos *à priori*.

Esto, que llamamos *presión etérea*, por darle algún nombre, es la que sostiene perpetuamente en su órbita un planeta al rededor del Sol, y la que sostiene un átomo ponderable de un cuerpo sólido en la trayectoria, probablemente cerrada, que dentro de la molécula describe. Si en vez de dos astros solos, consideramos un sistema formado por muchos, podemos fijar la atención en la presión etérea que obra sobre el conjunto, y decir que esta presión es la que obliga al sistema á ocupar un determinado volumen del espacio dentro del cual estarán los astros en la perpetua agitación que existe en nuestro sistema planetario.

Si de las grandes magnitudes, masas, espacios y trayectorias, descendemos á lo casi infinitamente pequeño, diremos que las moléculas de un cuerpo sólido se componen de sus átomos ponderables, como un gran sistema de astros se compone de éstos.

Y si la presión etérea, que obliga á la molécula á conservar un determinado volumen, variase por cualquier causa, ó bien variase la trayectoria de sus átomos, variaría el volumen de la molécula, y tendríamos una especie de elasticidad, que se extendería á los cuerpos, engendrada y sostenida por el juego mismo de los movimientos de los átomos etéreos. Quizás se pueda aducir en favor de esta opinión lo que advertimos en los gases perfectos, en los cuales la *elasticidad isotérmica* tiene por medida la presión,

consecuencia de la velocidad de traslación con la cual se mueven, libres de todo lazo, las moléculas de dichos fluidos.

Pero, entre otras, puede hacerse una objeción á este modo de considerar la naturaleza de las atracciones y repulsiones. ¿Cómo es que el éter, que con tanta fuerza origina la ponderación de unos astros sobre otros, no presenta resistencia sensible al movimiento de traslación de aquéllos? A esto, realmente, yo no sabría qué contestar; pero aventuraré, sin embargo, una idea sobre cuyo valor, si alguno tuviera, no me atrevería á decidir. Cuando hemos dicho, poco antes, que el campo gravitatorio de un astro acompaña á éste en su movimiento de traslación, y que lo propio sucede con el campo magnético, por referencia al imán á que corresponde, no quisimos decir con ello que el éter, modificado en su estructura, que constituye tales campos, adquiera por sí mismo el movimiento de traslación, como la atmósfera terrestre sigue á la Tierra. El astro, en su movimiento de traslación, tiene que ir formando de nuevo, en un sentido, el campo gravitatorio, que se va deshaciendo por el otro: para lo primero, consume el astro una cierta cantidad de energía, exactamente compensada con el aumento que recibe por lo segundo.

De conformidad con la letra y espíritu del discurso de nuestro nuevo compañero, hemos admitido que la fuerza y el movimiento no pueden transmitirse á distancia de un cuerpo á otro, sino á favor de un intermedio material entre ambos. Pero ahora agregaremos más, y es que este intermedio se ha de deformar para que aquella transmisión se realice, ó ha de sufrir un cambio en su estructura. En la Naturaleza no existen substancias absolutamente rígidas, ni sólidos invariables, como los que, para simplificar los problemas, se consideran en Mecánica. Cuando se dice que una fuerza queda destruída ó equilibrada por la resis-

tencia de un plano, no se da del fenómeno una explicación satisfactoria: no se fija claramente la atención en el papel que realiza esa supuesta resistencia, la cual hace algo más que oponer de un modo inerte un veto al movimiento. El peso de mi cuerpo, por ejemplo, es una fuerza que se equilibra en este momento, con la de resorte del tablado sobre que me apoyo; pero esta fuerza, antagonista de mi peso, no nace sino á consecuencia de la deformación del tablado, ó á consecuencia de un cambio de estructura.

La sensación de la fuerza nace en nosotros siempre que, por medio de nuestros músculos, cambiamos la dirección del movimiento de los átomos de la materia, ponderable ó imponderable. En el primer caso el hecho es evidente, pero no tanto en el segundo. Intentemos levantar del suelo un cuerpo pesado por medio de un alambre de acero, y no lo conseguiremos sin cambiar la estructura de nuestros músculos y la del alambre: cambio, en mi concepto, tan necesario para conseguir la elevación del cuerpo, que yo creo que el acto no sería posible si el alambre fuese absolutamente rígido é indeformable, para lo cual sería menester que la Naturaleza nos ofreciese ese alambre milagroso. Levantado y suspendido el cuerpo, lo que hemos llamado *presión etérea* entre el cuerpo y la Tierra, se reduce á los choques de los átomos del éter exterior contra ambos: choques que llevan consigo el cambio en la dirección de dichos átomos, de un modo más ó menos remotamente análogo al que se admite como bueno para explicar la presión de un gas por el perpetuo choque de las elásticas moléculas que le componen.

La contracción muscular engendra en los nervios movimientos atómicos desconocidos, que se propagan hasta el centro cerebral correspondiente, y allí termina el fenómeno fisiológico, para dar origen á la sensación de la fuerza, salvándose, en este paso, un abismo, ante el cual enmudece

asombrada la razón humana. Lo único que parece puede asegurarse, apoyándose en que el cerebro no recibe otra cosa sino movimientos, es que éstos constituyen la *materia prima* para elaborar la sensación, substancialmente distinta, sin embargo, del movimiento.

Y lo que decimos de la sensación de la fuerza es aplicable á todas las sensaciones. Llegan, por ejemplo, las vibraciones luminosas hasta la retina, y allí mueren como luz; pero parte de ese movimiento se transforma en otro obscuro, esto es, no luminoso y desconocido, que se propaga por los hilos del nervio óptico hasta el cerebro, donde jamás entró la luz; y allí, como antes, se realiza el misterio impenetrable de la sensación que nos hace exclamar: ¡qué hermoso color verde!, cuando parece que el alma, sumida en la obscuridad, debería pensar: ¡qué ritmo tan agradable han tomado los átomos de la retina!, ó bien: ¡cuánto me agrada esa longitud de onda!

Y lo mismo puede decirse de los demás sentidos. Al oler una flor, las moléculas del aceite esencial que sus pétalos desprenden y emiten, se posan sobre la mucosa pituitaria; los movimientos de las moléculas emitidas se transforman en otros movimientos en los nervios olfatorios; y, al llegar éstos al cerebro, exclamamos: ¡qué olor tan agradable!: cuando lo lógico (á no haber el citado abismo entre un movimiento, por insensible y afligrañado que sea, y una sensación) sería decir: ¡con qué ritmo tan agradable bailan esas moléculas en la alfombra pituitaria!

Bien se me alcanza que los esbozos de explicación de algunos fenómenos que hemos intentado trazar, no pueden saciar la sed de la inteligencia; porque, en efecto, todo ello se reduce á afirmar que un movimiento nuevo nace de otro, y á confirmar la ley de la conservación de la energía. Con sola esta ley establecemos, sin miedo á equivocarnos, ecuaciones exactas; pero, al hacerlo, ignoramos por com-

pleto la definición de esos movimientos de los átomos y el mecanismo de su transformación en otros. Mas la ciencia, si alguna vez ha de llegar á la perfección completa, exigiría que definiésemos esos movimientos primordiales de los átomos y que explicásemos todo el proceso y mecanismo interno de esas transformaciones del movimiento ó de la energía.

Y aquí es donde empiezan las insuperables dificultades para la ciencia. Por esto dice, con mucha razón, el señor Madariaga «que, si conociéramos bien las propiedades del éter y sus conexiones con la materia ponderable, y si de la constitución de ésta tuviésemos concepto claro, la explicación de todos los fenómenos sería fácil».

Tanto como fácil, no diré yo; pero sí abordable, con fundadas esperanzas de buen éxito. Pero, no teniendo el hombre esos conocimientos previos para acometer la magna empresa de reconstituir la ciencia sobre sólida base mecánica, vese obligado á imaginar hipótesis que vengan á suplir la falta de dichos conocimientos. En la génesis de las hipótesis entran á la parte la razón y la imaginación, y resultan, por tanto, obras de ciencia con algo de arte. El que elabora una hipótesis se erige en un pequeño creador, que otorga á moléculas y átomos las formas, cualidades, posiciones relativas, lazos de conexión que le parecen convenientes, para sobre todo ello edificar una teoría que explique y relacione toda una familia de fenómenos, y, si ser pudiera, todos los del orden físico, aspirando así á demostrar y proclamar la unidad de la ciencia.

Sabido es que muchas hipótesis parciales han sido repudiadas por ineficaces, y otras han debido ser modificadas. Citemos como ejemplo la que, para explicar la presión ejercida por los gases, admitía una constante y perpetua repulsión entre sus moléculas. Con esta hipótesis se explicaba perfectamente el fenómeno de la presión. Pero seme-

jante repulsión á distancia no es admisible en el actual estado de la ciencia. Demostrada y medida hoy la velocidad de traslación de las moléculas de los gases, y la completa libertad de éstas en los llamados *perfectos*, resulta que las moléculas no están, como suponía la antigua hipótesis, en estado de equilibrio *estático*, sino de equilibrio que podemos llamar *dinámico*: lo cual quiere decir que las moléculas del gas, aun cuando se muevan con una velocidad de 400 á 1.000 metros por segundo, experimentan, individualmente, tan considerable número de choques en el mismo tiempo con las que se encuentran á su alrededor, que, para ciertos efectos, es lo mismo que si en tan breve intervalo no se hubieran movido sensiblemente de su sitio. La microscópica trayectoria rectilínea que cada molécula recorre, en el tiempo que media entre dos choques consecutivos, no está sujeta á ley alguna conocida ó definible; y, con el transcurso del tiempo, la molécula cambia de lugar, como lo prueba la difusión.

Con ambas hipótesis se puede explicar el fenómeno de la presión; mas, para entendimientos que rechazan la acción á distancia, la hipótesis de la repulsión molecular carece de lo que podemos llamar *verosimilitud científica*. Y aunque una hipótesis pueda resultar falsa, menester es, al menos, que al nacer no lo parezca. Andamiaje para la teoría es, en efecto, la hipótesis, como en su hermoso y expresivo lenguaje dijo el insigne sabio á quien el Sr. Madariaga alude; mas, por lo mismo, conviene que aquella construcción previa se presente con visos de estabilidad: lo menos que debe exigirse en un andamio, para calificarle de admisible, es que parezca, siquiera por algún tiempo, que puede sostenerse solo.

Muestra el Sr. Madariaga gran predilección por la hipótesis de Maxwell, para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos. Aparece en su discurso como uno de los más

apasionados discípulos de aquel eminente físico y matemático; y lo prueba con las felices aplicaciones que hace de aquella hipótesis, no solamente á los fenómenos eléctricos y magnéticos, sino á las relaciones entre éstos y los de la luz. Pero, después de felicitar al nuevo académico por su excelente estudio, y de reconocer los grandes servicios que prestó á la ciencia la hipótesis del ilustre matemático inglés, he de confesar que á mí no me inspiró igual entusiasmo. ¿Por qué? Será por mi vejez, siempre desconfiada ante toda innovación teórica ó hipotética. Será por la duda que asalta mi apocado y pobre espíritu ante teorías basadas en suposiciones, que recaen sobre moléculas y átomos, para explicar fenómenos de inmensa complejidad, y por tanto obscurísimos. Realmente es para inspirar hoy cierto temor el ver y considerar el terreno en que se libra el combate entre la Ciencia y la Naturaleza: combate, en cierto modo, semejante al emprendido por la Medicina contra los micro-organismos. Larga y tremenda será la lucha, iniciada años há por uno de los primeros sabios del pasado siglo: por el bienhechor de la Humanidad M. Pasteur. Más segura sería la victoria si, en vez de combatir el naturalista contra legiones de invisibles enemigos, que fundan su grandeza en su misma pequeñez, tuviese, como los primeros hombres, que luchar con las fieras de los bosques. Y si esto decimos de enemigos que, aunque tan pequeños, constituyen seres organizados, ¿qué esperanza puede abrigar la Física en dominar y esclavizar á los átomos, que entran por millares ó millones en la composición de aquellos seres? Pues tal es la pretensión de muchos físicos.

«La acción á distancia, dice el Sr. Madariaga, cosa es que rechaza nuestro espíritu siempre acostumbrado á ver un medio material de comunicación de las acciones, que entre cuerpos en presencia la industria aprovecha: ya es

una correa, un engranaje, una palanca, el agua, el aire ó el vapor... ¿Por qué no ha de existir también un medio, dotado de propiedades convenientes para la transmisión de otras acciones que los cuerpos en presencia ofrecen?

Estamos ambos conformes en que ese medio existe, y es el éter; pero lo malo es que la cinemática de ese sutilísimo medio es una divina y oculta cinemática, en la cual no entran las correas, bielas, manubrios y engranajes, que componen la cinemática nuestra. No digo yo para establecer conexiones entre los átomos, pero ni para la cinemática del animal, que es cosa tan grosera comparada con la atómica, usó el Creador ciertos órganos ni ciertos movimientos de nuestros mecanismos. ¿En qué órgano del animal existe el movimiento de rotación continua, tan empleado por el hombre en toda clase de máquinas, pero imposible para el animal, á causa de la independencia que exige dicho movimiento entre los órganos rotativos, independencia incompatible con la nutrición y el crecimiento? ¿Qué pez ó qué ave utiliza para la locomoción la hélice? ¿En qué se parecen nuestras máquinas eléctricas á las concedidas al gimnoto y al torpedo? ¿En qué nuestros aparatos de alumbrado al que tiene la luciérnaga? No difieren, al parecer, los ojos de la lechuza de los del hombre. Y aquélla, sin embargo, ve en la obscuridad con los rayos caloríficos, y distingue los colores del calor, que nunca percibirá el hombre.

Yo me conformo con que Maxwell otorgue patente de elasticidad á ciertos átomos de éter, que no es flojo otorgamiento. Paso también por la forma esférica que atribuye á los átomos, aunque en esto no hace hincapié. El distinguir entre los átomos, unos, pequeñísimos, llamados *células*, y otros, muy pequeños también, aunque no tanto, á los que llama *vórtices*, es mucho distinguir, aun tratándose de visiones intelectuales para mecanismos simbólicos. El

suponer que las células son *la materia eléctrica*, y no una forma especial del movimiento de los átomos, me pareció, respetando siempre la inmensa autoridad de Maxwell, una idea atrevida. Admitir, como cosa posible y probable, que los vórtices no pueden hacer más sino girar alrededor de uno de sus diámetros para constituir de ese modo el campo magnético, me parece que es desentenderse de los múltiples y simultáneos movimientos que todo átomo étéreo debe ejecutar para prestarse á la superposición de una serie de campos, gravitatorio, eléctrico, calorífico, magnético, etc., del mismo modo que en el campo sonoro, formado por las moléculas de aire, coexisten y se superponen la multitud de movimientos vibratorios que de una orquesta emanan. Nadie duda que sobre los movimientos naturales y propios de las moléculas de aire de este local, movimientos íntimamente ligados con la temperatura, á la cual puede decirse que caracterizan, toman puesto las vibraciones del sonido fundamental de mi palabra, y sobre éstos otros más tenues, delicados y suaves, que forman mi poco agradable timbre. Difícil sería seguir con el entendimiento las evoluciones de una de esas moléculas. Pero todavía se complicaría más el fenómeno, si suponemos que en este local suenan los acordes de un piano sobre el cual descansa un listón de madera que, atravesando el techo de la sala, se halla en contacto con una caja sonora colocada en el local superior. El listón aparecerá á nuestros ojos inerte, seco y silencioso; pero arriba, donde toca á la caja, cual si fuera tronco de árbol vivo, lanzará al aire, en infinitas invisibles ramas, las oleadas sonoras que absorbió por su raíz. ¿Quién podrá seguir con el pensamiento esta serie de transmisiones de movimiento, desde la cuerda del piano al listón, y, finalmente, al aire? Y no se olvide que esa transmisión ha de hacerse entre moléculas presas y que, al parecer, se han de mover en el listón sobre trayectorias

cerradas; al paso que las moléculas de aire gozan de una libertad que, como la social, no tiene más límite sino el que impone la libertad de las otras: por lo cual están perpetuamente aquellas moléculas en choque continuo.

Pues si tan difícil es el fenómeno sonoro, cuando queremos penetrar en su misteriosa profundidad, y tan difícil nos es entendernos con las moléculas, que son como sistemas planetarios de átomos, ¡cuán difícil no será entendernos con esos planetas!

¡Y cuánta mayor no será la dificultad cuando se trate de la superposición de varios campos, lo cual supone la coexistencia de tantos y tan distintos movimientos de los átomos! En este mismo local tenemos el campo calorífico, de cuya existencia nos da cuenta nuestro propio organismo; el gravitatorio, del cual nos avisa nuestro propio peso; y el magnético, sin sentido especial que nos lo revele ó advierta: mostrándose en este punto el rey de la creación en escala inferior á la brújula.

Sabido es que, para explicar la propagación del sonido por el aire, se parte de un supuesto estado de equilibrio estático de las moléculas de este fluido, en vez del dinámico ó calorífico que existe siempre: despreciando estos últimos movimientos por mínimos é insensibles, en cotejo de los nuevos que han de recibir de los empujes rítmicos del cuerpo sonoro. Mas yo no sé hasta qué punto podría seguirse la misma marcha al tratarse de los átomos del éter. El fenómeno de Zeeman y el de la polarización rotatoria, tan brillantemente expuestos y discutidos por el Sr. Madariaga, muestran las modificaciones que sufren las vibraciones luminosas, cuando se producen, ó cuando se propagan por un campo magnético.

Los ejemplos aducidos muestran la infinita dificultad del problema que acomete el hombre cuando se decide á penetrar en el arcano de los movimientos de los átomos

ponderables é imponderables, y trata de construir el andamiaje en que ha de apoyarse para levantar el edificio de la teoría. Por eso no extraño que ni el inmenso talento de Maxwell haya acertado á construir un sistema hipotético, del cual se dijera por todos: *podrá no ser verdad, pero posee siquiera verosimilitud científica*. Lo cual no es decir que, inverosímil y todo, no haya dado sus frutos, ante los cuales me inclino respetuosamente, pero sin abandonar mi desconfianza, niirme á vivir á un edificio que no me parece sólido, ó del cual, en cualquier caso imprevisto, tendría que salir, para dar lugar en su interior á grandes reparaciones.

Necesitando Maxwell que sus vórtices giren todos en el mismo sentido, encomienda tan delicada función á las células, las cuales, para cumplirla, tienen que engranar con aquéllos, á la manera de un piñón entre dos ruedas. Y ya tenemos aquí al éter, copiando, aunque maravillosamente afinados, los groseros y mecánicos órganos de transmisión empleados por el hombre.

En nuestro mismo planeta se nos ofrecen ejemplos materiales de cómo la Naturaleza resuelve complicados problemas de forma y de rotaciones en un medio fluido, sin seguir, para conseguirlo, los caminos trazados por nuestra cinemática. Los anillos del gas hidrógeno fosforado ¿no tienen cierta analogía con los anillos, á modo de torbellinos, del campo magnético de Maxwell? Por eso se dice que la Naturaleza es muy sabia, al ver cómo y con qué facilidad produce los más raros y complicados fenómenos. Mas no está en ella la sabiduría, sino en las leyes á que fatalmente tiene que obedecer.

Si á un ingeniero se le propusiera la resolución de este problema:

«Transmitir el movimiento de rotación de un árbol á otro, pudiendo el último tomar, como á capricho y á cada

instante, todas las direcciones y posiciones en el espacio», recurriría á nuestro arsenal de cinemática, y, no encontrando allí más que la antigua *articulación universal*, inútil para el caso, declarararía imposible el problema. Y, sin embargo, un largo, elástico y flexible alambre de acero ó de cobre, convenientemente guiado, lo resuelve. Embráguese el alambre por un extremo al primer árbol, como si fuese la continuación de éste; atorníllese del mismo modo una broca al otro extremo del alambre; y el eje de esta broca podrá tomar todas las direcciones y posiciones que desee el operador.

Debo consignar aquí que, si bien el mecanismo simbólico, ideado por Maxwell para explicar la estructura del campo magnético y la tensión de las líneas de fuerza, debida al achatamiento de los vórtices, como consecuencia de la rotación, y la presión lateral, debida al alargamiento del diámetro ecuatorial de los vórtices, me parece que carece de verosimilitud científica, compláceme ver que, respecto al fin á que tiende la hipótesis, mi pobre opinión concuerda con la de tan eminente autoridad. En efecto, la conclusión de Maxwell es hacer radicar la energía potencial del campo magnético en una rotación de los átomos etéreos; esto es, en un nuevo movimiento comunicado á los átomos: lo cual, en último análisis, es venir á parar en que esa energía potencial es cinética, conforme á lo expuesto en este escrito en el antes trazado bosquejo.

Sentiría que de cuanto va dicho pudiera deducirse que juzgo estériles las hipótesis, cuando éstas constituyen, desgraciadamente, el único recurso que nos queda en muchos casos para ampliar los límites de la ciencia. En medio de la obscuridad en que se ocultan ciertos fenómenos, la hipótesis no será siempre una luz viva y brillante que ilumine el camino del explorador, pero será algo así como un imperfecto y nuevo sentido que le sirva de guía. En abun-

dancia se han presentado y se presentarán casos en que habrá que modificar las hipótesis, acercándolas algo más á la verdad, á la manera de las sucesivas paralelas que antiguamente se establecían para conquistar una plaza sitiada. ¿Qué medio le queda al hombre, cuando la verdad se encastilla de tal modo, sino apelar al triste recurso de esas paralelas, para acercarse á ella más y más cada vez, y, si fuese posible, hacerla su prisionera? Poco lisonjero es para nuestra vanidad que tengamos ingenio bastante para formular una pregunta, y nos falte el necesario para atinar con la respuesta, quedando á media correspondencia con la Naturaleza.

Maxwell, para explicar la formación del campo electrostático por medio de la hipótesis del *desplazamiento*, se aparta ya de la tendencia que siguió para explicar el campo magnético, acercándose más á la antigua hipótesis de la polaridad molecular magnética.

Todos los fenómenos descubiertos en estos últimos tiempos han dado lugar á otras tantas hipótesis, y algunos á varias, como sucedió con el radiómetro de Crookes, con los rayos catódicos y con los rayos Roentgen, dando origen á grandes dudas y controversias.

Pero el fenómeno que con más ahinco se ha estudiado en estos últimos años, es el por todo extremo complicado y obscuro de la electrólisis. Y se comprende esta preferencia por la importancia, no solamente científica, sino industrial, que tiene la electrólisis, porque ella sola puede llegar un día á transformar por entero la Química y la Metalurgia, habiendo dado ya grandes y fructuosas pruebas de su poder. En el combate descomunal entablado entre el hombre y el átomo, la principal arma que puede esgrimirse contra el invisible enemigo es la electricidad, cuya afilada punta es la única que puede alcanzarle. Para explicar la electrólisis, vino, en primer lugar, la hipótesis de Grotthus. Y,

reconocida su impotencia para explicar las circunstancias más esenciales del fenómeno, acudió al palenque el gran Clausius, asentando la base de la existencia de los *iones* en el seno del electrólito, y admitiendo para ello que entre los choques continuos de unas moléculas con otras ocurren algunos de tal importancia por sus condiciones de centralidad y de oposición de las velocidades, que la molécula se descompone en sus elementos constituyentes. Así, en una disolución de cloruro de sodio, se encontrarán átomos de cloro y de sodio libres.

Arrhenius admite la libertad de los *iones*, no por consecuencia de un choque molecular, sino por la acción del disolvente, y explica el paso de la electricidad á través del electrólito, no por la conductividad de éste, sino por transporte de los iones desde un electrodo al otro, siguiendo las líneas de fuerza del campo electrostático. Tal es, en sucinto bosquejo, la hipótesis hoy reinante de la *ionización*, la cual ha dado origen á una teoría extensa y completa, que da cuenta de todos los fenómenos que acompañan á la electrólisis, y ha servido de guía para predecir algunos.

Teoría que ha prestado un gran servicio á la ciencia. Pero, consignado esto, que es de justicia, la hipótesis en que se funda no deja de prestarse á dudas, objeciones y crítica. Yo me figuro el asombro con que un químico recibiría la noticia de que en el seno de una disolución de cloruro de sodio había átomos de cloro y de sodio libres. ¿Cómo puede ser eso?—Eso puede ser, se le contestaría, porque no se trata de átomos en estado natural ó neutro, sino en estado de *ion-cloro* y de *ion-sodio*, esto es, de átomos cargados respectivamente de electricidad positiva y negativa.—Pues ahora lo comprendo menos; porque esas cargas contrarias de electricidad parece que habían de avivar, en vez de disminuir, la afinidad química.—Y á esto seguramente no se podría contestar más que como lo hizo

el médico de Molière: «antiguamente así se creía; pero ahora lo hemos arreglado de otra manera».

Y en verdad que, aun cuando lo parezca, no hay en esto nada extraño. El que elabora una hipótesis tiene fija la vista en todos los detalles y circunstancias del fenómeno que trata de explicarse, y concede ó niega á los átomos todo cuanto le parece conducente á su propósito, sin parar mientes en si esas concesiones están ó no en contradicción con ideas anteriores no demostradas, con ideas hipotéticas, que, en fuerza de su antigüedad y del hábito de usarlas, se toman como cosa corriente, y pasan malamente como verdades adquiridas. Así se explica el asombro del químico. Todo esto no sería un obstáculo para que mañana la nueva teoría corriera la misma desgraciada suerte de la de Grotthus; pero, si este caso llegase, por gratitud habría que hacerle honrosas exequias. No es el menor de los servicios que ha prestado á la ciencia esa hipótesis, la distinción clara y precisa que establece entre un dieléctrico y un electrólito, punto éste que estaba sumido en gran confusión. Gracias á ella, podemos decir hoy que un electrólito se diferencia de un dieléctrico en que el primero contiene *iones* en más ó menos proporción, al paso que el segundo no los contiene. Así, el agua absolutamente pura es un dieléctrico, y, por lo tanto, no es electrizable como se creyó.

Una de las cosas más maravillosas para el vulgo, y en cierto modo para todos, es ver con cuánta rapidez se ha formado una ciencia tan vasta y completa como es la de la electricidad, y cómo en tan poco tiempo se ha llenado el mundo con sus aplicaciones, tan importantes como variadas; y, sin embargo, puede decirse que, sin átomo de duda, no sabemos qué cosa sea *eso* de que todos hablamos y estamos de continuo manejando con asombrosa facilidad. Para Maxwell, ya lo hemos visto: son las células ó átomos

más pequeños del éter. Para Lodge, en el libro que acaba de publicar con el título de *Las Teorías modernas de la Electricidad: Ensayo de una nueva*, el éter se compone de átomos que constituyen la electricidad positiva, y de otros átomos, la negativa: quedan, pues, materializados, en concepto de este físico, los dos fluidos eléctricos, cuyo conjunto forma el éter. Y aunque el autor propone diversos y variados mecanismos para hacer sensible su teoría, generalmente sucede con estas y otras lucubraciones lo que á menudo acontece á un pintor con sus cuadros: trabaja con entusiasmo febril para dar forma á su concepción; pero, terminada la obra, decae el entusiasmo con el tiempo, ó con la fría y atenta observación del trabajo hecho. Algo de esto parece que ha sucedido al autor de la nueva teoría eléctrica, cuando se expresa de este modo:

«Supongamos (1) que el éter está compuesto de dos partes constituyentes, ligadas entre sí por cierta tenacidad, de modo que el medio tenga una especie de elasticidad bajo el punto de vista mecánico; y supongamos además que estas dos componentes posean masa, ó se hallen sometidas á los efectos de la inercia. Con estas hipótesis explicamos, hasta cierto punto, los fenómenos eléctricos. No decimos que sean explicados de un modo absoluto; pues hay pocas cosas que puedan serlo, y confesamos que restan muchos puntos por esclarecer, porque la naturaleza de las relaciones entre las dos electricidades y entre su compuesto el éter, y la materia, esto es, la naturaleza de la fuerza y de la inercia que entran en juego, quedan indeterminadas».

(1) Dice en la pág. 155: *Supposons que ces composants soient liés l'un à l'autre par une certaine ténacité, en sorte que le milieu ait une sorte d'élasticité au point de vue mécanique...*

»Con todo ello, apenas puede esperarse dar en firme un paso adelante, y hay que admitir que nuestro conjunto de hipótesis no constituye sino una grosera parodia de la «verdad».

Frases son éstas de gran franqueza y lealtad, pero reveladoras también de manifiesto desencanto.

Trata el Sr. Madariaga también del magnífico descubrimiento del malogrado Hertz, con su habitual maestría. En la unión del glorioso descubrimiento de las oscilaciones hertzianas, previsto teóricamente por Maxwell, con el de Branly, resumido en su *denunciador* de aquellas oscilaciones, vió el ávido y experto ojo de Marconi el sistema de la nueva telegrafía etéreo-eléctrica, que actualmente explota. Así, la gloria de unos sirve al interés de otros. Y lo más notable del caso es, que tal vez no haya hoy nación alguna donde no aparezca un nuevo inventor de la telegrafía sin hilos, sin que los periódicos que citan sus nombres nos digan claramente si esos inventos son ó no son reinventados.

¡Y cosa extraña! El nuevo sistema de transmitir á lo lejos el pensamiento, sigue un camino opuesto al que siguen los demás sistemas, cuando persiguen el propósito de aumentar cuanto se pueda la distancia. Para conseguir este propósito en el terreno de la acústica, se emplea el tubo acústico, esto es, se *canaliza* el sonido, porque así llegará éste más lejos que si lo transmitimos por la plena atmósfera. Cuando se trata de transmitir la energía eléctrica como sistema telegráfico ó como potencia, se canaliza la electricidad. Cuando de la telegrafía óptica, siempre persiguiendo el mismo fin de llegar más lejos, se canaliza la luz con reflectores ó con lentes. Y hasta ahora no parece que se trata de canalizar las oscilaciones electro-magnéticas: lo cual, si redundaba en elogio de la sensibilidad del sistema, constituye un verdadero despilfarro de energía,

lanzada ciegamente al espacio para que llegue á un solo punto: despilfarro justificado, porque no se sabe en muchos casos dónde aquel punto está situado.

Hoy, los sabios y todo el mundo desean que se llegue á encontrar un camino para disminuir la longitud de onda de las oscilaciones hertzianas, y poder decir *lux facta est*; pero semejante portentoso adelanto, quizás no lo sea para el nuevo sistema telegráfico.

Voy á terminar este conato de contestación al discurso del profesor de Electrotecnia, con algo que viene á justificar en parte la nota de desaliento y desconfianza que se revela en algunos de los puntos aquí consignados.

Há pocos meses, ha dado M. Cremieu á luz unos experimentos sumamente delicados, de los cuales dedujo que las corrientes de convección no ejercen acción alguna sobre la aguja magnética. Sobre si este hecho es ó no cierto, y sobre la existencia de las corrientes llamadas *abiertas*, hay actualmente entablada una controversia entre los físicos, de la cual, y principalmente de los experimentos que han de acompañarla, ha de deducirse la consagración ó la modificación de muchas proposiciones que como ciertas é incuestionables se tenían en Física.

Y para que no se atribuya esta consecuencia á exageración mía, copio aquí la conclusión del artículo que el ilustre Mr. Poincaré ha publicado sobre este asunto en la *Revue générale des Sciences*. Dice así:

«Terminaré aquí este largo artículo, satisfecho si he logrado hacer comprender la importancia de los problemas que surgen de las investigaciones de M. Cremieu, y la naturaleza de las cuestiones comprometidas en el debate. ¿Nos vamos á encontrar en presencia de la paradójica corriente abierta? ¿Nos vamos á ver obligados á buscar una nueva explicación de los rayos catódicos, de las corrientes electrolíticas, de la polarización magnética, y del fenómeno

»de Zeeman? Esto es lo que hemos de saber dentro de »poco tiempo».

Aguardemos un poco, sí; y preparémonos, cuando las dudas y obscuridades, en estas breves líneas formuladas, se hubieren desvanecido, á ver surgir en el horizonte, cada día más amplio, de la ciencia, nuevos enigmas, en reto descomunal contra las insaciables aspiraciones de la razón humana. Ó las enseñanzas de la Historia son mentira, ó esto es lo que ha de suceder constantemente en el vertiginoso transcurso de los siglos.
