

LAS ONDAS PARÁSITAS EN RADIOCOMUNICACIÓN

DISCURSO LEÍDO POR

D. JOSÉ ROMERO ORTÍZ DE VILLACIÁN

EN EL ACTO DE LA RECEPCIÓN COMO ACADÉMICO DE NÚMERO

EL DÍA 9 DE NOVIEMBRE DE 1924

Señores Académicos, señoras y señores:

Obscuro ingeniero, sólo en contacto con la realidad tangible de las instalaciones industriales, y no con las excelsitudes de la investigación, examino, con imparcialidad, mis hechos y mi vida, y no acierto a explicarme las razones que habéis tenido para trasladarme de mi modesto cuarto de trabajo a este inmerecido lugar, en el que la emoción me desvanece y la gratitud me ciega. Si vuestra benevolencia al juzgarme ha sido tanta, bien sabrá dispensarme que con expresión torpe, pero sentida, me limite, en estos momentos, a saludaros respetuosamente y a presentaros mi agradecimiento por el injustificado galardón que de vosotros recibo.

La unanimidad de vuestros sufragios ha querido agregarle a vuestra obra, que no necesita de encomios, porque viva se halla en los numerosos cursos de conferencias que habéis celebrado y en la copiosa labor de vuestras publicaciones. En espíritu me habéis tenido siempre con vosotros, señores Académicos, pues os habéis impuesto una misión no solamente cultural y científica, sino también patriótica, llegando vuestras enseñanzas a recónditos pueblos, donde se os conoce y donde se os quiere, por vuestra plausible labor divulgadora.

Entro con júbilo tan grande como sincero en vuestra Corporación, para desempeñar a vuestro lado el papel de humilde aprendiz, que os acerque el buril con que grabáis vuestros nombres ilustres en el libro venerable de la Historia de la Ciencia; y recibo con honda satisfacción la medalla que me deparáis, una medalla que viene a mis manos impecable y nueva, dispuesta a dejar sobre mi memoria la estela inolvidable de esta solemnidad, y sobre mi pecho un trazo firme de honor, que me acompañará toda la vida. ¿Tendré la suerte de que mi contacto deje en ella rastro alguno? La duda me asaltaría, si el convencimiento de mí mismo no me rindiese. Yo, con harto sentimiento, no podré legarle más que el recuerdo de una buena voluntad.

He de embargar vuestra benévola atención hablándoos de acciones electromagnéticas, y para definir concretamente el modo de ver que en tal materia adopto ante una hipótesis que para ellas ha sido fundamental, me es preciso, como a todo el que hoy se ocupa de estas cuestiones, dedicar unas palabras a una previa aclaración.

Decía nuestro llorado Echeagaray y se complacía Maderiaga repitiéndolo en su cátedra de Electrotecnia, de la que tengo el honor de proceder, que las hipótesis son algo así como los andamios que nos vemos forzados a levantar para la erección de un edificio, modificándolos y renovándolos según las necesidades, hasta que la obra termina, en cuyo caso podemos derribarlos, porque ya han desempeñado su papel.

Esta imagen, elegante y clara, me lleva a pensar en el enorme montón de herrumbre y de escombros que hoy contemplamos al pie del esplendoroso edificio de la Ciencia, por el que asoma un maderamen recio y secular, que expertos obreros tratan de reconstruir. Son las ruinas del *éter*, ante las que yo me descubro con singular respeto, porque entre los puntales caídos me parece adivinar el genio intuitivo de Faraday, el espíritu analítico de Maxwell, la potencia experimental de Thomson, y, en resumidas cuentas, el germen de

la Electrotecnia de la segunda mitad del siglo pasado y de una buena parte de la del presente.

Con razón puede decir el ilustre Dr. Cabrera (1), siguiendo los rumbos de la relatividad, que la idea del éter había nacido en condiciones de cierta endebles; con razón puede decir el sabio profesor de la Universidad de Madrid, que los clásicos experimentos de Young y de Fresnel sólo hicieron del éter un asiento para la teoría de las ondulaciones, y que, con posterioridad, no se le ha exigido más que servir de soporte a los campos eléctricos y magnéticos, lo que permitió a Lord Kelvin decir que teníamos un conocimiento de su naturaleza más completo que de la materia misma; pero también es innegable que puesto que hoy la Ciencia tiende a colocar todo el mundo de los fenómenos en esos campos electromagnéticos, su papel había ganado en jerarquía, y ha sido tan necesario para la Física, como los conceptos de *espacio* y *tiempo* lo fueron para la Mecánica, aun cuando hoy veamos que eran realmente equivocados.

Del mismo modo que con rara unanimidad confiesa la Mecánica relativista, que en la newtoniana, como de primera intención podía preverse, debía existir un gran fondo de verdad, por cuanto con ella se han explicado, con maravillosa exactitud, los movimientos de los cuerpos celestes, podríamos decir, utilizando aquellas propias palabras, que no menor acomodación a la realidad de los hechos debían contener las ideas de Faraday y de Maxwell, cuando por sí solas se han bastado para descubrir, entre otras cosas, la telegrafía y la telefonía sin hilos, de las que vamos a ocuparnos esta tarde.

El estudio de la propagación de la luz a través de un fluido móvil, ha sido asunto que ha preocupado a los físicos de todos los tiempos. Arago, Fresnel, que interpretó los experimentos de aquél respecto al arrastre de la luz en un cuerpo transparente para un observador dotado de cierta velocidad; Michelson, Morley, Zeeman y Snetalage, han obtenido consecuencias de positivo interés para la noción física del

(1) B. Cabrera.—Principio de relatividad.

éter. La mayor exactitud que caracteriza a las investigaciones modernas, ha conducido a la conclusión de que existe interferencia, como si por parte del fluido hubiera un arrastre parcial de la luz.

Esto quiere decirnos que la propagación de la luz a través de cuerpos en movimiento, se halla en contradicción con el principio de relatividad de la mecánica clásica.

¿Pensaría Bradley al descubrir la aberración, que de su propia investigación dimanaba el curioso deseo de comprobar la existencia del *viento de éter*? No otra cosa han realizado con posterioridad Michelson, Morley, y por último Miller, quienes operando en tales condiciones que podía apreciarse una centésima del efecto producido, han obtenido un resultado negativo, esto es, que la velocidad de la luz es independiente de la dirección en que se determine, no obstante el movimiento de la Tierra; o dicho en otra forma: el éter es arrastrado por la tierra y en general por todos los cuerpos que se muevan en su seno, en contradicción manifiesta con la aberración de la luz y los experimentos de Fizeau y de Wilson. Trouton y Noble, por camino diferente al de la luz, valiéndose de cargas eléctricas, vinieron a confirmar los propios resultados.

La hipótesis del éter al derrumbarse con estrépito, abría grietas en los edificios de la Mecánica y la Física, que había que reparar con urgencia. Stokes viene en ayuda de la aberración, diciendo que el éter se comporta como un fluido sin viscosidad para los movimientos lentos y como un sólido de gran rigidez para las vibraciones muy rápidas, cuya hipótesis impugna Larmor. Boscovich quiere explicar el fenómeno diciendo que la composición de la velocidad de la luz con la de la Tierra, depende del medio en que aquélla se propaga; pero Airy deduce lo contrario, estudiando la aberración de la luz con un antejo lleno de agua. Es el mago de la física moderna, es el genial Lorentz, de quien dice Nordmann que a no ser por él no hubiese existido Einstein, quien a la vista de que sus investigaciones teóricas en electrodinámica y electromagnetismo, cuando intervienen cuerpos en movimiento, conducen a una teoría de los fenómenos electromag-

néticos, que entre sus leyes contiene la de la constancia de la velocidad de propagación de la luz en el vacío, que se hallaba en pugna evidente con el principio restringido de relatividad de la mecánica clásica; lanzó al campo de la ciencia experimental, y al de la especulativa, su magna obra de la teoría relativista para cuerpos animados de movimientos rectilíneos uniformes, con las ecuaciones de transformación que llevan su nombre y que habían de reemplazar a las clásicas de Galileo y Newton; buscando la armonía entre los dos principios que tan en contradicción se hallaban, con sólo un análisis de los conceptos físicos de espacio y tiempo.

A Lorentz se debe la determinación analítica del valor del arrastre de la luz al atravesar un cuerpo transparente, que coincide con el calculado por Fresnel; él fué quien siguiendo un camino puramente electrodinámico y basándose en las hipótesis de Maxwell y en las propias suyas acerca de la estructura electromagnética de la materia, explicó por el acortamiento que sufren los cuerpos en movimiento, de acuerdo, también, con Fitzgerald, la lógica de la experiencia de Michelson y Morley; explicó la polarización que aclara satisfactoriamente el experimento de Wilson; explica, igualmente, la experiencia de Fizeau; y apoyándose sobre las mismas hipótesis formula una teoría satisfactoria del influjo del movimiento de la Tierra sobre la luz que envían las estrellas fijas, que como las anteriores, ha sido objeto de comprobación experimental, después de haberla comprobado el principio de relatividad especial, como todos sabemos.

Tenemos, ciertamente, con las ecuaciones de transformación de Lorentz, un nuevo medio analítico representativo del éter, pero el carácter físico que a éste se había atribuído se pierde en absoluto, pues según la teoría no existe ningún sistema privilegiado que dé lugar a la introducción de tal idea.

Nuevas concepciones acerca de ella nos traen las extensiones propuestas, ante el deseo de generalizar la teoría relativista a toda clase de sistemas, sea cual fuere su movimiento, entre las que figuran, como mejor que yo sabéis, las de Lorentz, Minkowsky, Bohr, Einstein y Weyl, en las que no se sabe qué admirar más, si el genio que nos transporta a

concepciones ignoradas hasta ahora, o las vistosas galas de sus desarrollos analíticos; pues si como decía Echeagaray, la Matemática es el sentido común a alta presión, forzoso es reconocer que con ellos se ha llevado la aguja hacia el final de la escala del manómetro.

Algunos proponen que existe una multiplicidad de medios cuyas propiedades son idénticas al éter y que se hallan superpuestos en cada punto del espacio; otros, como Planck y Einstein, prefieren prescindir de él. Nordmann habla de un superéter, y Cabrera dice que en el vacío absoluto de la teoría einsteniana debe quedar alguna realidad física que responda a las ecuaciones del campo gravitatorio, lo que podremos interpretar como la descripción de un éter nuevo, tan alejado del de Lorentz, como éste lo estuvo del de Fresnel; y por último, la generalización de Weyl (1) considerando al electrón y al protón como singularidades del campo electromagnético, se aproxima, mucho más, a la idea física del éter.

De otro modo, ¿cómo podemos representarnos imaginativamente esa *corriente de Maxwell*, que se hace latente en la descarga de un condensador en el vacío, y que, como sabéis, ha sido la base para el descubrimiento de la radiotelegrafía? Las ideas que hoy tenemos de la materia, de la masa y de la energía, que nos llevan a suponer a la primera como constituida por elementos vibrátiles, más o menos complejos, y de naturaleza eléctrica; esta síntesis grandiosa de un magno campo electromagnético que se nos presenta con diversas manifestaciones físicas, químicas y mecánicas; del que conocemos leyes cuya expresión es ciertamente sencilla adoptando como ejes de referencia los que introdujo Minkowski en el principio de relatividad; ha de presentarse, sin embargo, con noción algo oscura si hemos de concebirle sin soporte.

Se ve, pues, que la idea del éter se halla un poco lejos de perderse y se observa cierta lucha para poner en armonía los nuevos progresos con aquella hipótesis, debidamente modificada. Y es natural que así suceda, pues para el matemático y para el metafísico, que pueden concebir las grandes

(1) H. Weyl.—Raum, Zeit, Materie.

abstracciones, les es dable ver en las ecuaciones de transformación de la relatividad especial y de la generalizada, la expresión analítica del éter; pero para muchos físicos, y en particular para los electrotécnicos, acostumbrados a representarse los fenómenos electromagnéticos, al modo de ver de Faraday y Maxwell, y aun del propio Lorentz, queda la visión mental más cumplidamente satisfecha con un carácter objetivo y físico para el medio en que tales fenómenos se desenvuelven; algo que sea para el espíritu del electricista, como lo que las imágenes son para el alma del poeta.

Sobre la corteza terrestre y a través del inmenso cielo azul, tan propicio en todas las edades para la interpretación por el Arte como para la investigación por la Ciencia, se propagan, en radiocomunicación, las ondas hertzianas, desde la estación emisora hasta la receptora. Pero también se propagan en el mismo espacio y de idéntica manera las perturbaciones perjudiciales.

Una lógica rudimentaria nos lleva a pensar que las causas perturbadoras de un campo electromagnético, deben ser de índole electromagnética, y la síntesis a que nos conduce la teoría electrónica nos obliga a considerar como tales todos los fenómenos que nuestros sentidos perciben y muchos que sobrepasan este límite de percepción; y hasta nosotros mismos no debemos pertenecer a otra categoría, a la vista de los modernos estudios electrofisiológicos, si bien en nosotros tiene el *quantum* un valor infinito, por llevar sobre sí algo sublime y divino.

A la cabeza de los fenómenos perceptibles figura la luz. De ella conocemos su teoría electromagnética, a la que nos llevan la íntima relación que existe entre el índice de propagación y la constante dieléctrica, de positivo valor para relacionar los fenómenos eléctricos con los luminosos; la casi continuidad del espectro visible con la región infrarroja, los rayos restantes de Rubens y las longitudes de onda que han podido hallarse en los laboratorios al estudiar la telegrafía sin hilos, y por el otro lado en la región ultravioleta con los

rayos X. Hablan, además, en favor de la estrecha dependencia de ambas categorías de fenómenos, los conocidos de electróptica y magnetóptica, contando entre aquéllos la liberación de electrones con la luz ultravioleta, o sea el efecto fotoeléctrico, estudiado analíticamente por Einstein; el fenómeno de Kerr, referente a la doble refracción en un campo eléctrico; la presión que ejerce el campo sobre las partículas dieléctricas esféricas de radio pequeño, esto es, la presión de radiación, estudiada por Debye y Schawartzschild, acción que ha sido admitida y desarrollada por Einstein, con una brillante comprobación en diversos eclipses; la explicación del azul del cielo según la teoría de Rayleigh, nacida de considerar al aire como un medio turbio, en el cual se verifican fenómenos de difracción; la explicación de los colores coloidales considerando la acción de las ondas sobre partículas conductoras; la de la difracción de las ondas hertzianas al considerar la proximidad de cuerpos conductores de grandes dimensiones, como la Tierra, etc., etc. Y en cuanto a la magnetóptica, bastará con recordar los clásicos experimentos de Faraday descubriendo la rotación del plano de polarización de la luz al propagarse en un campo magnético; el efecto Kerr; el efecto Zeeman directo, cuyas anomalías ha tratado de explicar Voigt, llegando a ecuaciones de las que Lorentz ha conseguido, para algunas, una interpretación mecánica, etc.

Es obligado reconocer que la teoría electromagnética de la luz, tal y como fué planteada por Maxwell, no ha podido explicar, por sí, algunos de los fenómenos citados, y ha sido preciso ponerla en armonía con los resultados de las experiencias. Es el mismo proceso por que ha pasado la mecánica de Galileo y Newton, habiéndose distinguido notablemente en la moderna extensión de la teoría de Maxwell, entre otros, Lorentz, Einstein y Bohr.

Pero que una teoría no sea suficiente para explicar un fenómeno, no quiere decir que el hecho real y observable deje de subsistir. La Cosmogonía, para citar una ciencia en la que se involucran las mayores incógnitas, no es, desde Laplace a Belot, más que una serie de rectificaciones, por no poder explicar algunos fenómenos, y no por ello deja de ser

un hecho, que todos admiramos, la existencia del Universo. Fracasan las teorías, fracasan los filósofos que las establecen interpretando el fenómeno, pero éste no fracasa jamás. Y en el caso de la luz, cuanto se ha observado, hasta ahora, le presenta como de naturaleza electromagnética.

No es de extrañar, por tanto, que Marconi pudiera descubrir que la luz producía una perturbación en la propagación de las ondas hertzianas, pues una atmósfera iluminada por el Sol aparecía más opaca a las radiaciones eléctricas, que cuando se hallaba sumida en la obscuridad; hecho que, sin embargo, no cabe atribuir exclusivamente a la luz en sí, pues en él toma parte una otra serie de fenómenos que, como la luz, contribuyen a la ionización de la atmósfera.

Sabemos que la disociación de las moléculas gaseosas con separación de cargas eléctricas, la provocan una temperatura elevada, los rayos ultravioletas que suponemos se desprenden en gran cantidad del hidrógeno inflamado que en masas importantes se halla en el Sol; pero también la producimos en los laboratorios con la descarga eléctrica a través de gases enrarecidos, con las emanaciones radioactivas, y hasta con un campo eléctrico suficientemente intenso; y con todos estos medios cuenta la atmósfera para producir la ionización del aire. Los dos primeros se presentan con toda claridad y en cuanto a la proyección de rayos catódicos por el Sol, encuentra confirmación en la observación del efecto de Zeeman inverso en aquel astro, efecto debido, probablemente, a la circulación en torbellino de electrones. Al borde de las manchas solares, nos dicen los astrónomos que existen fáculas, en las cuales se observan movimientos radiales enormes de masas gaseosas, y a la explosión correspondiente al movimiento de estas masas, puede referirse la producción de los rayos catódicos.

Esta hipótesis, al propio tiempo, aclara el paralelismo existente entre la frecuencia de las manchas solares y de las perturbaciones magnéticas terrestres. Partiendo de ella, Poincaré, Villard, Störmer y Borkeland han estudiado la desviación de los rayos al llegar al campo magnético terrestre, y el último de dichos físicos ha comprobado que lanzando un haz

de rayos catódicos sobre una esfera imantada, se encuentra una distribución de perturbaciones análoga a la que presenta el campo magnético de la Tierra; las partículas catódicas se concentran en los polos y en una faja ecuatorial, a las cuales corresponden las perturbaciones polares y ecuatoriales.

La existencia de los rayos catódicos contribuye a explicar también, la fuerte ionización de las altas capas atmosféricas por choque de las partículas catódicas, haciéndolas conductoras, lo que a su vez da consistencia a la hipótesis de Heaviside, quien admite que se halla situada una capa de esta naturaleza a una altura de 60 u 80 kilómetros y que sirve de reflector a las ondas de las estaciones radiotelegráficas y radiotelefónicas, pues el hecho de que estas ondas se incurven sobre la superficie terrestre de tal modo que permiten la comunicación con los antípodas de la estación emisora, como se ha comprobado haciendo uso de longitudes de onda de 16 kilómetros, no parece lógico atribuirlo, solamente, a fenómenos de difracción, sino a sucesivas reflexiones por medio de una capa conductora que sirve de tornavoz a las radiaciones eléctricas.

Al choque de estas partículas catódicas, verdaderas corrientes eléctricas en las altas capas de la atmósfera, se atribuye la luminosidad de las auroras polares; deben ser las corrientes que perturban el magnetismo terrestre y dan lugar a sus inducidas telúricas; meteoro y perturbación que se hallan, como sabemos, íntimamente ligados a las manchas solares.

Las emanaciones radioactivas procedentes de la tierra, son las que, probablemente, contribuyen en cierta cuantía a la muy débil ionización de las capas atmosféricas que con aquella se hallan en contacto. En cuanto a la existencia en la atmósfera de campos eléctricos potentes, es innecesario consignar que se halla debidamente justificada; constituyendo el rayo y el relámpago las más evidentes demostraciones.

Los diversos niveles eléctricos de la atmósfera, al menos en sus proximidades a la tierra, los conocemos por la experiencia, siendo el estudio del gradiente o caída de potencial por metro de altura, uno de los más interesantes para el co-

nocimiento de las ondas parásitas atmosféricas, pero del cual poco puede decirse todavía, porque casi están sin explorar las regiones situadas sobre las grandes superficies oceánicas.

Sabemos que cuando el tiempo se muestra sereno y tranquilo, las capas atmosféricas próximas a la tierra se hallan cargadas positivamente, y que su potencial aumenta con la altura. Las superficies equipotenciales que pudiéramos considerar en el aire, conservan cierto paralelismo con la corteza terrestre, sin que en aquéllas se acuse más trastornos que los que pudiéramos prever por las leyes de la electrostática, en relación con las elevaciones y depresiones del terreno, pues tanto en las altas cimas como en las partes salientes, tales como casas, árboles, etc., las superficies equipotenciales experimentan una aproximación, a la que corresponde un aumento en el gradiente o caída de potencial por metro, mientras que en las depresiones sucede, como es lógico, todo lo contrario.

Los aparatos *colectores* puestos en relación con electrómetros registradores, que se han usado en diversos observatorios, y muy principalmente por Exner en Postdam y por Mascart en París, prueban que en las proximidades del suelo, esto es, hasta unos 50 metros de altura, la caída de potenciales es lineal, o sea que el potencial es proporcional a la altura, variando el coeficiente angular de esta recta, según que se trate de una prominencia, de una llanura o de una depresión.

Refiriéndonos siempre a observaciones de buen tiempo, recordaremos que Exner ha encontrado, que sobre una llanura, la caída de potencial por metro es de 68 voltios, como término medio, hallando 1.000 voltios a los 17 metros y 3.500 a los 48. En cambio, ha hallado el mismo observador, que en una montaña de 1.870 metros de altura, a los 3 metros del suelo el potencial valía 1.100 voltios, y a los 30 metros 9.700 voltios, lo que da para valor del gradiente 318 voltios.

La experiencia prueba que el gradiente de buen tiempo sufre, además, variaciones diurnas, mensuales y anuales, que son distintas según los lugares. Respecto al período diurno, las curvas del gradiente eléctrico del aire en Postdam, demuestran que el mínimo tiene lugar hacia las cuatro de la

mañana y el máximo de dos a cuatro de la tarde, siendo la amplitud, generalmente pequeña. En las regiones polares, en el cabo Thordsen, se halló una ola única característica por lo sencilla.

Los períodos dobles diurnos pertenecen, en su mayoría, a las llanuras; los máximos ocurren a la salida y puesta del sol; el mínimo principal a las cuatro de la mañana y el secundario a las primeras horas de la tarde, siendo digno de notar la constancia del mínimo de las cuatro de la mañana, que siempre existe, tanto en el período único como en el doble.

Según Chaveau, el máximo de la oscilación diurna, sucede a una hora aún no determinada, y los segundos máximos y mínimos los atribuye al suelo y al ambiente (proximidades de edificios, árboles, etc.). Lo propio manifiesta Exner, si bien éste atribuye el período doble a una depresión que tiene lugar a mediodía, que se origina en verano y en las regiones cálidas y secas, mediante una capa de polvo de muchos centenares de metros de altura, pues en los meses de invierno hay una tendencia a establecerse un período simple, mientras que en los de verano existe un doble período muy pronunciado.

Estas variaciones se refieren, como hemos dicho, a la electricidad de buen tiempo, pues en cuanto éste se altera, el electrómetro del colector registra movimientos bruscos e intensos alrededor de la posición de equilibrio, ocurriendo las mayores oscilaciones en momentos inmediatamente precursores de tempestad o de precipitaciones atmosféricas, registrándose también cambios de signo.

Los experimentos de Gerdien prueban que los valores del gradiente varían con la naturaleza de las precipitaciones atmosféricas. En la lluvia general y en las nevadas ligeras y persistentes, crece hasta 1.000-2.000 voltios, siendo, generalmente, negativa, y el signo de la carga de la precipitación misma es, con más frecuencia, negativo que positivo. En la lluvia de grano fino y granizo menudo, la caída alcanza valores de 4.000 a 6.000 voltios, siendo al comienzo intensamente positivo, aunque está sin dilucidar si esta propiedad

es general. En la lluvia tempestuosa, acompañada de toda clase de descargas que los sentidos perciben, el gradiente vale, con frecuencia, 10.000 voltios, y las borrascas de nieve van acompañadas también de rápidas e intensas oscilaciones. El régimen tempestuoso actúa sobre el gradiente a distancias considerables, y en todas las precipitaciones mencionadas se observan cambios de signo de la carga de la propia precipitación.

Las nieblas espesas de invierno van acompañadas de alta caída de potencial, siendo más baja la de las que se ciernen sobre el suelo en los días de otoño. Existen, por último, algunas clases de niebla que no ejercen ninguna influencia sobre el gradiente.

El estudio de la dispersión, o mejor, de la *difusión eléctrica*, ha venido a arrojar mucha luz sobre las anomalías observadas en la marcha de la caída del potencial atmosférico. Decía Linss, que el aire mismo obra como conductor, y que la Tierra perdería gradualmente su carga eléctrica en poco más de hora y media, si no recibiera nuevas aportaciones. Pero, todos sabéis, que la energía de su núcleo interno, sea sólido como nos han dicho Reyer, Cortázar, y otros eminentes geólogos; sea líquido, como ha preconizado Arrhenius; sea con un notable predominio de la materia gaseosa, como hoy comienza a admitirse; pero siempre con una energía latente que constituye una pobre herencia de la fuerza cosmogónica que aún no ha muerto, pues los sismógrafos nos acusan a cada momento sus latidos; todos sabéis, repito, que además de esta fuente de energía, que si queréis puede ser pequeña a los efectos que consideramos, tenemos esa otra maravillosa que representa el flujo electrónico que recibimos del Sol; de esa magnífica lámpara Fleming que constituye el sistema Sol-Tierra, que con el manto piadoso de sus rayos, libra a nuestro diminuto planeta de la tremenda catástrofe de perder su carga eléctrica.

Desde las experiencias de Elster y Geitel, realizadas con su dispersómetro, sabemos que la causa principal de que pierdan su electricidad los cuerpos eléctricamente cargados y aislados, estriba en los iones libres que el aire posee, aun en con-

diciones normales; habiéndose podido determinar que la pérdida eléctrica media, en las llanuras, es de 1'3 por 100 de la carga inicial, por minuto; siendo, aproximadamente, la misma para las cargas positivas y negativas. En las alturas se han hallado valores mucho más elevados, y se ha comprobado que la difusión negativa es más rápida. Por ejemplo, en el Mont-Blanc, a una altitud de 4.810 metros, la difusión negativa fué 40 veces la positiva, hecho que demuestra que en los picos elevados el número de iones positivos debe ser extraordinario, lo que se explica por la gran densidad que debe tener la carga negativa a tales alturas, según las leyes de la electrostática.

Reconocieron, además, que la dispersión al aire libre es tanto más pequeña, cuanto menos diáfano y transparente sea aquél, como ocurre con la niebla; hecho que se ha tratado de explicar diciendo que los iones con aire húmedo o polvoriento experimentan un aumento de masa y superficie que rebaja más o menos su velocidad en el campo eléctrico terrestre, por lo que la velocidad de descarga del dispersor es más pequeña, explicación que, ciertamente, no deja muy satisfecho al espíritu, pero el hecho en sí se halla comprobado por lo que hemos dicho al hablar de ciertas nieblas que no ejercen ninguna influencia en la caída del potencial atmosférico, y viene a explicarnos la razón de por qué este meteoro no parece tener ninguna importancia en la propagación de las ondas hertzianas usadas en radiocomunicación, ya que no origina perturbaciones que aminoren la distancia de emisión o que requieran un aumento de energía para salvarla.

Con el *aspirador* de Ebert se ha determinado que en nuestras regiones, un metro cúbico de aire posee una carga eléctrica, a causa de los iones, que equivale a media unidad electrostática, lo que da idea de la enorme carga absoluta que reside sobre nuestro planeta.

Observando en los mismos días el curso experimentado por la difusión aeroeléctrica y el del gradiente de potencial atmosférico, se ha comprobado que dichos fenómenos siguen una marcha casi exactamente opuesta, como era lógico prever, pues cuanto mayor es la proporción de iones que el aire

contiene, tanto mayor es su conductibilidad, y por lo tanto, hay que esperar diferencias de potencial más pequeñas, y al contrario. Presenta la difusión un período normal diario y otro anual, que en general, siguen, como decimos, una marcha inversa a la del gradiente. El período anual tiene su máximo en los meses de verano y es mínimo en los de invierno, hecho que nos explica, satisfactoriamente, las anomalías que según las estaciones anuales encontramos para la transmisión y recepción.

En cuanto a la variación diaria, las observaciones realizadas en Innsbruck y Kremsmünster revelan que existe un período doble, teniendo lugar el máximo principal poco después del mediodía y el secundario a las tres de la mañana; las dos mínimas, de la misma intensidad, aproximadamente, ocurren a las siete de la mañana y de la tarde, respectivamente.

Con su aparato registrador obtuvo Lüdeling, en Postdam, valores de la marcha diaria del fenómeno, durante días normales y libres de nubes, que representado gráficamente tiene también dos ondas, cuyo máximo principal sucede en las primeras horas de la tarde y el mínimo de diez a once de la noche. Entre cinco y siete de la mañana, tiene lugar un máximo secundario, y entre ocho y nueve de la misma un mínimo también secundario.

Dentro del reducido marco de las experiencias realizadas, vemos que en términos generales, hacia la salida y la puesta del Sol, se observan en la difusión aeroeléctrica y en el gradiente de potencial, considerables variaciones, y ello es bastante para justificar las perturbaciones, que hacia tales horas se dejan sentir en la transmisión de las señales, por las estaciones de radiocomunicación.

Parece ser que entre la difusión y la presión atmosférica, existe también una estrecha dependencia. Elster y Geitel, entre otros, han demostrado que el aire que sale del suelo está ionizado, hecho que se atribuye a las substancias radioactivas que la corteza terrestre contiene. Dicho aire ionizado, al pa-

sar por los capilares de la tierra, emite, según Ebert (1), descargas negativas que reciben las paredes de éstos, al paso que el aire con iones positivos en exceso, después de emanar de la tierra, sube a las altas capas atmosféricas llevado por el viento y las corrientes ascensionales. De este modo explica el profesor de la Escuela técnica superior de Munich la carga negativa de la tierra y los gradientes dirigidos hacia arriba, que sólo se perturban por las precipitaciones atmosféricas o por circunstancias anormales. También aclara esta hipótesis el paralelismo que existe entre las variaciones de la presión y el fenómeno de la difusión: Cuando baja el barómetro, sale aire del suelo en grandes cantidades, y la difusión aumenta. Cuando aquél desciende, sucede todo lo contrario.

Pero la electricidad de buen tiempo, con una carga negativa para la tierra y con potenciales crecientes con la altura, sujetos a pequeñas variaciones, sería un fenómeno casi estático, sería un mar sin oleaje y estaría en contra de la Vida misma, que no es más que una serie de manifestaciones dinámicas. Son, pues, necesarias las perturbaciones, y de cumplir este noble cometido se encargan también los iones, que a estos efectos son algo así como las vitaminas del mundo biológico, de las que con tanta maestría nos habla nuestro ilustre Presidente, el sabio Dr. Rocasolano.

El primer paso para el desequilibrio eléctrico local y para la posterior perturbación de numerosas estaciones receptoras de ondas hertzianas, le da la formación de una nube. Los experimentos de Wilson y de Thomson para determinar, por primera vez, la carga eléctrica de los iones, no sólo sirvieron para dar consistencia a la hipótesis de la estructura atómica de la electricidad, tan sugestivamente expuesta por el célebre profesor de la Universidad de Cambridge en sus famosas conferencias en la de Yale (2), como confirmación de la teoría de los electrones lanzada poco antes por Lodge (3) y después perfeccionada por Lorentz; sino que constituyeron una evi-

(1) Ebert.—Die anomale Dispersion und ihre Bedeutung für Astronomie.—Leipzig.

(2) J. J. Thomson.—Electricity and Matter (traducida al francés).

(3) Lodge.—On electrons.

dente prueba de cómo en el aire sobresaturado de humedad y sometido a acciones eléctricas, podemos obtener una nube. Aitken ha demostrado que la condensación del vapor de agua es muy difícil de conseguir en aire privado de polvo, y de aquí que se haya apelado al polvo atmosférico y a los vapores nitrosos que la atmósfera contiene, para considerarlos como núcleos de condensación. Pero si existen iones en el aire sin polvo, también se forma una nube alrededor de ellos, aunque la sobresaturación sea mucho menor que la necesaria para producir un efecto apreciable cuando aquéllos no existen. Nos dice, además, la experiencia de Wilson, que los iones negativos se instituyen en núcleos de condensación con un grado de sobresaturación menor que el que requieren los positivos, lo que ya nos explica, si consideramos al aire sobresaturado de humedad en marcha ascendente desde el suelo y a través de la atmósfera, que exista predominio en la carga negativa que la lluvia envía a la tierra, por condensarse el vapor de agua primeramente sobre los iones negativos, con lo cual podría explicarse la carga negativa de aquélla. Nos dice también, que el signo de la precipitación puede cambiar, como en realidad sucede, y por último, nos enseña la posibilidad de tener cargas eléctricas en libertad, con lo cual ocurrirán en la atmósfera fenómenos eléctricos y electromagnéticos en todo semejantes a los que se producen en los laboratorios.

Aparecerá, en seguida, la electrización por influencia, y como la conductibilidad del aire seco, o al estado neutro, es incomparablemente menor que la de las nubes ionizadas, podemos considerar a éstas como semi-conductoras y a aquél como dieléctrico, con lo cual siempre que el aire se interponga entre dos nubes cargadas con distinto signo o entre una nube y la tierra, tendremos un condensador. El aire, en estas condiciones, es el heraldo que anuncia el paso del rey de los meteoros: la chispa eléctrica, que en todos los tiempos ha obligado al hombre a elevar la vista al Cielo para admirar la grandeza de la Creación.

Bastará que el viento aproxime las dos nubes hasta llegar a la distancia explosiva, o que la diferencia de potenciales

entre aquéllas vaya en aumento para salvarla, si se mantienen en reposo, para que salte el relámpago; o el rayo, en el caso de que se considere la tierra y una nube.

Obtenida la separación de las cargas eléctricas por medio de las precipitaciones atmosféricas, el fenómeno de influencia juega tan importante papel, que un cúmulus de 1 kilómetro de radio y a 3 kilómetros de altura sobre la tierra, puede producir en ésta un gradiente de potencial de 11.000 voltios, es decir, el mismo valor que se observa en tiempo tempestuoso.

Me he detenido en estas consideraciones tan elementales, para valerme de ellas a modo de perífrasis, que me permita ahora dedicar unas palabras, a un fenómeno derivado de esas acciones, que tiene una frecuente y peligrosa actuación en nuestro Pirineo oscense, el Pirineo gigante, desde el que aparece Aragón como digno pórtico de España. Me refiero al *choque de retroceso*, que se prepara cuando una nube fuertemente cargada, se aproxima a aquellos escarpados y arrogantes picos, determinando en ellos grandes niveles eléctricos, por el poder de las puntas. Si otra nube, arrastrada impetuosamente por el viento, descarga a la primera, y mejor aún, si la cambia de signo, la carga de la tierra trata de restablecer rápidamente el equilibrio, pero por el fuerte choque de los iones repelidos, o dirigidos bruscamente en el sentido de los potenciales decrecientes, esto no se consigue más que a expensas de un efluvio acompañado del viento eléctrico y de los ruidos característicos. Es el lago, es el gran depósito a quien se le derrumban las paredes y el agua se ve obligada, por esta causa, a saltar en imponentes cascadas. Las piedras, los arbustos y todos los cuerpos puntiagudos son asiento de descargas, que en ocasiones se han hecho visibles, y cuya intensidad ha llegado a ser tal, que han producido la fusión de los clavos del calzado. A este fenómeno atribuyo diversos efectos que se han observado en las Minas de Parzán, situadas en la Montaña Liena, y tal vez puedan referirse a él algunos de los accidentes desgraciados que han sucedido en el Pirineo.

Todavía intervienen, a nuestro juicio, dentro de la actividad eléctrica de la atmósfera, una nueva categoría de fenómenos. Nos referimos al efecto fotoeléctrico y a la electroforesis. Del primero, basta recordar su naturaleza; Cuando una superficie metálica se ilumina con luz ultravioleta, desprende electrones, cuya emisión se facilita cargando el metal a un potencial elevado. El efecto Hollwachs se manifiesta también en ciertos líquidos; el agua es insensible, pero le produce cuando contiene trazas de anilina, habiéndose comprobado que se verifica hasta en el vacío más intenso que ha podido obtenerse. Einstein y Sommerfeld le han estudiado analíticamente, encontrando que el salto de potencial es de 6,3 voltios.

El efecto fotoeléctrico selectivo de Pohl y Pringsheim, se ha observado, como sabéis, en los metales alcalinos y alcalino-térreos, principalmente, habiendo servido a Lindemann, que lo ha teorizado como fenómeno de resonancia, para deducir que los electrones giran alrededor de los átomos, según la tercera ley de Kepler.

Al efecto fotoeléctrico se atribuye hoy la fluorescencia, pero dada la composición mineralógica de la superficie terrestre y la naturaleza de nuestra atmósfera, yo concibo que sea producido sobre los corpúsculos metálicos por las radiaciones ultravioletas del Sol.

Los estudios de electroforesis y en particular las deducciones que pueden obtenerse por la ley de Cotien para los dieléctricos, según la cual en el contacto de dos substancias se carga positivamente la de mayor constante dieléctrica, parece que llevan también a pensar que desde el momento en que en la atmósfera tenemos partículas materiales de diversa naturaleza, agitadas por los vientos, o en condiciones de cierto reposo, según las regiones, y agua procedente de las precipitaciones atmosféricas, sean también posible los fenómenos de anaforesis y cataforesis, de modo análogo a como se producen en los laboratorios, si bien en este sentido nada se ha dicho todavía.

Hemos visto que, por acciones diversas, tenemos en la atmósfera un estado constante de ionización, y ya hemos dicho que el aspirador de iones de Ebert ha valido para determinar la carga eléctrica, a ellos debida, por metro cúbico de aire, debiendo añadir ahora, que sensiblemente tiene el mismo valor al ras de tierra que a una altura de 6.000 metros, según se ha observado con elevaciones en globo, y para electricidad de buen tiempo. Ahora bien, estos iones, sea por la acción de fuerzas eléctricas o magnéticas, sea por la acción de los vientos, se hallan en movimiento, singularmente en régimen tempestuoso. Pero las experiencias de Rowland y de Pender, nos dicen que un cuerpo electrizado en movimiento produce los mismos efectos magnéticos que una corriente. Si se considera una sucesión de cargas iguales desplazándose con un movimiento uniforme, se tiene el equivalente de una corriente continua. Toda aceleración o retardación del movimiento lleva consigo un nuevo fenómeno: la inducción electromagnética y en los momentos de aceleración o de retardación del flujo eléctrico, existe radiación de ondas electromagnéticas que se alejan progresivamente del eje de la perturbación.

Las atracciones y repulsiones de los iones, en virtud de su signo, y hasta las precipitaciones atmosféricas por razón de la gravedad, deben pertenecer, por tanto, a esta categoría de fenómenos y producirán ondas electromagnéticas que influirán en el magnetismo terrestre, con carácter perturbador, así como en las corrientes telúricas y en las estaciones de radiocomunicación.

Ahora bien, por lo que a la lluvia se refiere, las medidas realizadas permiten ver que no se trata más que de débiles corrientes, lo que viene a explicar que este meteoro, cuando se produce sin descargas eléctricas de ruptura, no tiene para la comunicación inalámbrica, un gran papel perturbador; el cálculo arroja que la condensación de la nube en gotas de lluvia puede producirse a unos 1.400 metros, y esta es, realmente una altura pequeña, una pantalla que puede penetrar sin gran difracción la propagación de las ondas industriales.

Mayor importancia pueden tener las corrientes de alta frecuencia en las altas regiones atmosféricas, y las que se produzcan en otras más bajas, aun en tiempo seco y bueno por el polvo cargado, o simplemente por las corrientes de aire con cargas diferentes que varían rapidísimamente de potenciales.

Pero el agente perturbador, por excelencia, le constituye la chispa eléctrica. Si alguna duda hubiéramos tenido de que la descarga afecta la forma oscilante, el aparato de Popoff la hubiese desvanecido, demostrando cómo actuaba sobre el radio-conductor de Branly, por intermedio de las ondas electromagnéticas que ella produce, en todo equiparables a las que podemos obtener con nuestros circuitos oscilantes, llevándonos la gran ventaja de su incomparable intensidad; la eterna ventaja que siempre nos llevan todos los fenómenos que se producen en el magno laboratorio de la Naturaleza, del que los nuestros no son sino una ridícula y mezquina parodia. Por los efectos magnéticos que el rayo produce, se ha venido en deducción de que su intensidad máxima, dando a este concepto el sentido que tiene en el estudio de las corrientes alternas, es decir, el valor del cual dependen, entre otros, los fenómenos magnéticos, es del orden de 10.000 y aun de 20.000 amperios.

Es, pues, la descarga atmosférica una estación emisora de ondas amortiguadas, con la cual no se puede competir. Ha de ser causa constante de perturbación de nuestras pobres estaciones receptoras y nuestros esfuerzos sólo pueden orientarse en el sentido de lograr el medio de que su pernicioso influjo sea lo más pequeño posible, ni más ni menos que como hemos hecho para proteger a las instalaciones eléctricas de baja frecuencia contra las sobretensiones peligrosas, pues para las descargas atmosféricas directas e intensas no podemos hacer más que limitar la zona de avería, y reducir su importancia.

Estando constituida la atmósfera, como hemos visto, por un dieléctrico tan imperfecto como es el aire, dotado de una

cierta conductibilidad, variable de un punto a otro, y de uno a otro momento, y siendo ella un abundante manantial de fenómenos eléctricos, muchos de ellos de índole vibratoria, no es de extrañar que afecten, en la medida que nos dice la experiencia, a las estaciones radicelectricas. Aparte de las anomalías debidas a un material defectuoso, a un montaje inadecuado, y a una manipulación poco experta, que se dejan sentir, principalmente, en las pequeñas estaciones de aficionados, existen otras, de carácter general, únicas, claro es, que en estos momentos debo considerar.

La intensidad de las señales recibidas de una misma estación radiotelegráfica, por ejemplo, para una determinada potencia emitida por su antena se halla sujeta a considerables variaciones. Suelen ser dobles durante la noche que por el día, o lo que es lo mismo, para una misma estación emisora y una potencia determinada, el alcance o longitud de la emisión es doble durante la noche que por el día; observándose en ocasiones, y singularmente con las ondas cortas, el fenómeno del "fading", el decaimiento o disminución lenta de la señal para subir de nuevo a su valor primitivo, sin razón aparente, sin que nada haya variado ni en la estación emisora ni en la receptora, fenómeno misterioso, que es mucho más acusado en unas regiones que en otras, y del cual no se ha dado ninguna explicación convincente.

A la salida y a la puesta del sol se observan también diferencias en la intensidad de las señales, y lo propio sucede de una a otra época del año, pues en invierno son más intensas que en verano. De aquí se deduce que la comunicación será más variable cuando la estación transmisora y la receptora se hallan en lugares en que los días solares y las estaciones anuales se encuentren muy distanciados entre sí.

La lluvia y la nieve no ejercen ninguna influencia, y en cuanto a la niebla, parece como que facilita la propagación, como ya anteriormente habíamos anunciado.

La naturaleza del suelo también actúa en la variación de la intensidad de las señales. Los edificios, árboles, montañas, etcétera, pueden ser obstáculos para la propagación de las ondas, sobre todo si éstas son de corta longitud, pues aquéllas

se deforman, sufren una difracción, dan lugar al nacimiento de corrientes y se ocasiona una pérdida de energía, variable según la conductibilidad del suelo. Si éste es buen conductor por hallarse húmedo, por ejemplo, o por tratarse de corrientes de agua dulce, o del mar, las ondas se reflejarán de un modo considerable, si su frecuencia lo permite, pero si el suelo es mal conductor, el campo eléctrico a una gran distancia no es normal a la superficie de la Tierra, sino que, según las experiencias de Zenneck, se halla inclinado en la dirección de la propagación, resultando, por tanto, una reducción de la amplitud, que será tanto mayor cuanto más seco o menos conductor sea el suelo y cuanto más pequeña sea la longitud de onda empleada.

La mayor parte de estas anomalías se explican satisfactoriamente, con la hipótesis de la capa de Heaviside y con las ideas que hemos expuesto acerca del gradiente de potencial y de la difusión aeroeléctrica. No creo que haga falta para explicar las variaciones de las señales del día a la noche, por ejemplo, llegar a la hipótesis de Nagaoka, quien supone que durante el día la capa ionizada se hallará a una altura de una centésima del radio terrestre y durante la noche a una altura doble de ésta. Durante el día la influencia de las condiciones meteorológicas provoca pliegues de la capa, dando lugar a difracciones. Durante la noche, los pliegues son menores y, por tanto, aquéllas. Es, sin duda, una hipótesis ingeniosa, pero de la cual creo que puede prescindirse, pues basta con que la capa exista para pensar que tienen que existir difracciones, ya que aquélla no estará, no puede estar, netamente delimitada por su parte inferior, y es suficiente que sepamos que durante el día la atmósfera se halla más ionizada para justificar que la propagación ha de ser peor que durante la noche, en la que aquello no sucede. Este modo de ver justifica de paso el que las parásitas sean más enojosas durante la noche que por el día, puesto que si las ondas útiles se propagan mejor durante la noche, es natural que lo propio les suceda a las vagabundas. Y por último, demuestra la conveniencia de trabajar con ondas largas durante el día, por hallarse menos afectadas por el fenómeno de la difrac-

ción. El espigón de un puerto es opaco a las radiaciones luminosas, pero es salvado, sin dificultad, por las olas marinas, de muchísima mayor longitud de onda; burda analogía que nos da idea del diferente comportamiento de las ondas para salvar los obstáculos que se les presentan.

Se observa, además, que las parásitas son más enojosas en verano que en invierno, en los trópicos que en las regiones templadas, en los países de clima tempestuoso que en los que no lo son; consecuencias obligadas después de lo dicho acerca de la electricidad atmosférica. Las tempestades son más propias del verano que del invierno y de los climas cálidos que de los fríos. El hecho de que sean más molestas en el sentido Europa-América que en el opuesto, según manifiesta M. Reynaud y como pueden comprobarlo todos los experimentadores; hasta el extremo de que un corresponsal francés o español de una estación americana de 200 kw deberá disponer de una potencia de 500, no ha hallado, hasta ahora, explicación convincente.

Por último, son más numerosas y más fuertes, cuanto mayor es la longitud de onda empleada; y se explica que así suceda por cuanto que la frecuencia de las descargas atmosféricas no debe ser exagerada, y por consiguiente, también producirán ondas largas.

Pero a toda otra consideración se ha antepuesto la necesidad de salvar grandes distancias, pues si esto no sucediese la radiocomunicación no tendría razón de existir. Y para conseguir este objeto, nada mejor que hacer uso de las grandes longitudes de onda, que salvan con facilidad, por decirlo así, todos los obstáculos, longitud que en las últimas instalaciones ha llegado a la respetable cifra de 20.000 y 25.000 metros. Esto requiere que el período propio de oscilación de la antena sea muy grande, pues ha de ser del orden de la onda, y para ello se necesita, según la conocida fórmula de Thomson, suponiendo que la resistencia ohmica sea despreciable delante de la de autoinducción:

$$T = 2 \pi \sqrt{L \cdot C}$$

que la antena tenga una considerable autoinducción y una respetable capacidad.

Pero, por otra parte, la fórmula experimental de L. W. Austin-Cohen (1), deducida de una serie de ensayos entre Brant Rock y los acorazados americanos en el Atlántico, para distancias de hasta 1.850 km. y transmisiones sobre el mar, como decimos; de día y con ondas amortiguadas, con antenas en forma de paraguas en Brant Rock y antenas a bordo en T, con intensidades eficaces de emisión que variaban entre 7 y 30 amperios, y, por último, con longitudes de onda variable entre 300 y 3.750 metros, cuya expresión analítica es:

$$I_r = 4,25 I_t \frac{h_1 h_2 e^{-\frac{ad}{\sqrt{\lambda}}}}{\lambda d}$$

en la que

I_r = Intensidad eficaz en la recepción, al pie de la antena, en amperios.

I_t = Intensidad eficaz de la emisión, al pie de la antena, en amperios.

h_1 = Altura de la antena de emisión en kilómetros.

h_2 = Altura de la antena de recepción en kilómetros.

λ = Longitud de onda en kilómetros.

d = Distancia entre las estaciones, en kilómetros.

a = disipación = 0,0015.

(I_r atravesaba una resistencia total de 25 ohmios).

(El factor $\frac{4,25}{d} \cdot e^{-\frac{ad}{\sqrt{\lambda}}}$ es el denominado factor de disipa-

ción), aunque no comprende todos los casos que se pueden presentar, ni mucho menos, nos sirve de primera aproximación, y es hasta ahora, en este sentido, la fórmula clásica para este género de cálculos. Hay que hacer la salvedad, de que actualmente, con las ondas entretenidas, que permiten emitir señales más intensas, la distancia entre las dos esta-

(1) P.Maurer. Radiotélégraphie et radiotéléphonie.—París.

ciones podría ser considerablemente aumentada con el mismo gasto de energía.

Pues bien, como mera aproximación, si así lo deseáis, nos demuestra esta fórmula, que la intensidad de la señal recibida es proporcional al producto de las alturas de las antenas, de manera que si la de la estación receptora fuese geométrica y eléctricamente igual a la de la emisora, sería proporcional al cuadrado de la altura. Esto nos hace ver la necesidad que tenemos de antenas elevadas.

Resumiendo y compaginando las dos fórmulas citadas, vemos que la antena ha de ser alta, ha de tener una gran autoinducción, que no nos conviene, sin embargo, exagerar, aunque venga a aumentar la longitud eléctrica de la antena, porque siempre supone un aumento de resistencia y por el desagrado con que recibe a las corrientes de alta frecuencia; y por último, ha de presentar una notable capacidad. La resistencia óhmica convendrá, evidentemente, que sea la menor posible. La autoinducción la lograremos con resistencias adecuadas, la capacidad la favoreceremos haciendo que la antena sea multifilar, con lo que también disminuimos la resistencia óhmica.

De este modo se ha conseguido que la conocida antena de la Torre de Eiffel, haya pasado a ocupar hoy un lugar muy secundario. El gigante se ha convertido en un enano. ¿Qué representa, en efecto, esta antena formada por seis cables que se reúnen en uno que penetra debajo de los jardines del Campo de Marte, si la comparamos con la de Long Island, soportada por 6 castilletes de 200 metros de altura y con una longitud de 2 km.? Pero también ésta ha quedado desplazada por la de Burdeos, que se halla soportada por 8 torres metálicas de 250 metros de altura y cubriendo una superficie de 45 hectáreas, con una potencia en la antena de 500 kw.

Hace unos 5 años, parecía que con esto se había llegado al límite del sacrificio para una explotación industrial; pero, recientemente, se construye la estación transcontinental de Sainte-Assise, a 40 kilómetros de París, provista de una antena en capa, sostenida por 16 castilletes de hierro laminado de 250 metros de altura, esparcida a lo largo de una zona

de 3 kilómetros de longitud por 400 metros de anchura. ¡120 hectáreas de superficie cubierta por la antena! La cantidad de cables de bronce empleada en ella representa una longitud de 60 kilómetros. La potencia en la antena es de 1.000 kw. y la longitud de onda 20 kilómetros.

Recuerdo estas cifras para venir a una lógica conclusión. Las dificultades de orden técnico para la radiocomunicación, que en fin de cuentas es un radiotransporte de energía, pueden considerarse como resueltas, pues desde el momento en que se construyen alternadores de alta frecuencia de 500 kw. y se está a punto de lanzar al mercado lámparas termiónicas de 1.000 kw. que seguramente competirán, con ventaja, a aquéllos, no existe ninguna limitación técnica para la potencia de la central. Pero el aspecto económico de la cuestión no se presenta tan favorable, pues la construcción de una antena de esta naturaleza asciende a millones de pesetas y esto ha de constituir, de seguir por este camino, un poderoso freno que detenga la marcha acelerada que ha tomado la radiocomunicación en estos últimos años. Sin embargo, no me atrevo a insistir mucho en este punto, porque tal vez el tiempo nos depare nuevas sorpresas.

Por otra parte, la antena es la mano amiga que tendemos a la electricidad atmosférica para pactar con ella un trato de favor; es una elegante cometa de Franklin que elevamos al aire para ser juguete del fenómeno de la influencia, y si el espíritu sentimental del descubridor de la electricidad atmosférica, le hizo derramar unas lágrimas al contemplar la chispa que salía de la llave, seguramente tendría ahora, para nosotros, una irónica sonrisa al escuchar nuestros lamentos, sobre las perturbaciones que las parásitas de la atmósfera introducen en las estaciones de radiocomunicación. La idea de antena, tomada por Marconi del aparato de Popoff, a quien llegó después del proceso evolutivo que tuvo por origen la cometa de Franklin, lleva, por nacimiento, el estigma de la perturbación.

¿Qué son el ya antiguo aparato de Popoff, o el "electroradiógrafo" de Lera, o el "electroradiófono" de Tommasina, utilizados para la previsión del tiempo, más que estaciones

receptoras de los *radiogramas* y *radiofonemas* que la atmósfera nos envía? Y llegado a este punto, resulta curioso oír al propio M. Tommasina su narración de una tempestad observada con el electroradiófono: “El 29 de Septiembre —dice este ilustre inventor—, hasta el mediodía, el tiempo había sido hermoso, pero el electroradiófono, desde la mañana, indicaba por ruidos muy variados y por ligeros choques muy netos, las descargas que se producían, ciertamente, a distancias muy grandes. Hacia las dos, el timbre comenzó a sonar y en el teléfono yo escuchaba ruidos cada vez más enérgicos. Los había que recordaban a ciertos truenos prolongados; eran descargas numerosas muy próximas y de intensidad variable. En seguida, el timbre da señales menos distantes entre sí, y a las tres y media he tenido que dejarle fuera de circuito; no cesaba de sonar. Los relámpagos se hicieron visibles, grandes nubes comenzaron a formarse por casi todas partes, ningún trueno se oía aún, pero en el teléfono los ruidos, cada vez más intensos, se modificaron de golpe; yo oía algo así como una crepitación muy unida, igual y continua; algunos instantes después comienza la lluvia y al mismo tiempo el primer trueno se hizo oír muy enérgicamente. Apenas había quitado las conexiones cuando estalla una tempestad inaudita; trombas de agua barrieron las calles, los relámpagos se suceden sin interrupción y el rayo cae en lugares muy próximos. Más tarde he podido escuchar todavía en mi aparato las últimas descargas muy lejanas hasta su completa desaparición”. Y aparte dice: “Cuando el tiempo cambiaba sin que hubiese tempestad, yo oía siempre, a pesar de ello, la crepitación característica que acabo de mencionar, hecho que he comprobado hasta doce horas antes de la caída de la lluvia”.

Este interesante relato no ha perdido su actualidad, aunque data de unos 20 años, pues ahora, como entonces, las perturbaciones electromagnéticas de la atmósfera siguen siendo el peor enemigo de la radiocomunicación. Con claro conocimiento de la realidad ha dicho recientemente el eminente profesor Fleming, que el problema de la eliminación total de las parásitas, es el más importante de todos los que presenta

la T. S. H. a gran distancia, y yo creo que no hubiese incurrido en exageración, aunque hubiese suprimido estos dos últimos vocablos, pues el problema se plantea por igual a las pequeñas estaciones que reciben de corta distancia, y con mayor razón si efectúan la recepción con antena.

¿De qué medios nos valemós para contrarrestar su pernicioso influjo? La simple enunciación de los propuestos sería suficiente para proporcionaros un cansancio excesivo, y esto no correspondería, cortesmente, a la atención que me dispensáis. Por ello, y a modo de resumen que me permita obtener deducciones de un alto valor en el momento actual de la T. S. H., me limitaré a tender una rápida ojeada sobre los que, singularmente, han merecido la sanción de la práctica.

Por cuestión de principio, se concibe que no han de ser más que un mero paliativo. En efecto; las ondas eléctricas, como las caloríficas, como las luminosas, de las que no se diferencian más que en su frecuencia, y, en general, como todas las que estudiamos en la teoría de los movimientos vibratorios de la Física, se hallan sometidas al fenómeno de la interferencia. Considerando el caso de la composición de las vibraciones armónicas superpuestas, como típicamente elemental, encontraremos que la antena receptora se hallará solicitada a vibrar, no solamente por la onda fundamental de la estación emisora, que nosotros queremos percibir, sino también por las armónicas que aquélla pueda tener; por las ondas que emitan todas las estaciones con sus armónicas correspondientes; y, finalmente, por todas las ondas electromagnéticas que la atmósfera le envíe. Los factores selectivos que integran la estación se encargan de eliminar, en mayor o menor grado, las perturbaciones, considerando como tales a las ondas que no deseamos percibir; pero para que no pudiese llegar a nuestro oído más que la onda útil y fundamental, sería preciso que dispusiésemos de un medio físico que fuese para la eliminación de las ondas perturbadoras algo así como es el teorema de Fourier en el orden analítico, que nos permite descomponer la función periódica compleja en una suma de funciones simples, cada una de las cuales tiene su correspondiente expresión algebraica que la distingue de

todas las demás, y a la cual ya podemos tratar separadamente; en una palabra, algo análogo al vidrio ideal de la óptica, rojo, por ejemplo, que detuviese todas las radiaciones y no dejase pasar más que las rojas.

Esto no quiere decir que los electricistas no dispongan de medios para construir *filtros electromagnéticos*, pues la fórmula de Thomson no es, analíticamente, más que la expresión de uno de estos filtros selectivos, ya que nos dice que para una longitud de onda dada, únicamente habrá resonancia en los circuitos oscilantes, cuya autoinducción y cuya capacidad respondan a la relación que ella expresa. Según esto, la selección y sintonía puede ser perfecta en teoría, pero en la práctica, aunque en las estaciones de recepción perfeccionadas existen diversos órganos de precisión, cuyas regulaciones son extremadamente delicadas, no lo son tanto como para obedecer a una precisión absoluta, y aunque lo fuesen, no responderían perfectamente, porque las hipótesis que formulamos al establecer las teorías, para simplificar sus desarrollos analíticos, no concuerdan siempre con la realidad de los hechos. Por esto resulta extraordinariamente difícil separar, por así decirlo, la onda útil de las que se le aproximan en frecuencia.

Para expresarme con mayor claridad, me referiré a un caso concreto. Si tenemos una estación receptora de pequeña potencia, que constantemente es perturbada por una estación emisora que se halla próxima, dispondremos de un medio sencillo, que se deduce de cuanto acabo de decir, para librarlos de su pernicioso influencia. Conocida su longitud de onda, podremos hacerlas resonar en un circuito oscilante derivado de la antena, antes de que *pasen* al detector. Se concibe que por este procedimiento podríamos conducir a tierra, directamente, las corrientes debidas a todas las ondas parásitas. Pero de no hacer uso de un circuito oscilante para cada frecuencia, cosa verdaderamente absurda para las pequeñas estaciones, apenas si conseguiríamos más que una gran complicación y un considerable dispendio económico. Sin embargo, como hemos dicho, el procedimiento es útil para librarse de una emisión determinada y para transmisión por

hilo ha sido aplicado este principio de *cadena filtrante*, hace unos tres años, a algunas líneas de la red Bell de los Estados Unidos, para telefonía de alta frecuencia, en circuitos que transmiten simultáneamente cuatro comunicaciones telefónicas y diez telegráficas duplex. Los circuitos locales de las pequeñas estaciones no obedecen a otro principio.

Hay que contentarse, actualmente, con otros medios de lucha, no tan complicados, pero quizás no más económicos. Cuando la estación emisora lo permite, la solución suele ser la instintiva en todo el que habla y no es oído por su interlocutor: forzar la intensidad, aumentar la potencia en la antena emisora. Esto conduce a aplicar a la antena una energía de 2 hasta 8 veces la normal, existiendo ocasiones en que ni esto basta para vencer a las parásitas, cosa perfectamente lógica, puesto que ya hemos dicho que la intensidad de una descarga eléctrica es de varios miles de amperios, y por mucha que sea la absorción que sus ondas experimenten antes de llegar a la antena que consideramos, se concibe que si su frecuencia es próxima a la de las ondas útiles, la amplitud de estas últimas se hallará sometida a una gran alteración.

Se preconiza desde el comienzo de la radiotelegrafía, como deducción natural de los estudios teóricos, que concuerda perfectamente con lo que anteriormente he dicho, que la recepción será tanto mejor cuanto más puras sean las señales emitidas. Es un consejo leal, pero que no siempre se puede cumplir. Para establecer la teoría, partimos del supuesto que cuando la carga eléctrica vibra por el influjo de acciones exteriores, lo efectúa según un movimiento armónico simple, que se expresa por una sencilla función sinusoidal, y aunque sabemos que esto, generalmente, no sucederá con esta sencillez, podemos pasar adelante porque el teorema de Fourier nos abre bondadosamente el camino y retira todos los obstáculos. Pero en la práctica, nos basta saber que el movimiento es en realidad una función periódica y compleja del tiempo, para que, en virtud del propio teorema de Fourier, pensemos en la existencia de armónicas de la onda fundamental, y ya con esta noción podemos dar por seguro que no sólo existe una pérdida de energía, sino una causa de perturbación.

Argumentaré con un ejemplo sobradamente conocido. En el estudio de las corrientes alternas, consideramos, para dar mayor sencillez a un aparatoso cálculo analítico, que el campo magnético es uniforme en la región donde se mueve la espira, y que la permeabilidad del medio es constante; lo cual nos permite deducir, para expresión de la fuerza electromotriz y de la intensidad de la corriente, una función sencilla sinusoidal del tiempo. Pero si esto en teoría puede considerarse como una primera aproximación, y ella es bastante para los cálculos concernientes a los alternadores industriales, no lo es menos que, en general, la ley de la tensión es más compleja, y que muchos de éstos no dan verdaderas sinusoides, sino curvas periódicas que se aproximan cuanto se quiera a aquéllas, porque para ello multiplicamos las ranuras del núcleo por polo y por fase, y modificamos convenientemente la forma de las piezas polares, o variamos el espesor del entrehierro desde la mitad de éstos hacia sus expansiones, pero que no coinciden exactamente con aquellas sinusoides.

Encariñados con esta representación sinusoidal, que tan dócil es para nuestro tratamiento analítico, no queremos complicar éste ni aun con el teorema de Fourier, y apelamos a reemplazar las curvas periódicas complejas por *sinusoides equivalentes*, que dan los mismos valores eficaces para la fuerza electromotriz y para la intensidad, que para nosotros son los más interesantes en la práctica; pero entonces es preciso recordar que los efectos de histéresis magnética o dieléctrica que dependen de los valores máximos de las curvas, y los efectos electrolíticos que dependen de los valores medios, no deben ser deducidos de las ondas equivalentes.

Consecuencia de no ajustarse los hechos a la hipótesis, es que los alternadores produzcan no solamente la onda fundamental, sino también alguna armónica de orden superior, que sumadas a aquélla dan la función periódica real, distinta de la senoide, aunque muy aproximada.

Claro es que en los alternadores, por su propia construcción, quedan excluidas las armónicas de orden par. Las de orden 3 o múltiplo de 3, que podrían desempeñar un papel im-

portante, se anulan, en el caso de corriente trifásica con el montaje en estrella, y en cuanto a las demás se las reduce con los detalles de construcción que he mencionado, demostrándose, además, que cuando la autoinducción de los circuitos eléctricos pueda considerarse como constante, la resistencia aparente que encuentra la armónica, crece rápidamente con su orden, lo que tiende a reducir la influencia de las de orden elevado, extinguiéndolas.

Las armónicas de la corriente no contribuyen más que en una débil proporción a la transmisión de la potencia, a causa de sus diferencias de fases crecientes sobre las fuerzas electromotrices correspondientes, pero ocasionan pérdidas por efecto Joule, y en el caso de los alternadores, en que sólo se trata de armónicas impares, una armónica de la corriente combinada a una onda fundamental de fuerza electromotriz, no da ninguna potencia resultante.

No solamente los aparatos generadores de ondas, sino todo circuito oscilante, como toda cuerda que vibra, si me permitís la analogía con la acústica, puede producir armónicas de la onda fundamental, que hay un gran interés en evitar, pues producida una de ellas, vendrá a perturbar la recepción en las estaciones por ella alcanzada y que estén recibiendo con la sintonía que corresponde a las proximidades de la frecuencia de la armónica, interferirá no solamente con las ondas útiles, sino también con las parásitas de longitud de onda cercana, produciendo variaciones en las amplitudes de estas últimas, ocasionando una mala recepción.

En radiotelegrafía con el sistema de ondas entretenidas, es más fácil poder transmitir ondas puras, porque los trenes de éstas que constituyen las señales se cortan por medio de un manipulador. La recepción también es más pura, porque con las amortiguadas es más difícil la eliminación de otras de frecuencia análoga y existen más perturbaciones de una a otra estación. Por último, las ondas entretenidas permiten el empleo de la heterodina en telegrafía, lo cual ha aumentado mucho el poder selectivo de la recepción; y a ellas se debe la solución y el esplendor actual de la radiotelefonía.

El problema de la transmisión de la palabra por medio de las ondas hertzianas, es en sí muchísimo más complejo que el de la radiotelegrafía. No se trata de emitir ondas de una frecuencia determinada, cuyos trenes, como acabamos de decir, son cortados por un manipulador, sino de propagar la voz en forma tal que sean fielmente reproducidos la intensidad, el tono y el timbre, que caracterizan al sonido, pues hasta debe reconocerse claramente al que habla por su timbre, desapareciendo ese matiz nasal que se observa en la transmisión por el teléfono ordinario.

La modulación de las ondas se efectúa por medio de un micrófono, al cual comunicamos una exigua cantidad de energía. El Dr. Marage (1), a quien tanto debe la acústica fisiológica, ha calculado que la energía gastada por un orador es de unos 180 kilográmetros por hora, de manera que la que puede transmitirse al micrófono por segundo, no será mayor de 0'05 kgm.

Estos estudios de Marage, acerca de la fisiología de la voz, no solamente nos han demostrado las frecuencias de los sonidos vocales determinadas por medio del oscilógrafo, sino que estudiando experimentalmente con el propio aparato, la corriente microfónica, se ha observado que las ondas se transmitían y percibían de un modo perfectamente inteligible, si se conservan las componentes de frecuencia comprendida entre 200 y 2.000. Esto constituye, por tanto, una ineludible necesidad.

Por otra parte, Fracque (2) ha obtenido importantes consecuencias acerca de la distancia salvada y de la acción perturbadora de las emisiones moduladas, habiéndose deducido que para igualdad de energía, la primera es la mitad y frecuentemente la tercera o cuarta parte en telefonía que en telegrafía; y que la segunda es mayor para una estación radiotelefónica que para una radiotelegráfica. De aquí que los reglamentos tengan que fijar cortas longitudes de onda para

(1) Marage.—Manuel de physiologie de la voix a l'usage des chanteurs et des orateurs.

(2) Fracque.—Contribution a l'examen de la question de la classification des ondes.

radiotelefonía y tengan que condicionar más la autorización de sus estaciones emisoras.

En efecto; se demuestra fácilmente (1) que la acción de las ondas componentes esenciales emitidas por la voz, de frecuencias comprendidas entre 200 y 2.000, sobre una onda entretenida portadora de frecuencia dada, 20.000 por ejemplo, se deja sentir sobre toda una banda de frecuencias comprendidas entre $20.000 - 2.000 = 18.000$ y $20.000 + 2.000 = 22.000$, que serían, por tanto, las que afectarían a la antena receptora.

Ahora bien; M. Gutton y algunos ingenieros americanos han probado experimentalmente, que sin distorsión de la voz basta conservar la sintonización con la mitad de esta serie, esto es, con la banda de frecuencias comprendida entre 20.000 y 22.000 (F y $F + 2.000$).

Esto nos demuestra bien claramente que el problema es mucho más delicado que en radiotelegrafía, donde no hubiese sido necesario más que la conservación de la frecuencia única de 20.000, y nos dice también lo más expuesta a perturbaciones que se hallará una estación receptora que tiene que conservar una gama tan dilatada de frecuencias, así como el mayor poder perturbador de una a otra estación. Para evitar la perturbación, las frecuencias portadoras de otras estacio-

(1) Si tenemos una corriente

$$I = I_0 \cos at$$

la acción moduladora del micrófono tendrá por efecto modificar la amplitud, que será:

$$I = I_0 (1 + \varepsilon i_n \cos \alpha_n t)$$

designando por i_n y α_n la amplitud y la pulsación de las corrientes elementales producidas por las vibraciones de las diversas frecuencias de la voz; y el valor de la corriente modulada será:

$$I = I_0 \cos at (1 + \varepsilon i_n \cos \alpha_n t)$$

de donde, por sencillas transformaciones pasamos a

$$I = I_0 \cos at + \frac{1}{2} I_0 \varepsilon i_n \cos (a - \alpha_n) t + \frac{1}{2} I_0 \varepsilon i_n \cos (a + \alpha_n) t$$

que nos demuestra que la antena emite ondas de pulsación a , $a - \alpha_n$, y $a + \alpha_n$ en las que n puede tener todos los valores de 200 a 2.000

Si reemplazamos las pulsaciones por las frecuencias, y si F es la de la emisión portadora entretenida y f_n las de las ondas de la voz, el aparato receptor estará influenciado por ondas de frecuencias $F - f_n$, F y $F + f_n$; de manera que, en definitiva, se hallará influenciado por una gama de frecuencias comprendida entre $F - 2.000$ y $F + 2.000$.

nes emisoras, deberán elegirse de tal modo que no haya ningún recubrimiento entre dichas bandas empleadas. Observemos de paso que las estaciones radiotelefónicas tienen muchas más probabilidades de ser perturbadas por las parásitas atmosféricas que una radiotelegráfica, y prescindiendo del poder selectivo de la heterodina, en igualdad de condiciones la recepción tiene que ser mucho peor.

En el ejemplo que hemos considerado, la longitud de onda de la corriente portadora es de 15.000 metros, y desciende a causa de la modulación hasta 13.636'36 m., debiendo, por tanto, conservar la sintonía para toda esta gama de longitudes de onda. La diferencia, o sea la banda de longitudes de onda de perturbación es, por tanto, de 1.363'64 m.

La zona de frecuencias de perturbación es proporcional al cuadrado de la longitud de onda entretenida principal (1), y de aquí dimana la necesidad, recogida por todos los reglamentos, que ya hemos mencionado, de fijar cortas longitudes de onda para la emisión radiotelefónica, como hemos dicho.

Observaciones experimentales han puesto de manifiesto que para lograr una buena transmisión radiotelefónica, esto es, para que la curva envolvente de las amplitudes producida por la modulación microfónica, reproduzca correctamente las vibraciones de frecuencia 2.000, es necesario que la de la onda portadora sea, por lo menos, de 10.000, lo que corresponde a longitudes de onda menores de 30.000 metros, condición fácil de realizar, puesto que, actualmente, las mayores empleadas en T. S. H. no pasan de 25.000 m. Si consideramos como mínimo admisible 100 m., veremos que para esta longitud de onda la banda de perturbación comprende nada más que 66 mm., mientras que para $\lambda = 20.000$, vale 2.660 metros.

La necesidad de emitir respetando estas bandas de perturbación, para no entorpecer a las demás estaciones, requiere

(1) Si V es la velocidad de la luz y λ, λ' las longitudes de onda extremas de la banda, se tendrá:

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad \gg \quad \lambda' = \frac{V}{F + 2000} \quad \gg \quad \lambda - \lambda' = \frac{2.000}{V} \lambda^2$$

que se emplee solamente una vez cada banda de frecuencias disponibles entre las longitudes de onda comprendidas entre 100 a 20.000 metros, que hemos considerado como extremos, y ello trae como consecuencia que el máximo de las comunicaciones simultáneas es mucho más reducido de lo que a primera vista podría creerse.

Admitiendo que se empleasen todas las bandas, sin intervalos y sin recubrimientos entre las longitudes de ondas próximas, se deduce fácilmente que para ondas comprendidas entre 100 y 200 metros existen 750 comunicaciones simultáneas posibles, mientras que entre 10.000 y 20.000 no existen más que 7. El número total de comunicaciones posibles, para ondas de 100 a 20.000 metros, es de 1.492.

Suben de punto las dificultades cuando se considera la transmisión de los conciertos vocales e instrumentales, pues si las frecuencias útiles que tenemos que respetar para la palabra son de 200 a 2.000, como hemos dicho, esta serie se presenta mucho más dilatada en los sonidos de un concierto, en el que existen las más variadas intensidades, tonos y timbres, con su gran riqueza de armónicos.

Los sonidos verdaderamente musicales se hallan constituidos por uno fundamental acompañado de armónicos, y sabemos por Helmholtz, que el timbre particular y característico de cada sonido se debe a la serie de armónicos que le acompañan. Considerando el tono, encontramos en la voz de bajo, el *si*, de 61 vibraciones por segundo, y los agudos de varias sopranos y tenores han llegado a las 2.000, cifras todavía muy distantes de las que producen los instrumentos musicales, mucho más ricos en tonos que la voz cantante. Algunos pianos comprenden desde las 25 al *do* de 4.200; la nota más grave del órgano corresponde a 16 y la más aguda de la flauta a 4.700; lo que nos dice que la gama de frecuencias a conservar ha de ser bastante mayor que en radiotelefonía, con los inconvenientes que esto representa.

De aquí dimana una mayor facultad perturbadora, y en la

recepción una mayor facilidad para la perturbación por otras estaciones, radiomusicales, de T. S. H. y por las parásitas atmosféricas. Por el contrario, la recepción en sí es sumamente sencilla, y aunque todavía es preciso escoger convenientemente los instrumentos musicales, porque continúa siendo un problema la transmisión *perfecta* de un concierto a gran orquesta y con masa coral, por la falta de sensibilidad de los micrófonos modulador y receptor, a todas las frecuencias, ha bastado para despertar la afición que presenciarnos, debida al fácil manejo de estas pequeñas estaciones.

Es curioso el contraste que se observa entre los extremos en que hoy se desenvuelve la industria de la radiocomunicación y digno de ser señalado. De una parte, las grandes estaciones emisoras de telegrafía, del orden de la de Sainte-Assise; del otro lado, las pequeñas estaciones receptoras de radioconciertos, destinadas a recibir una tan pequeña cantidad de energía que, frecuentemente, es menos de un microwatio, habiéndose perfeccionado tanto que, como sabéis, se pueden percibir señales sobre una sola lámpara termoiónica, que apenas producen una milbillonésima de watio. Esto obliga a una fuerte amplificación, y claro es que se amplifican del mismo modo las parásitas, si la recepción no es bastante pura.

Tengo a esta radiodifusión, que con tanta celeridad se ha desenvuelto en todos los países y comienza a efectuarlo en el nuestro, como una difusión de la Ciencia, y por eso no os extrañe que os la presente con el aspecto que yo mismo la veo. La electricidad se ha valido de este medio fácil y atractivo para poner en manos de cada aficionado una pequeña central radioeléctrica, como la Óptica y la Química pusieron la cámara fotográfica. Por millones se cuentan, actualmente, sus cultivadores, que cada día van en aumento. De cifra tal, puede esperarse que haya un crecido número de experimentadores; y algo nuevo ha de brotar de este campo tan esplendoroso y desinteresado de investigación. La antigua afición a la fotografía, ha traído valiosas aplicaciones a los levantamientos topográficos, y no es un pasatiempo frívolo, sino un valioso auxiliar de la Ciencia en casi todas sus

manifestaciones; y si no tuviese diversos motivos para considerarse de este modo, le bastaría el recuerdo de haber sido la piedra fundamental para el descubrimiento del radio, sobre la cual la Ciencia ha levantado su gigantesca construcción de los tiempos modernos. Lo propio ocurrirá con la radiodifusión, como proceso lógico de estas aficiones, en las que para triunfar no se conoce más entrenamiento que el del estudio.

Como la teoría demuestra que las pequeñas longitudes de onda, que hemos visto son precisas para aminorar las perturbaciones en radiotelefonía, se prestan peor que las ondas largas para salvar grandes distancias, cabía pensar a primera vista que aquellas no tenían porvenir para las relaciones intercontinentales. Los hombres de ciencia pensaban en la fácil orientación y reflexión de las ondas cortas por medio de *espejos parabólicos*, formados por conductores; pero el formidable ejército de aficionados, que según una predicción de Lee de Foret había de contar con 25 millones de soldados en el mundo entero durante el año 1925, cifra que, según las estadísticas, se cree ya rebasada en el año corriente, se ha visto precisado a usar de todas sus iniciativas, de todas sus experiencias, para poder desenvolverse en el reducido campo que para él le asignaba la tiranía de la Ciencia, no concediéndole más que el dominio de las ondas cortas.

Los trabajos del Laboratorio de Estudios de la Radiotelegrafía militar francesa, las investigaciones que actualmente se realizan en los Estados Unidos y en Inglaterra y las recientes experiencias de Marconi, estudios todos basados en la emisión y recepción de ondas de pequeña longitud, no son más que la coronación científica de los ensayos realizados por numerosos aficionados congregados bajo un lema que era considerado como absurdo: "Pocos watios y pocos metros"; pues se hallaba en contradicción manifiesta con el rumbo que la técnica señalaba. Pero entre Sydney y Darwin se habían cambiado señales radiotelegráficas entre estaciones de aficionados, salvando una distancia de 3.400 km. con una potencia de 8,5 watios en la alimentación; los aficionados franceses pudieron cambiar sus saludos con los americanos el año pasado; y actualmente las ondas de cien metros, pro-

cedentes de estaciones americanas de unas centenas de watios, franquean el Atlántico diariamente y son recibidas en los países de Europa, incluso en el nuestro, sin gran dificultad.

Ha sido preciso para ello ir venciendo paulatinamente las dificultades que se presentaban para la sintonía y para la fuerte amplificación necesaria. La resonancia resultaba demasiado aguda y era preciso el empleo de reguladores micrométricos, al propio tiempo que la supresión de las capacidades parásitas, incluso la del propio cuerpo del operador, que enmarañaban, por así decirlo, las señales útiles, hasta el extremo de que pasaban desapercibidas. Los amplificadores generalmente empleados tampoco respondían debidamente para estas frecuencias tan elevadas; y además de la sensibilidad, era preciso contar con un gran poder selectivo para eliminar las señales perturbadoras de longitud de onda próxima. Sucesivamente se han ido modificando e innovando los circuitos en el transcurso de estos últimos años, hasta llegar a los denominados "super-regenerativos" y "super-heterodinos", de sobra conocidos por todos, que hacen tan fácil la recepción de las ondas cortas, aunque provengan de estaciones débiles y lejanas.

Dado el gran valor de la amplificación que con tales circuitos puede conseguirse, aun a costa, tal vez, de regulaciones un tanto delicadas, se hace posible la recepción en cuadro de pequeñas o medianas dimensiones, con lo cual se consigue no solamente la selectividad suplementaria del radiogoniómetro, sino también aminorar la influencia perturbadora de las ondas parásitas, mucho más considerable, como es lógico, cuando se recibe con antena aérea.

Además, el principio de la super-reacción lleva consigo una amplificación relativamente más débil de las ondas amortiguadas, y no hay que olvidar que a esta categoría pertenecen las parásitas atmosféricas y las que se producen en las ciudades por el funcionamiento de las máquinas eléctricas (tranvías, motores, etc.). Por último, en la recepción super-heterodina se efectúa una transformación de la frecuencia de las señales incidentes, convirtiéndolas en corrientes de más baja frecuencia, o lo que es lo mismo, en otras de ma-

yor longitud de onda, lo que aumenta extraordinariamente el poder selectivo, consiguiéndose en cierto modo una buena eliminación de las parásitas atmosféricas de más alta frecuencia.

Las ondas dirigidas, y en particular un descubrimiento reciente, de singular importancia, coloca hoy a la radiocomunicación en condiciones tales, que si las experiencias tienen el resultado satisfactorio que se espera, la técnica de las instalaciones se orientará por rumbos diametralmente opuestos a los actuales. Me refiero a las antenas enterradas o sumergidas.

Estas antenas reciben, es verdad, menor cantidad de energía que las aéreas, pero las parásitas quedan eliminadas casi totalmente, pues apenas si pueden ejercer sobre ellas influencia. Actualmente, la antena enterrada se orienta en una cierta dirección respecto a la antena emisora y está formada de dos partes simétricas con relación a la montada en el amplificador. El efecto diferencial de las dos semi-antenas, anula las parásitas, mientras que, gracias a la orientación escogida, continúan siendo recibidas las señales útiles.

El hecho experimental de que un submarino sumergido, con una antena forzosamente de escasa longitud y en las peores condiciones posibles, puesto que su coraza forma cámara de Faraday, haya recibido señales de T. S. H. de estaciones costeras de potencia débil, señales poco intensas, claro es, que han tenido que sufrir una considerable amplificación, viene a probar que tal vez algún día puedan suprimirse las gigantescas y costosas antenas actuales y las ondas subterráneas o submarinas puedan efectuar la comunicación al abrigo de las parásitas atmosféricas; habiendo calculado De Forest que bastarán dos trozos de cable submarino de 80 kilómetros cada uno y amarrados a la costa en el Atlántico, para ejercer la radiotelegrafía con corrientes intensas de 40 A. a las frecuencias telegráficas ordinarias.

Este meritísimo inventor ha indicado, también, que los pozos de petróleo abandonados podrán servir para el emplazamiento de antenas subterráneas de emisión y recepción, que darían una excelente transmisión a baja frecuencia. El

sabio que ha aportado a la radiocomunicación la lámpara de su nombre, bien puede dar otra prueba de su excepcional inventiva.

Tanto la antena subterránea como la propagación de las ondas en el interior de la corteza terrestre, presentan, a mi juicio, además del interés general, uno marcadísimo para los que tenemos por misión arañar en ella para despojarla de sus riquezas minerales, interés que esbozado brevemente, y aunque sea una atrevida originalidad, me complazco en someter a vuestra consideración.

Sabemos que los cuerpos conductores son opacos para las ondas hertzianas y que los dieléctricos son transparentes. Sabemos también que cuando las radiaciones luminosas golpean un cuerpo que las intercepta, se comprueba que su absorción lleva consigo un desprendimiento de calor. De análoga manera, los cuerpos conductores que detienen las radiaciones eléctricas, son asiento de corrientes inducidas que se manifiestan a nuestros sentidos por un fenómeno calorífico. Estudiando la propagación de las ondas por el interior de la Tierra, o el modo de comportarse estas corrientes, podríamos darnos cuenta de la conductibilidad de los estratos geológicos, y en fin de cuentas, creo que dispondríamos, para el reconocimiento de las entrañas de la Tierra, de un auxiliar tan valioso como pueden serlo la auscultación o la percusión para el diagnóstico clínico.

Lo poco que hasta hoy se ha hecho para el descubrimiento de yacimientos minerales basándose en observaciones eléctricas, no ha dado ningún resultado positivo y se halla basado en principios totalmente diferentes. La medida del potencial para trazar curvas equipotenciales en el plano, a las que se pueda referir la situación de la capa o del filón, lleva en su origen el defecto grave de que aquéllos varían rápidamente de un momento a otro, pues variables son a cada instante las corrientes telúricas que de la diferencia de aquéllos nacen; no existiendo, por otra parte, la posibilidad de medir el potencial en muchísimos puntos a la vez por la gran extensión que suelen tener los yacimientos minerales, aunque no siempre sean beneficiables.

Estimo que si para establecer la teoría del magnetismo ha sido preciso hacer uso de imanes artificiales de campos más intensos que el terrestre, de análoga manera será preciso un manantial externo de energía, que contrarreste o anule el efecto parasitario de dichas corrientes, y éste puede sernos proporcionado por una estación emisora de ondas eléctricas, *en las condiciones más adecuadas a la experimentación*, cuya propagación por los estratos dieléctricos o malos conductores podemos seguir, como si se tratase de ondas luminosas a través de cuerpos transparentes.

Mi impaciencia me sirve de medida para juzgar la vuestra, en el común deseo de escuchar, cuanto antes, la elocuente y reflexiva palabra del ilustre profesor de la Facultad de Ciencias, Dr. D. Jerónimo Vecino, tan competente en estas cuestiones como en otras muy diversas de las que es tan singular cultivador, pues ante la envidiable energía de su poderoso ingenio ceden las dificultades. Su amabilidad me ha deparado el honor de recibir de sus manos el gentil espaldarazo, en esta sesión de la Academia, y ávido estoy de concluir.

Pero antes de hacerlo, concededme un breve momento durante el cual mi alma vibre con los adelantos incesantes de la Ciencia, permitidme unos minutos, no más, en los que mi vista de miope pueda contemplar a través de la mágica lente del Progreso un mundo nuevo, en el que, por virtud de esta manifestación misteriosa de la electricidad, como es la onda hertziana, el hombre pueda ser dueño de las precipitaciones atmosféricas, haciendo que las nubes se condensen, a su antojo, en agua benéfica para la salud y la agricultura; en el que la radiomecánica, de la que ya tenemos una prueba en el "Telekino", debida a esa gran figura de la ingeniería española que Torres Quevedo representa, sea un hecho positivo, en el que los radiotransportes de electricidad puedan efectuarse cómoda y económicamente, con una pérdida que no pasará de 5 por 100, según una previsión del gran Tesla; en el que la luz se transportará sin conductores; y en el que

todo cuanto alcanza la cámara fotográfica, que es bastante más de lo que nuestra vista percibe, podrá ser fielmente reproducido a distancia por medio de la televisión, que con tanto acierto persigue M. Belin en Francia y otros experimentadores en América.

Pero aún puede haber más, incomparablemente más... Tal vez las ondas hertzianas detengan la bala del cañón, la marcha del barco guerrero y del avión de combate; tal vez la radiocomunicación haga sentir la necesidad de una lengua universal y auxiliar de la propia, como hoy comienza a observarse por estaciones que algunas veces traducen al esperanto, lo que nos permitirá conocer más de cerca a los pensadores, a los sabios, a los artistas de todo el orbe; lo que acarreará, en todas las manifestaciones de la vida un carácter de universalidad. Los pensamientos y las ideas tomarán forma mundial, y será entonces la Electrotecnia quien tenga la excelsa virtud de borrar espiritualmente las fronteras y de hacer que la tierra se convierta en una comunidad de hermanos.

He dicho.
