

Dr. Ing. Leopoldo Muzzioli

Ondas y Corpúsculos (*)



En esta charla (llamémosla así), trataré de exponer en la forma más simple y clara posible los conceptos y las ideas que se refieren a la moderna concepción dualística de la energía y de la materia.

Comenzaré este estudio con la exposición del dualismo de la energía radiante y con este objeto creo oportuno exponer, antes que nada, el desarrollo en el tiempo del pensamiento científico que se refiere a la propagación en el espacio, de la luz y de todas las otras radiaciones que son de la misma naturaleza que la luz y cuyo conjunto constituye la así llamada energía radiante. Pasaré en revista las hipótesis, las teorías, las leyes experimentales sucesivamente obtenidas y de este análisis podré hacer resaltar lo grande que ha sido y es el esfuerzo y el tormento (séame permitida esta palabra) del pensamiento científico de los hombres de ciencia desde la iniciación de los estudios físicos hasta hoy día, para obtener una idea siempre más precisa siempre más próxima a la realidad de los hechos experimentales sucesivamente descubiertos, del mecanismo (llamémoslo así) de la propagación en el espacio de la energía radiante. Y con mucha razón, los más grandes físicos del mundo se preocuparon de la

(*) Conferencia dictada el 10 de mayo de 1949 en el Salón de Honor de la Universidad de Concepción.

propagación en el espacio de la energía radiante, por cuanto me parece que se puede afirmar que es a este hecho físico tan importante que nosotros debemos, no sólo la noción del Universo sino que la vida misma.

Debemos la noción del Universo al hecho físico de la propagación en el espacio de la energía radiante, ya que es esta energía, que propagándose en los espacios bajo forma de luz, llegando a nosotros desde el sol y desde las estrellas, nos da el conocimiento de la existencia de estos cuerpos celestes, de sus posiciones, de sus movimientos y de sus constituciones.

Porque, si los astros que componen el Universo, en vez de emitir energía bajo forma de luz emitiesen energía bajo una forma tal que no pudiese propagarse en el espacio en tales enormes distancias, ¿qué concepto tendríamos nosotros del Universo? No solamente tendríamos alrededor nuestro la obscuridad física, sino que además inexorablemente la obscuridad y la ignorancia completa del Universo que nos circunda.

Además, la luz que llega a nosotros desde los cuerpos lejanos o cercanos nos da la posibilidad de gozar la visión del maravilloso espectáculo de las formas y de los colores, espectáculo que a veces nos extasía por su belleza.

Y no solamente debemos la noción del Universo al hecho físico de la propagación en el espacio de la energía radiante, sino que a este hecho físico tan importante debemos también la vida.

Efectivamente, la energía radiante bajo forma de calor radiante es el gran medio de transporte de enormes cantidades de energía; y en particular es precisamente la enorme energía que nos llega del sol bajo forma de calor radiante la que nos da la vida. Y es una energía que no puede ser comparada con las corrientes formas mecánicas de energía cinética o potencial, pero una energía de naturaleza completamente diferente; porque si la energía mecánica cinética o potencial se manifiesta siempre acompañada por materia, la energía radiante, en cambio, parece que no tenga necesidad del soporte material para manifestarse; por lo tanto

misterioso y complejo es el mecanismo de la propagación de esta energía y difícil será la tarea del hombre de ciencia que quiere indagar en este difícil capítulo de la filosofía natural.

* * *

El poco conocido aunque gran físico italiano padre Francisco María Grimaldi aplicó el método experimental al estudio de la óptica física como Galileo Galilei lo había aplicado al estudio de la mecánica.

Deseo en esta ocasión reivindicar el nombre de Grimaldi, cuyo genio por primera vez indicó el camino para el estudio físico de la luz. Efectivamente, Grimaldi fué el precursor de la óptica física, ya que desde la primera mitad del siglo XVII puso en evidencia la difracción de los rayos luminosos, es decir su desviación del simple comportamiento geomético que sus predecesores habían conocido.

Grimaldi observó, además, experimentalmente, la interferencia que se verifica cuando a los conos de luz, provenientes de dos pequeños orificios cercanos, se superponen. Además, fué el primero en afirmar que la luz superpuesta a la luz puede dar obscuridad, expresando esta verdad física con la sugestiva y audaz (en aquel tiempo) ecuación: luz más luz (en determinadas condiciones) es igual a obscuridad.

Grimaldi se dió cuenta claramente que la difracción y la interferencia por él descubiertas, establecían una naturaleza ondulatoria para la propagación de la luz y formuló una teoría que puede sintetizarse en esta forma: el medio apto para propagar la luz y que puede llamarse «medio luminífero» podría considerarse como una sustancia de peso despreciable y tal de llenar todos los espacios interestelares, todos los espacios comprendidos entre los cuerpos y entre las partículas que componen los cuerpos materiales y la luz se debería a un doble fenómeno, emisorio y ondulatorio, consistiendo precisamente en el hecho de que las partículas de

este medio luminífero estarían dotadas de oscilaciones rapidísimas alrededor de los rayos materiales que parten de la fuente luminosa, de tal manera que la trayectoria resultante de cada partícula del medio luminífero debería considerarse como una línea sinuosa con oscilaciones extremadamente cercanas a los alrededores del rayo emisor; las luces de los diversos colores podrían atribuirse a la diversa naturaleza de las vibraciones que se realizan alrededor del rayo.

Por lo anteriormente expuesto se desprende que la contribución de Grimaldi al estudio de la luz es verdaderamente notable en cuanto que aparte de los importantísimos descubrimientos de la difracción y de la interferencia, hechos por los cuales puede considerarse el creador de la óptica física, también su teoría sobre propagación de la luz, si bien no satisfaga plenamente ya que se nota en ella una unión bastante artificiosa de las hipótesis emisiva y ondulatoria, en realidad puede considerarse una previsión maravillosa de las modernas teorías, donde ondas y corpúsculos en vez de contraponerse, se armonizan y son consideradas manifestaciones diferentes de un mismo fenómeno.

Más tarde Christians Huygens concibió una hipótesis ondulatoria pura, a diferencia de la hipótesis mixta de Grimaldi, afirmando en forma explícita que las partículas de los cuerpos luminosos, encontrándose en un estado de agitación rapidísima, hacen vibrar un medio especial que él llamó «Eter» y que llenaría todos los espacios comprendidos entre los cuerpos y las partículas que constituyen los cuerpos materiales como el medio luminífero de Grimaldi, dando lugar a la propagación de la luz por ondas.

Huygens, no pudiendo anticiparse a los tiempos, ya que todavía no se habían descubierto otros fenómenos de óptica física, como por ejemplo la polarización de la luz, supuso que la perturbación del éter tuviese el carácter de vibración mecánica *longitudinal* como se verifica en el caso del sonido y fué llevado a admitir el «Eter» como un flúido extremadamente sutil com-

puesto de partículas mucho más livianas que aquellas del aire para explicar el hecho que los astros, los cuerpos, y las partículas que constituyen los cuerpos no deben encontrar una resistencia apreciable en sus movimientos.

Sin embargo, en base al análisis que desarrolló matemáticamente sobre el movimiento elástico del «Eter», se vió obligado a admitir que las partículas que constituyen el éter debían ser extremadamente livianas por la razón antedicha, pero dada la enorme velocidad de la onda luminosa (velocidad que todavía no se había podido determinar, pero que se preveía muy grande) debían también presentar una rigidez elástica elevadísima, enormemente superior a aquella de los cuerpos sólidos materiales.

¿Cómo armonizar estas dos propiedades contradictorias del éter? ¿Cómo resolver la dificultad de considerar el éter, de gran rigidez elástica superior a la de cualquier cuerpo sólido conocido, capaz de transmitir oscilaciones de gran velocidad y al mismo tiempo de fluidez enormemente elevada, a fin de que los cuerpos materiales en el Universo puedan moverse sin encontrar resistencia?

El mismo Huygens no pudo dar una explicación satisfactoria a este dilema, sin embargo se puede afirmar que su genio dió una gran contribución en este campo de la filosofía natural, ya que en su importante estudio matemático sobre la propagación de la luz, obtuvo un resultado notable, es decir, que *la velocidad de la luz considerada de naturaleza ondulatoria debía ser menor en los cuerpos refrangibles (por ejemplo en el agua) que en el vacío.*

Isaac Newton se opuso siempre a la teoría ondulatoria de la luz; a decir verdad, él hallaba dificultad en poner de acuerdo la teoría ondulatoria, con el hecho de la propagación retilínea de los rayos luminosos.

Efectivamente, se presentaba natural la objeción: Si la luz se propaga por ondas como el sonido y si el sonido se propaga también detrás de los obstáculos, ¿por qué los rayos luminosos

no se comportan del mismo modo? ¿por qué no iluminan también más allá de los cuerpos opacos?

En verdad los fenómenos de difracción descubiertos por Grimaldi, evidenciaban que en ciertos casos se verifica una desviación al comportamiento rectilíneo y Newton conocía los experimentos de su predecesor, los repitió y continuó, pero se trataba siempre de efectos despreciables en relación a aquellos que se verifican con el sonido. Sabemos ahora que esto se explica en base al valor pequeñísimo de los largos de onda de la luz visible; estos largos de onda son todos inferiores al milésimo de milímetros y Newton, no obstante haber descubierto un fenómeno de interferencia muy interesante, los anillos coloreados que llevan su nombre, no llegó a determinar los largos de onda, la falta de estos datos obligadamente lo indujo a dudar de la teoría ondulatoria y prefirió concebir la radiación luminosa como una emisión de corpúsculos especiales, que partiendo de la fuente luminosa bombardearían el objeto iluminado. De los cálculos matemáticos que él desarrolló con esta teoría corpuscular, dedujo que *la velocidad de la luz en un medio refrangible (por ejemplo en el agua) tenía que ser mayor que en el vacío, hecho que está en contradicción con la deducción de Huygens.*

Se presenta, por lo tanto, en este momento la enorme importancia de un «*experimentum crucis*» (experimento crucial): las determinaciones de la velocidad de la luz en el vacío y en el agua.

La posibilidad de estas determinaciones no solamente hubiesen proporcionado dos datos experimentales de gran valor científico, sino que también hubiesen tenido un sabor filosófico-científico enorme, por cuanto hubiesen dado una contribución importantísima, a fin de establecer cuál de las dos teorías se debía elegir para interpretar el hecho físico de la propagación de la energía radiante. Pero desgraciadamente, en aquel tiempo, la técnica estaba muy atrasada para dar a los físicos la posibilidad de la determinación de la velocidad de la luz en el agua, ya que para tal determinación era necesario usar distancias de labora-

torio, es decir relativamente pequeñas, y dada la gran velocidad de la luz, el tiempo infinitamente pequeño empleado para recorrer una distancia relativamente corta no era posible determinarlo. Se trata, efectivamente, de la medida de un tiempo del orden de un diez millonésimo de segundo para distancias de unos treinta metros.

Solamente un siglo y medio más tarde (1850), el «experimentum crucis» se pudo realizar; pero ya en el año 1700, en base a consideraciones astronómicas, Römer y Brandley aportaban la primera contribución a este problema, determinando la velocidad de la luz en el espacio vacío y los dos experimentadores, si bien partían de consideraciones y hechos astronómicos completamente diferentes, dieron aproximadamente el mismo resultado y precisamente el dato importantísimo que la velocidad de la luz en el vacío es alrededor de 300,000 km/seg.

De manera que en la primera mitad del siglo XVIII ya la ciencia había hecho un notable progreso con respecto a la propagación de la energía radiante.

En la segunda mitad de dicho siglo se perfeccionó mucho la construcción de los telescopios y de otros instrumentos astronómicos de los aparatos ópticos, de los cronómetros, etc. La investigación científica podía, por lo tanto, aprovechar el gran desarrollo de los métodos experimentales, que en los albores del siglo XVIII se encontraban todavía en un estado rudimentario.

Sin embargo, por efecto de una extraña crisis de la física, se detuvo en aquel tiempo el estudio tan importante de la energía radiante.

He dicho por efecto de una extraña crisis de la física, extraña crisis ya que se verificó precisamente en aquel período en que fueron muy grandes las conquistas del genio humano, especialmente en el campo de la físico-matemática. En efecto, fué precisamente en la segunda mitad del siglo XVIII que se desarrollaron los medios de investigación matemática y los cálculos diferencial e integral fueron estudiados y aplicados en todas sus

formas y las ecuaciones diferenciales se revelaron como un arma poderosa mediante la cual el hombre puede investigar y deducir las leyes que rigen los fenómenos naturales.

La armonía cada vez más perfecta entre los cálculos más complejos y los fenómenos físicos, y las observaciones astronómicas siempre más perfeccionadas, llenó al mundo de admiración y dió a los hombres de ciencias un optimismo exagerado y a decir verdad perjudicial para el progreso científico, ya que ellos fueron inducidos a concebir el Universo como un inmenso sistema mecánico que se podía representar en forma esquemática, mediante unas pocas y simples relaciones matemáticas; así que los físicos de ese período, basados en las concepciones *mecanicística* y *materialística* del Universo, estaban convencidos que aplicando las tres leyes de la dinámica galiliana y la ley de la atracción universal newtoniana a todas las moléculas y los átomos del Universo, se podía llegar a escribir en el papel una fórmula mediante la cual se podría resolver los enigmas del pasado y se podría prever inexorablemente la eventualidad del futuro con toda probabilidad, aún en el campo de los hechos hitóricos y humanos.

Por consiguiente, en aquella época los físicos no se preocuparon más de la física del éter ni de la naturaleza física de la luz; por otra parte ¿qué preocupación podría causar este problema considerado anteriormente tan importante, si podían hacerse ilusiones de haber encuadrado todas las leyes de la naturaleza en tres ecuaciones dinámicas y en una fórmula de acción a distancia?

Pero la semilla lanzada por Grimaldi debía dar nuevos frutos.

En efecto, si bien la concepción *mecanicística* del Universo había llevado a los físicos a creer nuevamente en la hipótesis corpuscular de Newton, considerando la propagación de la luz como debida a corpúsculos emitidos por los cuerpos luminosos regidos por leyes mecánicas, Thomas Young consideró nueva-

mente los fenómenos de óptica física iniciados por Grimaldi y osó volver a la teoría ondulatoria. Me he permitido decir (osó volver) ya que después de los maravillosos éxitos del mecanicismo debido a los hombres de ciencias más autorizados de aquel entonces y que lo apoyaban incondicionalmente, el regreso a la teoría ondulatoria era considerado como un acto ignorante o por lo menos de concepción retrógrada de la naturaleza.

Pero las ideas de Young fueron apoyadas y desarrolladas en forma rigurosa y genial por *Agustín Fresnel*, quien afirmó que todos los fenómenos de óptica física conocidos podían solamente encuadrarse en una teoría ondulatoria desarrollada con medios matemáticos adecuados. El fenómeno, que más que todos los otros no podía explicarse sino que con la hipótesis de la naturaleza ondulatoria de la propagación de la luz, era la interferencia,

Fenómenos de interferencia, como ya dijimos, habían sido observados y descritos por Grimaldi, pero en sus experiencias, interferencia y difracción no se distinguían y difícilmente se podía con semejantes fenómenos obtener conclusiones claras. Sucesivamente fueron estudiados por otros físicos, fenómenos de interferencia no acompañados de difracción, pero también los efectos que obtenían usando luz natural que, estando formada como se sabe de tantos largos de onda diferentes, no produce franjas simples, claras y oscuras, sino que da lugar a franjas complejas coloreadas. Las deducciones que también en este caso pudieron obtener los físicos, no fueron claras, al contrario, dada la complejidad del fenómeno también en esta forma, fueron alejados del verdadero camino. Efectivamente, Newton que descubrió un fenómeno muy interesante de interferencia, llamado los «anillos Newton», fué como se sabe uno de los más tenaces defensores de la teoría mecánica corpuscular.

En cambio Fresnel obtuvo fenómenos de interferencia pura y reconoció por primera vez que, solamente cuando dos rayos son monocromáticos (de un solo color), provienen de un mismo origen y difieren por haber recorrido distancias muy poco dife-

rentes, pueden dar lugar al tipo de interferencia más característico, que consiste en el hecho de que la superposición de dos rayos en estas condiciones, puede dar lugar a luz o a obscuridad.

Con su clásica y conocida experiencia de los espejos de Fresnel, pudo observar claramente una sucesión de franjas y rayas alternativamente oscuras y luminosas.

Estas investigaciones experimentales, no sólo confirmaron los desarrollos matemáticos de Fresnel, sino que como aplicación de éstos, daban los valores de los largos de onda correspondientes a las diversas zonas del espectro. ¡Este resultado era verdaderamente maravilloso!

El genio humano, que ya había podido *dominar* con la medida las enormes distancias astronómicas, calculando con notable precisión las distancias entre los cuerpos celestes y la tierra lograba dominar con la medida los pequeñísimos largos de onda de los diferentes colores de la luz, todos inferiores al micróu (milésimo de milímetro) con una precisión verdaderamente insospechada.

Fresnel además, estudiando la formación de las sombras, refutó la objeción principal de Newton contra la propagación por onda, demostrando que la extremada pequeñez de las ondas luminosas, en comparación a las sonoras, explicaba el hecho que los rayos luminosos no dan vuelta detrás de los obstáculos y se propagan en forma prácticamente rectilínea.

Después de estos maravillosos éxitos, el desarrollo científico de la teoría ondulatoria de la luz, según la concepción *mecánico-elástica* del éter, sufrió una nueva gran modificación que se presentaba revolucionaria. Esta modificación se imponía para la interpretación de un nuevo hecho de gran importancia, ya descubierto por Malus y Brewster, la polarización de la luz. De manera que, si los fenómenos de interferencia y de la difracción exigían una naturaleza ondulatoria para la propagación de la luz, que se supuso longitudinal, como aquella del sonido, los fenómenos de

polarización establecían que la propagación de la luz debía ser de naturaleza *ondulatoria transversal*.

Después de todas estas confirmaciones experimentales, la teoría ondulatoria transversal del éter tuvo una nueva confirmación por efecto de la realización, en el año 1850, del «*experimentum crucis*», es decir de la determinación comparativa de la velocidad de la luz en el aire y en el agua.

Dos físicos franceses, Luis Fizeau y León Foucault, lograron determinar la velocidad de la luz en el aire y en el agua y demostraron que la velocidad de la luz en el agua es menor que la velocidad de la luz en el aire, como lo exigía la teoría ondulatoria en contraposición a la hipótesis corpuscular.

En el año 1850 quedaba por lo tanto establecido que la luz se propaga con un mecanismo bien preciso y determinado, es decir por ondas debidas a vibraciones mecánico-elásticas transversales del medio vibrante, el éter cósmico.

Pero a decir verdad esta afirmación si bien estuviese perfectamente de acuerdo (como me parece haber dejado claramente establecido) con todos los fenómenos conocidos: reflexión, refracción, interferencia, difracción y polarización y estuviese además confirmado en forma brillante por el «*experimentum crucis*», implicaba, sin embargo, graves consecuencias conceptuales. En efecto, solamente en un sólido elástico se pueden propagar vibraciones transversales, por consiguiente ya no se podía más concebir el éter como un fluido muy tenue y de enorme movilidad sino que nada menos que como un cuerpo sólido elástico. Además, dado el enorme valor de la velocidad de la luz, la rigidez del éter tenía que ser muy superior a aquella, de cualquier cuerpo sólido conocido.

¡Qué modificación revolucionaria de la concepción del medio luminífero de los precursores de la hipótesis ondulatoria, los cuales habían dado el nombre de éter a este medio, pensando en una inmensa fluidez y una movilidad excepcional. Pero, ¿cómo

podrían los cuerpos sólidos ordinarios moverse en el éter sin encontrar resistencia?

Los planetas, por ejemplo, han siempre efectuado y siguen efectuando sus revoluciones alrededor del sol y los satélites alrededor de los planetas, pero si encontrasen una resistencia aún pequeña al movimiento, éste se retardaría y sus órbitas se restringirían gradualmente hasta terminar con la caída sobre el centro de atracción; y las observaciones astronómicas, ya muy precisas en aquel tiempo, no revelaban el menor indicio de perturbación en este sentido.

Así que se comprende perfectamente cuán grande debían ser las inquietudes de los físicos de hace 99 años para tratar de explicar este enigma. Y el misterio que envolvía al hecho tan importante de la propagación de la energía radiante aumentaba precisamente cuando parecían haberse definido con precisión las características.

Numerosos físicos y matemáticos, al final de la primera mitad del siglo XIX, trataron de explicar el misterio y se originaron discusiones profundas y elevadas entre los grandes pensadores de aquel tiempo que contribuyeron sobre todo al progreso de la ciencia matemática; pero los resultados desde el punto de vista físico no fueron apreciables y la concepción del éter vibrante, a semejanza de un cuerpo elástico, después de los éxitos iniciales tan brillantes, conducía a un callejón sin salida.

Se hacía necesario considerar una física del éter que no fuese de carácter mecánico; pero esta evolución debía verificarse mediante el estudio de otras categorías de fenómenos, estudio que por obra de los más grandes genios físicos del siglo XIX, dió lugar a un admirable como inesperada unión en la interpretación de los fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos, en apariencia completamente diferentes.

El gran físico italiano Alejandro Volta con el maravilloso descubrimiento de la corriente eléctrica marcó una nueva etapa en el estudio de la electricidad, creando la electrodinámica.

Y la corriente eléctrica conducía sucesivamente al descubrimiento de los importantes fenómenos del electromagnetismo de *Ampère* y de la inducción electromagnética de *Faraday* que dieron la posibilidad al genio de *Maxwell*, con una interpretación más general de estos dos hechos de crear aquella maravillosa construcción mental desarrollada matemáticamente en forma magistral, que es la teoría electromagnética del éter cósmico.

Para tener una idea de la teoría electromagnética del éter cósmico es indispensable; antes que nada, aclarar el concepto de campo, intuído y verificado experimentalmente por Faraday.

Dos masas materiales cualesquiera puestas a distancia cualquiera, se atraen. *Newton* determinó la ley matemática fija y exacta que guía esta atracción. Aplicando esta ley al caso de los cuerpos celestes, se logró establecer y calcular con una precisión impresionante el movimiento de los cuerpos mismos, y en particular se logró determinar el movimiento de los planetas y calcular y prever, con gran precisión, los eclipses de sol, de luna, etc.

Así que la ley de la atracción universal Newtoniana se consideró un ideal de interpretación científica de la naturaleza.

Coulomb determinó las leyes según las cuales se atraen entre ellas las masas eléctricas y los imanes y estas leyes... no eran sino que aquellas de *Newton*. Las formulaciones matemáticas de estas leyes son en efecto absolutamente idénticas.

Sin embargo, todo eso que parece tan claro y simple es en cambio uno de los problemas más complejos de la filosofía natural.

¿Por qué se verifican estas acciones? Las leyes que las guían (que a decir verdad son de una simplicidad y perfección maravillosa), ciertamente no bastan a satisfacer la mente para la comprensión de estos fenómenos y cualquier persona aún dotada de un limitado espíritu filosófico no puede estar satisfecha del simple conocimiento de estas leyes. En efecto, se formula espontánea la pregunta: ¿Por qué se verifican estas acciones?

Miguel *Faraday* fué el hombre en cuyo espíritu se formó por

primera vez la idea audaz de campo. Faraday no era un matemático, sin embargo demostró tener toda la precisión y fecundidad de conceptos de un gran cultor de las ciencias exactas. Faraday trató de adquirir conocimientos sobre la naturaleza de la atracción universal y sobre la naturaleza de las atracciones y repulsiones eléctricas y magnéticas (acciones que como es sabido se verifican también en el vacío), investigando lo que sucede en el espacio que separa los cuerpos que actúan entre ellos; y llegó a la conclusión que en cada punto del espacio interpuesto entre los cuerpos que actúan, existe un estado particular diferente del normal.

Lo que interesa para nuestro objeto, son los hechos y las ideas relativos a los campos eléctricos y magnéticos; por lo tanto nos limitaremos al análisis de éstos. En los fenómenos eléctricos y magnéticos, Faraday, con la intuición característica del genio y exclusivamente por vía experimental, reconoció en forma explícita y segura la importancia en dicho fenómeno del espacio aún vacío de materia interpuesto entre los cuerpos sobre los cuales se ejerce la acción.

Esta concepción lo indujo a considerar el espacio vacío, no solamente como un ente de características puramente geométricas sino que como algo mucho más sustancial, es decir, como un medio físico que puede entrar en un estado particular de modificación cuando transmite determinadas acciones. En otros términos, en un espacio vacío de materia donde se transmiten acciones eléctricas y magnéticas se tiene un estado particular de modificación diferentes del normal y este estado de modificación (deseo dejarlo bien en claro) no es una hipótesis física sino que es un hecho real controlado por la experiencia.

Limaduras de hierro o pequeños cristales de yeso respectivamente, en los casos del campo magnético y del campo eléctrico, pueden poner en evidencia (si bien en forma rudimentaria, pero bastante expresiva) un campo magnético o un campo eléctrico, formado con estos dos cuerpos adecuados las líneas de fuerza del

campo, el cual puede así ser representado en forma clara y explícita.

Faraday vislumbró las leyes según las cuales el estado del campo en un punto depende del estado de los puntos vecinos y las leyes de la vieja teoría de la acción a distancia debían considerarse como leyes integrales que expresaban el resultado final de todas las perturbaciones. Las leyes que Faraday vislumbró son leyes elementales, diferenciales en comparación con las leyes globales integrales de Newton y Coulomb.

(Continuará)