

Aspectos históricos de la teoría electromagnética de la luz recurso de aprendizaje en Física



ISSN 1870-9095

Luis Jorge Benítez Barajas

Centro de investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Calzada Legaria #694, Colonia: Irrigación, Alcaldía: Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México.

E-mail: lbenitezb@ipn.mx

(Recibido el 12 de julio de 2023, aceptado el 17 de noviembre de 2023)

Resumen

Este documento presenta análisis y discusión sobre la importancia de incorporar nociones históricas, para la enseñanza de la teoría electromagnética de la luz planteada por James Clerk Maxwell, a partir de la segunda mitad del siglo XIX; con el propósito de contribuir a mejorar el interés y la comprensión conceptual de los principios de la física involucrados en cursos de Física, y con ello mejorar el aprendizaje de alumnos y estudiosos del tema.

Palabras clave: Nociones históricas, proceso enseñanza aprendizaje, teoría electromagnética de la luz, comprensión conceptual.

Abstract

This document presents analysis and discussion on the importance of incorporating historical notions, for the teaching of the electromagnetic theory of light proposed by James Clerk Maxwell, from the second half of the 19th century; with the purpose of contributing to improve the interest and conceptual understanding of the principles of physics involved in Physics courses, and thereby improve the learning of students and scholars of the subject.

Keywords: Historical notions, teaching-learning process, electromagnetic theory of light, conceptual understanding.

I. HISTORICIDAD DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA ASPECTO INTRODUCTORIO

Según Kubler [10], la historia es la ciencia relacional de los acontecimientos tanto humanos como de la naturaleza. Ciencia que da sentido tanto a los hechos con sus circunstancias, como justificación de estas; con sus razones, ya sea estas de naturaleza humana o inherentes a la propia estructura natural de la que se desprenden.

Tomando lo anterior como punto de partida, se considera, sino completo y determinante, si suficiente argumento para sustentar la consideración; de que los aspectos históricos son herramientas que otorgan sentido y en ocasiones hasta objetividad, a los fenómenos de la realidad que se percibe. Y un ejemplo de ello, es la aplicación de los aspectos históricos como catalizadores en la comprensión de la teoría electromagnética de Maxwell [11, 12] en Gabás [7]. En donde el autor, realiza una descripción diacrónica (i.e. término que expresa la evolución de un hecho, fenómeno o circunstancia a través del tiempo; cfr. Moliner [13]) de las ideas y teorías que aportaron al desarrollo y consolidación de la “teoría electromagnética”.

La forma sistemática de Gabás [7] de ir presentando a los autores, con sus ideas precedentes y sustentantes a las ideas

de Maxwell [11, 12]; aclaran como Maxwell da forma a sus ideas, teorías y modelos. Deduciendo tanto sus ecuaciones teóricas fundacionales del electromagnetismo, como el desarrollo progresivo de sus inferencias a través de la geometría y las matemáticas (e.g. cálculo diferencial e integral y cálculo vectorial).

Gabás [7], hace mención inicialmente de los postulados teóricos (interpretaciones sistemáticas) de Faraday [4, 5] entorno a la electricidad y el magnetismo como fenómenos naturales. Y los complementa con las expresiones matemáticas y modelos de Coulomb [3] (i.e. Coulomb propone en 1785 la ley “del inverso del cuadrado de la distancia” para explicar el comportamiento de la fuerza eléctrica con que se atraían o repelían dos cuerpos cargados; cfr. Gadás, [4]), respecto a las condiciones y leyes que rigen la electrostática y la electrodinámica en corrientes eléctricas (i.e. alternas o continuas) inducidas.

Incluso, Gabás [7], hace mención de cómo las leyes de la mecánica clásica y de la gravitación universal de Newton, fundamentan la concepción de Maxwell [11, 12] en sus modelos electromagnéticos, a partir de los cuales se origina luz por medio de mecanismos de rotación (i.e. vórtices) motriz de bobinas y dínamos. Y con ello, Maxwell también perfecciona las concepciones de sus predecesores y sucesores

(i.e. Michael Faraday, Pierre Simón Laplace, William Gilbert, Carl Friedrich Gauss, Wilhelm Eduard Weber, André Marié Ampere, Alessandro Volta, Heinrich Rudolf Hertz), en cuanto a generar movimiento a partir de corrientes eléctricas inducidas (e.g. a las cuales Maxwell, propone como líneas de fuerza, que define como campos de partículas dinámicas moviéndose en dirección definida y en un medio definido).

Incluso, Gabás [7] se apoya también de las concepciones de Descartes respectivas a cuestiones ópticas (i.e. naturaleza de la luz, su comportamiento y velocidad), así como la teoría de vórtices también de Descartes (i.e. los fundamentos teóricos del electromagnetismo, como una amalgama de concepciones empíricas, sistemas teóricos y creencias, que se van decantando en teorías consistentes de índole científica). Lo cual permite a los estudiosos de estos temas, aclararse las razones del contenido, forma y estructura de las teorías resultado de estos procesos de conformación. Por ejemplo, se postula *“La idea de las fuerzas a distancia, propagadas por un fluido sutil, que existía ya desde la antigua Grecia; y esta idea siguió apareciendo (...) en el siglo XVII con los vórtices de Descartes. Incluso, cuando Newton postuló su ley de la gravitación universal; dando sencillas fórmulas para describir la acción de las fuerzas a distancia (...), pero no creía que estas fuerzas actuaran de forma instantánea, sino que las fuerzas se propagaban por un medio aún indetectable o desconocido”*, cfr. Gabás [7].

Por tanto, la amalgama teórica que presenta Gabás, proporciona no solo sustento a las ideas construidas por Maxwell [11, 12], también sentido y con ello una mejor comprensión de la génesis y razón de ser de estas en su contexto ideológico y hasta social. Permitiendo al estudioso compenetrarse en la génesis y los fundamentos, razones, justificaciones y alcances de las ideas que después se constituirían en teorías sistemáticas en diferentes campos del conocimiento en cuestión. Siendo entonces la historia una herramienta de carácter epistemológico indispensable en el abordaje de la enseñanza-aprendizaje para mejorar el interés y la comprensión de cualquier tópico inherente a los contenidos nucleares y el currículo de cualquier curso de física.

II. VIABILIDAD HISTÓRICA COMO MEDIO EXPLICATIVO A LAS ECUACIONES DE MAXWELL

Se considera viable utilizar los recursos históricos de descripción y análisis de hechos, como medio que aclara el origen de las ideas de Maxwell [11, 12]; incluyendo la explicación de sus cuatro ecuaciones sobre el electromagnetismo y la relación de estas con los fenómenos ópticos. Ya que el lenguaje formal es un medio eficaz para la representación de ideas entorno a la realidad (e.g. los fenómenos ópticos). Ya que el lenguaje normalizado no

siempre encuentra los términos para designar aquellas ideas que se desprenden de la rigurosa observación de los fenómenos de la realidad; de tal manera que este aspecto de la ausencia semántica existente, se compensa con lenguaje matemático.

De lo anterior, Maxwell [11, 12] ya desde 1850 esboza la frase relacionada con su teoría entorno al electromagnetismo; *“las matemáticas pueden halagar a aquellos estudiosos que tienen nuevas ideas, que mero lenguaje humano es aún incapaz de expresar”*. De tal manera que para el año de 1865, formula con contundencia su teoría del electromagnetismo y sus cuatro ecuaciones relacionadas (e.g. aplicadas estas tanto en la materia como en el vacío); y con ello la deducción clásica de que la luz no es un ente sencillo, sino una entidad compuesta de campos eléctricos y magnéticos; cuyo medio de propagación es el espacio.

Posteriormente, la teoría clásica del electromagnetismo de Maxwell [11, 12], generaría los cimientos para la indagación y confirmación por parte de Heinrich Hertz, con relación al fenómeno de las ondas de radio. Sus aportaciones teóricas también conducirían al mismo Hertz [8, 9], en el año de 1888; a la comprobación experimental de sus hipótesis planteadas, en especial a la relacionada con la luz, como un tipo de onda electromagnética.

Hertz [8, 9] realizó sus diseños de prueba entorno al electromagnetismo, tomando como base las aportaciones teóricas de Clerk Maxwell y Michael Faraday, formuladas por estos con veinte años de anterioridad. Tiempo suficiente para madurar la labor empírica del físico alemán, fundada sobre la labor interpretativas de sus colegas de nacionalidad escocesa y británica respectivamente.

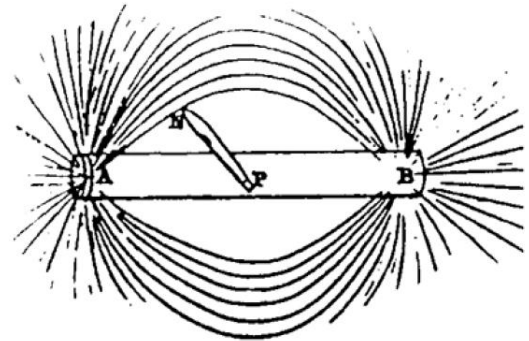


FIGURA 1. Se muestran las líneas de fuerza alrededor de un imán, éstas como entidades energéticas propuestas por Maxwell & Faraday en 1855; tomado de Gabás [7].

Respecto a la frase de Maxwell del año 1850, se confirma históricamente, que en el proceso y generación de principios y teorías fundacionales de la física; la doxa (i.e. término que designa la idea de opinión generalizada; utilizado por Parménides -Grecia antigua-, para distinguir la vía de la verdad y la vía de la opinión; cfr. Ferrater, 1994) o lenguaje basado en el sentido común, no siempre es suficiente para designar, explicar y hasta solucionar los fenómenos de la realidad. Resulta necesario el uso de un lenguaje formal (i.e. matemático) que designe y represente por medio de

ecuaciones (i.e. interrelación numérica operacional) a la realidad. Y con ello complementar con demostraciones formales, a las pruebas y comprobaciones realizadas por labor empírica a través de modelos suficientes para tal efecto; cfr. Maxwell [11, 12].

Por lo tanto, Gabás [7] permite una reflexión; entorno a la manera en cómo Maxwell fue desarrollando y construyendo sus “cuatro ecuaciones -cfr. infra. anexo, fig. 4- (e.g.1.- ley de Gauss para el campo eléctrico, 2.- ley de Gauss para el campo magnético, 3.- ley de Faraday, 4.- ley de Ampere-Maxwell) del fenómeno electromagnético”, y entender incluso en prospectiva sus alcances y efectos en el campo de las telecomunicaciones del siglo XX. Incluso, trascendiendo o yendo más allá de las especulaciones o suposiciones de los albores (i.e. para Burke [2] la palabra albores, designa el principio y primeros tiempos de una cosa) de la filosofía natural, basada en las creencias y opiniones de un sistema fundado a su vez inicialmente en el lego social (i.e. el término lego implica describir y explicar un tema complejo o técnico, por medio de un lenguaje compuesto de términos, expresiones o palabras, cuya semántica; el individuo promedio -sin formación específica en la materia- logre entender con facilidad, lográndose cierto nivel de comprensión sobre el tema estudiado; cfr. Aizpuru, [1]).

Por lo tanto, los conceptos que designan las ecuaciones de Maxwell [11, 12] (cfr. infra. figura 5) son abordados por Gabás [7], de tal manera que es posible al lector y estudioso del tema; asimilar la estructura relacional de las ecuaciones y cómo se llegó a ellas (e.g. Gadás explica históricamente, el trabajo que le implicó a Maxwell, procurarse la formación necesaria para construir sus modelos entorno al electromagnetismo, por medio de piezas materiales de hierro dulce, o embobinados a base de cable de hierro.

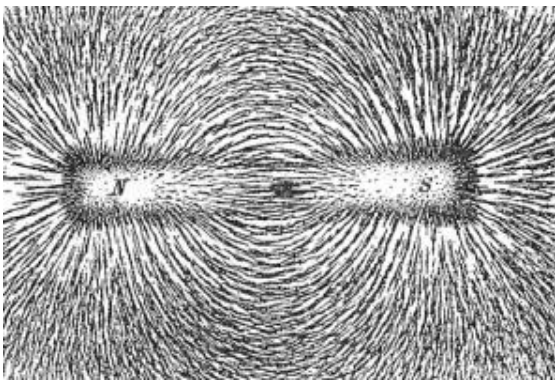


FIGURA 2. Se muestran limaduras de hierro agrupadas con tendencia circular debido a los campos de fuerza generados alrededor de un imán, como prueba empírica de las afirmaciones de Faraday [5] y Maxwell [11, 12] entorno al electromagnetismo manifestándose en la materia; tomado de Gabás [7].

Gabás [7] también describe aspectos de su formación como factores históricos relevantes. Por ejemplo, Maxwell [11, 12] inicia su trayectoria académica en la universidad de Aberdeen, después narró su desarrollo intelectual y formal en el King's College en Londres; así como sus estudios doctorales sobre “filosofía natural”, ingeniería y

matemáticas, en la Universidad de Cambridge. Por ello, Gabás [7] nos permite entender a las ecuaciones de Maxwell, como el resultado de un proceso de formación, estudio, reflexión, conceptualización y teorización; que da origen a conocimiento científico sistemático y estructurado, y no un conocimiento somero (i.e. la palabra, designa según la R.A.E. [14], aquello que está elaborado superficialmente, sin tener en cuenta detalles), escueto (la palabra denota según la R.A.E [14], aquello que es simple; sin detalle, sin explicación profunda, general) o construido al vapor, con base a intuiciones exógenas, fundadas en el sentido común. Por lo tanto Gabás aplica, el análisis histórico que permite vislumbrar la existencia de procesos que derivan en conocimiento sistemático, lógico, racional, concatenado, causal; y que podría calificarse de índole científico, por su rigor reflexivo, filosófico y empírico, decantado como resultado de un proceso acucioso y gradual.

Entonces, los análisis históricos con relación a la condición formativa de Maxwell [11, 12] y de las relaciones sociales y académicas que abonaron a su formación; permiten aclarar cómo se concatenan los hechos de manera holística, para dar como resultado las ecuaciones que hoy conocemos como el fundamento científico teórico de las telecomunicaciones. Y este proceso implica según Gabás [7] el abordaje factual no solo desde enfoques relativos a la perspectiva sociocultural y personal, también y más importante, con relación a la perspectiva ontológica de los hechos.

III. ASPECTOS RELEVANTES AL CONTEXTO HISTÓRICO-SOCIAL DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

En complemento a lo anterior, históricamente Inglaterra se encontraba en una posición y condición privilegiada, tanto económica como tecnológica. Lo que propició o impulsó el desarrollo intelectual y científico. Muchas de las universidades del Reino Unido, gozaban de prestigio, y alternaban su conocimiento con universidades alemanas (e.g. Cambridge, King's College London & Aberdeen, interactuaban con la universidad de Berlín, Munchen, Hamburgo, Dresden y Gottingen en Alemania). De ahí, que Maxwell [11, 12] pudiese compartir sus avances de la teoría electromagnética con Heinrich Rudolf Hertz, Rudolf Kohlrausch y Wilhelm Weber.

Otro aspecto complementario, fue la consolidación del colonialismo del imperio británico tanto en América como en Oriente. La cantidad de plantaciones de Rhon y caña de azúcar en el Caribe y en la Bahamas; así como en Norteamérica, le permitió a la “West Indies Company” dotar a Inglaterra de los medios económicos para el desarrollo de tecnología material industrial. De igual manera, la “East Indies Company”, contribuyó en oriente a la explotación de plantaciones de algodón, sedas, cerámicas, maderas e índigos en la India y China. Lo cual dotó al Reino Unido del tiempo y capacidades de inversión, para el desarrollo científico e intelectual.

Un ejemplo como resultado de esta condición histórica son las aportaciones de Maxwell [11, 12], de sus predecesores

y sucesores en el Reino Unido del siglo XVIII y XIX, aportaciones a la Física y a la Ciencia, que sentarían las bases de las teorías inherentes a la Mecánica cuántica y la teoría general de la Relatividad, además de las aportaciones a las telecomunicaciones actuales.

Debido a lo anterior, Maxwell aporta su teoría electromagnética; por ejemplo, los aspectos electrostáticos y magnetostáticos entorno a los campos de energía dinámica. Es decir, fuerza o energía en movimiento en diferente intensidad (i.e. velocidad) recorrido inducido-conducido de partículas (i.e. electrones); bajo la influencia de polarizaciones de fuerzas, que generan circuitos y trabajo a distancia, como tiempo para recorrer un espacio en un medio determinado (e.g. medio material o al vacío).

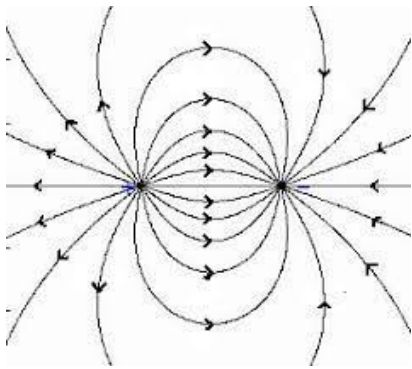


FIGURA 3. Se muestran líneas de campo eléctrico en trayectorias circulares polarizadas; tomado de Gabás [7].

Maxwell [11, 12], alude a la fuerza necesaria para vencer una resistencia al movimiento (e.g. inducido, conducido) consecuente. Para Maxwell, las fuerzas modifican los estados de las partículas que constituyen la materia. Esas partículas se pueden mantener en movimiento de vórtices constante, a partir de un polo magnético de fuerza; en un estado de estática o bien partículas en movimiento polarizado en corriente inducida y conducida.

Además, de que estas partículas (i.e. electrones) sufren distorsiones, porque tanto ellas como el medio en el que se mueven son elásticos. Encontrando una dicotomía de fuerzas: a) electrostáticas & b) electromagnéticas. Donde la naturaleza de cada partícula está definida por su carga, como elemento aunado a las condiciones del medio (i.e. velocidad, tiempo, fuerzas de polarización); son aspectos que determinan la condición o estado elástico electrostático o electromagnético. Incluso, Maxwell asociaba la naturaleza de las partículas con la naturaleza y comportamiento de la luz y su movimiento y velocidad. Los vórtices también describen líneas de fuerza (i.e. campos) electromagnéticas; según Faraday [4, 5] y Maxwell [11, 12] -siglo XIX:1839-1856-.

También Maxwell plantea la existencia de diferencias entre intensidad y densidad, al provocar corriente inducida de partículas. Es importante considerar también la ley de la inversa del cuadrado de la distancia entre las partículas y los polos generadores de fuerza electromagnética (i.e. Ley de Charles Augustin de Coulomb, Siglo XVIII). Además de que la naturaleza de las partículas al moverse es de forma ondular

o de ondas transversales a la dirección de las líneas de fuerzas longitudinales inducidas por los polos magnéticos -aspecto similar al experimento de la doble rendija realizado por Thomas Young, año 1800; cfr. infra. figura 6-. Donde la unidad de intensidad de corriente eléctrica está en función de la unidad de fuerza magnética por unidad de longitud. Y a partir de la unidad de intensidad por unidad de tiempo, Maxwell [11, 12] definía la unidad electrodinámica de medición de carga continua en un medio conductor con baja resistencia.

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que a pesar de que el presente trabajo no pretende ser un análisis exhaustivo entorno a la historia como recurso didáctico, si se procura demostrar haciendo uso de descripciones y relatorías de hechos del pasado; que los sucesos, en especial aquellos relacionados con el planteamiento de principios de teorías, que después se convertirán en conocimiento científico probado y transformado en tecnología; son resultado de procesos graduales de hechos, con naturaleza no solo intelectual y científica, también como acontecimientos socio culturales (cfr. supra., pg. 2, col. 1, párr. 3, simile includit comment) que influyen en gran manera en la gestación y consolidación del conocimiento científico y sus postulados teóricos. La vida de investigadores, como hombres de ciencia, y el contexto público y privado en el que se desarrollaron, otorga sentido al cómo se gestaron las aportaciones que realizaron; y que empezaron como principios conceptuales que se transformarían en corpus teóricos lo suficientemente bien racionalizados y sistematizados, como para ser confrontados con la realidad, a través de experimentos seriamente diseñados. Al grado de probar la verosimilitud de las hipótesis planteadas, para así aportar al sistema de conocimientos que denominamos Ciencia.

Por tanto, específicamente en lo relacionado a la teoría electromagnética, se planteó la importancia del análisis histórico como catalizador de sentido de todos los hechos, tanto científicos como seculares. De tal manera, aquellos estudiosos de las teorías físicas; no solo aprendan pasos numéricos y lenguaje formal proveniente de un contexto desconocido. Ya que las teorías del conocimiento apuntan a que este se construya y se descubra; y que este no solo sea producto de imitación, memorización y repetición de procedimientos formales que se convierten tan solo en conocimiento sin sentido epistemológico (i.e. rama filosófica que cuya indagación se centra en los fundamentos, límites, métodos y validez del conocimiento científico; cfr. Ferrater [6]) y ontológico (i.e. rama filosófica que estudia el ser, sus categorías y propiedades; cfr. Ferrater [6]); el cual resulta insuficiente para la profunda comprensión y para la eficaz aplicación en contextos reales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional

unidad Legaria, por los apoyos brindados en términos de formación metodológica descriptiva, analítica y normativa.

REFERENCIAS

[1] Aizpuru, M. & Rivera, A., *Historia social del trabajo* (Siglo XXI ed., México, 1994).
 [2] Burke, P., *¿Qué es la historia?* (Traducción: Hermida, L.P. 2006, editorial Paidós, Barcelona, España, 2004).
 [3] Coulomb, C., *Colección de memorias relativas a la física* (publicadas por la Sociedad francesa de física & Gauthier Villars, París, Francia, 1884).
 [4] Faraday, M., *Fuerzas de la materia e historia química de la vela* (Emecé ed., Buenos Aires, Argentina, 1845/1974).
 [5] Faraday, M. en Berkson, W., *Las teorías de los campos de fuerza: desde Faraday hasta Einstein* (Alianza editorial, Madrid, España, 1855/1985).
 [6] Ferrater Mora, J., *Diccionario de filosofía*, (Ariel ed., Barcelona, España, 1994).
 [7] Gabás, J., *Maxwell: la teoría electromagnética de la luz*, (Arbor editores, Universitat de Lleida, España, 2015).
<http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5004>
 [8] Hertz, H., *Sobre la inducción en esferas giratorias/Ueber die induction in rotirenden kugeln*, (Arbor editores, Berlín, Alemania, 1880).
 [9] Hertz, H., *Los principios de la mecánica presentados en un nuevo contexto/Die principien der Mechanik in neuem zusammenhange dargestellt*, (Leipzig, Alemania, 1894).
 [10] Kubler, G., *La configuración del tiempo*, (New Haven Connecticut, Yale University Press, traducción: Luján, J. 1988, Nerea editores, Barcelona, España, 1977).
 [11] Maxwell, J., *Una teoría dinámica del campo electromagnético*, (Tratados filosóficos para la Sociedad real de Física de Londres, Inglaterra, 1865).
 [12] Maxwell, J., *Tratado de electricidad y magnetismo*, (Oxford University Press., Inglaterra, 1873).
 [13] Moliner, M., *Diccionario del uso del español*, (RBA Gredos ed., Madrid, España, 2000).
 [14] R.A.E, *Real academia española–A.S.A.L.E, Asociación de academias de la lengua española* (España, 2022).

ANEXO DE FIGURAS COMPLEMENTARIAS

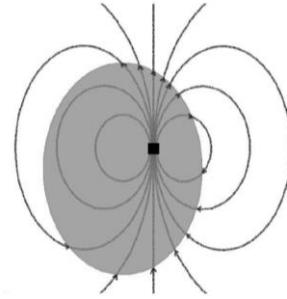


FIGURA 4. Se muestra esquema de la ley de Gauss con relación al fenómeno del flujo magnético; tomado de Gabás [7].

Forma integral	Forma diferencial
$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (1)
$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$ (2)
$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$ (3)
$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(\int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \right)$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right)$ (4)
\vec{B} = intensidad de campo magnético	μ_0 = permeabilidad magnética en el vacío
\vec{J} = densidad de corriente	ϵ_0 = permitividad eléctrica en el vacío
\vec{E} = intensidad de campo eléctrico	q = carga
$\nabla \equiv \hat{i} \frac{d}{dx} + \hat{j} \frac{d}{dy} + \hat{k} \frac{d}{dz}$	ρ = densidad de carga

FIGURA 5. Se muestran las ecuaciones de Maxwell respecto al fenómeno del campo electromagnético; representadas en dos tipologías formales: por integrales y por diferenciales; tomado de Gabás [7].

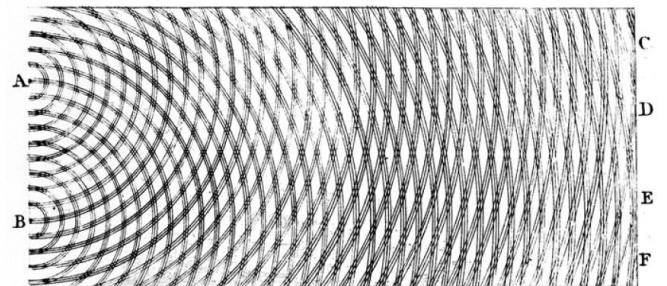


FIGURA 6. Se muestra esquema del experimento de la doble rendija de Young, como representación analógica del comportamiento eléctrico ante campos magnéticos, en formas ondulatorias, con vórtices y puntos de inflexión múltiples; cfr. supra. pg. 4, col. 2, párr. 1; tomado de Gabás [7].