

El legado científico de James Clerk Maxwell: una síntesis

The scientific legacy of James Clerk Maxwell: una síntesis

Thalía Pérez Ramos

thaliapezr@gmail.com
Universidad de Matanzas Camilo
Cienfuegos, Facultad de Ciencias
Empresariales - Matanzas, Cuba

Layden Romero Blanco

laydenromeroblanco@gmail.com
Universidad de Matanzas Camilo
Cienfuegos, Facultad de Ciencias
Empresariales - Matanzas, Cuba

Iván Alejandro Nuñez de los Santos

ivannzsantos@outlook.es
Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Facultad de
Ciencias Agropecuarias - Matanzas, Cuba

Giovel Peralta Díaz

giovelp.mtz@gmail.com
Universidad de Matanzas Camilo
Cienfuegos, Facultad de Ciencias
Técnicas - Matanzas, Cuba

RESUMEN

James Clerk Maxwell es considerado un célebre matemático-físico que fue capaz de poseer y brindar un gran número de experimentos, ecuaciones e ideologías en un marco teórico del electromagnetismo; estas ecuaciones unifican los campos eléctricos y magnéticos y demuestran que la luz es una onda electromagnética. Estas ecuaciones también son la unificación de las leyes anteriores de Gauss, Ampere, Faraday y Coulomb, incorporando las nuevas conceptualizaciones de corriente de desplazamiento y de un campo definido. Estas ecuaciones son su logro más emblemático e importante para la comprensión del electromagnetismo. Además, colaboro con la visualización de las fotografías a color empleando filtros de varios colores principalmente azul, verde y rojo; comprobó que entre la temperatura absoluta y la viscosidad que tiene un gas existe una estrecha relación. El desarrollo tecnológico alcanzado en la actualidad se debe en gran medida a que gracias a sus descubrimientos se abrieron nuevos senderos en la física, que todavía se siguen transitando. Es recomendable investigar un poco más sobre tan destacado científico, porque en la actualidad se pueden poner en práctica parte de sus aportes que han abierto nuevas puertas en el desarrollo tecnológico y nuevos temas de investigación para futuros estudiantes, científicos y todo aquel interesado en el tema.

Keywords: ecuaciones de Maxwell, ondas electromagnéticas y corriente de desplazamiento.

ABSTRACT

James Clerk Maxwell is considered a famous mathematician-physicist who was able to possess and provide a large number of experiments, equations and ideologies in a theoretical framework of electromagnetism; these equations unify the electric and magnetic fields, and show that light is an electromagnetic wave. These equations are also the unification of the previous laws of Gauss, Ampere, Faraday and Coulomb, incorporating the new conceptualizations of displacement current and of a defined field. These equations are his most emblematic and important achievement for the understanding of electromagnetism. In addition, I collaborate with the visualization of color photographs using filters of various colors, mainly blue, green and red; found that there is a close relationship between the absolute temperature and the viscosity of a gas. The technological development achieved today is a largely due to the fact that, thanks to his discoveries, new paths were opened in physics, which are still being traveled. It is advisable to investigate a little more about such an outstanding scientist, because at present part of his contributions can be put into practice, which have opened new doors in technological development and new research topics for future students, scientists and anyone interested in the subject.

Palabras clave: Maxwell's equation, electromagnetic waves and displacement current.

INTRODUCCIÓN

Muchas veces olvidamos a los grandes físicos del pasado y sus aportes, se pretende corregir este hecho es por eso que se hablara sobre: James Clerk Maxwell, también conocido como el padre del electromagnetismo, hombre tímido curioso de conocimiento, religioso y de una gran inteligencia que lo catapultaron a ser considerado por el mundo erudito como el científico del siglo XIX con más influencia en el siglo XX.

Nació en Edimburgo, Escocia; el 13 de junio de 1831, poco después se trasladaron a la finca familiar *Middleby* donde paso sus primeros años de vida, en el seno de una familia de clase media perteneciente a la nobleza de dicho territorio, su tío era el sexto barón de Clerk de *Penicuik*. Se desarrolló como único hijo de John Clerk Maxwell y Frances Cay. Su padre se dedicó a la abogacía y después paso a encargarse de la administración de sus propiedades y su madre de origen francés, hija de un reconocido juez naval, no lo acompañó en su desarrollo mucho tiempo pues falleció cuando James tenía apenas 8 años, a causa de un cáncer abdominal, padecimiento que sin imaginarlo terminaría con su vida muchos años después.

John fue un hombre ávido de conocimientos, por lo que inculco en su hijo la misma hambre, dado que se convirtió en el educador, maestro y más fiel y leal amigo de su hijo; cultivando de esta forma un lazo inquebrantable. Lo guio por el camino de la naturaleza y las ciencias, ya que era lo que quería que su hijo estudiara. Cuando llego el verdadero momento de estudiar comenzó a tomar las primeras lecciones en casa, no le gustaban los fuertes métodos de educación que usaba su joven maestro, que no lo lograba motivar.

Desde temprana edad demostró ser muy hábil, inquieto y con gran agilidad mental, ante semejante inteligencia su tía Jane Cay decide tomar la responsabilidad de su educación básica, inscribiéndolo en la *Edimburg Academy* ya para el año 1841, que regresa a Edimburgo. Su desempeño fue ejemplar en las áreas de la física y las matemáticas, pero demostró un mayor interés en el área de la geometría, disciplina sobre la cual se basó su primer trabajo científico publicado en *Proceedings* y dado a conocer en una reunión de la Royal Society, cuando solo tenía 14 años, basado en una manera fácil de trazar siluetas ovaladas. En 1846 recibió la medalla al mérito en matemática. También gano disímiles concursos de poesía e inglés. A pesar de su gran intelecto no tenía las mejores relaciones con sus compañeros, pues estos se burlaban de él por su

manera de vestir, ya que su padre era un poco excéntrico en ese aspecto. Cuando llegó el momento de despedirse de su amada escuela compuso el himno de dicha academia, el cual los alumnos cantaron con alegría.

Con apenas 17 años ingresó a la universidad de Edimburgo donde estudio de manera profunda la física, desarrolló una tesis sobre la teoría de la elasticidad, que fue apreciada por los especialistas. En el año 1850 paso a la universidad de Cambridge donde cautivo a todos con su gran capacidad para resolver problemas vinculados a la física, cuatro años después se graduó. Debido a sus capacidades e intelecto deslumbró y despertó todo tipo de interés hacia él, por esta causa el prestigioso *Trinity College de Cambridge* lo convirtió en miembro, durante este trayecto experimento con la teoría color, pasando a ser la sucesora de la de Jung y la de los tres colores primarios de *Helmholtz*.; para llevar a cabo dicho experimento empleo el conocido disco de Maxwell, que no es más que una tapa especial dividida en partes pintadas de distintos colores. Los colores se mezclaron debido a la rápida rotación: si el disco fue pintado de acorde a como se ubican los colores del espectro, parecía blanco; si la mitad fue pintada de rojo y otra de amarillo, parecía naranja; cuando se mezcló el azul y el amarillo que eran los otros colores presentes en la tapa, daban la impresión de verde. Además, el Trinity también le ofreció una plaza para él, la cual se vio obligado a rechazar debido a una grave enfermedad que estaba padeciendo su padre.

Uno de sus trabajos más significativos fue en 1855 " Sobre las líneas de líneas de Faraday" por el cual Boltzmann dijo que tenía un profundo pensamiento y que cada vez se acercaba más a ser un científico, ya que no solo entendía la naturaleza, sino que estaba contribuyendo a sentar bases a la física teórica. En este trabajo maxwell recogió todas las tendencias en la evolución de la física para las próximas décadas.

A pesar de las incansables atenciones a su padre, este fallece lamentablemente en 1856, en este mismo año fue miembro electo de la *Royal Society Edinburgh*. Poco después de su pérdida fue selecto como profesor de Filosofía Natural en el *Marischal College* de Aberdeen.

En 1857, se anunció un concurso para el mejor trabajo sobre la estabilidad de los anillos de Saturno, por parte de la Universidad de Cambridge, resultando su trabajo el ganador y recibió el premio J. Adams. El primer conocimiento que se tuvo de estas formaciones, que representaban un singular enigma de la naturaleza, fue revelado por Galileo en inicio del siglo XVII, planteando que el planeta aparentemente era encerrado por tres anillos concéntricos, constituidos de una sustancia desconocida. Posteriormente se probó que no eran sólidos, aporte echo por Laplace. Maxwell hizo un análisis matemático y luego patentizo que no pudieran ser líquidos y concluyo que consiste en una multitud de meteoritos desconectados, siendo la manera de concebir una estructura estable. Esta estabilidad está respaldada por el desplazamiento conjunto del planeta y los meteoritos y su atracción por Saturno.

El *Marischal College* no solo le facilito la oportunidad de engrandecer sus conocimientos intelectuales, sino que le puso en el camino a la que sería su esposa Katherine Mary Dewar, hija del director de la universidad. Se conoce que esta tenía un gran interés por la física y reiteradamente lo asistía en el laboratorio.

La primera vez que se conocieron Katherine tenía 30 años y James solo tenía 23, teniendo una diferencia de edad de 7 años respectivamente. Todo se fue dando y floreciendo debido a la amistad entablada entre James y el padre de la muchacha, la que concluyo en visitas frecuentes a casa de la misma, así como frecuentes invitaciones a eventos y reuniones familiares. Anunciaron su compromiso en febrero de 1858 y se casaron en junio del mismo año en la parroquia de *Old Machar* en Aberdeen. Tuvieron un lindo y feliz matrimonio, pero no concibieron hijos.

En 1859 durante una reunión de la Asociación Británica donde expuso parte de su teoría cinética de los gases, dio un informe de la distribución maxwelliana, es decir una distribución por velocidades de moléculas. Su teoría fue la continuación de lo que introdujo una vez R. Clausius, maxwell tomo como inicio que un gas es una combinación de muchas bolas elásticas idóneamente moviéndose irregularmente en un espacio cerrado. Las bolas son separadas en grupos de acuerdo a sus velocidades, pero en estado estacionario permanece igual el número de moléculas por grupo ya sea porque entren o salgan de un grupo hacia otro.

El departamento donde trabajaba fue cerrado, por lo se vio obligado a buscar un nuevo trabajo y lo encontró al trasladarse a Londres, en la universidad de Londres *King's College* como jefe del departamento de física y astronomía; ocupando este puesto por 5 años (1860-1865).

En ese mismo periodo creo la teoría del campo electromagnético, explicando las básicas leyes del fenómeno electromagnético, a través de un sistema de ecuaciones denominadas con su propio apellido donde: la primera ecuación era la de inducción electromagnética de Faraday, la segunda fue sobre el concepto de corrientes de desplazamiento descubierto por el mismo, la tercera sobre la ley de conservación de la cantidad de electricidad y la cuarta la naturaleza de vórtice del campo magnético. En continuidad de sus planteamientos, concluyó que ante cualquiera que sea el cambio en los campos magnéticos y eléctricos habrá variaciones en las líneas de fuerza, o lo que es lo mismo, que debe haber ondas propagándose en el medio. Estas ondas se moverán con una rapidez que dependerá de la permeabilidad dieléctrica y magnética del medio y la relación de la unidad electromagnética a la unidad electrostática, será su idéntica, dicha relación es de 3×10^{10} cm/s,

siendo muy cercana a la velocidad de la luz. Maxwell impresionado con su descubrimiento llamo a Faraday y le explico tan importante hallazgo, el cual era: que la luz es una perturbación electromagnética que se mueve en un medio no conductor, constituyendo de esta forma una onda electromagnética. La investigación detallada sobre este último planteamiento lo llevo a cabo algunos años después en: Teoría dinámica del campo electromagnético (Tratado de electricidad y magnetismo, 1864) y la culminación de toda su investigación muchos años más tarde (1873).

En el año 1860 salió a circulación un documento de su autoría llamado: "Ilustraciones de la teoría dinámica de los gases", el cual fue el precedente a la distribución de Maxwell-Boltzman para velocidades de un gas. Este mismo año fue galardonado con la medalla *Rumford* por Royal Society.

Durante su estancia en Londres en este periodo fue muy fructífero y lucrativo para el cómo científico ya que gracias a su trabajo de percepción de color y óptica le entregaron la medalla *Rumford*, en este mismo año (1860) publicó el gran artículo "Explicaciones de la teoría cinética de los gases" en la fundamental revista sobre física de Londres, *Philosophical Journal*; realizado con dicha publicación un gran aporte a la física estadística, que llevo a considerarlo junto a Boltzman y Gibbs los fundadores de dicha rama. También fue nombrado como miembro a la *Royal Society* (1861).

Posteriormente trabajo arduamente en la principal obra de su vida, mencionada anteriormente: "Tratado sobre electricidad y magnetismo", también escribió el libro "Teoría del calor",

Antes de comenzar el semestre de otoño en Londres (verano de 1860), los esposos Maxwell regresaron a descansar en Glenlair, en la finca familiar, debido a que la agitada vida en Londres no fue buena para la salud de Maxwell. Sin embargo, el descanso no fue el suficiente ni satisfactorio para Maxwell ya que no recupero fuerzas, y cayó enfermo de gravedad por viruela.

Este científico dedico su vida a las investigaciones en especial al fenómeno electromagnético, sobre el cual se basan sus cuatro famosas ecuaciones. Estas ecuaciones y lo que con ellas expuso son su mayor legado, pero hizo muchísimas más contribuciones por eso este artículo tiene como objetivo: argumentar los aportes y el testimonio que dejo Maxwell para futuros investigadores.

Se conoce poco de la vida de tan importante físico como lo fue Maxwell, quien fue un hombre muy modesto y tímido que no llevaba diario ni nada parecido. Solo abandono a las ciencias por su fatídica muerte, el 5 de noviembre de 1879 en Cambridge, Reino Unido; a consecuencias de un cáncer abdominal, antes de ver la confirmación experimental de su teoría electromagnética 8 años después. Solo la muerte fue capaz de separarlo totalmente de las ciencias y la investigación. siendo una gran pérdida para la física, pues quizás hubiese ofrecido mucho más.

MÉTODOS

Con los experimentos vida y obra de Maxwell se realiza una síntesis para que sea fácilmente comprendido por cualquier lector el tema. En este artículo se explicaron los aportes más trascendentales hechos por el a las ciencias como las ecuaciones que desarrolló, siendo de vital importancia para los estudiosos del electromagnetismo y las ciencias.

RESULTADOS

A pesar de los impedimentos Maxwell saco a la luz dos obras muy importantes en su estudio sobre el electromagnetismo, estas son: "Sobre líneas físicas de fuerza" (1861-1862) y (1864-1865) "Teoría dinámica del campo electromagnético".

Muy cercano a estos años comenzó el estudio en el campo de las mediciones eléctricas, prestando especial atención al sistema racional de unidades eléctricas, debido a su anterior hallazgo de la luz como onda electromagnética que baso en la coincidencia de las unidades de ambos campos que lo componen al electromagnético con la velocidad de la luz.

Se ganó a pulso y sin lugar a dudas un puesto como miembro activo de la Comisión de Unidades de la Asociación Británica. A partir de aquí dedico gran parte de su tiempo en el pasar de los años al estudio de dicho campo ya que sabía la relación tan estrecha que había entre la ciencia y la tecnología, y su importancia para el desarrollo de ambas.

Ya totalmente recuperado fue impostergable su dimisión de la cátedra y regresar a su finca en Glengair cerca de Edimburgo, a finales de 1865, donde estuvo descansando por un periodo de cinco años, es decir hasta 1871; pero a pesar de esto no dejo de estar vinculado con la ciencia muestra de eso es que en 1866 enuncio la distribución de velocidades de las moléculas de gas ideal, más tarde nombrada con su nombre; además explico la naturaleza estadística de la segunda ley de la termodinámica en 1867.

Para realizarse exámenes esporádicamente viajaba hacia Cambridge y solo realizo un viaje largo a Italia, por indicaciones de los médicos en 1867. Publico el libro Teoría del Calor en 1871 con el fin de dar a conocer la secuencia en que se desarrolló la doctrina de calor. Al poco tiempo se devolvió a Cambridge por una propuesta que recibió para asumir la dirección y enseñar como profesor de la cátedra de física experimental, oficialmente el 8 de marzo de 1871. En memoria a

quien fue un gran compañero y científico, Michael Faraday, redactó el Tratado enciclopédico sobre la Electricidad y Magnetismo en 1873.

También posteriormente se le fue asignada la tarea de velar, dirigir y encargarse del equipamiento de un nuevo laboratorio en la Universidad de Cambridge, que sería inaugurado el 16 de junio de 1874 y fue nombrado Cavendish. Este laboratorio sería el primero de su tipo en Inglaterra y estaría bajo su mando.

Después de la apertura de dicho laboratorio dejó a un lado su carrera como educador y se dedicó completamente a enriquecer aún más sus conocimientos en el ámbito académico de la investigación.

Aun siendo profesor en 1873, publicó el libro *Materia y Movimiento* que trataba sobre los fundamentos de la mecánica. Este mismo año también publicó en dos partes la que sería su obra maestra y cúspide de sus investigaciones: *Tratado sobre electricidad y magnetismo* en la cual integro los resultados de 19 años de investigación sobre el electromagnetismo que iniciaron en 1854 y terminaron el 1 de febrero de 1873 cuando dio a conocer el prefacio de dicha obra. En dicho prefacio se argumenta el objetivo de su obra era explicar el más importante fenómeno electromagnético. Dice también que en la medida de lo posible se relacionara la explicación matemática de la teoría expuesta y la dinámica general de la definición de esas leyes que ilustran y explican el fenómeno electromagnético.

Maxwell trabajó sobre la base del conocimiento sobre magnetismo y electricidad que había hasta ese momento, desde lo más básico hasta la teoría electromagnética de la luz creada por él. Este nunca negó las teorías predominantes hasta ese entonces, pero no dejó de exponer como equivalente a dichas teorías el concepto de Faraday. Su libro era tan revolucionario e innovador que sus colegas se negaban a comprender verdaderamente el libro.

Desde un principio Maxwell logró escoger a los cuatro fenómenos clásicos tomados como postulados del electromagnetismo y con ellos supo confeccionar un modelo que sería el único en explicar en su mayor parte a los efectos físicos que ocurren, así como anunciar la existencia de otros que en ese momento eran ignorados.

Es de considerar que en este aspecto de la rama de la física se avanzaron con temas como la Teoría de la Relatividad Especial la cual está presente en las ecuaciones que Maxwell llevó a cabo para concluir con las innovaciones entre sistemas inerciales que había planteado Lorentz.

FUNDAMENTOS DE LAS ECUACIONES DE MAXWELL:

1 – Ley de Faraday sobre la fuerza electromotriz inducida:

Esta ley le permitió descubrir a Faraday la variabilidad en tiempo y relación que existe entre el campo magnético y el eléctrico, el cual consistía introducir un imán en un cartón que se encontrara enrollado por un alambre de cobre con un gran campo eléctrico proporcionaba el movimiento de este al acumularse junto con las cargas del electroscopio.

La representación matemática de la ley de Faraday sobre la fuerza electromotriz inducida es:

(Donde se encuentra el primer término de la ecuación es la circulación del campo eléctrico y el segundo la variación transitoria del movimiento del imán, la C es el giro del alambre de cobre).

$$\oint_C \vec{E} \times d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \times d\vec{\sigma}$$

2 - Ley de Gauss-Faraday sobre inducción eléctrica:

Los descubrimientos de Faraday revelaban que sobre un recipiente conductor neutro que se encontrara contenido tuviese una carga Q sin crear relación con otro cuerpo que al igual que él estuviese cargado mediante el fenómeno de inducción electromagnética las superficies de este se cargarían con signos contrarios uno del otro.

Es sorprendente el hecho de que la magnitud de la carga aislada y la carga inducida tengan el mismo valor al igual que los cuerpos de conductores que se encuentren en reposo su valor será neutro y no contará con campo eléctrico, lo que significa que, aunque exista presencia de otra carga esta también se verá anulada, es lo que conocemos como apantallamiento.

Esta expresión utiliza como flujo del campo de inducción electromagnética a D cuyo valor en cualquier lugar del espacio simbolizara la densidad de esa carga inducida.

$$\oiint_{\Sigma} \vec{D} \times d\vec{\sigma} = \iiint_V \rho \times dV$$

3 – La ley de Ampere:

En 1820 Oersted de eventualidad en una clase que le proveía descubrió de donde se originaba la corriente eléctrica, la cual proviene producto a un campo magnético que se origina ver. Al día de hoy se sabe que estas no son efecto ni causa debido a que surgen con el movimiento de cargas. Puntualmente la ley de Ampere es válida para corrientes constantes y se enuncia como:

$$\oint_C \vec{H} \times d\vec{s} = I$$

Precisamente esta ley logra ser indicada utilizando una relación entre la corriente y el vector densidad donde S es la parte por la cual se transita corriente en cuanto al C de Ampere que se encarga de cerrar a esta para crear fuera del conductor un vector J nulo el cual no dependerá del tiempo si este es estacionario.

$$I = \iint_S \vec{J} \times d\vec{\sigma}$$

$$\oint_C \vec{H} \times d\vec{s} = \iint_S \vec{J} \times d\vec{\sigma}$$

4 – No existencia de monopolos magnéticos:

En estos momentos todavía no ha sido posible demostrar la existencia de polos magnéticos aislados, siempre que un imán sea dividido va a existir un norte y un sur.

ECUACIONES DE MAXWELL

Por saberes fáciles se verá la manera en que transformó Heaviside:

-Teorema de Gauss:

$$\oiint_{\Sigma} \vec{A} \times d\vec{\sigma} = \iiint_V \nabla \times \vec{A} \times dV$$

-Teorema de Stokes:

$$\oint_C \vec{A} \times d\vec{s} = \iint_S \nabla \times \vec{A} \times d\vec{\sigma}$$

Lo complicado de estos dos teoremas es el cambio de dimensiones que experimentan cada una, la de Gauss pasa de una que tiene dos dimensiones en una superficie a otra que son tres dimensiones y la de Stokes de una dimensión a dos dimensiones.

1 -Mediante la Ley de Faraday con una fuerza electromotriz inducida la primera ecuacion de Maxwell se define como:

$$\oint_C \vec{E} \times d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \times d\vec{\sigma}$$

Utilizando el Teorema de Stokes:

$$\iint_{\Sigma} \nabla \times \vec{E} \times d\vec{\sigma} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \times d\vec{\sigma}$$

En el caso de no depender del tiempo quedará:

$$\iint_{\Sigma} \nabla \times \vec{E} \times d\vec{\sigma} = -\iint_{\Sigma} \frac{d}{dt} \vec{B} \times d\vec{\sigma}$$

$$\frac{d}{dt} \vec{B} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial x} \times \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial y} \times \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial z} \times \frac{dz}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

En este momento se pueden igualar los integrandos considerando que los puntos deben estar en reposo absoluto de ahí la primera ecuación de Maxwell.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

La siguiente ecuación emplea que en un punto pueden compenetrarse E y B.

2 – Mediante la Ley de Gauss – Faraday con una inducción eléctrica se aplica la segunda ecuación de Maxwell:

$$\oiint_D \vec{D} \times d\vec{\sigma} = \iiint_V \rho \times dV$$

Empleando el teorema de Gauss da:

$$\iiint_V \nabla \times \vec{D} \times dV = \iiint_V \rho \times dV$$

Dado que las integrales tienen el mismo recinto de integración son igualados y de ahí se obtiene la segunda ecuación de Maxwell:

$$\nabla \times \vec{D} = \rho$$

3 -Con la Ley de Ampere se obtiene la tercera ecuacion de Maxwell:

$$\oint_C \vec{H} \times d\vec{s} = \iint_S \vec{j} \times d\vec{\sigma}$$

Aplicando el teorema de Stokes:

$$\iint_{\Sigma} \nabla \times \vec{H} \times d\vec{\sigma} = \iint_{\Sigma} \vec{j} \times d\vec{\sigma}$$

Como las integrales poseen el mismo espacio a la hora de integrar se adquiere la ley e Ampere microscópica constante.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j}$$

4 – Cuarta ecuación de Maxwell:

Cuando es considerado que las líneas de fuerza del campo B son cerradas automáticamente se conoce que este campo no cuenta con fuentes ni sumideros, lo que trae que sus discrepancias sean nulas.

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

Estas cuatro ecuaciones descritas por Heaviside se estiman a ser lo Principios de la Teoría Electromagnética, dichas no tienen demostración teórica:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

Estas ecuaciones son únicamente utilizadas para puntos en reposo en sistema inerciales.

SOLUCIÓN FORMAL DE LAS ECUACIONES DE MAXWELL:

Estas ecuaciones restantes son las que nos permiten dar una posible solución a las ecuaciones de Maxwell, las mismas son denominadas como ecuaciones constitutivas, donde:

ϵ es constante dielectrica

μ permeabilidad magnética

\aleph conductividad eléctrica

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{j} = \aleph \vec{E}$$

LA HIPÓTESIS DE MAXWELL Y LA EXISTENCIA DE ONDAS:

La inicial ecuación de Maxwell, es verificada en todos los puntos del espacio en reposo.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

La derivada estacional del campo magnético B debe hallarse definida en el espacio temporal de la función que a su vez existirá en él un campo eléctrico con las mismas características del magnético, que deduce que el campo B se altera transitoriamente en el punto P y el campo E lo hace, pero en su entorno espacial.

Es este proceso el que proporciona que exista una hipótesis en la tercera ecuación de Maxwell, de aquí se profetiza la existencia de las ondas que son autónomos a la materia.

EL NACIMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS:

Cuando se cuenta con que no existe materia ni cargas se toman concedidas las ecuaciones de Maxwell para asociar que los campos y sus fuentes son inexistentes.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \times \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \nabla \times (\nabla \times \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$$

$$\nabla^2 \times \vec{B} = \mu_0 \times \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Los campos E y B se generalizan, según el análisis de la Hipótesis de Maxwell, demostrando que el campo electromagnético en forma de onda tiene su propia coexistencia e independiente de la materia. Ilustraciones evolucionadas como el Teorema de *Poynting* señalan como es que una onda no es capaz de violar los principios universales y tener energía y movimiento.

Es evidente que Maxwell abrió las puertas a la física del siglo xx. Sin lugar a dudas, la obra de Maxwell sobre electromagnetismo fue majestuosa y extensa, sin embargo, tuvo ciertas limitaciones, como fue el intento de conciliar la mecánica de Newton con su electromagnetismo, problema que finalmente fue resuelto por Einstein en 1905 con su teoría de la relatividad especial.

En 1874 empieza a estudiar el legado de Henry Cavendish y preparar lo que se convertiría en el tema de su próximo artículo a publicar, donde quedo claro que este último descubrió la influencia de un dieléctrico en la magnitud de la capacidad eléctrica, antes que Faraday y años antes de que Coulomb planteara la ley de las interacciones eléctricas.

Los últimos años de su vida lo dedico al desarrollo de un trabajo, que se publicó en dos partes, en octubre de 1879, bajo el título: Artículos sobre electricidad del Honorable Henry Cavendish; último que publico antes de caer gravemente enfermo y fallecer.

CONCLUSIONES

- Maxwell fue un hombre de pensamientos revolucionarios, al cual nada lo detuvo en engrandecer sus conocimientos y sabiduría, se antepuso a las dolencias y legó un avance inmenso que en la actualidad es indispensable para muchos equipos tecnológicos que empleamos en el día a día. A pesar de su grandeza fue un hombre humilde del que se sabe poco, pero debería conocerse mucho.
- Fueron multitudinarias las contribuciones hechas por Maxwell, una de ellas fue demostrar mediante formularios matemáticos los planteamientos autodidácticos de Faraday con respecto al electromagnetismo, así como lograr explicar la teoría de los fluidos magnéticos y eléctricos, los cuales fueron combinados con la teoría de la luz; que conforman la tan conocida síntesis de Maxwell, donde se unifican las fuerzas físicas para ser mejor comprendidas por científicos posteriores.
- Esta inigualable figura física también predijo la existencia de las ondas electromagnéticas, expresando que la luz era una de ellas.
- Consiguió la relación entre la raíz cuadrada de la permisividad eléctrica y el índice de refracción de un contorno concluyendo que las ondas electromagnéticas tenían carácter transversal.
- La teoría de la relatividad especial es recogida por las ecuaciones de Maxwell, cumpliéndose en totalidad en los sistemas inerciales con rigurosidad; que llevan a la suposición de las Transformaciones de Lorentz.

REFERENCIAS

- Arambulo Almendariz, C. D., & Carrera Almendáriz, L. S. (2021). Técnicas experimentales para caracterizar materiales fotoconductores. *ConcienciaDigital*, 4(3), 196-210.
- Beléndez, A. (2016). Mi clásico favorito James Clerk Maxwell. *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*.
- Beléndez Vázquez, A. (2018). James Clerk Maxwell: vida, ciencia y enseñanza. *Real Sociedad Española de Física*.
- Cachón Guillen, V. (2013). Las analogías en la formulación de la teoría electromagnética de la luz de Maxwell. *SciELO*.
- Fernández, H. A. (2019). Ecuaciones de Maxwell.
- Galarza Galarza, C., Mayorga Ases, M. J., H. D., & Mayorga Ases, L. A. (2021). Matemática y física: Una mirada a la especialidad en la educación. *ConcienciaDigital*, 4(3.2), 48-65.
- Gómez-Esteban González, P. (2012). Las ecuaciones de Maxwell. *Guao.org*.
- Íñiguez de la Torre Bayo, J. I. (2015). Sesquicentenario de las ecuaciones de Maxwell. *Universidad de Salamanca*.
- Mejía Flórez, L. E. (2004). Capacidades de investigación de ingeniería de pavimentos. *1Library*.
- Rego Pereira, L., Ulloa Felipe, A. B., Pérez Santana, L., & Espinosa Achong, T. (2021). Propagación de onda en una interface. *ConcienciaDigital*, 4(1), 47-64.
- San Román Castillo, E. G., & al., e. (2014). Aplicaciones y Teoría de Ingeniería de Microondas. *Proyecto LATIn*.
- Usca Veloz, R. B., Muyulema Allaica, J. C., & Velastegí Bósques, G. A. (2021). Integrando electricidad, ondas y calor en la enseñanza de la física antes y después del confinamiento por COVID-19. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 405-422.