

# GENIOS DE LA FÍSICA Y LA MATEMÁTICA (OCTAVA PARTE). JAMES CLERK MAXWELL

■ Patricia M. Morones Ramírez\*  
■ J. Rubén Morones Ibarra\*\*

## INTRODUCCIÓN

James Clerk Maxwell fue un distinguido físico y matemático escocés que nació en Edimburgo en 1831 y murió en Cambridge en 1879. A pesar de su corta vida realizó notables contribuciones a la física en campos tan diversos como la termodinámica, la teoría cinética de los gases y el electromagnetismo. Se desempeñó como profesor en la Universidad de Cambridge donde desarrolló sus principales aportaciones a la teoría electromagnética. Realizó también trabajos de investigación de muy alto nivel científico en astrofísica, teoría del color y mecánica estadística.

Su alto nivel de dominio de las matemáticas y sus conocimientos profundos de la física le permitieron desarrollar investigaciones de muy alto nivel en todos los campos donde trabajó. La calidad de las investigaciones que realizó en cada una de las aéreas de la ciencia en las que incursionó hubiera sido suficiente para otorgarle un lugar prestigioso en la historia de la ciencia.

Su obra más destacada es el Tratado sobre Electricidad y Magnetismo donde desarrolló la teoría matemática de los fenómenos electromagnéticos. Probó que la interacción electromagnética se propaga en forma de ondas transversales siendo estas de la misma naturaleza que las ondas luminosas. Con esto logró establecer que la luz es un fenómeno electromagnético. El conjunto de ecuaciones que describen los fenómenos electromagnéticos llevan el nombre de Ecuaciones de Maxwell en su honor, constituyendo su más importante contribución a la física, situándolo en la ciencia a la

altura de Newton y Einstein.

Las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo exhiben una simetría que resalta mostrando una enorme elegancia y perfección. Cuando Ludwig Boltzmann leyó el escrito de Maxwell y encontró las ecuaciones que gobiernan los fenómenos electromagnéticos, impresionado por la belleza de estas, exclamó al estilo de Fausto en la novela de Goethe: “Fue un Dios quien escribió estas líneas”.

Con el desarrollo completo de estas ecuaciones, el electromagnetismo y la luz se pueden estudiar en forma unificada. Debido a la inmensa cantidad de fenómenos que se pueden estudiar con ellas y a las enormes aplicaciones tecnológicas de los fenómenos electromagnéticos, podemos afirmar que Maxwell ha sido uno de los científicos que más ha contribuido al avance de la ciencia y como consecuencia, su trabajo ha tenido gran impacto en las transformaciones que ha sufrido la forma de vida de la humanidad.

## INFANCIA DE MAXWELL

El padre de Maxwell era abogado de profesión, pero se interesaba por la ciencia. Le fascinaban los asuntos relacionados con aparatos mecánicos, con la electricidad y los temas científicos. Regularmente asistía a las reuniones de la Real Sociedad de Edimburgo. Este gusto del padre por la ciencia debe haber tenido una fuerte influencia en la formación de su hijo. El padre le explicaba a Maxwell el funcionamiento de los motores eléctricos y de otros equipos mecánicos con lo que el hijo quedaba fascinado.

Según lo relata su madre, Maxwell se interesó siempre por entender el funcionamiento de las cosas en general. Esta inquietud persistió a lo largo de toda su vida, caracterizando su manera de actuar y definiendo en él una mentalidad analítica y reflexiva. Su frase más común era la pregunta : ¿cómo funciona?, lo cual revelaba su deseo de entender y comprender el mundo.

---

\*Licenciatura y Maestría en Ciencias de los Alimentos por la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Actualmente es Maestra de Matemáticas en la Preparatoria N° 25 de la misma institución.

\*\*Licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas egresado de la UANL. Estudios de Maestría en Física Teórica en la UNAM. Doctorado en Física Nuclear Teórica en la Universidad de Carolina del Sur en Estados Unidos. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UANL. E-mail: rmorones@cfcm.uanl.mx

Desde temprana edad mostró siempre rasgos de ingenio y creatividad matemática. Escribió su primer artículo científico a la edad de quince años. Este artículo versaba sobre las propiedades de las curvas llamadas cónicas. Un resumen de su artículo se publicó en la revista *Proceeding of the Real Society of Edimburgh* en el año de 1846. Posteriormente su artículo fue leído en una reunión de esta Sociedad por un adulto miembro de la misma ya que en esa época no se permitía que un adolescente se dirigiera en una sesión de la misma a los miembros de la Sociedad.

## FORMACIÓN ACADÉMICA

La vida académica de Maxwell fue de gran movilidad si comparamos con los estándares de la época. A los 16 años ingresó a la universidad de Edimburgh en Escocia donde estudió durante tres años y de ahí pasó, a la edad de 19 años a la Universidad de Cambridge donde estudió física y matemáticas. La universidad de Cambridge exigía a los candidatos que solicitaban su ingreso un alto rendimiento académico fue por esto que se preparó adecuadamente. Para ingresar a esta Universidad se requería la aprobación de exámenes muy rigurosos y difíciles que incluían un conocimiento matemático fuerte y originalidad en el razonamiento. En esta institución adquirió una sólida formación teórica que posteriormente le permitió realizar desarrollos matemáticos importantes en el campo de la física. Su primer gran trabajo teórico en la física lo tituló "Sobre la Estabilidad del Movimiento de los Anillos de Saturno". Con este trabajo recibió el reconocimiento de la comunidad científica y además se le otorgó el prestigioso Premio Adams en el año 1857.

Terminados sus estudios en Cambridge a la edad de 25 años, en 1856 consigue un trabajo de profesor en la Universidad de Aberdeen donde permaneció cuatro años. Posteriormente, en 1860 se trasladó a Londres para trabajar como profesor en el King College donde estuvo hasta 1865. Regresó a la finca de sus padres en Glenlair y ahí trabajó intensamente, logrando escribir un trabajo original sobre la teoría del color. Se ocupó también del estudio de la electricidad y el magnetismo donde se gestaron sus ideas fundamentales que desembocaron en la publicación en 1865 de un importante artículo científico titulado *Teoría Dinámica del Campo Electromagnético*. Este trabajo lo había presentado Maxwell un año antes en

la Royal Society of London. Posteriormente, basado en estas investigaciones, en 1873 publicó su obra cumbre en forma de libro titulado *Tratado sobre Electricidad y Magnetismo*.

## PROFESOR EN LA UNIVERSIDAD DE CAMBRIDGE

En el año de 1871 se inició como profesor en la Universidad de Cambridge impartiendo un curso de reciente creación cuyo nombre era Física Experimental. Los temas de este curso se centraban sobre la teoría del calor y de la electricidad y el magnetismo, que en ese tiempo todavía se enseñaban de manera casi independientes una de la otra. Sobra decir que el desempeño del profesor Maxwell fue excelente.

Fue el primero que ocupó la cátedra Cavendish en Cambridge como profesor de física en 1871. Ahí se encargó de diseñar el Laboratorio Cavendish el cual inició sus actividades en 1874. Aún cuando en la



Skeleton portrait of dignified, European gentleman

actualidad se considera a Maxwell el modelo de un físico teórico, en la Universidad de Cambridge diseño y fabricó una gran cantidad de aparatos para realizar experimentos de física. Como ya se mencionó, él mismo fue quien proyectó el Laboratorio Cavendish.

En el diseño de este laboratorio introdujo ideas nuevas, entre otras, preparó un cuarto de laboratorio libre de materiales ferro-magnéticos para realizar experimentos de gran precisión sobre magnetismo. La ley de Coulomb de la dependencia del inverso del cuadrado en electrostática, fue probada en su laboratorio con una gran precisión. El laboratorio se caracterizó por rebasar la precisión que previamente se había logrado en muchos experimentos. Maxwell disfrutaba confirmando que se habían mejorado las mediciones que otros habían logrado en otros laboratorios. En este laboratorio pasó trabajando los últimos ocho años de su vida.

## APORTACIONES A LA TEORÍA DEL COLOR

Se interesó por los fenómenos de la luz y el color desde su niñez debido a la influencia de un primo que se dedicaba a la pintura. En la época de la niñez de Maxwell aparecieron varios juguetes que utilizaban el fenómeno de la persistencia de las imágenes en el cerebro humano por 1/20 de segundo aproximadamente. Este es el efecto que se usa en el cine para dar la impresión de movimiento ya que, una película consiste en una sucesión de imágenes fijas que se pasan a cierta velocidad produciendo el efecto de movimiento. Fascinado con estos juegos de luz y color se entretenía largas horas observando tales fenómenos cuando tenía diez años de edad.

Su curiosidad por entender estos fenómenos lo llevó a estudiar la teoría de Newton sobre la luz y también los experimentos de los famosos físicos que hicieron importantes contribuciones a la óptica, como W. Snell y Thomas Young. Probó que cualquier color puede ser obtenido mediante la combinación de tres colores a los que llamó fundamentales: rojo, verde y amarillo.

Realizó experimentos sobre los efectos en el color de la luz polarizada usando materiales bi-refringentes y se concentró en estudiar la composición de colores de la luz. Diseñó algunos aparatos para mezclar colores obteniendo interesantes resultados. Publicó

varios trabajos sobre este tema y en el año de 1860 recibió la Medalla William Rumford de la Royal Society of London por su contribución al estudio de la visión de los colores. Este reconocimiento le dio prestigio suficiente para ser aceptado como miembro de la Real Society of London el siguiente año.

Una contribución práctica de Maxwell relacionada con la teoría del color que había desarrollado fue la producción de la primera fotografía a color en el año 1861.

## ANILLOS DE SATURNO

Al observar el cielo con un telescopio, llama poderosamente la atención los anillos del planeta Saturno. Un conjunto de anillos vistosos y brillantes girando alrededor del planeta en el plano del ecuador. Desde su descubrimiento por Galileo, los astrónomos y otros científicos se interesaron por explicar su naturaleza y su movimiento partiendo de las leyes de la mecánica de Newton. Se preguntaban si esos anillos que se observan en forma de disco eran sólidos, líquidos o gases. ¿Cómo explicar también que conserven su forma durante el transcurso del tiempo. Es decir, como explicar la estabilidad de estas estructuras.

A Maxwell le fascinó este problema sobre los anillos de Saturno y se puso a analizarlo. Trabajó en él durante más de dos años y encontró que estos anillos no podían ser ni sólidos rígidos ni de naturaleza líquida. Lo que obtuvo en sus cálculos es que estos anillos deberían estar formados por rocas separadas.

En el año de 1859 publicó un voluminoso trabajo de 60 páginas conteniendo desarrollos matemáticos analizando la estabilidad del movimiento de los anillos de Saturno. Puesto que, como ya se mencionó, en ese tiempo nadie conocía ni la estructura ni la naturaleza de los anillos de Saturno el procedimiento que siguió para obtener sus resultados fue el de considerar varios escenarios para estudiarlos.

Supuso que eran sólidos, líquidos o que estaban formados por una gran cantidad de rocas separadas. Supuso también diferentes distribuciones de masa encontrando finalmente que solo un conjunto de rocas separadas podían satisfacer las condiciones de estabilidad que exigen las leyes de Newton. Realizó un trabajo muy completo y tanto su metodología como

el resultado de sus cálculos ha sido fundamental para futuros estudios en problemas astronómicos. Basado en este trabajo, la Universidad de Cambridge publicó un libro de Maxwell sobre los anillos de Saturno en 1859.

Este famoso trabajo de Maxwell ha sido fuente de inspiración para el estudio de muchos problemas en la astronomía. Por este trabajo se le otorgó a Maxwell el Premio Adams en 1857. Este es el premio más importante que otorga la Universidad de Cambridge en el área de las matemáticas.

## DESARROLLO DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.

En el inicio del estudio de los fenómenos eléctricos se tenían un conjunto de observaciones experimentales y lo mismo ocurría en el campo de estudio de los fenómenos magnéticos. En esa época estas dos clases de fenómenos aparentaban ser inconexas. El descubrimiento de Oersted en el año de 1820 de que una corriente eléctrica genera un campo magnético, desencadenó una serie de descubrimientos en el campo de ambos fenómenos,

eléctricos y magnéticos. Se observó que un anillo por el que circula una corriente eléctrica se comporta como un imán y que por lo tanto, dos anillos separados llevando cada uno una corriente eléctrica ejercen fuerzas magnéticas entre sí atrayéndose o rechazándose, de la misma manera como lo hacen dos imanes.

Posteriormente el descubrimiento de nuevos fenómenos como los observados en los experimentos realizados por Faraday proporcionaron más información sobre la relación entre los campos eléctrico y magnético. Los conocimientos de Faraday en matemáticas eran muy escasos y fue por esta razón que no pudo ir más allá que mostrar sus resultados experimentales.

Se realizaron avances tecnológicos mediante el uso de la electricidad y el magnetismo desarrollándose la nueva tecnología de la electricidad que aprovechaba los recién descubiertos fenómenos electromagnéticos. La telegrafía que empleaba alambre para conectar los aparatos transmisor y el receptor para enviar y recibir mensajes, ya se utilizaba desde 1840. Sin embargo faltaba una teoría formal del electromagnetismo, que unificara completamente ambos fenómenos, los eléctricos y los magnéticos.



Los siete vicios

La primera expresión matemática que relacionó a ambos campos fue la hoy conocida como ley de Ampere, que en realidad fue obtenida matemáticamente por Maxwell en 1861. Maxwell, que era un gran matemático y además poseía sólidos conocimientos de física se dedicó a estudiar cuidadosamente los resultados de los experimentos en las aéreas de la electricidad y el magnetismo.

Maxwell pensaba en una simetría entre los campos eléctricos y magnéticos, es decir, que si existen relaciones donde intervenga el campo magnético, debe haber una correspondiente, muy parecida donde intervenga el campo eléctrico. Con esta idea en mente concentró su atención en lo que había descubierto Faraday, que un campo magnético variable con el tiempo producía un campo eléctrico. De acuerdo con sus ideas, se esperaba que un fenómeno correspondiente debería presentarse. Este fenómeno sería que un campo eléctrico variable en el tiempo debería producir un campo magnético.

Maxwell Invirtió ocho años en estudiar estos fenómenos, entre 1865 y 1873 y lo llevaron a plantear una relación matemática precisa para este fenómeno. Para que posteriormente lograra la formulación completa de la teoría electromagnética.

## CONCEPTO DE CAMPO.

La teoría electromagnética desarrollada por Maxwell está expresada en términos de campos eléctricos y magnéticos. Para entender el concepto de campo podemos recurrir a la idea de la fuerza que un cuerpo físico ejerce sobre otro sin necesidad de estar en contacto entre ellos. Por ejemplo, sabemos que el Sol atrae a la Tierra y a todos los planetas y objetos en el sistema solar. Para explicar esto decimos que el Sol posee o genera un campo gravitacional en todo el espacio alrededor de él. Es así como cualquier cuerpo colocado en su vecindad siente esa fuerza gravitacional de atracción, la cual en términos de la física se le atribuye al efecto que produce el campo gravitacional del Sol.

De una manera similar, una carga eléctrica atrae o repele a otras que están cerca de ella. Decimos entonces que la carga eléctrica genera un campo eléctrico a su alrededor mediante el cual ejerce su influencia sobre otras cargas. Un imán por su parte atrae o rechaza a otro imán. Decimos que el imán

posee un campo magnético que es el que produce el efecto de fuerza sobre otros imanes o partículas de hierro.

En general, el concepto de campo se utiliza en física para explicar las fuerzas que actúan a distancia. Existen otras fuerzas que también actúan a distancia, como por ejemplo la fuerza nuclear. Para explicar la presencia de esta fuerza se habla en este caso de un campo de fuerza nuclear.

## ECUACIONES DE MAXWELL

Respecto a los resultados experimentales observados en los fenómenos de la electricidad y el magnetismo, lo que Maxwell deseaba era construir una única teoría que explicara todos estos fenómenos. Lo que él buscaba era una formulación matemática que abarcara todos los fenómenos electromagnéticos, sin necesidad de particularizar casos de corrientes eléctricas específicas o bobinas o imanes particulares. Una teoría electromagnética daría los elementos para predecir lo que ocurriría en un experimento de electricidad y magnetismo cuando se establecen ciertas condiciones. Por ejemplo diseñar un experimento o un equipo eléctrico y magnético y decir, antes de realizar el experimento o se ponga en marcha el equipo, qué es lo que va a ocurrir. Lograr esto fue el notable trabajo que Maxwell realizó. En síntesis, el trabajo de Maxwell resulta impresionante porque en cuatro ecuaciones se resumen todas las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia.

De las ecuaciones de Maxwell se obtiene que las cargas eléctricas aceleradas producen campos electromagnéticos que se propagan como ondas. De las mismas ecuaciones de Maxwell se puede calcular la velocidad de propagación de estas ondas, llamadas electromagnéticas. En este cálculo se obtiene un resultado sorprendente: la velocidad de estas ondas es la misma que la velocidad de la luz. De aquí se concluye que la luz es un fenómeno electromagnético, es decir, es una onda electromagnética. Estas ondas electromagnéticas fueron descubiertas por Hertz en el año 1890 en un histórico experimento. El descubrimiento de las ondas electromagnéticas resultó ser la proeza científica más grande del siglo XIX por sus aplicaciones e influencia en la forma de vida de la humanidad.

La confirmación mediante los experimentos de Hertz

de la existencia de las ondas electromagnéticas predichas por la teoría de Maxwell, llevaron a establecer que la luz es una onda electromagnética, y que los diferentes colores corresponden a ondas de diferente frecuencia y longitud de onda. Así mismo, que la sensación de calor que se siente al acercar la mano a un comal caliente, sin tocarlo, es debido a la energía que emana del comal en forma de radiación electromagnética, del mismo tipo que la luz pero no visible por el ojo humano. Hoy se tienen identificadas muchas formas de luz invisible que corresponde a ondas electromagnéticas. Ejemplo de estos tipos de luz invisible son: los rayos X, ondas de radar, las ondas de radio y televisión, las ondas en un horno de micro-ondas, etc. Todas ellas son ondas electromagnéticas que difieren solo por la longitud de onda.

Los fenómenos electromagnéticos son descritos en su totalidad por cuatro ecuaciones de un gran contenido estético. Estas ecuaciones se conocen como Ecuaciones de Maxwell. Siendo la fuerza o interacción electromagnética una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, se ha tomado esta como modelo para describir las otras fuerzas.

La extraordinaria belleza que exhiben las ecuaciones de Maxwell y su poder para explicar la gran cantidad y diversidad de fenómenos de la naturaleza ha hecho pensar que la guía para formular las teorías físicas de todas las interacciones fundamentales de la naturaleza sea la belleza o simetría de las ecuaciones que la describen. Existe un consenso general entre los físicos teóricos de que al intentar formular una teoría para describir el comportamiento de una de las fuerzas básicas de la naturaleza, la belleza de las ecuaciones debe ser un buen indicio de que se está en el camino correcto en la elaboración de una teoría física.

La matemática es la que exhibe la belleza de la naturaleza al expresar la teoría en forma matemática. Este fenómeno ocurre en todas las formulaciones modernas de las teorías físicas fundamentales. Por supuesto que una teoría de gran belleza no necesariamente es correcta, pero se espera que la teoría correcta sea, en términos matemáticos, de gran contenido estético. Así ocurre con las ecuaciones de Maxwell que describen los fenómenos electromagnéticos. James Joyce decía que la belleza y la verdad son afines.

Con la formulación matemática del electromagnetismo, por Maxwell en 1873, y la confirmación experimental de que la luz es una onda electromagnética, se originó un gran problema. La luz que nos llega de las estrellas ha recorrido una enorme distancia a través del vacío, que es el espacio entre la estrella y nosotros. Si la luz es una onda electromagnética, ¿Qué es entonces lo que ondula?. Debido a que en ese tiempo dominaban las concepciones mecanicistas y se buscaba siempre una analogía mecánica, esto representó un serio problema.

Para explicar esto se hizo la suposición de la existencia de un medio para su propagación. A este medio se le llamó éter luminífero. Sin embargo en 1886 los experimentos de Michelson y Morley para detectar al éter arrojaron resultados negativos. Lorentz, en su intento por salvar al éter, supuso que los objetos se contraían en la dirección del movimiento. Por otra parte H. Poincaré insistía en redefinir los conceptos de espacio y tiempo. En 1905 Albert Einstein resuelve la controversia al desarrollar la Teoría Especial de la Relatividad. Vemos entonces que la teoría de la relatividad se origina en la teoría electromagnética de Maxwell.



Ni aquí te olvidaré.

Las cuatro ecuaciones de Maxwell, de apariencia relativamente sencilla, forman parte de las ecuaciones que cambiaron al mundo. Con ello se logró la unificación de la electricidad y el magnetismo y en la actualidad todo diseño experimental o tecnológico donde intervengan fuerzas eléctricas o magnéticas está basado en las ecuaciones de Maxwell. Una planta eléctrica, un horno de microondas, una televisión, antenas de transmisión y recepción de radio o televisión, radiotelescopios, etc. todos ellos se construyen a partir de lo que determinan las ecuaciones Maxwell.

## DESARROLLOS TECNOLÓGICOS

Con el descubrimiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos la humanidad vio la transformación más impresionante de la historia en las comunicaciones. Se inventó la telegrafía, en la cual se transmitían mensajes conducidos por impulsos eléctricos. Ya en el año de 1840 estos impulsos eléctricos transmitían mensajes en clave Morse logrando la comunicación a grandes distancias. El cable submarino que atraviesa el Océano Atlántico fue exitosamente puesto en funcionamiento en 1866.

En aquella época la comunicación entre Europa y América era solamente por barco. Con la introducción del cable submarino de más de 4,000 kilómetros de largo entre Irlanda y Terranova, se logró lo que se consideraba imposible: la comunicación por telégrafo entre Europa y América. En la historia de las aplicaciones tecnológicas de la electricidad ha habido grandes momentos. Uno de ellos se vivió con la transmisión del primer mensaje telegráfico a través del cable submarino en el Océano Atlántico, entre la Reina Victoria que envió un mensaje telegráfico al presidente de los Estados Unidos James Buchanan, en Nueva York, en agosto de 1858. Ese ha sido uno de los más grandes acontecimientos en la historia de la tecnología. Aún cuando solo duró tres semanas funcionando lo más importante fue que se logró la hazaña de la comunicación entre los dos continentes. En 1866 quedó ya en funcionamiento definitivo este cable submarino en las aguas del Atlántico comunicando mediante el telégrafo a América y Europa.

Las calles de Nueva York y de muchas otras ciudades de Estados Unidos celebraron con una gran fiesta el histórico acontecimiento. No creo que exista ninguna

hazaña militar del ser humano supera la grandeza de este importante logro.

El escritor inglés Bernard Shaw, Premio Nobel de Literatura 1925 mencionó en una ocasión que desafortunadamente la sociedad reconoce y admira a hombres que contribuyeron a la destrucción de la vida humana, estos hombres, como Napoleón, dijo, hubiera sido mejor que no hubieran nacido. Los científicos, ingenieros y técnicos que participaron en los descubrimientos de los fenómenos eléctricos y magnéticos contribuyeron no a la destrucción sino a mejorar las condiciones de vida y a elevar al ser humano en su condición de persona e incrementar su felicidad.

En la actualidad las comunicaciones por radio, televisión, teléfono e internet representan una transformación tecnológica impresionante originada con el descubrimiento de las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell.

## CONTRIBUCIONES A LA TERMODINÁMICA.

La termodinámica estudia principalmente los fenómenos de transformación de calor en trabajo mecánico y los procesos inversos de conversión de energía mecánica en calor. Dos son las leyes fundamentales de la termodinámica que regulan los procesos en sistemas termodinámicos (sistemas que consisten en un número de partículas del orden del número de Avogadro). La primera y la segunda ley de la termodinámica. La primera ley es la ley de la conservación de la energía. La segunda ley establece que los sistemas termodinámicos evolucionan hacia el equilibrio. En este caso, como ejemplo podemos mencionar la tendencia que tienen los sistemas que intercambian energía de evolucionar hacia el equilibrio térmico.

Maxwell obtuvo unas relaciones termodinámicas que involucran cantidades como la presión, la temperatura y otras más. En una de ellas aparece una expresión del tipo  $\frac{dp}{dt}$  donde  $p$  es la presión y  $t$  la temperatura.

En la correspondencia con sus colegas y amigos Maxwell utilizó esta expresión simbólica como firma. Es por esto que en algunas imágenes de Maxwell aparezca este símbolo. En particular en un busto de

él en la universidad de Aberdeen donde trabajó como profesor, aparecen estos símbolos. Los resultados de sus trabajos sobre termodinámica los publicó en 1871 en un libro titulado Teoría del Calor.

## CONTRIBUCIONES A LA TEORÍA CINÉTICA DE GASES.

Al mismo tiempo que estudiaba los fenómenos del electromagnetismo, Maxwell se interesó por la termodinámica de gases. Daniel Bernoulli había sugerido que la presión de un gas podría deberse al efecto de los choques de los átomos del gas sobre las paredes que lo contienen. También se había propuesto que la temperatura de un gas puede ser relacionada con la energía de las átomos.

En el año de 1866 Maxwell formula la teoría cinética de los gases. Esta es una teoría matemática del movimiento de las moléculas de un gas. Consiste en establecer el movimiento molecular de un gas como función de la temperatura. Una teoría muy parecida a esta la desarrolló Ludwig Boltzmann de manera independiente. Es por esto que a esta relación se le llama La distribución de Maxwell-Boltzmann. describe la forma como se distribuyen las energías entre las partículas a una determinada temperatura.

Con los resultados obtenidos por Maxwell sobre la distribución de velocidades de las partículas de un gas, se puede explicar la segunda ley de la termodinámica. Del enunciado que establece que el flujo de calor siempre es del cuerpo más caliente al menos caliente. Al poner en contacto dos cuerpos las moléculas más rápidas transmitirán su energía a las de menor velocidad deteniéndose las primeras y aumentando su velocidad las segundas. Esto se interpreta como un flujo de calor del cuerpo más caliente al menos caliente. Este fenómeno se manifiesta como una disminución de temperatura del más caliente y un aumento de ésta en el menos caliente.

La ley de la conservación de la energía no impide que un tipo de energía pueda convertirse totalmente en otro tipo. Por ejemplo el calor, que es una forma de energía, podría convertirse en principio, totalmente en energía mecánica. Sin embargo, existe una ley que lo prohíbe, que es la 2a. ley de la termodinámica, la cual en una de sus forma de expresarla establece que no

es posible construir una máquina 100% eficiente, que pueda convertir 100% del calor en energía mecánica. Con sus estudios sobre las velocidades de las moléculas de un gas, Maxwell contribuyó de manera importante a explicar a nivel atómico la razón de la efectividad de la 2a. ley de la termodinámica.

## EL DEMONIO DE MAXWELL

Uno de los grandes sueños de los inventores fue siempre construir una máquina de movimiento continuo o movimiento perpetuo. Aún cuando se ha probado que esto es imposible, muchas personas, que desconocen la segunda ley de la termodinámica, siguen fantaseando con esta idea. Con los resultados obtenidos en el estudio sobre la distribución de velocidades Maxwell contribuyó a probar la imposibilidad del movimiento continuo o perpetuo.

Considerando el enorme número de moléculas o átomos que hay en un gas, Maxwell ideó un experimento mental (imposible de realizarse) para violar la segunda ley de la termodinámica. Creó para ello un duende imaginario que ahora se conoce como el Demonio de Maxwell.

Para entender mejor la idea que se expondrá a continuación es conveniente expresar la segunda ley de la termodinámica de la siguiente forma: Esta ley establece que es imposible extraer calor de un sistema para transferirlo a otro sistema a más baja temperatura sin producir un aumento en la entropía. Esto quiere decir, en términos sencillos, que no podemos sacar calor de un cuarto y llevarlo a otro a la misma temperatura o mayor, sin tener un aparato de refrigeración.

Ahora explicamos el experimento imaginario mencionado presentándoles primeramente al Demonio de Maxwell. Este es un duende que es capaz de ver los átomos y que tiene la tarea de dejar pasar solo las partículas más veloces (más calientes), abriendo y cerrando una microscópica puerta.

Consideremos un gas en un recipiente que está dividido en dos cámaras a las que llamaremos A y B. Estas cámaras están separadas por una ventana pequeña que se puede abrir y cerrar. Se inicia con todo el gas en el compartimento A y con el compartimento B vacío. Cuando un átomo muy veloz se acerca a la ventana este duende la abre

para que pase al compartimento B. Así mismo la cierra cuando se acercan partículas lentas. Así que el duende selecciona solo las partículas veloces para dejarlas pasar a la cámara B. De esta manera se viola la segunda ley de la termodinámica. Lo cual se explica al observar que las partículas de la cámara A, donde se están quedando las partículas que se mueven lentamente, están pasando a la cámara B donde están las partículas más veloces. Un gas con partículas muy veloces está a mayor temperatura que otro con partículas más lentas. El fenómeno mencionado se resume diciendo que el calor está pasando del cuerpo A (menos caliente) al cuerpo B (más caliente). Esto es una violación de la 2a. ley de la termodinámica.

Si se pudiera lograr esta fantasía de Maxwell podría observarse que el agua fría en un vaso puede hervir espontáneamente o que un barco puede moverse y navegar en el mar sin necesidad de combustible, y sin violar el principio de conservación de la energía, con solo seleccionar las moléculas de agua más calientes (que se mueven más rápidamente) y extraerles la energía. Este diablo ideado por Maxwell fue solo un ejemplo que él planteó para explicar cómo se puede violar la 2a. ley de la termodinámica. Nada que pueda aplicarse en la realidad.

Para entender la dificultad que está detrás del concepto del Demonio de Maxwell, es conveniente dar una idea de la gran cantidad de átomos o moléculas que hay, por ejemplo, en una cucharada

de agua. Este número es del orden del número de Avogadro, el cual se escribe como  $6.02 \times 10^{23}$ . Pondremos un ejemplo tangible, es decir, que puede permitirnos apreciar el número tan grande de átomos en la cucharada de agua. Este número es mayor que todas las gotas de agua de lluvia que han caído en toda la República Mexicana en los últimos mil años. Esto nos da idea de lo que tendría que hacer el Demonio de Maxwell para violar la segunda ley de la termodinámica. Algo, por supuesto, imposible en la práctica.

## LEGADO DE MAXWELL

Maxwell es considerado como uno de los físicos más notables de la historia. Se le ubica entre los tres más grandes, después de Newton y Einstein.

El legado que Maxwell deja a la humanidad es extraordinario. Su nombre perdurará por siempre mencionándose en los salones de clase por su gran aportación al conocimiento del electromagnetismo, la termodinámica y otros campos de la ciencia.

Maxwell murió de cáncer de abdomen a la edad de 48 años. A su muerte ocurrida en Cambridge en el año de 1879 sus restos fueron llevados a Corsock, la aldea en la campiña de Escocia donde Maxwell pasó gran parte de su infancia, para darles sepultura en el panteón del lugar.



Corrido "los 41"