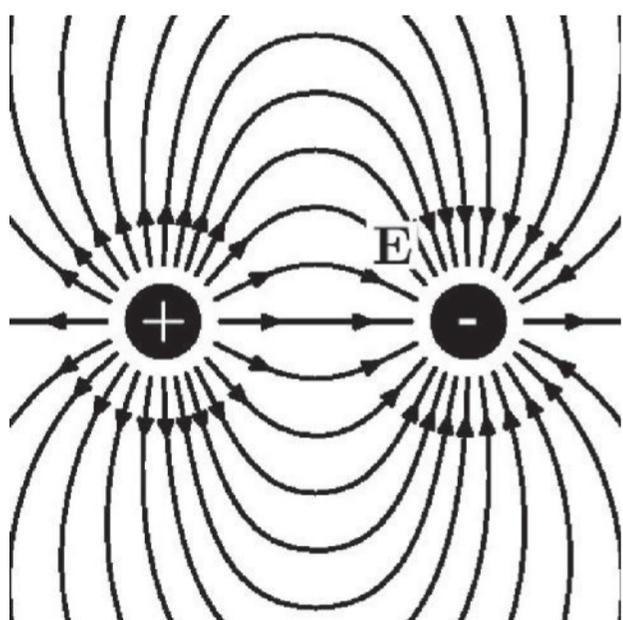


El espectro radioeléctrico es propiedad de la nación

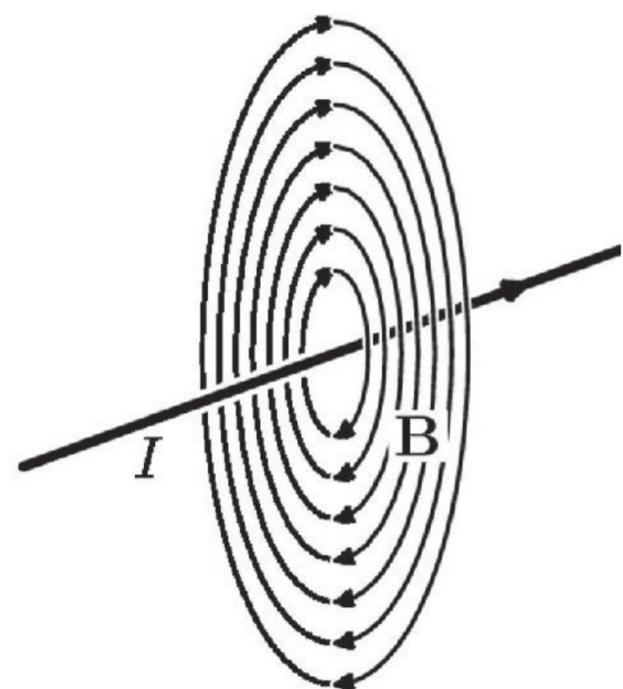


1. El campo eléctrico E es producido por cargas y las líneas de campo emergen de las cargas positivas (+) y se sumergen en las negativas (-).

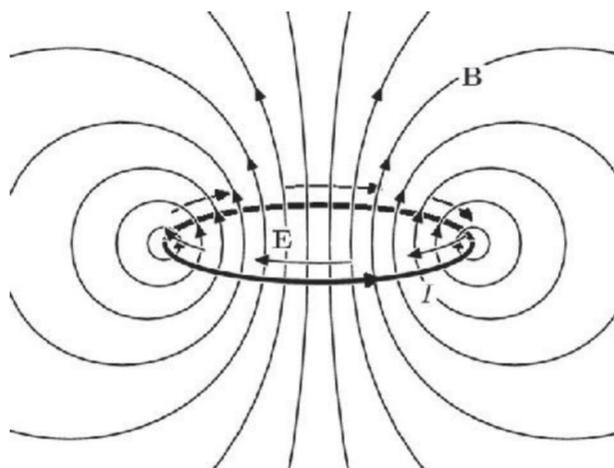
W. Luis Mochán

Investigador del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM y Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

El espectro radioeléctrico es propiedad de la nación. Últimamente hemos escuchado esta frase repetidas veces, en el contexto de las nuevas leyes de telecomunicaciones y del llamado *apagón analógico*. Pero, ¿qué significa dicho espectro? No tiene que ver con horribles apariciones fantasmales ni personas en grado extremo de delgadez, como algunos lectores pudieron haber creído. En este artículo revisaremos el concepto de espectro radioeléctrico y en artículos posteriores estudiaremos algunos problemas asociados a su uso contemporáneo. Podemos empezar nuestra historia a mediados del siglo XIX, cuando ya se entendían muchos de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Se sabía entonces que las *cargas* eléctricas son *fuentes* de campos eléctricos que divergen de las cargas positivas y convergen sobre las cargas negativas (ver figura 1). También se sabía que las cargas se pueden mover dentro de cierto tipo de materiales llamados *conductores*, como los metales, dando origen a *corrientes* eléctricas. Éstas son fuentes de campos magné-



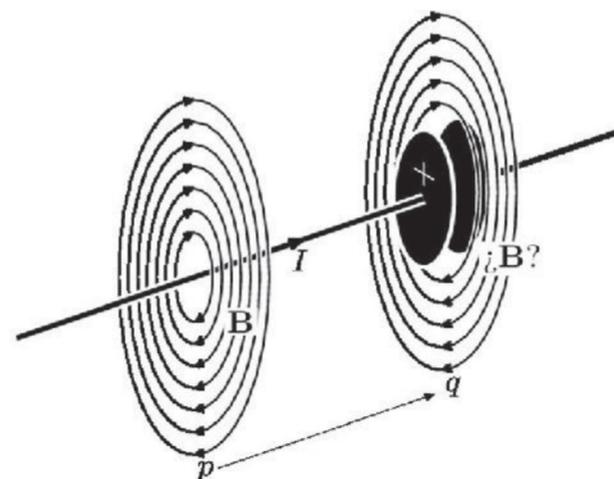
2. Una corriente eléctrica I produce un campo magnético B que tiende a rodearla, girando de acuerdo a la regla de la mano derecha: apunte con su pulgar derecho hacia la dirección de la corriente y los demás dedos de su mano se cerrarán en el sentido en que gira el campo magnético.



3. Una corriente I que circula en un alambre y se incrementa (círculo grueso en el plano horizontal) genera un campo magnético B creciente (curvas en el plano vertical) que induce un campo eléctrico E (flechas en el plano horizontal) que se opone a la corriente.

ticos que las rodean siguiendo la *regla de la mano derecha* (figura 2); al extender el dedo pulgar de dicha mano en la dirección de la corriente, los demás dedos se cierran en la dirección del campo magnético. Los siempre enigmáticos imanes pudieron finalmente explicarse en términos de corrientes eléctricas que, misteriosamente, circulan de manera persistente por la superficie de los materiales magnetizados (el origen de estas corrientes no llegó a entenderse sino hasta entrado el siglo XX, y requirió para ello del desarrollo de la *mecánica cuántica*). Finalmente, se sabía que al incrementar un campo magnético, por ejemplo, aumentando el flujo de una corriente eléctrica, se induce un campo eléctrico que se opone a dicho flujo (figura 3). Esta *inducción eléctrica* permitió el desarrollo de la industria electromecánica actual, conduciendo a la tecnología de los generadores eléctricos empleados en las plantas hidro-, nucleo- y termo-eléctricas que tanto nos preocupan recientemente. Las leyes que gobiernan los fenómenos arriba descritos fueron obtenidas a partir de *observaciones* y *experimentos* cuidadosos.

Sin embargo, había inconsistencias en la teoría electromagnética que pueden ilustrarse considerando un alambre conductor sobre el que fluye cierta corriente eléctrica, como el mostrado en la figura 4, y el cual es interrumpido por las placas de un *capacitor*. Examinemos el campo magnético producido por dicha corriente conforme caminamos a cierta distancia del alambre hacia la brecha entre las placas del capacitor. Por un lado, lejos del alambre no debería haber cambios abruptos en el campo magnético, pero por otro lado, el campo magnético da vueltas alrededor de la corriente eléctrica y entre las placas del capacitor *no fluye corriente*. Entonces, ¿hay o no un campo magnético alrededor del capacitor? James Clerk Maxwell



4. Una corriente eléctrica I produce un campo magnético B en p el cual no desaparece abruptamente al llegar al punto q a un lado de las placas de un capacitor, aunque éste interrumpa el flujo de carga eléctrica. Las placas del condensador acumulan carga que llega o se va a través del conductor.

resolvió el problema anterior notando que al interrumpir el flujo de corriente eléctrica mediante las placas de un capacitor, una de las placas recibe la carga que llega a través del alambre adquiriendo gradualmente una carga positiva creciente. La otra placa se descarga gradualmente adquiriendo una carga negativa, de manera que el sistema permanece globalmente neutro. Las cargas que adquieren las placas del capacitor son fuentes de un campo eléctrico creciente. Por lo tanto, la corriente eléctrica sobre el alambre se convierte en un campo eléctrico creciente entre las placas del capacitor. Luego, los efectos magnéticos de un campo eléctrico creciente entre las placas del capacitor deben corresponder a los mismos efectos magnéticos que produce una corriente eléctrica en el alambre que lo alimenta. Los cambios en el campos eléctrico conforme transcurre el tiempo se comportan como si fueran un tipo de corriente eléctrica, la cual Maxwell denominó *corriente de desplazamiento*. Identificar a los campos eléctricos cambiantes como fuentes de campo magnético fue resultado de un estudio meramente *teórico*.

La teoría electromagnética esbozada arriba condujo a una predicción espectacular: Un campo magnético variable puede inducir un campo eléctrico también variable, el cual a su vez produciría un campo magnético variable que produciría un campo eléctrico, y así sucesivamente. De esta manera, los campos eléctricos y magnéticos se retroalimentarían mutuamente, originando una oscilación auto-sostenida, una *onda electromagnética* que se propagaría a través del espacio sin amortiguarse y con una velocidad determinada por las constantes fundamentales que aparecen en la teoría electromagnética. Esta velocidad resulta ser cercana a los trescientos mil kilómetros por segundo, la desde entonces bien conocida velocidad de la luz. La conclusión es inescapable, *la luz no es más que una onda electromagnética*, la cual puede propagarse, como sabemos, durante millones de años para llegar en noches claras a nuestros ojos proveniente de las galaxias más lejanas. Las leyes de la electricidad y el magnetismo quedaron descritas a mediados del siglo XIX por un juego de cuatro ecuaciones, presentadas en 1855 por Maxwell ante la Sociedad Filosófica de Cambridge y conocidas ahora como las *ecuaciones de Maxwell*, las cuales no sólo unificaron los fenómenos eléctricos con los magnéticos, sino que también incorporaron los fenómenos luminosos, es decir, aquellos estudiados por la óptica (figura 5), y condujeron a principios del siglo XX a la teoría de la relatividad especial.

En 1887, 32 años después de la presentación en sociedad de las ecuaciones de Maxwell, Heinrich Hertz demostró experimentalmente la existencia de ondas electromagnéticas producidas por un circuito eléctrico oscilante y midió su velocidad de propagación, corroborando que coincidía con la velocidad de la luz. En 1892 Nikola Tesla propuso el uso de la radiación electromagnética para transmitir información y en 1895 Guglielmo Marconi mostró el primer telégrafo inalámbrico que empleaba ondas electromagnéticas para transmitir información inalámbricamente entre dos estaciones situadas en lados opuestos de una montaña y separadas miles de metros entre sí.

De acuerdo a su frecuencia, es decir, al número de veces que oscila el campo electromagnético cada segundo, las ondas electromagnéticas se clasifican como rayos gamma, rayos X, luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, ondas de terahertz, microondas y ondas de radio, ordenadas

... y Dios dijo

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{B} &= 0, & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho, & \nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \end{aligned}$$

y se hizo la luz

5. Broma irreverente basada en las ecuaciones de Maxwell. Entienda o no el significado de sus símbolos, el lector puede maravillarse que en esas pocas líneas se hallen resumidos los fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos.



ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

de mayor a menor frecuencia. El empleo de ondas electromagnéticas para transmitir información ha revolucionado nuestro modo de vida, dando origen a tecnologías como la telefonía inalámbrica, el radio y la televisión entre muchas otras, y más recientemente, el internet inalámbrico (los conceptos asociados a estas tecnologías como son el *ancho de banda* de un canal y su capacidad de

transmisión de información serán discutidos en un artículo posterior).

La importancia estratégica de estas tecnologías ha llevado a los países a regular el uso de las ondas electromagnéticas que se

propagan sobre su territorio y definir quiénes pueden transmitir en qué intervalos de frecuencias, con qué potencias y para qué propósito, sobre todo en la región correspondiente a las microondas y a las ondas

de radio, cuyas frecuencias son menores a los cien mil millones de oscilaciones por segundo. Éste es el llamado *espectro radioeléctrico*, propiedad de todos nosotros, propiedad de la nación.

Glosario:

1. Ancho de banda: La diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima de las ondas que pueden transmitirse en un canal de comunicaciones. La cantidad de información que puede transmitir un canal depende de su ancho de banda.

2. Campo eléctrico: Atributo de cada punto del espacio que determina la fuerza que actúa sobre una carga fija colocada en dicho punto.

3. Campo magnético: Atributo de cada punto del espacio que determina la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento colocada en dicho punto.

4. Capacitor: Dispositivo capaz de acumular carga que le es suministrada a través de un conductor.

5. Carga eléctrica: Atributo de la materia y de las partículas subatómicas que produce fuerzas de repulsión o atracción. Cargas del mismo signo se repelen y del signo opuesto se atraen. La carga de un electrón se denota por $-e$ y la de un protón es $+e$. La carga total de un cuerpo es la suma de las cargas de sus constituyentes.

6. Corriente de desplazamiento: Variación temporal del campo eléctrico que debe sumarse a la corriente eléctrica para completar la fuente del campo magnético.

7. Corriente eléctrica: Movimiento de cargas eléctricas. Medida de dicho movimiento. La corriente eléctrica a través de un punto en un alambre conductor es la cantidad de carga que pasa de un lado al otro lado de dicho punto por unidad de tiempo.

8. Ecuaciones de Maxwell: Conjunto de ecuaciones que describen los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos.

9. Fuente de campo: Origen o productor del campo. Las cargas son fuentes del campo eléctrico y las corrientes son fuentes del campo magnético.

10. Inducción eléctrica: Generación de campos eléctricos por la variación temporal de campos magnéticos.

11. Mecánica cuántica: Leyes que rigen el comportamiento de la materia a nivel microscópico y que integran su comportamiento ondulatorio con su comportamiento corpuscular.

12. Onda electromagnética: Oscilación del campo eléctrico y magnético que se puede propagar en el espacio vacío. La luz es una onda electromagnética, así como las ondas de radio y los rayos X.



El Congreso se llevará a cabo durante dos días: jueves 25 y viernes 26 de abril de 2013, con el siguiente programa:

JUEVES 25 DE ABRIL

9:00 a 10:30 hrs.

CONFERENCIA MAGISTRAL. "Marte el Planeta Enigmático."

Impartida por el Ing. José de la Herrán. Premio Nacional de Ciencias 1983, Presidente de la Sociedad Astronómica de México, 1988-1992, Presidente de la Sociedad Mexicana de Divulgación de la Ciencia y la Tecnología, 1997-1999, Fundador del Museo Universum, UNAM. Ha impartido más de 500 conferencias y ha escrito otros tantos artículos de divulgación, así como varios libros. En 2005 obtuvo el Premio Universidad Nacional en Creación Artística y Extensión de la Cultura por parte de la UNAM y ese mismo año le fue otorgada la categoría de Investigador Nacional Emérito, por el Sistema Nacional de Investigadores.

10:30 a 12:30 hrs.

CONGRESO ACADÉMICO: Exposición de los trabajos por los alumnos participantes en cada una de las áreas.

Los carteles serán colocados y presentados en los salones asignados, de tal manera que puedan ser escuchados por el público en general y en particular por los propios estudiantes participantes para que vean y discutan diferentes trabajos con otros estudiantes de su nivel. Se busca que los alumnos compartan su trabajo con los estudiantes y profesores de otras escuelas, así como con investigadores de las diferentes áreas fuera del proceso evaluador. Durante este tiempo debe haber, al menos, un alumno integrante del equipo expositor por cada trabajo para que lo explique a los asistentes.

12:30 a 13:30 hrs.

Obra de Teatro sobre el enamoramiento: "Con Todo Mi Hipotálamo"

Compañía de Teatro Científico "En lo que Siendo con Ciencias", Museo de Ciencias Universum. La compañía fue creada en 2005 a partir del montaje "Artrópodo Barulla". "Gracias a este montaje descubrimos la posibilidad de enlazar el conocimiento científico con el arte, en busca de una metodología en la que ambas disciplinas pudieran fundirse en trabajos creativos y con contenidos inteligentes". Desde entonces, En lo que Siendo con Ciencias ha diseñado, producido y llevado a escena doce espectáculos teatrales e intervenciones escénicas para salas teatrales, plazas, y espacios no convencionales.

VIERNES 26 DE ABRIL

9:00 a. m.

CEREMONIA INAUGURAL.

9:30 a 12:00 p.m.

EXPOSICIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS.

12:00 a 13:30 p.m.

SEGUNDA RONDA DE EVALUACIÓN

14:30 p.m.

CEREMONIA DE CLAUSURA Y PREMIACIÓN.

Como en años anteriores, las exposiciones de los trabajos por los alumnos se realizarán en dos sedes alternas: para preparatoria en CUAM Morelos y para secundaria en el CEAM Morelos (ubicado en contra esquina del CUAM)

Informes

Lic. Alma Ayala. Presidenta del Comité Organizador. almaayal@gmail.com aayala@cuam.edu.mx (777) 316 2339

Lic. Nora de la Vega. noravegac24@hotmail.com nvega@cuam.edu.mx (777) 315 6888 y 316 2389

M. en B. Alma Caro. Secretaria Ejecutiva de la ACMor. almadcaro@yahoo.com.mx Celular (777) 155 7221 Tel. (777) 311 0888

Mara Méndez. Informes en la categoría de Pandillas Científicas. memp_mara@yahoo.com

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx

www.cuam.edu.mx www.acmor.org.mx