

# El espectro electromagnético es propiedad de la nación: Parte II

**W. Luis Mochán Backal**

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM  
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

-Telalos olselu crevitos cilledé vadezdos másaes larátum labapi sonfronla docote miquedi rallaa deenlos migutre saconnos latralo secuña radey linlaked corindura

-¿Qué qué? ¡No entendí absolutamente nada! ¡Están todas hablando al mismo tiempo!

-Telalos olselu crevitos cilledé vadezdos másaes larátum labapi sonfronla docote miquedi rallaa deenlos migutre

saconnos latralo secuña radey linlaked corindura

-Tú ocúpate de cerrarme las puertas y yo de volarme la barda.

-Orejas a pares, el amor o males, era pasajero.

Bueno, alejémonos de esta pareja en conflicto deseándoles la mejor de las suertes. Seguramente Ud., querido lector, tampoco entendió la primera frase (telalos olselu...). Esto se debe a que **no** es una frase. Son tres frases enunciadas simultáneamente por tres personas distintas, como podemos advertir en la repetición, en la cual se usó un tipo de letra distinto

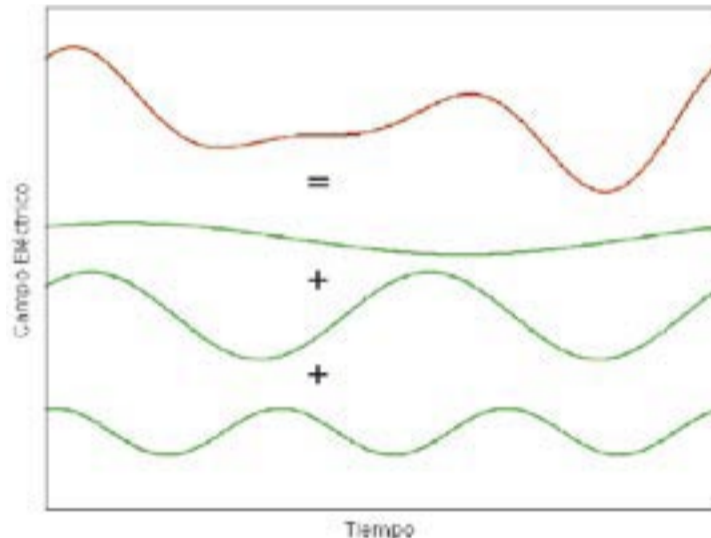
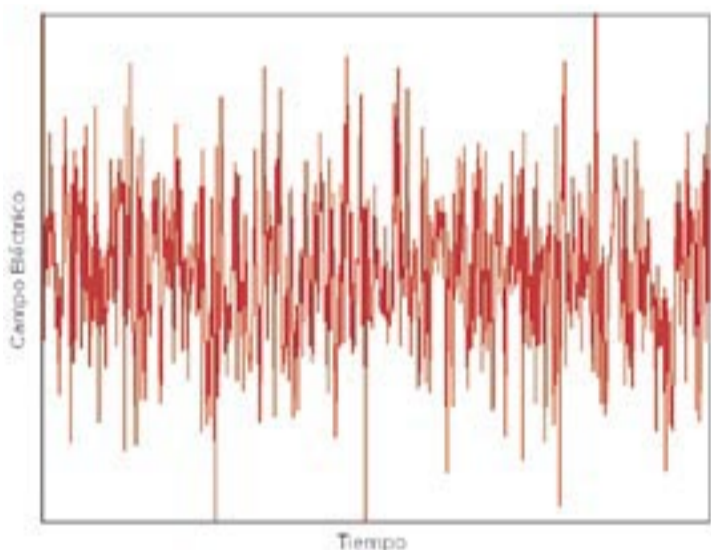
para cada una de ellas. Una lectura cuidadosa las puede desenmarañar. Inténtelo y verá que la primera dice: **te olvidé más rápido que a mi contraseña de linkedin**, lo cual parece tener que ver con el resto de la conversación, mientras que las otras dos: **la lucidez es la frontera entre la locura y la cordura** y **los secretos llevados a la tumba son la comidilla de los gusanos** [ver referencia 1] son parte de otras conversaciones. El propósito de mezclar esas tres frases es señalar lo maravilloso que es el sistema perceptual humano, capaz de seguir una conversación aún en el seno de una reunión en la que decenas

de personas hablan al mismo tiempo. ¿Se ha preguntado Ud. cómo lo hacemos? Así como arriba pudimos separar y distinguir las sílabas de cada frase usando una tipografía distinta para cada una de ellas, nuestro sentido del oído puede seguir una voz y distinguirla de las demás a través de sus atributos como son el **tono** y el **timbre**.

Considere ahora una gran ciudad, como la Ciudad de México, en la que hay decenas de estaciones de radio transmitiendo su señal simultáneamente (en el DF hay casi treinta estaciones nada más en la banda de

frecuencia modulada (FM)). ¿Se ha preguntado cómo puede su aparato receptor sintonizar una de ellas y permitirle escuchar una melodía o un noticiero sin interferencia de las demás estaciones? Esto podría parecer más sorprendente si suma las transmisiones de amplitud modulada (AM), los canales de televisión abierta, los teléfonos celulares y tantos otros sistemas de comunicación mediante ondas electromagnéticas que atraviesan nuestro espacio. ¿Cómo podemos distinguir unos de otros?

En un artículo anterior [ver referencia 2] vimos cómo es que un campo eléctrico puede producir un campo magnético que a su vez contribuye al campo eléctrico, etc., dando origen a **ondas electromagnéticas** que recorren el espacio a la velocidad de la luz, cercana a los trescientos mil kilómetros por segundo. En la figura 1 mostramos esquemáticamente una gráfica que ilustra cómo podría variar el campo eléctrico (eje vertical) cerca de la antena de un radioreceptor conforme transcurre el tiempo (eje horizontal). Observamos que el campo eléctrico sube y baja sin ton ni son de manera aparentemente aleatoria. Esto se debe a que todas las radiotransmisoras están **hablando** al mismo tiempo. Sin embargo, así como podemos identificar una voz en medio de una multitud, podríamos identificar y distinguir cada una de las señales electromagnéticas asignando a cada cual una **banda** centrada en una **frecuencia**. Para explicar estos conceptos, empecemos con un ejemplo sencillo. La parte superior de la figura 2 muestra una de las contribuciones a la señal de la figura 1 formada a su vez por las tres contribuciones **armónicas** de frecuencias más bajas usadas en su síntesis, mostradas en la parte inferior de la figura: una de ellas corresponde a una onda que se repite periódicamente cada vez que transcurre un tiempo igual al tiempo de observación mostrado en la gráfica, es decir, en este ejemplo, su periodo corresponde al ancho de la gráfica. La segunda es una onda que también oscila periódicamente pero con un periodo igual a la mitad del tiempo de observación, por lo que en la gráfica podemos observar dos oscilaciones completas. La tercera tiene un periodo de una tercera parte del tiempo de observación y podemos ver claramente tres oscilaciones completas. Ud. puede verificar que la curva



Gráfica esquemática del campo eléctrico producido en la vecindad de una antena por todas las radioemisoras que transmiten simultáneamente. Cada punto sobre la curva se caracteriza su distancia hacia arriba y hacia la derecha: la altura indica el valor del campo eléctrico y la distancia horizontal indica el tiempo a que dicho campo corresponde.

Celebra tus **XV AÑOS** en el lugar ideal para ti.

www.ezenza.com.mx

...y ten una fiesta inolvidable!

Plámanos: 279 14 06 312 22 44 312 14 14

Yucatán 12 Col. Vista Hermosa



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx

superior corresponde a la suma de las tres curvas inferiores (haciendo caso omiso del corrimiento vertical introducido para facilitar su visualización). Cada contribución armónica corresponde a una oscilación *sinusoidal*, cuya gráfica está descrita desde el punto de vista matemático por una función trigonométrica como el *seno* o el *coseno*. La *frecuencia* de cada contribución sinusoidal es el número de oscilaciones que tiene por unidad de tiempo. Así, llamando  $f$  a la frecuencia de la primera contribución descrita arriba, las otras dos contribuciones tendrían frecuencias  $2f$  y  $3f$ . Podríamos decir que la figura 2 corresponde a una banda de ancho  $f$  centrada en la frecuencia  $2f$ . La figura 1 contiene otras 34 bandas como ésta, centradas en frecuencias las frecuencias  $5f, 8f, 11f...$  hasta  $107f$ . En un ejemplo más realista, la radio FM usa bandas centradas en frecuencias que son múltiplos impares de 100 kilohertz (kHz o miles de Hertz u oscilaciones por segundo) y que van desde los 87.5 megahertz (MHz o millones de Hertz u oscilaciones por segundo) hasta los 108MHz,

con un ancho de banda cercano a los 50kHz destinado a audio y con otros 50kHz por canal para otros usos.

Es curioso que al estudiar oscilaciones aparezcan funciones trigonométricas relacionadas con geometría, círculos y triángulos rectángulos. Resulta ser que estas funciones son extremadamente útiles debido a sus muy sencillas propiedades y a la teoría matemática desarrollada durante la primera parte del siglo XIX y presentada en 1822 por Jean-Baptiste Joseph Fourier, de acuerdo a la cual *prácticamente cualquier función puede escribirse como una sencilla suma de funciones sinusoidales*. Ésta es la esencia de las técnicas conocidas ahora como *análisis y síntesis de Fourier* [ver referencia 3].

Es mediante técnicas de Fourier que podemos convertir cualquier señal de cualquier tipo, tal y como el audio de una conversación, un texto, una imagen, una animación, una película, etc., en una suma de ondas electromagnéticas sinusoidales que ocupan una banda de frecuencias alrededor de cierta frecuencia central,

mediante un proceso de *codificación*. Posteriormente, el proceso inverso, la *decodificación*, permite recuperar la señal inicial. La frecuencia central permite distinguir la señal enviada por un canal de otras señales transmitidas a través de otros canales. El *ancho de banda* de un canal, es decir, la diferencia entre su frecuencia máxima y su frecuencia mínima, debe escogerse de manera que no se traslape con las bandas de otros canales, pero debe ser suficientemente ancha para permitir transmitir la señal sin pérdida de información. La relación entre cantidad de información, tipo de codificación, potencia y ancho de banda, en el contexto del llamado *apagón analógico* será el tema de la siguiente parte de este artículo.

#### Referencias

Frases y palíndromos tomadas de la clave de twitter @MerlinaAcevedo con permiso de su autora Merlina Acevedo. Próximamente su ingeniosa y divertida colección será publicada en un libro editado por Colofón.

*El Espacio Radioeléctrico es Propiedad de la Nación*, en *La Unión de Morelos*, 22 de abril, 2013, págs. 34,35 [<http://bit.ly/12CL6yM>].

*Jean-Baptiste Joseph Fourier*, en la Wikipedia [<http://bit.ly/127hs9X>].

#### Glosario

**Coseno:** El cociente entre un cateto de un triángulo rectángulo y la hipotenusa del mismo es el seno del ángulo entre la hipotenusa y dicho cateto.

**Frecuencia:** Atributo de un movimiento oscilatorio periódico definido como el número de oscilaciones por unidad de tiempo. Se suele medir en Hertz, abreviados como Hz; 1Hz corresponde a una oscilación por segundo.

**Oscilación armónica o sinusoidal:** Movimiento periódico cuya dependencia en el tiempo puede describirse por funciones trigonométricas como el *seno* o el *coseno*.

**Periodo:** Tiempo que tarda en repetirse un movimiento oscilatorio periódico.

**Seno:** El cociente entre un cateto de un triángulo rectángulo y la hipotenusa del mismo es el seno del ángulo entre la hipotenusa y el otro cateto.

**Timbre:** Atributo del sonido relacionado con su contenido armónico, es decir, con la cantidad de energía correspondiente a cada una de las oscilaciones armónicas de distintas frecuencias que lo componen. Por ejemplo, la diferencia entre el sonido de las vocales *a, e, i, o* y *u* es una diferencia de timbre.

**Tono:** Atributo del sonido relacionado con su frecuencia de oscilación; un tono grave corresponde a una frecuencia baja mientras que un tono agudo corresponde a una frecuencia alta. El ser humano es capaz de escuchar sonidos con frecuencias que van desde aproximadamente veinte Hertz hasta veinte mil Hertz.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

Paga tus  
**SERVICIOS**  
en   
**24 HRS.**  
Agua, Luz,  
Teléfono, Cable  
y más...

**DEPÓSITOS  
BANCARIOS**  
¡MÁS FÁCIL,  
MÁS RÁPIDO!  
LOS 365 DÍAS DEL AÑO  
LUNES A DOMINGO  
8:00 AM A 8:00 PM



¿Quieres un anuncio Clasificado GRATIS?

Compra tu periódico

**La Unión**  
DE MORELOS

en las **tiendas OXXO**

llena tu cupón y deposítalo en los buzones ubicados en todas las tiendas **oxxo** del estado y en nuestras instalaciones.

*"Más fácil no se puede"*