

Jean Baptiste Joseph Fourier: la inesperada armonía del azar

La vida de Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), no obstante haber sido amigo de un famoso como Napoleón (1769-1821), llegó a nuestros días por mérito propio. Fue el noveno hijo de doce hermanos y quedó huérfano a los 10 años.

Durante su juventud, y aun en contra de su voluntad, fue preparado para sacerdote, pero a los 13 años no podía seguir ocultando su interés por las matemáticas. Así, a los 14 años había completado el estudio de los 6 volúmenes del *Cours de mathématique de Bézout* y a los 15 recibía el primer premio por su estudio de *Bossut's Méchanique en général*. A los 21 años Fourier escribía:

Ayer fue mi cumpleaños número 21. A esa edad Newton y Pascal ya habían adquirido títulos e inmortalidad...

Quería ir al ejército, pero como sólo era hijo de un sastre le previnieron que no podía servir más que de cargador de cañones. Pero la Revolución Francesa le llegó a tiempo y se propuso ser oficial de artillería. De esta manera aplicaría las matemáticas, que era lo que realmente le interesaba; casi lo mismo que quiso hacer Napoleón, nacido pocos meses después de Fourier.

Fourier sin embargo, no tuvo tanto éxito como Napoleón en su empresa, pues demostró tener demasiada facilidad para las matemáticas. A pesar de todo, su carrera estuvo muy ligada a la de Napoleón y llegó a ser su Oficial de Artillería (calculaba las trayectorias de los proyectiles). Lo acompañó a Egipto en 1798 y fue gobernador de una parte de ese país. Allí fundó y fue secretario del Instituto de Matemáticas de El Cairo hasta su regreso a Francia en 1801.

En 1808 y después de haber hecho importantes descubrimientos matemáticos, Napoleón le dio el título de barón. En contra de algunas expectativas, Fourier sobrevivió a la caída de su amigo y llegó a recibir nuevos honores de los restaurados Borbones. En 1822 fue secretario adjunto de la Academia de Ciencias, donde conoció al naturalista Cuvier (1769-1832) de quien fue amigo.

En 1801, Fourier regresó de Egipto, y comenzó a ocuparse de lleno en la ciencia. Sus asuntos militares no le habían ido demasiado bien y decidió que ya había tenido bastante con el ejército. El problema que más le interesaba era el modo en que el calor fluía de un punto a otro a través de un objeto en particular.

Si leyes constantes regulan la distribución del calor en la materia sólida, ¿cuál es la expresión matemática de esas leyes?

Al estilo de las novelas de la época, estudiaba hasta altas horas de la noche a la luz de las velas, atentando así contra su delicada salud: sufría de asma, insomnio e hipotiroidismo. La introducción al tema "Théorie analytique de la chaleur" contiene un resumen de los antecedentes de la época:

El gran geómetra Arquímedes explicó los principios matemáticos del balance de los sólidos y los fluidos. Vivió aproximadamente 18 siglos antes que Galileo, el primer inventor de las teorías sobre dinámica. Newton unió en esta nueva ciencia todo el sistema del universo. Estas teorías

tienen una admirable perfección y nos enseñan que la mayor parte de los fenómenos pueden ser sujetos a un pequeño número de leyes fundamentales, pero...

En un primer momento concibió un modelo teórico de transferencia de calor mediante un mecanismo de compuertas. Luego estudió la transferencia de calor en cuerpos continuos. La cuestión que se debatía era si el calor se propagaba en forma lineal o logarítmica y en forma continua o a través de saltos.

El calor penetra en los líquidos y determina movimientos interiores producidos por los cambios de la temperatura y por la densidad de las moléculas que se pueden expresar mediante ecuaciones diferenciales e integrales. Esta difícil búsqueda exigía un análisis especial fundado en teoremas nuevos. Estas cuestiones principales que yo he resuelto no habían sido sometidas a cálculo hasta el momento.

Fourier sugirió que el problema se podía resolver mediante un simple patrón sinusoidal que debería atenuarse gradualmente hasta que la temperatura fuera uniforme en todo el cuerpo. No fue fácil de convencer a sus detractores entre los que se hallaba Laplace (1749-1827), Biot (1774-1862) y Poisson (1781-1840). En realidad ellos no comprendían el significado de los términos diferencia de temperatura y gradiente de temperatura.

Este método no deja nada de vago e indeterminado en las soluciones y conduce hasta las últimas aplicaciones numéricas, condición necesaria de toda búsqueda y sin la cual sólo se llegaría a transformaciones inútiles.

En 1809 apareció en el Bulletin des Sciences una actualización sobre el tema de la propagación del calor. Su autor era Poisson, amigo de Biot y editor de la publicación. El artículo cita generosamente a Biot y critica los hallazgos de Fourier. Esta publicación fue considerada por sus contemporáneos como un verdadero insulto para Fourier. De todas formas él decía:

El estudio profundo de la naturaleza es la fuente más fecunda de los descubrimientos matemáticos. Esto excluye cuestiones vagas y cálculos sin sentido: los elementos fundamentales son aquellos que se reproducen en todos los fenómenos naturales. El análisis matemático se halla tan extendido como la naturaleza misma.

En 1810 el Instituto de Francia anuncia el Grand Prix des Mathematiques para el próximo año. El tema: "la propagación del calor en los cuerpos sólidos". ¡El título ideal para Fourier! La elección estaba ciertamente influenciada por las argucias políticas de Laplace y Monge (1746-1818, participó de la expedición napoleónica a Egipto) ahora partidarios de la causa de Fourier y de Lagrange (1736-1813), uno de sus detractores. El jurado estaba constituido por Lagrange, Laplace y otros. Fourier ganó el premio pero no el reconocimiento sincero de ellos que, si bien aceptaron los derechos de autor de las ecuaciones, criticaron el método experimental.

Hacia el año 1822, ampliando su teorema, completó su estudio sobre el flujo del calor y lo publicó en un libro llamado Teoría Analítica del Calor, que inspiró en Ohm (1787-1854) razonamientos análogos sobre el flujo eléctrico. En su libro, Fourier, por primera vez, dejó sentada la necesidad de utilizar un sistema de unidades prefijado para el uso de ecuaciones científicas. Pero el texto original no se incorporó a la biblioteca de las Memoires de l' Académie des Sciences hasta 1826, año en que Fourier fue electo Secretario permanente.

Fourier recopiló todo su ingenio matemático y describió lo que hoy se conoce como teorema de Fourier. Según éste, cualquier oscilación periódica esto es, cualquier variación que tarde o temprano se repite exactamente una y otra vez, por complicada que sea, se puede descomponer en series de movimientos ondulatorios simples y regulares (con diferentes amplitudes y frecuencias), la suma de los cuales es la variación periódica compleja original.

Es decir, se puede expresar como una serie matemática en la cual los términos son funciones trigonométricas. Esta recreación de la señal constituye justamente las series de Fourier. Como cualquier señal sólo puede ser observada por un período *limitado de tiempo*, se debe asumir que es un *ciclo* de esa señal periódica y así es posible formar las series de Fourier.

Este análisis reúne los fenómenos más diversos y descubre las analogías secretas que los unifican. Si el hombre sólo conoce el espectáculo de los cielos por épocas sucesivas separadas por siglos, si la acción de la gravedad y el calor se exageran en el interior del globo sólido a profundidades que jamás serán accesibles, el análisis matemático puede atrapar las leyes de estos fenómenos. El análisis nos entrega una información mensurable y parece ser una facultad de la razón humana destinada a suplir la brevedad de la vida y la imperfección de los sentidos.

El teorema de Fourier tiene muchas aplicaciones; puede ser utilizado en el estudio del sonido y de la luz y desde luego, en cualquier fenómeno ondulatorio. El estudio matemático de tales fenómenos, se llama *análisis armónico*. Por su teorema, Fourier ganó fama de científico y además el título de barón. Pero él seguía asombrándose con sus descubrimientos:

...y lo que es más notable sigue la misma marcha de todos los fenómenos, los interpreta por el mismo lenguaje como para atestiguar la unidad, simplicidad y orden de un universo predecible. Si nuestros sentidos pudieran captar este orden, nos causaría una impresión comparable a las resonancias armónicas.

Si la luz está compuesta por un espectro de colores que pueden ser evidenciados mediante un prisma, la transformación rápida de Fourier (TRF) es un prisma matemático, descompone una señal compleja en una serie infinita de ondas con determinadas amplitudes y frecuencias. La amplitud de una señal compleja en función de la frecuencia (p. ej. en Hertzios) constituye el espectro del signo. El análisis espectral se puede caracterizar entonces en términos de su *frecuencia centroide*, que conceptualmente representa la "masa central" del espectro, y se define como frecuencia en la cual la amplitud (o fuerza)

de los componentes por arriba y por debajo de ella están exactamente balanceadas. Por lo que se ve, se trata de una cuestión bastante compleja.

En medicina el análisis espectral de frecuencias obtenido mediante la TRF se aplica al estudio de la actividad bioeléctrica del sistema nervioso central obtenida mediante el electroencefalograma como así también en la actividad eléctrica muscular o electromiograma. La TRF aplicada a la actividad de los músculos respiratorios permite detectar fatiga muscular (una de las causas de insuficiencia ventilatoria) en forma incipiente, antes de producirse la incapacidad de mantener una determinada presión o carga respiratoria.

Los campos de aplicación de las series de Fourier son inusitadamente amplios y permiten resolver cuestiones en diversas ciencias. En comunicaciones analógicas y aun digitales, el uso de 0 y 1 para enviar información también tienen un contenido de frecuencia. Su aplicación al signo del sonar permite un relevamiento adecuado del relieve terrestre y subacuático. La superficie de los planetas también puede ser analizada, en especial cuando no puede ser observada con el telescopio óptico (p. ej: Venus, cubierto de nubes), el análisis de la actividad sísmica permite diferenciar entre pruebas atómicas y terremotos.

Es una herramienta matemática y física que permite transformar un problema al parecer insoluble en otro que puede ser resuelto fácilmente. Se usa para el análisis de sistemas lineales, óptica, señales de radio, modelado de procesos randomizados, teoría de probabilidad, quantum físicos, datos astronómicos, problemas con valores límite, etc.

Jean Baptiste Joseph Fourier es uno de los científicos conmemorados en la Torre Eiffel y un cráter de la luna lleva su nombre.

Para suerte de Darwin, Cuvier, que había ordenado el reino animal pero creía en el génesis, rechazó la evolución de las especies.

Para suerte de Ohm, célebre por la ley que gobierna la cantidad de corriente que pasa por un circuito, Fourier ya se había ocupado de la propagación del calor.

Para suerte de Francia, Napoleón –apenas un aficionado a las matemáticas– fue militar.

Para suerte de la humanidad, Fourier –sólo un aficionado a las armas– concentró todo su interés en las matemáticas y brilló por sí solo.

Todas las cosas, unas a las otras tan unidas están, que es imposible tocar una flor sin que se estremezca una estrella.

Eduardo L. De Vito, Adrián A. Suárez

Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari
Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires

Teoría analítica del calor: discurso preliminar. <http://www-fourier.ujf-grenoble.fr/chaleur.html>.

Biografía J.B.J Fourier. <http://www.astro.gla.ac.uk/z-davidk/fourier.htm>.

Bracewell, Ronald N.: The Fourier Transform. *Scientific Ame-*

ican, June 1989, p 62

Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología. Librería Huemul. Av. Sta. Fe 2237 Issac Asimov. Emecé Editores, Alsina 2041 Bs. As. 1973.