Joseph Fourier, un matemático ilustrado

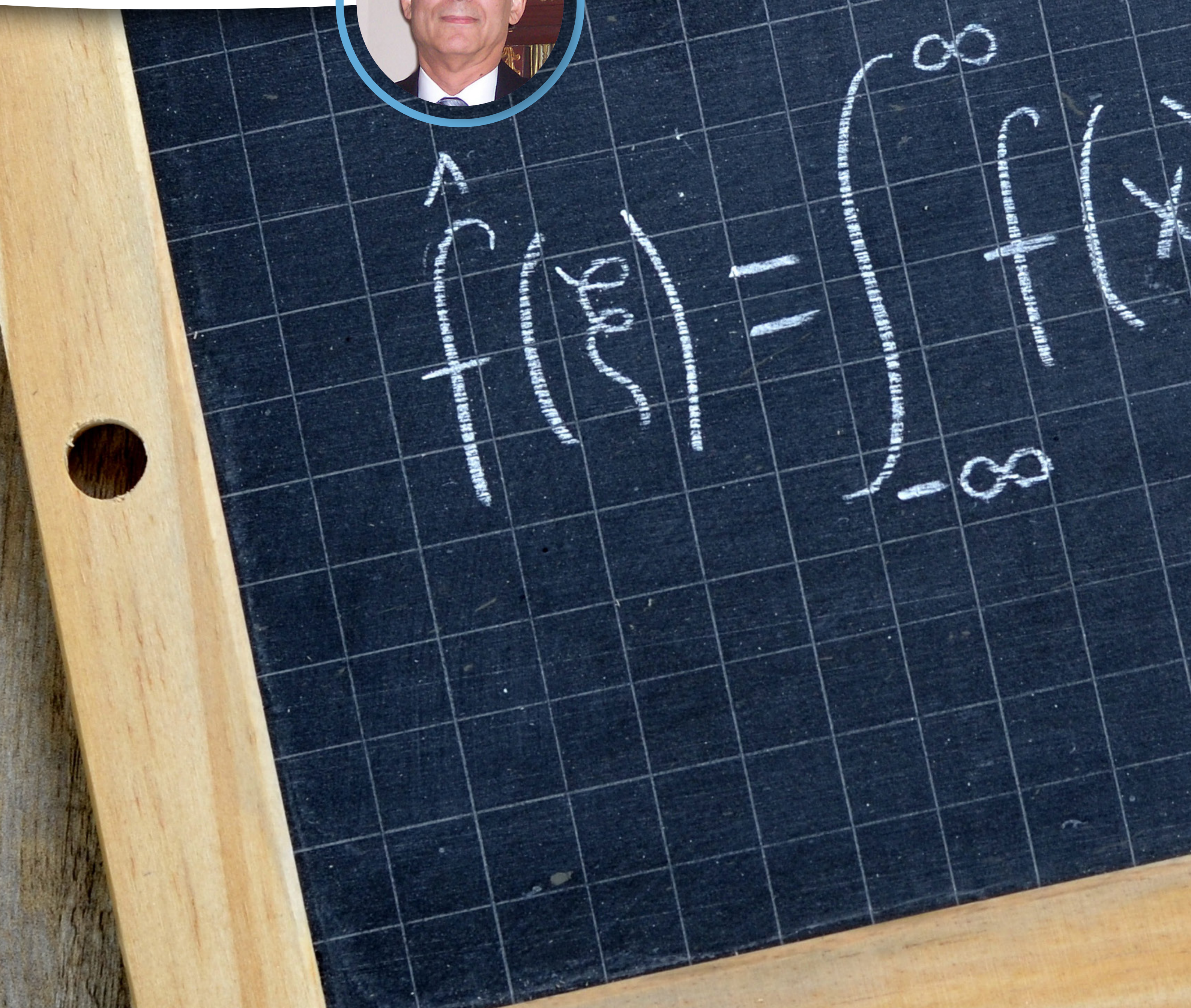
Fernando Bombal

bombal@ucm.es

Académico Numerario de la RAC

Catedrático Emérito de la UCM

Palabras clave: biografías, Fourier, series trigonométricas, ecuación del calor.



RESUMEN:

El 21 de marzo de 2018 se cumplió el 250 aniversario del nacimiento de Jean-Baptiste Joseph Fourier. Revolucionario, amigo de Napoleón, aficionado a la egiptología, físico y matemático, su apellido ha dado nombre a una de las ramas más activas de las Matemáticas: el Análisis de Fourier o Análisis Armónico. Suya es la frase "El estudio profundo de la naturaleza es la mina más fértil de descubrimientos matemáticos" Y en efecto, sus investigaciones sobre la difusión del calor le llevaron a introducir un nuevo método de representación de funciones por medio de series trigonométricas (series de Fourier) que se ha mostrado tremendamente eficaz en muchos otros campos de las matemáticas y la física, como la transmisión de señales, representación de imágenes, etc.

De orígenes muy humildes, desarrolló una enorme actividad en multitud de áreas, participando activamente en la vida social y política de su época, llegando a ocupar altos cargos políticos y alcanzar los mayores honores científicos.

De su vida en este periodo tan apasionante de la historia, así como de sus contribuciones matemáticas trata este trabajo.

ABSTRACT:

March 21, 2018 marked the 250th anniversary of the birth of Jean-Baptiste Joseph Fou-rier. Revolutionary, friend of Napoleon, fond of Egyptology, physicist and mathemati-cian, his surname has given name to one of the most active branches of Mathemat-ics: Fourier Analysis or Harmonic Analysis. His is the phrase "The deep study of na-ture is the most fertile mine of mathematical discoverie." And indeed, his research on the diffusion of heat led him to introduce a new method of representation of functions by means of trigonometric series (Fourier Series) that has been tremendously effective in many other fields of mathematics and physics, such as signal transmission, image representation, etc.

From very humble beginnings, he developed an enormous activity in many areas, actively involved in social and political life of his time, coming to occupy high political positions and achieve top honors scientists.

This work deals with his life in this exciting period in history, as well as his mathemat-ical contributions.

INTRODUCCIÓN.

El final del siglo XVIII viene marcado por una serie de cambios radicales que afectaron a las estructuras políticas, sociales, económicas y culturales en Europa, como consecuencia de la Revolución Francesa. En particular, el papel de la ciencia en general y de la matemática en particular resultó profundamente alterado. Hasta entonces, los científicos prestigiosos realizaban su trabajo en Academias u otras instituciones científicas, bajo el patronazgo de príncipes y soberanos, sin relación alguna con la enseñanza, la formación de nuevos investigadores o la industria.

La situación cambió radicalmente tras la Revolución, primero en Francia y después en el resto de Europa. Con la supresión en 1793 de la *Académie des sciences,* la Francia revolucionaria buscaba fomentar una nueva clase de científicos, más sensibles a las necesidades de la sociedad en la que vivían.

Al mismo tiempo, se crearon nuevos centros de enseñanza, las *grandes* écoles, con el objetivo de formar a una nueva generación de técnicos, ingenieros y científicos para atender a las necesidades tanto civiles como militares de la nación. Los científicos más prestigiosos, entre ellos los antiguos académicos, se incorporaron a estas instituciones como profesores, un cambio ya irreversible y que señaló el camino para un nuevo concepto de universidad. Y muchos de ellos se implicaron de forma muy intensa en la vida política del país.

En este marco general surgen personajes como el que nos va a ocupar hoy, **Jean Baptiste Joseph Fourier**, un hombre de orígenes muy humildes que desarrolló una enorme actividad en multitud de áreas, y llegó a ocupar altos cargos políticos y alcanzar los mayores honores científicos. Seminarista, simpatizante de los jacobinos en los comienzos de la Revolución, amigo de Napoleón, entusiasta de la egiptología, siempre se consideró sobre todo un matemático comprometido con la sociedad en la que le tocó vivir.

En el prólogo de su obra matemática fundamental *Théorie Analytique de la Chaleur* (1822), Fourier hace una ferviente defensa del programa de Galileo de matematización de la Naturaleza: Los más diversos fenómenos que podemos observar están regidos por un pequeño número de leyes fundamentales que se deben descubrir por la observación y experimentación, para después plasmar el fenómeno observado en un *modelo matemático* sobre el que deducir y predecir su evolución.

Fourier destaca la importancia del estudio de la naturaleza para el desarrollo de las matemáticas, al decir que *"el estudio profundo de la naturaleza es la fuente más fértil de*

Fig 1 J. B. Fourier. Retrato de L. Boilly (Wikipedia: Dominio público)

descubrimientos matemáticos" ([Fourier22; pág. xiij]). Por otro lado, es necesario profundizar en el estudio y desarrollo de las matemáticas pues *"no puede haber un lenguaje más universal y más simple, más exento de errores y oscuridades [...]. Su atributo principal es la claridad [...] Da cuenta de los fenómenos más diversos y descubre las analogías secretas que los unen [...] y parece ser una facultad de la razón humana destinada a compensar la brevedad de la vida y la imperfección de los sentidos."* [Fourier22; pág. xiv-xv]).

Para Fourier la motivación para desarrollar teorías matemáticas *abstractas* (a las que contribuyó en gran medida) debe ser siempre la obtención de nuevas herramientas que permitan conocer mejor el entorno en que vivimos. Es pues Fourier un profundo convencido del carácter social de las matemáticas y la ciencia en general, a la que considera elemento esencial para el progreso de la Sociedad civil.

Y en efecto, sus investigaciones sobre la difusión del calor le llevaron a introducir un nuevo método de representación de funciones por medio de series trigonométricas (*series de Fourier*), dando origen a una de las ramas más activas de las Matemáticas: el *Análisis de Fourier* o *Análisis Armónico*, cuyas técnicas se han mostrado esenciales en la modelización de cualquier fenómeno ondulatorio, desde la transmisión del sonido o imágenes al reconocimiento de formas, el análisis de la percepción visual de los animales o la Tomografía Axial Computerizada (TAC).,

Además de las aplicaciones de su teoría (Fourier fue el primero en estudiar el *efecto invernadero*), las implicaciones de su método de representación abrieron un largo y profundo debate conceptual sobre los fundamentos del análisis en su época, desde la noción misma de función, el concepto de integral o el significado de la palabra *representar* en matemáticas, contribuyendo de forma muy importante al proceso de rigorización del Análisis Matemático.

Pero su labor no se limitó sólo a las matemáticas. Su participación en la expedición a Egipto acompañando a Napoleón le despertó una gran afición al estudio del Egipto antiguo. En 1801, Fourier regresó a Francia con una amplia colección de objetos incluyendo una copia de la *piedra de Rosetta* que más tarde su joven amigo **Jean-François Champollion** logró descifrar en 1822. También contribuyó con varios escritos y, en particular el prefacio histórico, a la obra *Description de l'Egypte*, tratado colectivo monumental que intentaba catalogar sistemáticamente todos los aspectos conocidos del antiguo y moderno Egipto, así como describir su historia natural.

De su vida en este periodo tan apasionante de la historia, así como de sus contribuciones matemáticas trata esta Conferencia.

PRIMEROS AÑOS.

El 21 de marzo de 1768 nació **Jean Baptiste Joseph Fourier** en Auxerre, actual capital del Departamento de Yonne en Francia. Era el noveno hijo de los 12 que tuvo su padre, sastre de profesión, de su segundo matrimonio.

Comenzó su educación en una pequeña escuela preparatoria dirigida por el organista de la Catedral de St. Etienne, **Joseph Pallais.** En donde pronto destacó por su aplicación y aprovechamiento. En 1777 falleció su madre y su padre quedó tan afectado que la siguió el año siguiente; así pues, el pequeño Jean Baptiste quedó huérfano poco antes de su décimo cumpleaños.

Fig 2. Departamento de Yonne (CC BY-SA 3.0 DE)

Afortunadamente para Fourier, sus excelentes resultados en la escuela preparatoria hicieron que le tomaran bajo su protección algunos distinguidos ciudadanos locales, lo que le permitió continuar en la escuela de Pallais y después ingresar en 1780 en la École *Royale Militaire*, una escuela militar dirigida por la congregación benedictina de San Mauro y que tenía una reputación de impartir una enseñanza con métodos progresistas, con especial énfasis en ciencias y matemáticas. Fourier siempre fue un alumno aventajado, pero a partir de 1781 comenzó a mostrar un especial interés por las matemática, que llegó a ser casi obsesivo[1]. A los 14 años había completado sus estudios de Retórica y Matemática con las más altas calificaciones. Se sabe que desde diciembre de 1784 a noviembre de 1785 estuvo gravemente enfermo (quizá por su excesiva dedicación al estudio). Posiblemente este fue el origen de los problemas de insomnio, dispepsia y asma que sufrió a lo largo de su vida. Bajo el patronazgo del obispo, se trasladó al Colegio Montaigu de París, donde completó sus estudios a la temprana edad de 17 años. El joven Fourier pensó ingresar en el cuerpo de artillería o ingenieros, pero a pesar del apoyo de los inspectores de la escuela (entre los que se encontraba el matemático **A. M**. **Legendre** (1752-1833)), su solicitud fue rechazada por no ser de origen noble.

Así que Fourier regresó a Auxerre para enseñar matemáticas en su *alma mater* y decidió ingresar en la Iglesia. En 1787 se trasladó a la abadía benedictina de St. Benoit sur Loire para preparar sus votos, mientras ejercía como profesor de matemáticas para los otros novicios. No se sabe mucho de su vida en St. Benoit entre 1787 y 1789, salvo que continuó sus investigaciones y que mantuvo una correspondencia regular con su antiguo profesor de matemáticas en Auxerre, **C. L. Bonard** (1765-1819), a quien envió un trabajo sobre álgebra para que lo sometiese a la opinión de varios matemáticos en París. Se sabe también que el 9 de diciembre de 1789 Fourier estuvo en París para leer un trabajo sobre ecuaciones algebraicas en la Real Academia de Ciencias.

A pesar del aislamiento conventual, los acontecimientos que se estaban produciendo en el país pronto iban a afectar a la vida de Fourier. En 1790 la Asamblea Constituyente decretó la supresión de todas las órdenes religiosas (con la sorprendente excepción de la congregación de San Mauro). Pero poco antes, el joven Fourier había abandonado St. Benoit y regresado a Auxerre como asistente de Bonard en la Escuela Militar. Al parecer, sin haber tomado sus votos, según declaró el mismo Fourier ante representantes de la municipalidad de Auxerre en 1790, *"por respeto al decreto de la Asamblea Nacional"*.

Aunque al principio Fourier quiso mantenerse al margen de la actividad política, pese a su creciente aceptación de las ideas republicanas, no pudo rechazar su nombramiento como integrante del comité local para *"vigilancia de extranjeros y viajeros"*, encargado también del reclutamiento de efectivos para el maltrecho ejército de

1 Se dice que recogía cabos de vela durante el día para poder seguir estudiando de noche. Así, a los 14 años había completado el estudio de los 6 volúmenes del curso de Bezout de matemáticas.

la República. Se alineó con los jacobinos, que gobernaron la República de junio de 1793 a julio de 1794, el llamado *Reinado del Terror*, y que acabó con la ejecución de su principal dirigente **M. Robespierre** (1758-1794).

Poco a poco los "comités de vigilancia de extranjeros y viajeros" se fueron convirtiendo en parte integral del aparato del Terror. Fourier, prudentemente, intentó abandonar el comité, pero su dimisión no fue aceptada. Durante su misión se vio envuelto en una disputa entre diversas facciones de los jacobinos en Orleans, ganándose la enemistad del representante local de la Convención, miembro del ala más radical de los jacobinos. A su regreso a Auxerre, Fourier continuó su actividad docente, sin percatarse de que se había ganado muchos enemigos. En julio de 1794 fue arrestado, con claro riesgo de ser guillotinado, pero la intervención del Comité de Vigilancia y la Sociedad Popular de Auxerre y la caída de Robespierre, lo evitaron y pronto fue puesto en libertad. Durante algún tiempo, Fourier siguió participando en la política local, pero finalmente dimitió el 23 de octubre de 1794 para dedicarse por entero a convertirse en profesor del nuevo sistema educativo francés. Y así, el 11 de diciembre de 1794 es elegido como alumno de la recién creada École *Normale* en París.

FOURIER EN PARÍS

Con el fin de formar y aumentar el número de profesores de enseñanza elemental, la Convención Nacional, por decreto del 30 de octubre de 1794, estableció la École *Normale* en París, que se inauguró el 20 de enero de 1795 con gran pompa y ceremonia en el *Jardin des Plantes*. A ella se incorporaron como profesores los más prestigiosos especialistas del país. Los alumnos fueron reclutados de toda Francia, pero desgraciadamente, la mayoría de ellos fueron incapaces de seguir los cursos ofertados y poco a poco fueron abandonando la Escuela. Hasta el punto de que a principios de mayo de 1795 solamente 49 de ellos votaron por continuar los cursos. Entre ellos, por supuesto, estaba Fourier, que se convirtió en uno de los mejores alumnos. Finalmente, la École fue oficialmente clausurada el 20 de mayo de 1796.[2]Para Fourier la École le dio la oportunidad de conocer y tratar a algunos de los más prestigiosos matemáticos franceses, en particular **J. L. Lagrange** (1736-1813), **P. S. Laplace** (1749-1827) y **G. Monge** (1746-1818) con los que entabló una excelente relación. Esto supuso un punto de inflexión en su carrera. Y en efecto, al terminar el curso, comenzó a enseñar en el *Collège de France* y a emprender nuevas investigaciones en matemáticas. Al poco tiempo fue nombrado profesor de la École *Centrale des Travaux Publics* (dirigida por **L. Carnot** (1753-1823) y Monge), que pronto cambió su nombre al actual de École *Polytechnique*.

Fig. 3: J. L Lagrange (Wikipedia: Dominio público)

Fig. 4: G. Monge (Wikipedia: Dominio público)

Pero pronto surgieron nubarrones que enturbiaron los éxitos de Fourier. Las repercusiones de su arresto previo se hicieron notar y desde Auxerre se solicita su arresto por su actuación durante el Terror. Y efectivamente, el 7 de junio de 1795 Fourier es arrestado y llevado a prisión. Afortunadamente, los alegatos en su defensa realizados por él mismo, la intervención de sus alumnos, las declaraciones a su favor de Laplace, Lagrange y Monge y el cambio de clima político en la Convención, surtieron efecto y Fourier fue liberado y rehabilitado a principios de septiembre de 1795.

Fourier se reincorporó a la École *Polytechnique*, dedicándose a tareas administrativas y a cimentar su bien ganado prestigio como profesor. En 1798 estaba firmemente asentado en la cátedra de Análisis y Mecánica en la que había sucedido a Lagrange en 1797. Seguramente era tiempo para volver a fijar su atención en sus propias investigaciones en matemáticas, interrumpidas durante 9 años por los avatares de la Revolución. Pero una vez más, su carrera iba a dar un inesperado giro.

2 No hay que confundir esta escuela con la actual École Normale Superieur, fundada en 1808 dentro del sistema napoleónico de educación, para formar profesores de educación secundaria y superior

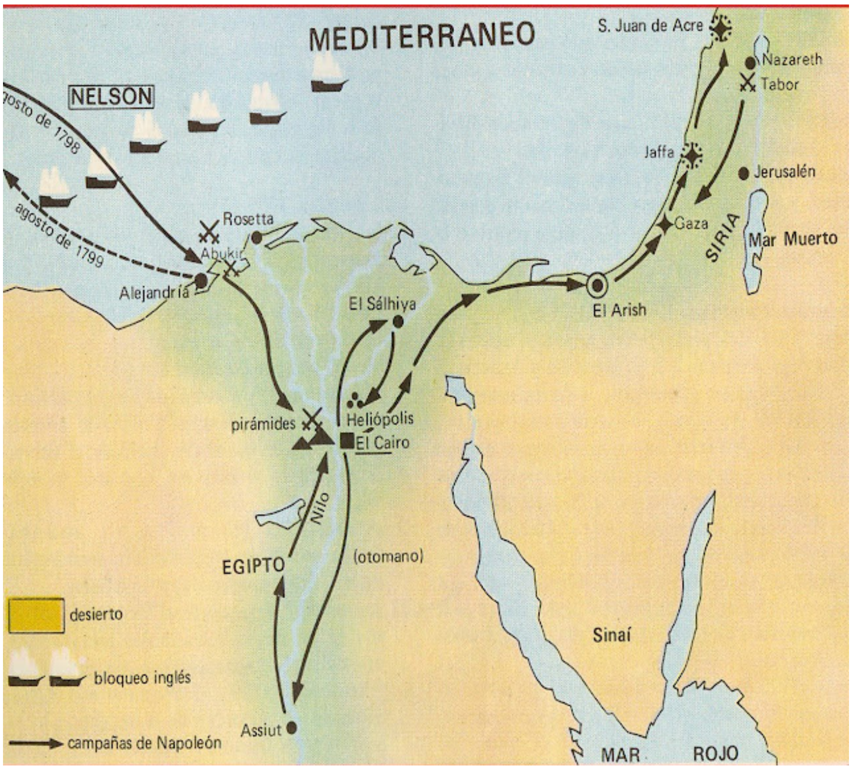


Fig. 5: Campaña de Napoleón en Egipto (https://1.bp.blogspot.com/-xk5IGQbCrhI/VeCr0bivrKI/AAAAAAAANog/h75YaWm_vXU/s640/Imagen1.jpg)

LA EXPEDICIÓN A EGIPTO.

El 27 de marzo de 1798 Fourier recibe una carta del Ministro del Interior[3] comunicándole que, por necesidades del servicio público, debe prepararse para partir inmediatamente al destino que se le indique. La carta respondía a una orden del Directorio al Ministro para que "*ponga a disposición del General Bonaparte los ingenieros, artistas y otros subordinados de su ministerio [...] para el propósito de la expedición que se le ha encomendado*" ([Herivel75; pág. 69]).

Y así, el 19 de mayo, Fourier abandonó Toulon en compañía de Bonaparte y 35.000 soldados y marineros, formando parte de la comisión científica y literaria, hacia un destino desconocido para él (y para la mayor parte del resto del mundo, incluido el almirante Nelson), que no era otro que Egipto. Fue seguramente durante los días de la travesía cuando Bonaparte conoció a Fourier y tuvo ocasión de comprobar su valía y sus dotes como administrador.

Al principio, la expedición tuvo grandes éxitos: Malta fue ocupada el 10 de junio, Alejandría el 1 de julio y el 21 de julio Napoleón derrota a los mamelucos en la Batalla de las Pirámides y entra en el Cairo tres días después. Sin embargo, el 1 de agosto la flota francesa fue completamente destruida por Nelson en Abukir, quedando la expedición francesa aislada de la metrópoli.

Pero el ejército francés, tras dominar Egipto, continuaba intacto. Así que Napoleón continuó con sus planes iniciales de conquistar Palestina y Siria. Tras unas victorias iniciales en Jaffa y Haifa, el ejército no pudo tomar San Juan de Acre y. minado por el cólera y la falta de suministros, se tuvo que retirar con cerca de un tercio de bajas. Mientras tanto, en Europa se estaba formando la Segunda Coalición para atacar Francia y acabar con la Revolución. Ante la imposibilidad de repatriar a su ejército, Napoleón decidió regresar a la metrópoli (no sin antes derrotar a un ejército otomano de 15.000 hombres desembarcado por los británicos en Abukir). Pudo burlar el bloqueo británico y llegar a su destino. Y el 9 de noviembre de 1799 (el 18 de Brumario según el nuevo calendario) daba el golpe de estado que acabó con el Directorio.

Entre tanto, Fourier participaba en las tareas administrativas de la nueva administración, ayudando a establecer numerosos centros educativos y tomando parte en exploraciones arqueológicas. También participó desde su fundación en el Instituto de El Cairo (creado el 20 de agosto de 1798), del que Monge fue elegido Presidente y Fourier Secretario permanente. Esta institución tenía como objetivo el progreso y propagación de la ciencia en Egipto, la recolección y publicación de todo tipo de información sobre Egipto y también asesorar a las fuerzas

3 Véase [Herivel75; pág. 64].

de ocupación (ingeniería militar, purificación de aguas, etc.)

Aislado de Francia, desmotivado y asediado por constantes revueltas internas y ataques de los otomanos y los británicos, el ejército francés capituló en 1801.

Liberado, como todos los científicos, por el almirante británico, Fourier volvió a Francia en 1801 y se reincorporó a su puesto de Profesor en la École *Polytechnique*. Pero Napoleón, ya entonces con el poder absoluto en Francia, tenía otras ideas para Fourier.

EXILIO DORADO EN GRENOBLE.

En carta al Senador Berthollet, Napoleón escribe:

"Habiendo fallecido recientemente el Prefecto del Departamento de Isère, me gustaría expresar mi confianza en el ciudadano Fourier para este puesto…"

La propuesta se la transmite a Fourier su amigo Monge, y aunque al parecer la idea de abandonar París no le hizo mucha gracia, no era fácil decir que no a Napoleón. Así que, tras algunos retrasos, Fourier se instala como Prefecto de Isère en Grenoble, a finales de abril de 1802. Como representante del poder ejecutivo, sus tareas eran múltiples y variadas. Su capacidad de trabajo, amabilidad y buenas maneras le hizo ganarse pronto el apoyo y simpatía de los miembros más destacados de la sociedad[4]. Pero quizá la mayor contribución de Fourier como prefecto fue apoyo decisivo para el desecado de la zona pantanosa de Bourgoin, una extensión de 80.000 Km^2 de tierras inhóspitas y foco de paludismo.

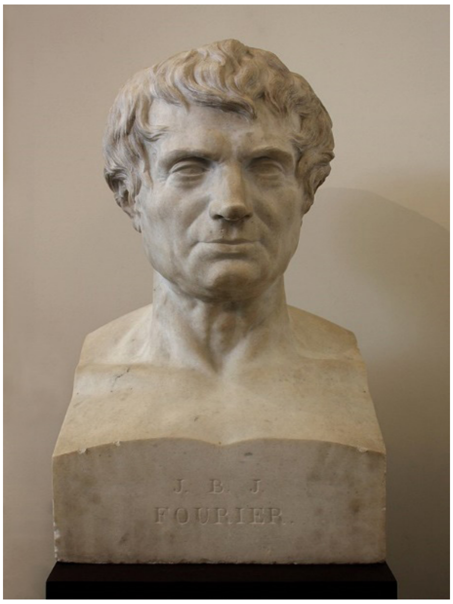


Fig. 6: Busto de Fourier en Grenoble (CC BY 3.0)

Fue considerada en su momento como la mayor obra pública realizada en Francia en la época. Otro de los grandes éxitos de la administración de Fourier fue la construcción de la parte francesa de la carretera para unir Grenoble y Turín.

En reconocimiento a sus méritos, fue nombrado miembro de la Legión de Honor en 1804 y en 1809 le es concedido el título de Barón por Napoleón.

Además de sus tareas administrativas, Fourier tuvo tiempo para dedicarse a dos de sus más importantes aficiones: la Egiptología y las Matemáticas.

A su regreso de Egipto, Fourier trajo consigo gran cantidad de antigüedades, entre ellas una copia de la famosa *Piedra de Rosetta* (el original fue confiscado a los franceses por los británicos, y se encuentra actualmente en el Museo Británico de Londres). En una de sus visitas de inspección a las escuelas, conoció a **Jean François Champollion** (1790-1832), a la sazón con 12 años de edad. Impresionado por su interés en Egipto, Fourier invitó al joven Jean François a conocer su colección de antigüedades. Esta visita marcó la existencia de Champollion, que a partir de entonces dedicó toda su vida a estudiar para descifrar los incompresibles jeroglíficos egipcios. Tras muchos esfuerzos y vicisitudes, consiguió su objetivo en 1822, a partir de un exhaustivo estudio de la copia de la Piedra de Rosetta.

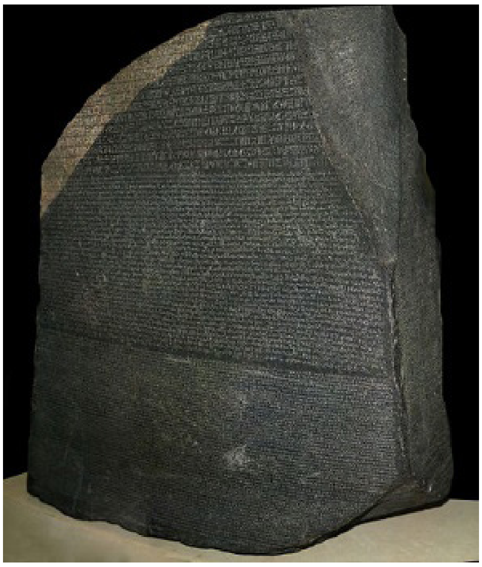


Fig. 7: Piedra de Rosetta. Museo Británico(CC BY-SA 4.0)

Por otro lado, al abandonar Egipto los miembros de la Comisión Científica, consiguieron camuflar y llevar consigo gran cantidad de notas, dibujos, estudios de todo tipo y colecciones de diversos objetos. En 1802 se creó una comisión para gestionar la información recogida para su publicación unificada. Como Secretario permanente del Instituto de El Cairo, Fourier fue encargado de unificar

4 Un presidente del antiguo Parlamento de Dauphiné, la provincia a la que antiguamente pertenecía Isère, dijo de Fourier que *"podía dar lecciones de teología a los obispos y de cortesía y amabilidad a los parlamentarios de antes de 1790"* ([Herivel75; pág. 79]).

los informes y redactar la larga Introducción General a la obra. Publicada en 20 tomos entre 1809 y 1822, la *Description de l'Égypte* es considerada como la obra que marca el nacimiento de la Egiptología moderna.

De la campaña de Egipto Fourier se trajo también una patológica sensibilidad al frío. Nunca se aclimató al cambio de clima desde el cálido Egipto a los fríos vientos de los Alpes en Grenoble. Nunca salía, incluso en verano, sin abrigo, y con frecuencia le acompañaba un criado con otro abrigo en reserva. Sus habitaciones estaban siempre sobrecalentadas, lo que probablemente contribuyó al deterioro de su salud. Puede que esta peculiaridad física influyera en su principal área de investigación en matemática y la mayor contribución científica de su vida: la teoría analítica del calor.

LA TEORÍA ANALÍTICA DEL CALOR.

Parece ser que Fourier comenzó a interesarse por los problemas de transmisión y difusión del calor a poco de instalarse en Grenoble en 1802. Obviamente, este era un problema de enorme interés, tras la invención de la máquina de vapor, base de la Revolución Industrial.

Fourier comenzó con el estudio matemático de la transmisión de calor entre un número finito de masas discretas alineadas para después *"pasar al límite"* cuando el tamaño de las masas tiende a 0 y el número de las mismas a infinito. Pero probablemente fue la lectura de un corto artículo de **J. B. Biot** (1774-1862), un discípulo de Laplace, que conoció antes de su publicación en 1804, lo que estimuló a Fourier a pasar al estudio de la propagación del calor en cuerpos continuos. El artículo de Biot se ocupa principalmente de la distribución de la temperatura estacionaria de una barra delgada calentada por un extremo, situada en un medio a temperatura constante y su tratamiento es fundamentalmente cualitativo.

Entre 1804 y 1805 Fourier concluyó lo que se conoce como *el borrador*, un corto artículo que contenía sus investigaciones previas sobre la transmisión de calor entre masas discretas y una derivación, físicamente errónea, de la correcta ecuación de propagación del calor en una barra, así como las soluciones matemáticas del problema en términos de series trigonométricas.

Los dos años siguientes los pasó Fourier profundizando en sus estudios y realizando multitud de experimentos para comprobar la certeza de sus conclusiones. Fruto de esos esfuerzos fue un largo y sustancial manuscrito titulado *"Sobre la propagación del calor en cuerpos sólidos"* que contenía esencialmente la contribución entera de Fourier a la teoría tal como apareció en su renombrada *Théorie Analytique de la Chaleur*, publicada en 1822. Fourier afirma que el comportamiento de la propagación del calor depende, para cada sustancia sólida, de tres cualidades propias de la misma: la *capacidad* para contener calor, la *conductividad interna* para transmitir el calor dentro de la sustancia y la *conductividad externa* para transmitir el calor a través de su superficie ([Fourier22; pág. 8]). Da definiciones precisas de estos parámetros y los introduce en sus ecuaciones, lo que supone una gran novedad. También comienza el estudio sistemático de ecuaciones diferenciales con condiciones de contorno (continuado poco después por sus discípulos **J. Ch. Sturm** (1803-1855) y **J. Liouville** (1809-1882)), lo que abrió el enorme campo de la teoría de de autovalores y autofunciones, de fundamental importancia en matemáticas y en física teórica

Un resumen de su trabajo fue presentado por Fourier en una sesión científica del *Institut de France* en diciembre de 1807, ante una comisión formada por Lagrange, Laplace, Monge y **S. F. Lacroix** (1765-1843). Esta composición parecía garantizar una recepción positiva de la obra, pero sin embargo la memoria dio origen a una larga y a veces agria controversia. La comisión no emitió el habitual informe escrito a pesar de las sucesivas cartas de Fourier pidiendo explicaciones, quien se lamentó en varias ocasiones de su indefensión. Al parecer se presentaron esencialmente dos tipos de críticas al contenido de la memoria: una desde el punto de vista matemático y la otra desde el punto de vista físico.

Las críticas al aspecto matemático, realizadas fundamentalmente por Laplace y Lagrange, se referían al uso de las series trigonométricas que empleaba Fourier en sus soluciones, y que comentaremos en la próxima sección.

Sobre los aspectos físicos de la Memoria, las mayores críticas se dirigieron a la manera en que Fourier dedujo las ecuaciones de difusión. El principal oponente en este campo fue Biot, apoyado después Laplace y, sobre todo, por **S. D. Poisson** (1781-1840)[5].

La controversia sobre el trabajo de Fourier adquiere un nuevo aspecto cuando el 1810 el Instituto de Francia anuncia como tema del gran premio en matemáticas para 1811 el de *"obtener una teoría matemática de la propagación del calor en cuerpos sólidos"*. Desde luego, Fourier se presentó al premio con una memoria esencialmente idéntica al trabajo de 1807, más algunas nuevas secciones dedicadas al enfriamiento en sólidos infinitos, al calor radiante y a la temperatura de la tierra.

5 Las objeciones de Biot y Laplace al método empleado por Fourier para obtener la ecuación de propagación del calor en una barra no estaban bien justificadas, ya que ambos autores parecieron ignorar que Fourier, contra lo afirmado por ambos, no supuso que el intercambio de calor entre dos secciones contiguas de la barra era proporcional a la *diferencia de temperaturas,* sino al *gradiente de la temperatura.*

Solo se presentó otro candidato al premio, aparte de Fourier. Y la Comisión (formada por Lagrange, Laplace, Legendre, el ingeniero **E. L. Malus** (1775-1812) y el creador de la cristalografía moderna **R. J. Haüy** (1743-1822)) reconoció la superioridad del trabajo de Fourier, aunque expresó algunas reservas en su informe final:

> *"Esta teoría contiene las verdaderas ecuaciones diferenciales que rigen la transmisión del calor en el interior de los cuerpos y en su superficie; y la novedad del tema junto con su importancia nos han determinado a premiar este trabajo, observando, sin embargo, que la forma en que el autor llega a estas ecuaciones no está exenta de dificultades y que su análisis para integrarlas deja algo que desear en lo concerniente a la generalidad* [de la solución] *como al rigor"* (citado en [Herivel75; pág. 103])

Fourier recibe el informe de la comisión con sentimientos encontrados, e incluso escribe una carta formal de protesta al secretario permanente del Instituto **J. B. J. Delambre** (1749-1822). Está claro que el Instituto no tiene prisa en publicar la memoria de Fourier. No es hasta 1815 cuando Fourier logra que su trabajo se incluya como pendiente de publicación en las Memorias del Instituto, aunque esto no tendrá lugar hasta 1824 y 1826, siendo él ya Secretario Perpetuo de la Academia.

El retraso en la publicación de su Memoria llevó a Fourier a considerar sus resultados por su cuenta en forma de libro, y así lo anunció en un artículo en 1816. Pero tuvieron que pasar 6 años hasta la aparición de su obra magna: la *Théorie Analytique de la Chaleur*, que permitió una amplia difusión de sus resultados y pronto se convirtió en obra de referencia, tanto para los físicos como para los matemáticos.

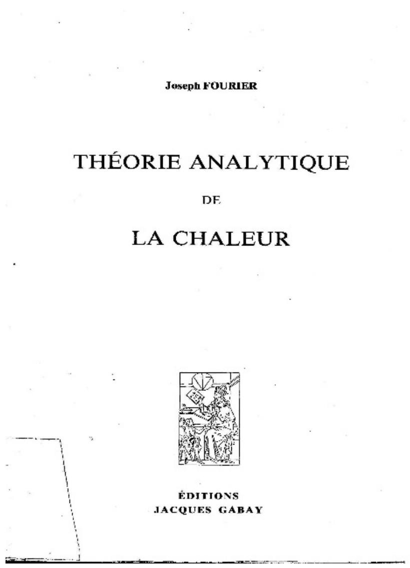


Fig. 8. Reimpresión de 1988

Fourier mantuvo en varias ocasiones que el estudio de la difusión del calor en la Tierra era uno de los temas más importantes a tratar, y que éste había sido una de las principales razones que le llevaron a establecer su teoría. En 1820 publicó un primer trabajo sobre el tema, al que siguió un largo artículo expositivo en 1824[6], recogido posteriormente en una Memoria con casi el mismo título en la Academia ([Fourier 27]). Fourier calculó que la temperatura de la Tierra, calentada sólo por los efectos de la radiación solar, debía ser considerablemente más fría de cómo es en realidad. Sugirió que gran parte del calor adicional podría ser debido a la radiación interestelar y también que la atmósfera actuara como aislante, evitando su dispersión al espacio. Esta propuesta es reconocida como un antecedente de lo que después fue designado como *efecto invernadero*.

LAS MATEMÁTICAS DE LA TEORÍA ANALÍTICA DEL CALOR.

Las ecuaciones obtenidas por Fourier son

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\ ; \quad \frac{\partial u}{\partial t} = k\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)\ ;$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} = k\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right),$$

según se trate de una barra, un recinto plano o un cuerpo sólido, donde $u = u(\boldsymbol{x}; t)$ es la temperatura en el instante t del cuerpo, en el punto de coordenadas $\boldsymbol{x}$, y k es una constante que recoge las cualidades térmicas del cuerpo a estudiar. Por supuesto, las soluciones buscadas deben verificar ciertas condiciones de contorno. Fourier desarrolla una serie de ideas y técnicas para resolver estas ecuaciones que iban a influir decisivamente en las investigaciones posteriores de las Ecuaciones en Derivadas Parciales. Probablemente, nada mejor que reproducir uno de los ejemplos de Fourier para acercarnos al espíritu de la obra ([Fo22; pág. 163 y sgs.]): Consideremos el problema de la determinación de la temperatura estacionaria en el interior de una placa infinita de forma rectangular, cuyos bordes se mantienen a temperatura prefijada (p.e., 0 grados en los lados (infinitos) superiores y a distancia infinita, y 1 grado en el borde finito; véase Fig. 9). En este caso $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ y por tanto se trata de encontrar la solución de la EDP

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} := \Delta u = 0 \quad (*)$$

en el dominio $x > 0$; $-\pi/2 < y < \pi/2$, que sea igual a 1 para $x = 0$ y se anule para $y = \pm\pi/2$, y para x tendiendo a ∞.

6 *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires"*, Ann. Chimie Physique, 27 (1824), 136.167.

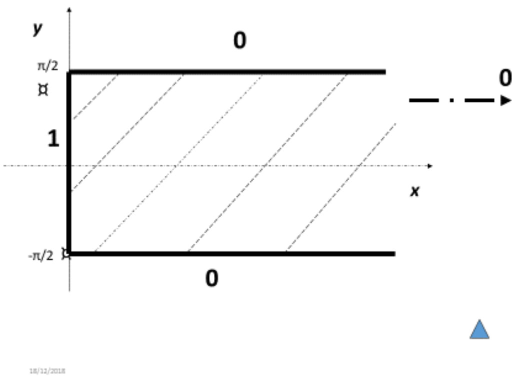


Fig. 9.

Para resolver este problema, Fourier utiliza su método favorito de separación de variables: Tratemos de encontrar soluciones de la forma $u(x; y) = v(x)w(y)$. Sustituyendo en la ecuación (*), resulta que

$$\frac{v''(x)}{v(x)} = -\frac{w''(y)}{w(y)}.$$

Como el primer miembro depende de x y el segundo de y, sólo pueden ser iguales si ambos son una constante m. Obtenemos así dos ecuaciones diferenciales ordinarias, fáciles de resolver. Pero Fourier es más directo y, simplemente, dice *"... vemos que podemos tomar $v(x) = e^{-mx}$ y $w(y) = \cos my$.»* De la condición de anulación en el infinito, resulta que ha de ser $m>0$, y de la condición de anulación para $y = \pm\pi/2$, resulta que m debe ser impar (¡autovalores!). Así pues, las funciones

$$u_k(x, y) = e^{-(2k-1)x}\cos(2k-1)y, \ (k = 1, 2, \cdots)$$

satisfacen todas las condiciones, salvo la primera. Por el *"principio de superposición"* (= linealidad de la ecuación), Fourier trata de encontrar una solución como *"superposición"* de las anteriores, es decir, de la forma

$$u(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n u_n(x, y)$$

para unos coeficientes (a_n) adecuados. Para determinarlos, Fourier utiliza la primera condición, obteniendo

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2n-1)y, \text{ para } -\frac{\pi}{2} < y < \frac{\pi}{2}.$$

A continuación, emplea formalmente el método habitual de eliminación de parámetros, derivando la serie término a término y haciendo $y = 0$, lo que le conduce a las ecuaciones

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n$$

$$0 = \sum_{n=1}^{\infty} (2n-1)^2 a_n \qquad (**)$$

$$0 = \sum_{n=1}^{\infty} (2n-1)^4 a_n$$

$$\dots$$

Esto es, un sistema de infinitas ecuaciones lineales con infinitas incógnitas. Para resolverlo, Fourier trunca el sistema, considerando sólo las n primeras ecuaciones con n incógnitas, que resuelve por el método de eliminación, obteniendo las soluciones $a_1^{(n)}, a_2^{(n)}, \cdots, a_n^{(n)}$. Finalmente, haciendo tender n a infinito, obtiene el "verdadero" valor $a_{k=} \lim_{n\to\infty} a_k^{(n)}$ para cada k. Tras largos y complicados cálculos y usando la fórmula de Wallis, Fourier obtiene

$$a_k = \frac{4}{\pi}\frac{(-1)^{k-1}}{2k-1}$$

(véase [Fourier22; Ch. III, Section II]).

Obviamente, se pueden poner serias objeciones al proceder de Fourier: Deriva término a término una serie, cuando sabemos que, en general, este proceso no es correcto; Tampoco el método empleado para resolver (**) es ortodoxo, (de hecho, cuando se sustituyen los valores calculados para a_k en el sistema (**), las series resultantes son divergentes, a partir de la segunda)[7], etc. El mismo Fourier no parece estar muy convencido pues a continuación pasa a probar directamente que la suma de la serie obtenida para cada x del intervalo [-π/2, π/2] es constante e igual a 1[8] ([Fourier22; Ch. III, Sect. III, Ap. 179 y 180]). Es la primera vez que aparece explícitamente el concepto de *campo de convergencia* de una serie. Y más adelante, Fourier insiste:

> *"Debe ser uno muy cuidadoso con los cálculos realizados con estas series... El punto esencial es identificar los límites entre los que el desarrollo es válido...Como estos límites no son los mismos para todas las ecuaciones, pueden obtenerse resultados erróneos al combinar series diferentes...»*

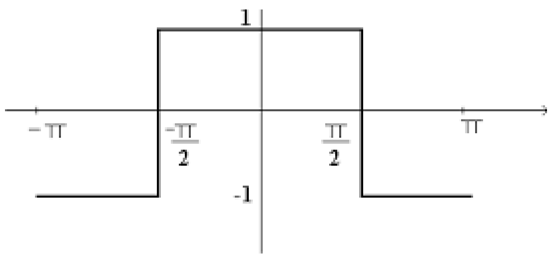


Fig. 10.

Hay que decir que la postura de Fourier sobre la noción de convergencia de una serie funcional es muy novedosa para la época, ya que a lo largo del siglo XVIII, los

7 El novedoso método de truncamiento de Fourier, aunque no siempre efectivo, resultó muy fecundo en la teoría de infinitas ecuaciones lineales con infinitas incógnitas (*principio de las reducidas" de* F. Riesz (1880-1956)) y, convenientemente modificado, en el tratamiento de ecuaciones integrales. El dilucidar condiciones bajo las cuales el método funciona, condujo a D. Hilbert (1862-1943) a introducir la noción de *"operador completamente continuo". Véase [Bombal03].*

8 Fourier conecta los saltos de la función con líneas verticales (y lo menciona expresamente en su descripción verbal; véase Figura 10), quizá porque las sumas parciales de la serie son funciones continuas (*"contiguas" según la notación de la época), y así debería ser su límite.*

matemáticos habían utilizado las series sin ninguna restricción, operando con ellas como si fueran sumas finitas. Fourier no disponía de criterios para asegurar la convergencia, por lo que, con gran habilidad, haciendo uso de su conocimiento de resultados previos en sumación de series numéricas, tuvo en cada caso que calcular la suma de los *m* primeros términos de cada serie directamente y pasar al límite.

Ésta es la primera vez en la que aparece un desarrollo en serie trigonométrica en la obra. Pero las series trigonométricas ya habían aparecido en el siglo anterior, relacionadas con el llamado *"problema de la cuerda vibrante"*. Se trata de determinar la posición $u = u(x,t)$ que ocupará el punto de abscisa x en el instante t de una cuerda homogénea de extremos $x = 0$ y $x = \pi$, sometida a vibración en el plano. El problema dio origen a un largo y fructífero debate, dos de cuyos principales protagonistas fueron **J. L. d'Alembert** (1717-1783) y **L Euler** (1707-1783). Pues bien, en 1753 interviene en el debate **Daniel Bernouilli** (1700-1782) para proponer, con argumentos esencialmente físicos, que la posición general de la cuerda debiera obtenerse *superposición* (e.d., combinación lineal, eventualmente infinita) de las vibraciones elementales sinusoidales que su padre Johan había encontrado como soluciones particulares. Más precisamente, propuso como solución

$$u(x,t) = \alpha(t)\operatorname{sen} x + \beta(t)\operatorname{sen} 2x + \gamma(t)\operatorname{sen} 3x + \cdots$$

En particular, la posición inicial $u(x,0) = f(x)$ debiera poder expresarse como una serie trigonométrica. Bernouilli no dio ninguna indicación de cómo calcular los "coeficientes" $\alpha(t)$, $\beta(t)$, etc.

La solución de Bernouilli fue rechazada tanto por Euler como por d'Alembert, por no ser suficientemente general. En efecto, las series trigonométricas poseían una serie de cualidades que no tenían todas las funciones, en particular, la *periodicidad*. Para Euler, como para todos sus contemporáneos, una función se asocia siempre a la totalidad del dominio en el que "existe" y es incapaz de comprender que lo relevante es la igualdad de ambas expresiones exclusivamente en el dominio $[-\pi, \pi]$. D'Alembert llegó incluso a afirmar que ni siquiera todas las funciones periódicas podían desarrollarse en serie trigonométrica. Por otro lado, incluso en los casos en que valiera el desarrollo, la obtención de los coeficientes no parecía una tarea fácil.

Volviendo al problema que nos ocupa, notemos que si se consideran otras condiciones de contorno, aparecen soluciones particulares formadas por una combinación de senos y cosenos. Por otro lado, como cualquier función arbitraria f podría ser, en un caso real, la temperatura en el segmento $[-\pi/2, \pi/2]$, resulta, de la existencia de solución del problema físico, que necesariamente *toda función arbitraria en un intervalo puede desarrollarse en serie de senos y cosenos* del tipo (suponiendo por comodidad que el intervalo es el $[-\pi, \pi]$

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty}\left(a_n \cos nx + b_n \operatorname{sen} nx\right). \ (\bullet)$$

A la determinación de los coeficientes dedica Fourier la (extensa) sección VI del Capítulo III de la *Théorie Analytique de la Chaleur*. Comienza estudiando el caso de una función cuyo desarrollo en serie de potencias contenga sólo potencias impares de la variable, es decir, una función impar, en cuyo caso en la serie trigonométrica aparecerán sólo senos. Para ello, desarrolla ambos miembros de (•) en serie de potencias (utilizando el conocido desarrollo del seno) e iguala coeficientes. De nuevo aparecen sistemas de infinitas ecuaciones con infinitas incógnitas y tras un largo y farragoso proceso de eliminación, obtiene un sistema recurrente de obtener los coeficientes, en función de las sucesivas derivadas de f en 0. Tras unos cuantos ejemplos, y quizá motivado por ellos, utiliza un ingenioso proceso de derivación respecto a un parámetro para obtener la fórmula final.[9]

$$b_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(x) \operatorname{sen} nx\, dx.$$

Y ya en el apartado 221 (pág. 235) de [Fourier22] comenta que se puede llegar al mismo resultado multiplicando ambos miembros de (•) por sen nx e integrando miembro a miembro, teniendo en cuenta que $\int_0^{\pi} \operatorname{sen} nx \operatorname{sen} mx = 0$ si $n \neq m$, e $= \pi/2$ cuando $n = m$. Utiliza el mismo proceso cuando la función es par y para el caso general, observa que una función arbitraria puede descomponerse en una función par y otra impar y considerando ahora el intervalo $[-\pi, \pi]$ y utilizando las relaciones de ortogonalidad

$$\int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen} nx \cos mx\, dx = 0\ ,\ \forall n, m \in \mathbb{N}\ ;$$
$$\int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen} nx \operatorname{sen} mx\, dx = \int_{-\pi}^{\pi} \cos nx \cos mx\, dx$$
$$= 0 \ si\ n \neq m$$

y $\int_{-\pi}^{\pi} \cos^2 nx\, dx = \int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen}^2 nx\, dx = \pi$, obtiene las fórmulas correctas

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx\, dx\ ;$$
$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \operatorname{sen} nx\, dx\ (n \neq 0)$$

Fourier hace mención expresa de la validez del desarrollo para toda *función arbitraria*[10], aunque a la vista de los múltiples ejemplos que aparecen en la *Théorie Analytique de la Chaleur*, parece claro que está pensando en lo que hoy llamaríamos funciones continuas a trozos, con a lo más una cantidad de puntos de discontinuidad de salto.

9 Fourier es también responsable de la notación actual $\int_a^b$ para la integral definida

10 En palabras de Fourier, *"No suponemos que estas ordenadas [f(x)] estén sujetas a una ley común a todas ellas; se suceden unas a otras de una manera arbitraria y cada una de ellas viene dada como si fuera una cantidad aislada..."*

La integración término a término de una serie no repugnaba en absoluto las exigencias de rigor de la época, y solamente fue puesto en cuestión este hecho mucho más tarde. Sin embargo, debido a la arbitrariedad de f, Fourier se siente obligado a justificar la existencia de las integrales que dan los coeficientes. Durante el siglo XVIII, debido al gran desarrollo del cálculo, la integración se consideraba simplemente la operación inversa de la derivación, obteniéndose la integral definida por medio de la "regla de Barrow». Pero la existencia de una primitiva para una "función arbitraria», sin una expresión analítica definida, era un problema no trivial. Por ello, Fourier justifica la existencia de las integrales retomando la idea original de área del correspondiente recinto de ordenadas, cuya existencia nadie ponía en cuestión[11] (aunque el cálculo efectivo pudiera ser difícil). Aparece así por primera vez claramente planteado el problema de definir la integral definida de una función "arbitraria".

En el resto de la obra, Fourier estudia el problema de la transmisión del calor en esferas, cilindros, anillos, cubos, etc., junto con los problemas de difusión asociados en la superficie de los cuerpos, desarrollando técnicas específicas en cada caso para resolver las correspondientes EDP.

La afirmación de Fourier de que toda función arbitraria podía desarrollarse en serie trigonométrica, así como su método de obtención de coeficientes, fue la principal objeción matemática a su trabajo, tanto durante la exposición de su artículo en el *Institut* en 1807 como en la *Memoria* del Premio de 1811. Sin embargo, poco a poco la mayoría de los matemáticos de la época la fueron aceptando y tratando de demostrar rigurosamente. Los analistas más prestigiosos de la época, como Poisson, **A.Cauchy** (1789-1857), etc. dieron demostraciones alternativas, todas ellas incorrectas. El primero en obtener una demostración correcta, aunque imponiendo condiciones restrictivas sobre *f*, fue **P. L. Dirichlet** (1805-1859), en un artículo publicado en el *Journal de Crelle* en 1829.

En suma, la conjetura de Fourier fue una de las motivadoras de gran parte del desarrollo posterior del Análisis, desde la evolución misma del concepto de función hasta el comienzo de la topología y los números transfinitos[12], pasando por la clarificación y desarrollo de las distintas nociones de integración que se fueron introduciendo para dar sentido a las integrales que describen los coeficientes de las series para funciones más y más generales.

LA VIDA SIGUE.

Como hemos visto, la vida de Fourier en Isère fue muy activa y productiva en sus distintos aspectos, como prefecto y como investigador. Sin embargo bien sea por el clima[13], bien por la lejanía de sus colegas científicos, el caso es que Fourier siempre se sintió secretamente infeliz durante su estancia en Grenoble.

Tras la desastrosa campaña rusa y las sucesivas derrotas, la suerte de Napoleón parecía acabada en 1814. En marzo de ese año, Grenoble fue asediada por tropas austriacas y, tras la caída de París y la abdicación de Napoleón, la ciudad fue ocupada en nombre del nuevo Rey de Francia, Luis XVIII. Fourier continuó provisionalmente como prefecto y sus buenas relaciones con las diferentes clases sociales, especialmente con la vieja nobleza, contribuyó a una suave y pacífica transición de poder.

Ante la noticia de que Napoleón, en su camino al destierro de Elba, iba a pasar por Grenoble, Fourier se encontró en una situación altamente embarazosa. Afortunadamente para él, Napoleón decidió tomar una ruta más meridional y evitar el paso por Grenoble[14]. Posteriormente, Fourier estableció buenas relaciones con la Duquesa de Angulema, que le apoyó para que continuase en su puesto. El nuevo estatus de Fourier como leal siervo de la corona se consumó con la visita a Grenoble del hermano del rey, el futuro rey Carlos X, que siempre tuvo una excelente opinión de Fourier.

Pero la situación iba a sufrir un nuevo giro a partir del 1 de marzo de 1815, cuando Napoleón huyó de Elba y decidió volver a tomar el poder en Francia. Fourier se mostró tremendamente preocupado al conocer las noticias y se dispuso a presentar resistencia a Napoleón. Pero el progreso de Napoleón era irresistible; cada vez se sumaban a él nuevos efectivos. Así que, temiendo por su vida, Fourier huyó de Grenoble el 7 de marzo. Napoleón al principio se enfadó mucho al ver que Fourier no le recibía en Grenoble y dio órdenes para suspenderle de su cargo. Pero poco a poco, con la intervención de algunos amigos, su cólera fue enfriándose y finalmente ordenó al general Bertrand que trajera a Fourier a su presencia. Al conocer las noticias, Fourier se presentó a Napoleón en Bourgoin. La recepción fue muy cordial, y al día siguiente el general Bertrand informó a Fourier que Napoleón le había nombrado prefecto del Ródano. No duró mucho en este puesto, pues fue relevado del mismo por un decreto del 17 de mayo. La razón de este relevo no se conoce, pero en

11 De esta forma, Fourier justifica matemáticamente la *existencia del desarrollo con la determinación de los coeficientes.*

12 **G. Cantor** (1845-1918) comenzó sus trabajos sobre topología de la recta real y los conjuntos infinitos al estudiar (y resolver) el problema de la unicidad del desarrollo de una función en serie trigonométrica (no necesariamente de Fourier).

13 Según Fourier, Isère era *"la tierra natal del reumatismo"*.

14 Al parecer, el mismo Fourier había intrigado para el cambio de ruta, al advertir al prefecto de Lyons que sería peligroso para Napoleón pasar por Grenoble, debido al estado de excitación de los lugareños.

todo caso su crédito con Napoleón no parece haber sufrido mucho, ya que un decreto del 10 de junio le concede una pensión de 6.000 francos a partir del 1 de julio.

El 18 de junio Napoleón es derrotado en Waterloo y el 28 del mismo mes es detenido y desterrado para siempre a la isla de Santa Elena, instaurándose de nuevo la monarquía en Francia. Así que el decreto de Napoleón no se pudo cumplir y, a pesar de las sucesivas demandas de Fourier, nunca cobró la pensión.

Tras su dimisión como prefecto del Ródano, Fourier se instala en París, sin trabajo y sin pensión reconocida. Afortunadamente el prefecto del Sena, antiguo alumno de Fourier en la Politécnica y compañero en la campaña de Egipto, le nombra Director de la Oficina de Estadística del Sena, puesto que conservó hasta el final de sus días.

Libre ya de preocupaciones económicas. Fourier pudo dedicarse totalmente a la actividad científica. En 1816 es elegido como "académico libre", una nueva categoría creada a partir de la reorganización del Instituto, convertido de nuevo en Academia de Ciencias. La elección estaba sujeta a la aprobación del Rey, quien rehusó confirmar a Fourier en su puesto debido a sus antecedentes. Finalmente, en 1817, tras la muerte de un académico, Fourier fue elegido por abrumadora mayoría *académico numerario* de la sección de Física; y esta vez no hubo oposición real.

Tras la muerte de Delambre en 1822, Fourier es elegido Secretario Permanente de la Academia, puesto que desempeñó hasta su muerte con gran eficacia. Además de desempeñar brillantemente las tareas administrativas del cargo, Fourier publicó varios trabajos (alguno de los cuales hemos citado anteriormente) y su libro sobre la *Théorie Analytique de la Chaleur.* Consiguió así el reconocimiento y respeto de sus colegas científicos. Fue elegido miembro de la *Royal Society* de Londres y en 1826 miembro de la *Académie Française.*

Sin embargo, estos años no estuvieron exentos de problemas, ya que su teoría del calor siguió provocando controversias, en particular por parte de Biot, reclamando prioridad, y Poisson, discutiendo sus resultados. En todo caso, las réplicas de Fourier fueron contundentes y convincentes.

La salud de Fourier nunca había sido buena, más aún tras su estancia en Egipto. Padecía de reumatismo crónico y durante los últimos años de su vida tenía grandes dificultades respiratorias, lo que le forzaba a dormir casi erguido. El 4 de mayo de 1830 sufrió una caída mientras bajaba unas escaleras. Y el 16 del mismo mes sufrió un ataque al corazón que no pudo superar y falleció. Hoy su cuerpo descansa, junto con el de su amigo J. F. Champollion, en el cementerio *Père-Lachaise* de París. Su tumba está decorada con motivos egipcios (dos cobras grabadas en las columnas; un disco solar sobre el busto, etc.) en reconocimiento de sus trabajos en Egiptología.

Fig. 11: Tumba de Fourier (CC BY-SA 3.0)

BIBLIOGRAFÍA SUCINTA

Bombal, F. (2003). ***Análisis Funcional: una perspectiva histórica.*** In *Seminar of Mathematical Analysis: Proceedings, Universities of Malaga and Seville (Spain), September 2002-February 2003* (No. 64, p. 81-116). Universidad de Sevilla.

Bos, H., Bunn, R., Dauben, J., Grattan-Guinness, I., Hawkins, T., & Pedersen, K. (1980). From the calculus to set theory, 1630–1910. *An introductory history. Edited by I. Grattan-Guinness.* Gerald Duckworth & Co. Ltd., London.

Bottazzini, U. (1986). *The higher calculus: A history of real and complex analysis from Euler to Weierstrass*. Springer Verlag. 1986.

Boyer, C. (1986). *Historia de la matemática*. Alianza Editorial. Madrid, 1986 .

Fourier, J. (1988). BJ (1822) *Theorie analytique de la chaleur*. Éditions J. Gabay, Sceaux, 1988. Reimpresión de la obra original de 1822.

Fourier, J. (1827). Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France*, *7*, 570-604. Puede consultarse una traducción al inglés con notas y comentarios en http://www.wmconnolley.org.uk/sci/fourier_1827 /fourier_1827.html.

Grattan-Guinness, I. (Ed.). (2005). *Landmark writings in Western mathematics 1640-1940*. Elsevier. 2005.

Herivel, J. (1975). *Joseph Fourier, the man and the physicist*. Clarendon Press, Oxford, 1975.