

# DEL NEOHUMANISMO AL ORGANICISMO: GAUSS, CANTOR Y LA MATEMÁTICA PURA.

*José Ferreirós*  
Universidad de Sevilla

## 1. Introducción

Los nombres de Gauss y Cantor se cuentan entre los más célebres de la matemática moderna y contemporánea. Se trata de dos figuras señeras, que imprimieron su sello en el avance de la matemática “moderna” de finales del XIX y principios del XX. El nombre de Gauss identifica un punto de inflexión en el que las viejas tradiciones de la aritmética, el álgebra y el análisis se redefinen en un sentido más abstracto, reformulándose en un contexto de matemática pura y dando lugar a desarrollos que prefiguran una parte importante de la matemática moderna. El nombre de Cantor aparece siempre como sinónimo de la teoría de conjuntos,<sup>1</sup> que vino a constituir el nuevo lenguaje, la metodología y el marco general en el que terminó por formularse esa matemática moderna y abstracta.

Pero, si esos nombres se identifican plenamente con la nueva matemática, resultará extraño a muchos encontrarlos asociados al movimiento romántico. Con respecto a Cantor, esa reacción sólo puede deberse a la ignorancia, ya que las resonancias románticas se encuentran en lugares muy significativos de su obra y su correspondencia. En cambio, la figura de Gauss parecerá a casi todos, incluyendo conocedores expertos, demasiado serena, clásica y conservadora como para tolerar la compañía del adjetivo “romántico”.

---

<sup>1</sup> En otro lugar he argumentado que esa presentación simplifica demasiado: Ferreirós [1999].

En lo que sigue mostraré que, a pesar de las apariencias, el trasfondo romántico contribuye mucho a iluminar la dirección de los trabajos matemáticos de ambos autores. Pero la relación es más compleja, lo que quizá hubiera complacido a un Schelling: la relación entre estas dos figuras y su trasfondo es “orgánica” o, como diríamos hoy, “interactiva”. En realidad, mi propósito más inmediato será contribuir a una comprensión más rica del periodo romántico por la vía de la reflexividad. Documentarse y analizar la historia del periodo romántico invita a una reflexión crítica sobre la propia visión historiográfica que nos legó.

El romanticismo suele concebirse como una era impregnada de nuevas concepciones históricas, progresistas y evolucionistas de la humanidad, y, en el caso alemán, como un periodo empapado de idealismo. Curiosamente, buena parte de la historia de la ciencia en esa era parece estar demasiado influenciada por la idea romántica del *Zeitgeist* [espíritu del periodo]. Muy a menudo la discusión sobre la ciencia y el romanticismo en Alemania se reduce al problema de hasta qué punto la *Natürphilosophie* idealista influyó sobre los científicos alemanes y hasta qué punto dejó huellas en las nuevas orientaciones de la ciencia decimonónica. Este planteamiento da por supuesto que el idealismo absoluto es un elemento nuclear del *Zeitgeist* romántico y define en buena medida la “esencia” del romanticismo alemán.

Aquí enfatizaremos la idea de que es un error que los historiadores tendamos a identificar el romanticismo (en su dimensión filosófica) con el idealismo absoluto. La era romántica fue un periodo cultural complejo y multiforme, marcado por tensiones entre tendencias en conflicto, y bien puede suceder que no haya una “esencia” simple del periodo. Sobre todo, el movimiento romántico es anterior y posterior al idealismo absoluto, de manera que lo desborda por delante, por detrás, e incluso por los flancos: aún en el momento álgido del idealismo hubo autores muy influyentes entre los científicos, como Fries y Herbart, que se desligaron explícitamente del idealismo absoluto. Anteriormente, encontramos el Neohumanismo, una nueva tendencia cultural, intelectual y educativa; con posterioridad, aparecen varias tendencias que cabe calificar de “romanticismo tardío”, entre ellas diversas reacciones al materialismo. Son estos fenómenos culturales los que veremos ligados al desarrollo de la matemática pura.

Así pues, si estoy en lo cierto, pueden establecerse lazos importantes entre la nueva matemática y el romanticismo, *pero sólo a condición* de que nos liberemos de la imagen romántica del *Zeitgeist*. Los historiadores de la ciencia que han buscado el impacto del romanticismo idealista se han centrado típicamente en las ciencias naturales, sobre todo en la biología (caso paradigmático sería la embriología, pero también la teoría celular) y en menor medida en la física (el electromagnetismo, Oersted y Faraday, la física de la energía). Para esa tradición historiográfica el caso de la matemática habría sido una excepción, en la medida en que su continuidad con la tradición clásica y moderna fue mucho mayor, y los matemáticos se mostraron en general refractarios a las ideas especulativas de la *Natürphilosophie* -

*hie*. En mi opinión, por el contrario, el impacto de las concepciones románticas sobre las matemáticas fue grande, y su caso mucho menos excepcional de lo que se ha pensado.

## 2. Romanticismo pre-idealista: el Neohumanismo

A juzgar por mis exploraciones superficiales de algunos manuales, el fenómeno cultural del movimiento neohumanista es bastante desconocido entre los historiadores de la filosofía. Sin embargo, es todo un clásico en la historia cultural de los países alemanes, y bien conocido entre los historiadores de la ciencia que se han ocupado de este período. El *Neohumanismo* fue un movimiento educativo, y más que eso: cultural, que liga la Ilustración alemana tardía y el romanticismo temprano. Se trató de una renovación de los ideales educativos que, como indica el nombre, pretendía ser una vuelta a lo mejor del humanismo renacentista. Se intentó alcanzar una *formación integral* o *Bildung* del hombre: el objetivo de la educación no debía ser una simple meta utilitaria o profesional, sino la plenitud de las facultades físicas, mentales y espirituales del hombre. Y para ello, el mejor medio era –pensaban– la frecuentación de los arquetipos clásicos, un conocimiento profundo del griego y del latín, de la literatura, el arte y la historia antiguas.

Igual que el humanismo renacentista, los neohumanistas estaban fuertemente influidos por las ideas educativas de Platón. Las disciplinas antes mencionadas (las humanidades), junto con la matemática,<sup>2</sup> constituirían la preparación esencial del hombre que le ayudaría a madurar y florecer hasta alcanzar la sabiduría filosófica y –aquí nos separamos de Platón, no en vano hablamos de la Alemania protestante– las verdades de la fe cristiana. Neohumanistas importantes fueron los grandes filólogos Heine y Wolf, el filósofo Kant, escritores como Herder, Goethe o Schiller, por supuesto los hermanos Humboldt, etc. El movimiento tuvo un enorme impacto en toda la cultura alemana del XIX, y en los científicos a través de la reforma universitaria. Tuvo, por supuesto, un gran impacto también sobre los idealistas Fichte, Schelling y Hegel, pero no hay que tomar la parte por el todo: si bien idealismo implica Neohumanismo, la conversa no es válida.<sup>3</sup>

Los ideales neohumanistas se mencionan siempre que se habla de las grandes reformas educativas del norte de Alemania: la refundación de las

---

<sup>2</sup> El papel pedagógico de la matemática (como escuela del intelecto) se veía mucho más claro que el de las ciencias naturales, y esto se reflejó enseguida tanto en la enseñanza media como en la universitaria. Cf. Jungnickel & McCormmach [1986].

<sup>3</sup> De la pluma de Gauss han salido comentarios como el siguiente, en referencia a Hegel: “¿No se le ponen a Usted los pelos de punta con sus definiciones?” (carta a Schumacher, *Werke* XII, 62–63), y también Cantor se expresó en términos muy críticos y humorísticos (véanse sus *Abhandlungen*, 391).

Universidades a partir de la nueva universidad de Berlín (1810) y la creación de lo que nosotros llamamos bachillerato (los *Gymnasien*).<sup>4</sup> Mencionaremos rápidamente tres rasgos asociados al movimiento neohumanista que, para nuestros propósitos, conviene enfatizar: (1) el espíritu contemplativo, purista y anti-utilitario, que tuvo su reflejo en el ideal de la *ciencia pura*, la “ciencia por la ciencia” (esto, dicho sea de paso, muestra que el Neohumanismo tuvo mucho de reacción contra ciertas tendencias ilustradas); (2) asociado a ello, la reivindicación de un estatus de igualdad entre la Facultad de Filosofía y las Facultades profesionales (asunto en el que Kant tuvo una intervención notable), lo cual significó reivindicar la filosofía y las ciencias naturales y humanas como asuntos fundamentales de la Universidad, no meras siervas de la educación profesional; y (3) la creación de instituciones como los seminarios (introducidos por los filólogos: Heine en Göttingen y Wolf en Halle, hacia 1790, imitados luego por los científicos) a través de los cuales se promovió la *unidad de enseñanza e investigación*. Contra la tradición, todo profesor debía ser investigador, y todo alumno debía tener contacto con la investigación en el seminario. No es difícil advertir que algunos temas de las grandes reformas alemanas siguen resonando en los debates recientes de la Universidad española.

### 3. Carl F. Gauss, el Neohumanismo y la matemática pura<sup>5</sup>

¿Qué tiene que ver Gauss con el Neohumanismo? Aparentemente nada: fue director de un Observatorio astronómico, es decir, un “profesional” más que un “científico puro” en la jerga de la época; se ocupó de problemas de cartografía y geodesia al servicio del rey de Hannover; inventó instrumentos de precisión para la física, e incluso uno de los primeros telégrafos. Parece pues un personaje de la Ilustración, más que un romántico. Sin embargo, todo indica que Gauss se vio a sí mismo como un Arquímedes moderno, un Arquímedes al estilo platónico, como lo pintó Plutarco en las *Vidas paralelas*: sus actividades prácticas y sus máquinas, por importantes que fueran, no tenían más relevancia que las máquinas de guerra del siracusano comparadas con sus joyas matemáticas.

No me resisto a citar el poema de Schiller ‘Arquímedes y el aprendiz’, un poema al que hizo alusión el propio Gauss en su lección inaugural de 1808. Como Gauss, Schiller fue un marcado representante del Neohumanismo y un hombre influido por la filosofía de Kant:

<sup>4</sup> Sobre este tema y otros relacionados, un estudio muy recomendable es McClelland [1980]. En conexión más directa con las ciencias, Jungnickel & McCormmach [1986].

<sup>5</sup> Otros trabajos que hablan de neohumanismo y matemática, sin analizar el caso de Gauss, son los de Pyenson [1983] y Jahnke [1990].

Vino a Arquímedes un joven deseoso de saber;  
 Iníciame, le dijo, en ese arte divina,  
 Que tan magníficos frutos dio a nuestra patria,  
 Y protegió los muros ciudadanos frente a los sambuca.<sup>6</sup>  
 ¡Divina dices que es el arte! Y lo es, replicó el sabio,  
 Mas ya lo era, hijo mío, antes de servir al estado.  
 Si quieres frutos, puede dártelos también una mortal;  
 El que aspira a la diosa, no busque en ella a la doncella.<sup>7</sup>

Este texto refleja a la perfección el espíritu que animó a los cultivadores alemanes de la matemática “pura”, y es que el Neohumanismo guarda una clave para entender la transformación sufrida por la matemática como disciplina, reflejo en el mundo de las instituciones científicas –efecto pero también causa renovada– de una atmósfera cultural como la que se fraguó hacia 1800.

Encontraremos al Gauss neohumanista en la lección inaugural sobre astronomía que pronunció a su entrada como director del Observatorio astronómico de la Universidad de Göttingen en 1808 (lección que siguió repitiendo en sus cursos al menos hasta 1815 y probablemente más allá).<sup>8</sup> Aquella lección ofrece un magnífico cuadro general de la astronomía tal como la concibió el gran especialista que fue Gauss. Nos ofrece reflexiones sobre el cuerpo de los conocimientos astronómicos, pero también sobre la imagen que de esa disciplina matemática tiene Gauss. Recordemos que este hombre joven se había hecho célebre en 1801 al calcular con precisión la órbita de un asteroide, magnífica hazaña práctica y de cálculo que simultaneó con una hazaña puramente teórica de calibre todavía mayor: la publicación de las *Disquisitiones arithmeticae*, primer gran tratado “moderno” de teoría de números.

En su lección inaugural, un Gauss de 31 años traza los objetivos principales de su primer curso universitario sobre astronomía, define el campo de esta ciencia y sus partes principales, y aborda la pregunta (típicamente ilustrada) de “qué provecho” nos ofrece esta ciencia. Me encantaría aquí darle la palabra a él mismo, porque el texto es inmejorable, pero debo resumir. Gauss conoce muy bien las ventajas que la astronomía ha aportado a la humanidad, y las expone magníficamente. Pero lo primero que nos dice es que preguntas como ésa, si se formulan demasiado a menudo, “no son un buen signo del espíritu de los tiempos”. Ese utilitarismo es mezquino y estrecho, frío e indiferente “a lo que es grande y honra a la humanidad”: revela la disposición a medir la recompensa de cada esfuerzo, por pequeño que sea, y a condicionar todo a nuestro bienestar físico. Semejan-

<sup>6</sup> Máquinas de guerra que los romanos emplearon en el asedio de Siracusa, la ciudad de Arquímedes.

<sup>7</sup> Citado en Ferreirós [1999], 6.

<sup>8</sup> *Astronomische Antrittsvorlesung* [Gauss 1808].

te mezquindad no es en absoluto ajena –dice Gauss– a “las catástrofes que hemos experimentado”, sin duda en alusión a la Revolución Francesa, la invasión napoleónica y la derrota alemana en Jena (1806), donde por cierto murió el duque de Brunswick, benévolo protector de Gauss en sus años juveniles.

Ciencias como la teoría de números nunca habrían surgido a la sombra de esa disposición utilitaria, y también el desarrollo de la astronomía ha dependido de “felices grandes espíritus” que fueron en pos de la verdad por sí misma, encontrando su recompensa y su felicidad en el propio éxito de sus esfuerzos. En este punto, Gauss rememora la figura de Arquímedes, tal como la describiera Plutarco, y hace referencia al poema de Schiller –dándolo por bien conocido– antes de decir: “Consideremos también la sublime astronomía, ante todo, desde este bello punto de vista”.<sup>9</sup> Las respuestas más dignas a la cuestión del provecho no son aspectos de utilidad material, sino la satisfacción peculiar que nos ofrece la contemplación de la verdad científica, su grandeza intrínseca como bálsamo frente a los aspectos desagradables de la vida diaria, y también las huellas de la sabiduría eterna que encontramos en el maravilloso orden del cosmos.

Un punto de vista hermoso, sin duda, que habrá recordado al lector la quintaesencia del purismo académico que caracterizó a los profesores alemanes en décadas posteriores del siglo XIX y principios del XX, hasta la década de 1930. Años del ascenso de Hitler al poder, lo que nos debe recordar, también, los peligros de ese aristocrático amor a la contemplación y su concomitante desdén por las cosas de la vida diaria, de la política, de los problemas sociales.

Ese discurso marcadamente neohumanista fue pronunciado por Gauss, en 1808, en la pequeña ciudad y la gran Universidad de Göttingen. La característica (1) mencionada en la sección anterior queda claramente ilustrada, y también se presenta en muchos otros lugares de la obra y la correspondencia de Gauss, por ejemplo sus conocidos comentarios sobre la teoría de números. En cuanto al aspecto (2), toda la carrera de Gauss, pero en especial sus esfuerzos por promover a otros –como Dirichlet, W. Weber, Eisenstein–, dan claro ejemplo de su fidelidad a las nuevas ideas. Sólo el aspecto (3) es en parte extraño a la vida de Gauss: aunque fue un grandísimo investigador, y aunque las generaciones posteriores lo tomaron como modelo del nuevo científico alemán, vino al mundo demasiado pronto para vivir como protagonista el periodo en que se abordó la enseñanza de temas de investigación. Esto llegaría con admiradores y discípulos suyos como Jacobi o Dirichlet, pero Gauss nunca explicó en Göttingen sus resultados originales en matemática pura.

---

<sup>9</sup> Gauss [1808], 191–192. Gauss no olvida citar (en latín) un pentámetro de Ovidio, y luego una bonita frase de Jean Paul, su escritor preferido, antes de pasar por fin a la utilidad práctica de la astronomía.

En el caso de Gauss, la nueva orientación dio lugar a toda una serie de resultados y propuestas importantes en análisis, física matemática, geometría, teoría de números, etc. Comenzó a apuntar un nuevo estilo abstracto de hacer matemáticas, que los contemporáneos designaron como “enfoque conceptual”, y que se consolidaría con autores como Dirichlet y sobre todo Riemann, profundamente marcados por Gauss. Más aún, en el contexto del nuevo purismo y del enfoque conceptual, pero marcado también por influencias filosóficas, Gauss avanzó hacia una concepción aritmetizante de la matemática. Nació así también otro aspecto clave de la matemática alemana del XIX: la aritmetización; como dijo Hilbert al final del siglo, la matemática de aquel tiempo se desarrolló “bajo el signo del número”.

Gauss acuñó su nueva visión de los fundamentos y la organización del saber matemático por medio de una frase griega: “*ho theos arithmetidsei*”, el dios aritmetiza. La historia de esta frase es, de nuevo, típicamente neohumanista, como lo indica el mismo hecho de que se escriba en griego: se inspira en un dicho que Plutarco (otra vez Plutarco) atribuyó nada menos que a Platón, “el dios geometriza eternamente”. Gauss corrige al divino Platón, y al hacerlo expresa un cambio importante en la concepción del saber matemático: la milenaria dominancia de la geometría da paso al triunfo del número. Esto tiene también una relectura filosófica, porque –según Gauss– el conocimiento del número es puro, *a priori*, necesario y absoluto, mientras que la geometría física no queda determinada *a priori*, sino que contiene inevitablemente un elemento empírico.<sup>10</sup>

El auge de la *matemática pura* en Alemania no fue una casualidad, sino un aspecto más de las nuevas tendencias culturales y educativas que se originaron con el Neohumanismo de fines del XVIII. El ambiente neohumanista marcó la situación en las principales universidades del norte de Alemania: el Göttingen de Gauss y Riemann, el Königsberg de Jacobi, el Berlín de Dirichlet, Kummer y Weierstrass. Marcó también las actividades de Alexander von Humboldt como promotor de las matemáticas en Prusia, y las de Leopold Crelle como fundador de una revista fundamental, el *Journal für die reine und angewandte Mathematik*. (Téngase en cuenta que Göttingen estaba en el reino de Hannover, bajo la influencia de Gran Bretaña, y que la dominancia del espíritu neohumanista fue mucho mayor en Prusia.)

La idea principal que estoy exponiendo es, por tanto, un argumento estilo Forman.<sup>11</sup> Los matemáticos se convirtieron en los profesionales que hoy conocemos a principios del XIX, en el contexto de las universidades alemanas, y más concretamente en el ambiente neohumanista que se respiraba en la zona norte de Alemania. Esto les forzó a adaptarse a un nuevo entorno,

---

<sup>10</sup> *Werke* VIII, 201; citado en Ferreirós [1999], 15. En el lenguaje y las categorías que emplea en estas reflexiones, queda patente la influencia de Kant sobre Gauss, quien había leído sus obras con detenimiento en sus años mozos.

<sup>11</sup> Cf. Forman [1971].

enemigo de algunos de los rasgos que clásicamente habían definido al matemático. En el siglo XVIII, la palabra “matemático” tenía ciertas resonancias negativas: se refería a un practicón, un técnico, y sufría así la carga negativa que la tradición occidental venía otorgando a todas las cosas “corpóreas” frente a las “del alma”. Como en la tradición antigua y medieval, toda una serie de temas “mixtos” o aplicados se consideraban partes de la matemática. Abramos un manual de aquel entonces, por ejemplo el de Tomás Vicente Tosca, y encontraremos capítulos enteros dedicados a fortificaciones, balística, etc. Esto contrasta mucho con lo que se podía encontrar en las universidades prusianas hacia 1850, porque aquí se había efectuado una depuración, separando la *matemática pura* –única digna de representación en la Universidad neohumanista– de los temas “tecnológicos” y “aplicados”.<sup>12</sup> Estos tuvieron que encontrar acomodo en otros lugares: otros manuales, otras revistas (no la de Crelle), otras instituciones (las *Technische Hochschulen*, no las Universidades).

Tal fue el espíritu que animó a la reforma académica del XIX en Alemania y el contexto en el que los matemáticos se convirtieron en un grupo importante de profesionales investigadores. Si pensamos por un momento en los efectos de semejante reforma, comprenderemos que los matemáticos no podían integrarse plenamente en la universidad sin adaptar su actividad y su escala de valores al patrón imperante. Téngase en cuenta, especialmente, que en aquella época el lugar de la matemática y todas las ciencias no era otro que la Facultad de Filosofía, un entorno institucional especialmente refractario a todo lo que fuera utilitario o ingenieril.<sup>13</sup> Esto nos da una clave para entender mejor el discurso inaugural que Gauss dio en 1808. Los matemáticos tenían que estar a la altura de las expectativas neohumanistas, platonizantes, tenían que probar que su ciencia merecía la dignidad de figurar entre las disciplinas contemplativas de la Facultad de Filosofía.

El proceso de adaptación al nuevo entorno impulsó a los matemáticos a suprimir y abandonar aquellos aspectos de su actividad que habían estado asociados a actividades técnicas y profesionales (recogidos por los ingenieros y los profesores de Escuelas Técnicas), para centrarse en el cultivo cada vez más exclusivo de problemas puramente matemáticos, de los aspectos teóricos y contemplativos de su disciplina. Para cuando llegó el tiempo (mediados de siglo) en que la versión puramente romántica del Neohumanismo comenzó a declinar y a combinarse con nuevas tendencias culturales, como el positivismo, la reorientación purista había tomado tanto impulso y se había institucionalizado de tal modo, que su continuidad quedó asegura-

---

<sup>12</sup> La separación se apunta ya en autores de fines del XVIII como Kant, lo cual favorece a la tesis que presento.

<sup>13</sup> Buena muestra de ello son las dificultades que encontraron los químicos de Prusia para instalar laboratorios y conseguir financiación para ellos. Véase Turner [1982] y también Jungnickel & McCormach [1986].

da hasta el punto de expandirse a otros países. El Neohumanismo es una tendencia cultural que no sólo fue anterior al idealismo absoluto, sino también posterior a él: su impacto resultó muy profundo y perduró a través de cambios notables en la configuración del ambiente intelectual alemán (positivismo, neo-romanticismo, modernismo, historicismo...).

Ahora bien, el proceso que he descrito no debe interpretarse en términos causales y unidireccionales, al gusto de los partidarios de la “construcción social” de la ciencia. Si la orientación purista triunfó, fue porque el cuerpo del conocimiento matemático previamente disponible ofrecía material más que suficiente para suministrar problemas concretos y estimular refundaciones y reorganizaciones. Además, la versión triunfante de la matemática pura fue el resultado de un proceso de “negociación”, no entre actores sociales, sino entre los matemáticos promotores del purismo académico y las posibilidades y necesidades que ofrecía el cuerpo de las matemáticas. También en este sentido fue de capital importancia la figura de Gauss, por su extraordinaria capacidad matemática y creativa, unida a una notable sensibilidad filosófica. Tan puristas como Gauss fueron autores como Hindenburg y Martin Ohm, hermano del célebre físico; si el nombre del primero se hizo mítico, mientras los otros dos eran cada vez más ridiculizados, es por factores que desbordan el escenario social y cultural, por factores que cabe llamar cognitivos.

#### 4. Georg Cantor: el organicismo en los orígenes de la teoría de conjuntos

También la obra de Cantor se entiende mucho mejor en el contexto intelectual, científico y filosófico de su tiempo, pero en este caso hablamos de la influencia de ciertas corrientes post-idealistas, y de manera especial la influencia del organicismo. Resulta difícil desentrañar la trama de las inspiraciones de Cantor, porque este hombre creativo y muy original elaboró una filosofía propia a la medida de sus creencias pero también de sus matemáticas, y, a la inversa, forjó una matemática nueva a la medida de su filosofía y sus convicciones ontológicas y científicas. Veamos de qué se trata.

Lo primero que hay que decir –y es una tesis polémica, pero que puedo argumentar en detalle sobre la base un prolongado estudio de la obra de Cantor<sup>14</sup> es que la dedicación de Cantor a problemas de la teoría de conjuntos de puntos y la teoría de conjuntos transfinitos no se puede explicar satisfactoriamente teniendo en cuenta sólo los grandes problemas abiertos en

---

<sup>14</sup> Véase mi artículo ‘The motives behind Cantor’s set theory – Physical, biological and philosophical questions’, de próxima publicación en el Festschrift para Sabetai Unguru que editará la revista *Science in Context*. Para una exposición de las ideas de Cantor y sus motivaciones estrictamente matemáticas puede verse mi libro Ferreirós [1999].



Fig. 1. En *La contienda entre las Facultades* (1798), Kant reivindicó la autonomía de la filosofía y las ciencias respecto al Estado y a la educación profesional. Su moderado énfasis en la razón, la libertad, la verdad y la ciencia tenía, aun así, implicaciones subversivas.



Fig. 2. Retrato de Carl F. Gauss a la edad de 26 años (1803), momento en que ya gozaba de gran fama como matemático y astrónomo.



Fig. 3. En sus *Fundamentos para una teoría general de conjuntos* (1883), Cantor introduce los números transfinitos y con ello da el paso hacia la teoría abstracta de conjuntos. Se trata de una de sus principales contribuciones, mezcla extraordinaria (como indica el subtítulo) de matemática, ciencia y filosofía.



Fig. 4 Carta manuscrita de Cantor a otro profesor de Halle, Friedrich Loos, en la cual alaba la obra de éste y critica fieramente los ataques de Haeckel –famoso evolucionista que formuló una doctrina “monista” de corte materialista– a la metafísica y la religiosidad tradicional.

la matemática de su tiempo. Como dijo Poincaré (un claro simpatizante) en 1883, eran desarrollos prematuros para el estado de la matemática en aquel momento, o, como había dicho su maestro Hermite, eran resultados para los que no se veía ningún interés real y presente. La teoría de conjuntos de Cantor pertenece sin duda a la matemática pura, y en este sentido nuestro hombre estaba plenamente inserto en la dirección que hemos visto inaugurar a Gauss. Pero, contra lo que parece a primera vista, la motivación tras esa teoría no era puramente matemática. Había grandes motivos matemáticos, sin duda, pero había también otros motivos científicos y filosóficos de peso.

Para advertirlo, basta con atender a lo que nos dice el propio Cantor en su artículo más importante, *Grundlagen einer allgemeinen Mannichfaltigkeitslehre* [Cantor 1883]. Conviene resaltar que este artículo es sumamente peculiar, una pieza única en la historia de la matemática moderna por la rica y compleja mezcla de elementos matemáticos y filosóficos que ofrece. Cantor lo publicó enseguida como libro, y le puso por título “Fundamentos para una teoría general de conjuntos. Una investigación matemático-filosófica sobre la teoría del infinito”. En esta obra es donde introdujo los célebres *números transfinitos*, que sirven para el análisis abstracto de los diversos tipos de conjuntos bien ordenados y de sus cardinalidades. El paso era radical, y Cantor se sintió obligado a defenderlo de manera especial en el frente filosófico, respondiendo a las viejas críticas de Aristóteles, de los escolásticos y de muchos otros filósofos, replicando a las nuevas críticas de Kronecker, y exponiendo ciertas tesis epistemológicas y metafísicas que relaciona explícitamente con los sistemas de Platón, Spinoza y Leibniz.

Por primera vez en su carrera, Cantor hizo confesión pública de convicciones filosófico-científicas que albergaba desde diez o más años antes.<sup>15</sup> En los *Grundlagen* [1883, § 8, 181–182] abrazó una combinación de realismo e idealismo (“estos dos tipos de realidad [inmanente o ideal y transiente o externa] siempre se dan a la vez”) cuyo fundamento sitúa “en la *unidad del todo al que nosotros mismos pertenecemos*” y que basa en ideas teológicas –inspiradas por Spinoza, Leibniz y los teólogos católicos– y en una epistemología de inspiración neoplatónica. No se piense que la conexión entre estos elementos y sus matemáticas es forzada o extrínseca: Cantor discutía lo que acabamos de indicar en la sección 8 de la obra, dedicada precisamente a justificar la metodología propia de la matemática moderna. Utiliza esas ideas especulativas precisamente para defender una idea clave que luego haría famosa Hilbert: que en relación a los objetos matemáticos, para considerarlos legítimos y existentes, basta con que estén bien definidos y que formen un sistema lógicamente consistente (o sea, basta su “realidad inmanente o ideal”, véase arriba).

---

<sup>15</sup> Ya durante su carrera y tras el doctorado en teoría de números (1867) estudió muy a fondo la filosofía de Spinoza, y de nuevo en el invierno de 1871–72, cuando escribía sus artículos más famosos sobre análisis matemático (series de Fourier).

Pero el pasaje que nos interesa más, por las revelaciones que ofrece a propósito de las motivaciones de la teoría de conjuntos cantoriana, se encuentra algo antes, al final de la sección 5 de su escrito. Aquí manifiesta Cantor su esperanza en que los nuevos métodos de la teoría de conjuntos contribuyan a resolver las dificultades que encontraron los sistemas de Spinoza y Leibniz, poniendo de nuevo en pie su aproximación a la realidad física y mental. Dichas dificultades, continúa, condujeron a la filosofía crítica de Kant, pero ni esta doctrina ni sus sucesoras han logrado dar un sustituto adecuado a las teorías de Spinoza y Leibniz. Cito ahora textualmente:

Pues junto a (o en lugar de) la explicación mecánica de la Naturaleza –que en su dominio propio ha contado con todas la ayuda y las ventajas del análisis matemático, pero cuya unilateralidad e insuficiencia han sido expuestas magníficamente por Kant–, no ha habido hasta ahora ni siquiera el inicio de una explicación *orgánica* de la Naturaleza, que tratara de ir más allá y que estuviera armada con idéntico rigor matemático. Una tal explicación orgánica sólo podrá iniciarse, según creo, retomando de nuevo y desarrollando la obra y los esfuerzos de aquellos dos pensadores.<sup>16</sup>

La crítica al mecanicismo se hacía más explícita en una carta de 1886 a Valson,<sup>17</sup> donde Cantor llegaba a afirmar que la gran obra de Newton, *Principia*, se había convertido en “la causa real del positivismo y el materialismo actuales, que se han convertido en una especie de monstruo y se pavonean con el brillante ropaje de la ciencia”. Y ello, a pesar de las buenas intenciones del propio Newton, pero a causa de los “graves defectos metafísicos y las perversiones de su sistema”.

Dos años antes, en 1884, Cantor había confesado a Mittag-Leffler –el influyente matemático sueco que fundó la gran revista *Acta Mathematica*– que desde 1870 venía trabajando en el proyecto de una “profundización rigurosa en la esencia de todo lo orgánico”, lo que había requerido la creación de herramientas matemáticas completamente nuevas: la teoría de conjuntos.<sup>18</sup> Precisamente entre 1882 a 1885, años clave por la riqueza y profundidad de las nuevas ideas que publicó, Cantor elaboró algunas hipótesis sobre la constitución de la materia y del éter, explotando su nuevo análisis conjuntista del continuo, e introduciendo ideas novedosas en teoría de conjuntos de puntos. Su pretensión era desarrollar una gran teoría unificada de las fuerzas físicas y químicas, con vistas a aplicarla al reino biológico y así avanzar en el proyecto organicista.

Estas hipótesis, publicadas en un artículo que apareció en *Acta Mathematica* en 1885,<sup>19</sup> se nos antojan hoy muy pintorescas. Convencido de que

---

<sup>16</sup> Cantor [1883], 177.

<sup>17</sup> Francés que, significativamente, era autor de biografías de Ampère y Cauchy. La carta, sin fecha, aparece en Purkert & Ilgauds [1987], 208–209.

<sup>18</sup> Carta del 22 Sep. 1884, en Cantor [1991].

una teoría satisfactoria de la Naturaleza debía partir de elementos simples de la materia y el éter, rigurosamente puntuales y dados en número infinito, Cantor postulaba por ejemplo que el conjunto de elementos corpóreos es enumerable (del tamaño del infinito más pequeño,  $\aleph_0$  en la conocida notación de 1895) mientras que el conjunto de los elementos que forman el éter tiene la cardinalidad del continuo (la segunda cardinalidad infinita,  $\aleph_1$ , según la célebre Hipótesis del Continuo). Pero aquí no podemos entrar en un análisis detallado de estas ideas. Lo que más nos interesa es que esas cuestiones tenían, según Cantor, ramificaciones en la explicación de los fenómenos orgánicos. Un ejemplo lo da en carta al filósofo y psicólogo Wundt de octubre de 1883: el conjunto de “todas las células orgánicas que hay en el cosmos en un tiempo dado” es infinito y precisamente enumerable, esto es, de la cardinalidad  $\aleph_0$ .<sup>20</sup> Efectivamente, sobre la base de ciertos supuestos, que para Cantor eran obviamente correctos, este resultado de biología matemática se reduce a un teorema de la teoría de conjuntos de puntos que había publicado en 1882.

Las hipótesis físicas que hemos mencionado y sus aplicaciones biológicas quedaron sin desarrollo, infructuosas. Lo más interesante de ellas es precisamente la nueva luz que arrojan sobre las motivaciones extra-matemáticas que guiaron a Cantor en su extraordinaria investigación del continuo y el infinito. El contexto de las especulaciones organicistas de Cantor ayuda a entender cómo se planteó y logró demostrar ciertos resultados muy importantes en la época más creativa de su carrera. Me limitaré a mencionar algunas que aparecen a una luz nueva, como el mencionado teorema de 1882 sobre la cardinalidad de los conjuntos de infinitos subdominios sin intersección en el espacio  $\mathbb{R}^3$ , o el teorema del mismo año sobre movimiento continuo en espacios “lacunarios” a los que se ha sustraído un conjunto infinito enumerable de puntos.<sup>21</sup> También las condiciones que establece Cantor en su definición abstracta de “conjunto continuo” publicada en 1883, para la adecuación de la misma, resultan más comprensibles teniendo en cuenta su intención de aplicar el concepto al mundo biológico. Y la propia vía por la que Cantor llegó a su conjetura más famosa, la Hipótesis del Continuo –durante décadas el primer motor de la teoría de conjuntos–, emerge a una luz nueva.

Juzgada a la distancia, con la perspectiva que dan muchas décadas, la teoría de conjuntos fue un puntal muy importante en la consolidación y potenciación de la nueva matemática pura y abstracta. En este sentido, se trató de un avance más en la senda de la nueva profesión matemática universitaria que hemos visto iniciarse con Gauss. Pero no sólo Cantor contri-

<sup>19</sup> *Abhandlungen*, 275–276. Véase también la carta a Mittag-Leffler en Purkert & Ilgauds [1987], 203–205.

<sup>20</sup> Cantor [1991], 142.

<sup>21</sup> Véase el artículo de 1882 en *Abhandlungen*, 139–144.

buyó al desarrollo del enfoque conjuntista, y en otros casos –notablemente el de Dedekind– las motivaciones para el empleo de los conceptos y métodos conjuntistas fueron en buena medida intra-matemáticas y puristas.<sup>22</sup> En todo caso, creo inevitable la conclusión de que en el caso de Cantor las motivaciones matemáticas se conjugaron y entrelazaron de un modo rico y sorprendente con otros motivos filosóficos, físicos y biológicos.

## 5. El organicismo de Cantor en su contexto histórico

Si observamos estas motivaciones extra-matemáticas de Cantor y tratamos de describirlas en general, nos encontramos con características como las siguientes: la búsqueda de una concepción orgánica de la Naturaleza, contrapuesta al mecanicismo; el interés por conciliar la teoría científica con convicciones metafísicas y teológicas asociadas al cristianismo, a Spinoza y a Leibniz; y, en la vertiente negativa, el horror frente al positivismo, el sensualismo, el escepticismo, y sobre todo el materialismo. Todos ellos son rasgos característicos de corrientes culturales del siglo XIX, y reflejan buena parte de los debates y las polémicas intelectuales y existenciales de aquel tiempo. Veámoslas en contexto.

Las convicciones idealistas de Schelling y Hegel, que habían llenado de entusiasmo a los jóvenes universitarios alemanes durante los años 1820 y 1830, fueron perdiendo terreno por una compleja combinación de factores. Entre ellos podemos mencionar los triunfos de la física matemática y la nueva química, pero también el conservadurismo político de Hegel en una época revolucionaria, y no en último lugar el giro materialista que imprimieron a su filosofía los que (con Feuerbach y Marx) quisieron corregir dicho conservadurismo “invirtiendo” la dialéctica hegeliana. Las décadas intermedias del XIX fueron un momento de cientificismo y positivismo, pero en Alemania resultó especialmente notable la polémica en torno al materialismo de Carl Vogt y otros. Este materialismo “vulgar”, como lo llamó Marx, era hijo por un lado de la nueva ciencia (muy especialmente la “fisiología mecanicista” cultivada en Berlín) y por otro de los movimientos políticos revolucionarios.<sup>23</sup>

Los burgueses profesores de Universidad, educados en la tradición religiosa y en el culto romántico al espíritu, y bien establecidos como “funcionarios intelectuales” en la sociedad de la época, se enfrentaron horrorizados a aquellos materialistas que hablaban del pensamiento como una “secreción del cerebro” y que pretendían contribuir a la subversión del

---

<sup>22</sup> Si exceptuamos aspectos más epistemológicos ligados al proyecto logicista: *cf.* Ferreirós [1999].

<sup>23</sup> *Cf.* Gregory [1977].

orden social. En este ambiente tan caldeado tuvo lugar la primera recepción del darwinismo en Alemania, durante los años 1860, precisamente cuando estudiaba el joven Cantor.<sup>24</sup> Ernst Haeckel fue el biólogo que más se hizo notar como defensor del darwinismo y hostigador de las ideas tradicionales. En un escrito muy posterior, de 1900, Cantor habla de los “desvergonzados ataques de Haeckel a la Cristiandad” y felicita a un colega de su Universidad por la publicación de su *Anti-Haeckel*.<sup>25</sup> Esos ataques “desvergonzados”, fanáticamente materialistas y evolucionistas, habían empezado justamente en los años 1860.

Resulta muy tentador suponer que los proyectos filosófico-científicos de Cantor estuvieron marcados por la experiencia de aquella atmósfera intelectual tan inflamable que vivió en sus años de estudiante.<sup>26</sup> Si es así, su reacción frente a la metafísica radical y la política socialista del materialismo fue bastante típica de la burguesía y el profesorado alemanes. Lo atípico es la seriedad y la radicalidad, dignas de un filósofo, con las que Cantor emprendió la tarea de elaborar una nueva concepción matemático-científica del mundo físico y biológico. Pero hay algo más: Cantor pudo encontrar en su mismo entorno intelectual, en las Universidades y las clases a las que asistió, muchos temas clave que inspiraron sus reflexiones filosófico-científicas.

Hacia 1860, en la situación polémica (marcada por las críticas al idealismo y las amenazas del materialismo) que hemos descrito brevemente, algunos filósofos reaccionaron en vena romántica tardía, replanteando problemas que habían sido tratados por filósofos como Kant y Schelling, pero con variaciones inspiradas en los viejos autores Spinoza y Leibniz, los maestros del racionalismo especulativo tantas veces mencionados por Cantor. Cantor asistió a los cursos de dos de estos filósofos: en Berlín, las clases de F. A. Trendelenburg, notable por sus ideas de filosofía política y sus trabajos como historiador; en Göttingen, las lecciones de Hermann Lotze, recordado sobre todo por haber introducido la filosofía de los valores. Hemos visto antes que Cantor defendía en 1883 una combinación de “idealismo y realismo”, y precisamente las amalgamas de este tipo fueron características de los filósofos tardorrománticos que trataron de superar a un tiempo el idealismo absoluto y el materialismo.

Ante todo, hay que decir que el debate sobre el mecanicismo era un tema capital de la filosofía alemana desde que fuera tratado por Kant en su doctrina del “juicio teleológico” contenida en la *Kritik der Urtheilskraft* (1790). Como Leibniz mucho antes,<sup>27</sup> Kant quiso conciliar el orden mecá-

<sup>24</sup> Buen testimonio de la ideología y sentimentalidad de Cantor en esta época lo dan las cartas que escribió a su padre, *cf.* Dauben [1979].

<sup>25</sup> Carta a F. Loos, profesor de historia de la iglesia en Halle, en Meschkowski [1983], 292-293.

<sup>26</sup> Pero debo confesar que no he encontrado evidencia histórica directa para esta suposición. Lo mejor que encontramos es evidencia indirecta, como la citada carta de 1900 o las declaraciones de los años 1880 que he citado en la sección anterior.

nico de las cosas corpóreas con un orden teleológico del mundo de las almas. En su opinión, sólo la consideración mecánica es objetiva, aunque es radicalmente incompleta, mientras que la concepción teleológica sólo puede ser subjetiva, pero incorpora un ingrediente ideal que es imprescindible a la razón humana. Poco después, Schelling defendió la tesis especulativa de que Alma y Naturaleza son idénticas, de modo que el alma es naturaleza interior y la naturaleza alma exteriorizada. Como corolario de esta doctrina presentó la idea de que el enfoque mecánico, identificado para entonces con el nombre de Newton, era necesariamente incapaz de dar cuenta de los fenómenos orgánicos, y no sólo de ellos, sino también de los físicos y químicos. Se imponía con esto la necesidad de avanzar hacia una concepción orgánica de la Naturaleza.

Vemos que las preocupaciones de Cantor tienen orígenes en la filosofía alemana del cambio de siglo, pero conviene advertir que esos temas habían sido retomados de varios modos por quienes fueron sus maestros de filosofía. Cantor asistió a diversos cursos de Trendelenburg, influyente filósofo que estaba profundamente influido por el teísmo y la ética de Spinoza. Trendelenburg defendía una “cosmovisión orgánica” [*organische Weltanschauung*] postulando un paralelismo entre lo físico y lo mental, dominados ambos por la finalidad y el “pensamiento creativo”. Esto recuerda un tanto a la filosofía de Schelling, aunque renunciando al postulado de identidad schellingiano para volver a un mero paralelismo más en línea con Spinoza y Leibniz. Pero la principal diferencia *de facto* es que Trendelenburg renunció completamente a influir en el terreno científico: su “organicismo” no pretendía ser biológico o científico, sino que fue más bien una “cosmovisión religiosa”.<sup>28</sup>

Durante un semestre que pasó en Göttingen, Cantor tuvo también ocasión de escuchar al gran filósofo Lotze, que había ofrecido ideas relevantes sobre todo en su famoso libro *Microcosmos*. Es muy digno de nota que Lotze era médico, y como tal fue el primer promotor público del mecanicismo fisiológico, que –según vimos– se cuenta entre las influencias del materialismo de Vogt y otros. Pero en su filosofía recogió las enseñanzas de Leibniz y Kant,<sup>29</sup> e intentó mostrar cómo el reinado omnipresente de las causas mecánicas está estrictamente subordinado a la teleología: la causalidad y el mecanicismo son los fieles siervos encargados de realizar las ideas espirituales que circundan y dan fundamento a todos los fenómenos naturales. Se ha dicho de la filosofía de Lotze que es una modificación espinozista del leibnizianismo, lo que no deja de resultar significativo en el con-

---

<sup>27</sup> Pero eliminando un supuesto tan especulativo de Leibniz como el de la armonía perfecta. La insistencia en los límites es el elemento “escéptico” que quisieron superar los idealistas y que seguía poniendo tan nervioso a Cantor: “probablemente nunca se ha hecho más por desacreditar la razón humana y sus facultades”, escribió en referencia a las Antinomias de la *Kritik der reinen Vernunft*.

<sup>28</sup> Como la llamó otro discípulo suyo famoso, Dilthey, en una recensión de 1860.

<sup>29</sup> Aunque abandonando Lotze las restricciones críticas tan esenciales en su filosofía.

texto de nuestra historia, aunque el recurso a este tipo de etiquetas no ayuda en nada a la comprensión filosófica.

Como vemos, Cantor encontró en las Universidades a las que asistió, y probablemente en las discusiones intelectuales de sus años mozos, los temas clave que inspiraron sus reflexiones filosófico-científicas. A través de Trendelenburg se encontró con Spinoza, a través de Lotze con Leibniz; como buen estudiante y serio aprendiz de filósofo, no se contentó con conocer esas ideas de segunda mano, sino que dedicó gran parte de su tiempo a leer directamente a los maestros del XVII, y de este modo pudo avanzar hacia ideas originales. Como habría dicho Marx, las filosofías de Trendelenburg y Lotze (para lo que nos interesa aquí, y sin negar su posible interés en otros aspectos) no eran más que reacciones ideológicas de la burguesía alemana frente a las amenazas del materialismo y el socialismo. Cantor quiso ir más allá, quiso ser el Newton del organicismo: desarrollar la herramienta conceptual y matemática necesaria (como hizo Newton con el cálculo infinitesimal) y proceder a su aplicación científica.

Cantor no siguió a Trendelenburg en su resignación a no hablar del mundo físico, para centrarse en lo psicológico, la moral y la política; tampoco siguió a Lotze en su resignación a aceptar el triunfo del mecanicismo en el terreno científico. Quiso, como Schelling, elaborar un organicismo que entrara plenamente en la discusión científica, y que complementara o incluso reemplazara al mecanicismo. Pero, a diferencia de Schelling, intentó hacerlo con todo el rigor conceptual y metódico de las matemáticas: abandonó la “lógica dialéctica” y profundizó en el concepto matriz del continuo y en el estudio de los conjuntos de puntos y el infinito. Sus logros matemáticos son evidentes, y no tienen nada que envidiar a un Newton. Pero en lo relativo al aprovechamiento científico de esos logros se quedó muy lejos de sus altas expectativas.

## 6. Conclusión

Los dos casos que hemos analizado son muy distintos entre sí, pero ambos muestran maneras en que el contexto cultural, intelectual y social puede contribuir de modo importante a conformar la investigación matemática o, más en general, científica.

El ejemplo de Gauss nos enseña cómo los ideales culturales y educativos del Neohumanismo –tendencia inaugurada por filólogos, poetas e historiadores, pero también por filósofos como Kant– dejaron una huella muy profunda en la concepción de la ciencia propia de la Alemania decimonónica. Actuaron nada menos que redefiniendo el *ethos* de la ciencia y los valores característicos de semejante empresa, en un proceso que afectó a la profesionalización de los matemáticos y, con ello, a la orientación de toda una disciplina. (Proceso que, por cierto, no cabe en el esquema de las revolucio-

nes científicas de Kuhn, ya que los cambios valorativos de que hablamos no vinieron inducidos por un “cambio de paradigma” interno a la disciplina, sino por transformaciones institucionales que afectaron a todo el conjunto de las disciplinas científicas).

El caso de Cantor nos plantea la influencia de una problemática científico-filosófica de corte tardorromántico, que buscaba superar el materialismo y lograr una comprensión organicista del universo, como motivación impulsora de su extraordinario trabajo sobre el infinito y el continuo. Entiéndase bien que también existieron motivaciones puramente matemáticas, muy importantes y profundas, pero la cuestión es que éstas no bastan, por sí solas, para entender el desarrollo de las ideas cantorianas (como tampoco bastarían las motivaciones filosófico-científicas por sí mismas).

Una lección común, central en conexión con los temas de reflexión propuestos para el congreso “Ciencia y Romanticismo”, es que las simplificaciones de manual difícilmente ayudan a entender el curso de la historia y sus meandros. El Romanticismo fue un movimiento amplio, complejo y contradictorio, como probablemente todos los movimientos culturales. No supuso la muerte de la Ilustración, ni se entiende bien en términos de formaciones culturales excluyentes y absolutamente dominantes, de un *Zeitgeist* o una “esencia” inmutable. Desborda por delante, por detrás y por los flancos al idealismo filosófico, no sólo en otros contextos nacionales, sino también en la misma Alemania. Por delante hemos encontrado una nueva tendencia cultural, intelectual y educativa como fue el Neohumanismo, hija de la Ilustración en cierto sentido, pero madre del Romanticismo en otro. Por detrás, nos hemos topado con las polémicas del positivismo y el materialismo, y con reacciones filosóficas que caen bajo rótulos como los de post-romanticismo y organicismo.<sup>30</sup>

Para terminar, no quiero dejar de señalar una diferencia muy importante entre el argumento acerca de la teoría de conjuntos y el otro argumento “estilo Forman”. La historia que he contado a propósito de Cantor podría perfectamente encorsetarse en la vieja idea filosófica de un “contexto de descubrimiento” que no afecta al proceso de recepción, “justificación” y posterior desarrollo. Sólo factores extra-matemáticos como los indicados nos pueden ayudar a entender por qué surgió la teoría cantoriana en la década de 1880, y no bastante después. Pero el impulso organicista murió con el propio Cantor: la teoría de conjuntos de la década de 1900 no estaba en absoluto marcada por las señales de ese nacimiento.

En el caso del Neohumanismo y el *ethos* de la ciencia alemana, la situación es muy distinta: esto no puede reducirse a un mero contexto de descubrimiento sin grandes repercusiones ulteriores, porque estamos hablando de factores que determinaron en buena parte a la disciplina matemática tal

---

<sup>30</sup> Por los flancos, podríamos haber hablado de Herbart y Riemann –véase Ferreirós [2000]– o también de Fries y los científicos que le siguieron.

como la hemos conocido. Si estoy en lo cierto, el impacto de aquella tendencia en la conformación de la profesión matemática fue muy profundo, como lo fue más en general en todo el contexto de la Universidad alemana, su ideal de la ciencia pura y su redefinición de las disciplinas científicas fundamentales. El rastro de ese impacto puede seguirse a lo largo de muchas décadas, hasta llegar al enorme cataclismo cultural e institucional que supuso la época nazi. Por muchas décadas ha afectado a la producción, la recepción y la transmisión del conocimiento matemático.

### Referencias bibliográficas

- Cantor, G. *Grundlagen einer allgemeinen Mannichfaltigkeitslehre*, Leipzig 1883. Reimpreso en *Abhandlungen*, pp. 165–208. Traducción española de próxima publicación en *Mathesis*.
- *Briefe*, ed. por H. Meschkowski y W. Nilson, Springer, Berlin 1991.
- *Gesammelte Abhandlungen mathematischen und philosophischen Inhalts*, Springer, Berlin 1932. Reimpreso por G. Olms Verlag, Hildesheim 1966.
- Dauben, J. *Georg Cantor. His mathematics and philosophy of the infinite*, Harvard University Press, 1979.
- Ferreirós, J. *Labyrinth of Thought. A history of set theory and its role in modern mathematics*, Birkhäuser, Basel/Boston/Berlin 1999.
- *Riemanniana selecta*, CSIC (Clásicos del Pensamiento), Madrid 2000.
- Forman, P. *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica, 1918-1927: adaptación de los físicos y matemáticos alemanes a un ambiente intelectual hostil*, Alianza, Madrid 1984 [=1971].
- Gauss, C. F. “Astronomische Antrittsvorlesung”, en *Werke*, vol. 12, Göttingen 1808, pp. 177–98.
- *Werke*, 12 vols., Dieterich Göttingen 1863–1929. Reimpreso por G. Olms Verlag, Hildesheim 1973.
- Gregory, F. *Scientific materialism in nineteenth century Germany*, Reidel, Dordrecht/Boston 1977.
- Jahnke, H. N. *Mathematik und Bildung in der Humboldtschen Reform*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1990.
- Jungnickel, C., McCormmach, R. *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical physics from Ohm to Einstein*, Vol. 1. University of Chicago Press, 1986.
- McClelland, J. *State, Society, and University in Germany, 1700–1914*. Cambridge University Press, 1980.
- Meschkowski, H. *Georg Cantor: Leben, Werk und Wirkung*, Bibliographisches Institut (1ª edición como *Probleme des Unendlichen* en 1967), Mannheim 1983.
- Purkert, W., Ilgauds, H. J. *Georg Cantor 1845–1918*, Birkhäuser, Basel/Boston/Berlin 1987.
- Pyenson, L. *Neohumanism and the Persistence of Pure Mathematics in Wilhelminian Germany*, American Philosophical Society, Philadelphia 1983.
- Turner, R. S. “Justus Liebig versus Prussian chemistry: Reflections on early institute building in Germany”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 13 (1982), pp. 129–162.