NEWTON, EL MATEMÁTICO

José Montesinos Sirera
Profesor de Matemáticas
I. B. Villalba Hervás

Introducción

En el año 1650 muere René Descartes, dejando un legado intelectual de fundamental importancia para el desarrollo de la nueva ciencia. El Universo, es ahora, un complejo entramado regido por leyes mecánicas y el hombre, esa criatura finita e imperfecta, pero dotada de una mente en la que están sembradas las semillas del conocimiento, puede y debe tratar de desentrañar y dominar esas leyes.

Para ello, Descartes ha ideado un Método con el que, no aceptando nada por verdadero que no sea claro y distinto, y aplicando la razón convenientemente, siguiendo el modelo de las demostraciones matemáticas, el hombre puede llegar a resolver cualquier problema que se le presente.

El nuevo científico tendrá que creer que existen las soluciones de esos problemas y que únicamente será cuestión de tiempo y trabajo llegar a su solución. Dios, ese Maestro Infinito y Bondadoso, verá con buenos ojos a aquellas de sus criaturas humanas que consigan descubrir las claves del enigma.

El aspirante a este nuevo sacerdocio tendrá que saber MATEMÁTICAS, dominará las esencias profundas de la Geometría, representación idealizada de lo real; manejará hábilmente el Algebra, esa matemática mágica, de reciente creación, que permite nombrar y manipular los conceptos y magnitudes de la geometría con gran agilidad y precisión.

El nuevo científico, al ser consciente de vivir en un Universo infinito y en movimiento, radicalmente distinto del Mundo cerrado de los antiguos, tendrá que abandonar el «espíritu» de la matemática griega. Ahora prevalecerá la utilidad sobre la estética. La geometría no deberá temer «contaminarse» del movimiento de la Mecánica; el rigor, máximo logro que se imponían los griegos, pasará a un segundo plano.

Se aceptará el «número irracional» sin tener que recurrir a la engorrosa definición de razón de magnitudes inconmensurables, de Eudoxo (Libro V de «Los Elementos» de Euclides). Y tendrá que osar, valientemente, hacer uso de procesos infinitos, desatendiendo las advertencias y admoniciones aristotélicas. Se seguirán haciendo las demostraciones arquimedianas, pero obviando el largo y pesado método de exhaución.

Todo ello porque el fin lo justifica. Y el fin es el de arrancarle los secretos a la Naturaleza «... *conociendo la fuerza y la acción del fuego, del agua, del aire, de las estrellas, de los cielos y de todos los demás cuerpos que nos rodean... y convertirnos en los dominadores y poseedores de la Naturaleza*. De esta manera, con el estudio y el trabajo, el hombre recuperará el Paraíso perdido.

Este mensaje recorre toda la Europa culta y el «Discurso del Método» será el libro científico-filosófico más leído y de mayor influencia de la segunda mitad del siglo XVII.

Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII

Este es el título de la importante Tesis doctoral que Robert K. Merton publicó en 1933, en la que a nuestro juicio, queda demostrada la estrecha relación entre la ética protestante y el desarrollo de la Ciencia en la segunda mitad del siglo XVII en Inglaterra.

Expondremos a continuación el núcleo de las ideas de Merton por considerarlas necesarias para la comprensión de la personalidad y de la obra de Isaac Newton.

A comienzos del siglo XVII, la Teología y las Humanidades recibían una consideración mucho mayor que las Ciencias en las universidades inglesas. Wallis, quien estaba en el Emmanuel College en 1635, señalaba que las matemáticas casi no eran consideradas dignas de estudios académicos y que pocos estudiantes abordarían una disciplica tenida en tan poca importancia. Hacia mediados de siglo, la ciencia, como valor social, se elevó conspicuamente en la escala de estimación. En virtud de este nuevo prestigio, las hazañas científicas proporcionaban un canal para el avance social. La burguesía, para la cual la ciencia y sus frutos técnicos prácticos iban a ser cada vez más valiosos empezó a ver en la actividad científica, tanto como en los negocios, un medio sumamente satisfactorio de ascenso social.

La religión es una expresión de los valores culturales y en el siglo XVII era una expresión claramente dominante. El calvinismo expandió sus raíces a todas las sectas protestantes de la época. Las diferencias en minucias teológicas fueron llevadas a una convergencia en la ética social real: las buenas obras justifican al hombre tanto como la fe; el trabajo duro y persistente como medio de salvación es el signo de la convicción de un estado de gracia.

Una fórmula que, aunque en buena parte carente de significado para el hombre emancipado de hoy, se convirtió en el foco de vigoroso sentimiento entre los puritanos es la glorificación de Dios como fin supremo de la existencia. Aunque era familiar a oídos cristianos —en el catolicismo medieval también se utilizó la expresión—, ahora se arropó con un nuevo significado y un nuevo énfasis. Dios debe ser glorificado, pero determinados controles institucionales canalizaron esta glorificación en direcciones particulares, con una variedad de efectos sociales. A quienes la nueva fe proporcionaba fuertes motivaciones, se los acució a alcanzar la meta de la utilidad para los semejantes, de utilidad para la sociedad.

El estudio de los fenómenos naturales es un medio efectivo para poner de relieve la gloria de Dios. Esto no implica que los descubrimientos de Newton y otros científicos puedan ser atribuídos directamente a la sanción de la ciencia por la religión. Los descubrimientos e invenciones específicos pertenecen a la historia interna de la ciencia y son en gran medida independientes de otros factores que no sean los científicos. Pero el hecho de que la ciencia se hiciera socialmente aceptable, no pudo por menos de dirigir los talentos a indagaciones científicas, talentos que en otros tiempos habrían hallado expresión en otros campos.

El puritanismo confirma la tesis de que nociones no lógicas con una referencia trascendental pueden, no obstante, ejercer una considerable influencia sobre la conducta práctica. Si bien las fantasías de una deidad inexcrutable no se prestan a la investigación científica, la acción humana que deriva de una concepción particular de esa deidad puede prestarse a ello.

Se ha hecho manifiesto que, en cada época, hay un sistema científico que reposa en un conjunto de supuestos, por lo general implícitos y raramente cuestionados por la mayor parte de los científicos de esa época. El supuesto básico de la ciencia moderna, esto es, del tipo de labor científica que comenzó a prevalecer en el siglo XVII es la convicción difundida e instintiva de la existencia de un orden de las cosas y, en particular, de un ORDEN DE LA NATURALEZA. Esta creencia, esta fe es sencillamente impermeable a la exigencia de una racionalidad coherente.

Los primeros años de Isaac Newton (1642-1660)

El día de Navidad de 1642 nace Isaac Newton en Woolsthorpe (Lincolnshire).

Newton tiene una primera infancia sentimentalmente dura e infeliz. Cuando nace, su padre ya ha muerto; y cuando tiene tres años es enviado a vivir con su abuela, pues su madre, Hannah Ayscough, contrae nuevas nupcias con el Reverendo Barnabas Smith. No la «recuperará» hasta que tiene diez años, una vez muerto el Reverendo Smith, y su madre regresa a la casa de Woolsthorpe con tres nuevos hijos y doscientos libros de teología.

A los doce años es enviado a Grantham, a la Free Grammar School, institución educativa de prestigio, que tuvo también entre sus bancos a Henry More (1614-1687), el neo-platónico de Cambridge.

Isaac Newton se aloja en la casa del boticario y es un muchacho pensativo y silencioso, que aprende rápidamente el latín, la lengua necesaria para acceder a la cultura superior.

No es un «niño prodigio» y muestra una gran aptitud e imaginación en los trabajos manuales. Fabrica muñecas y molinos de viento; se apasiona en la construcción de relojes de sol y es un maestro en «volar» cometas. Siente una gran curiosidad por las reacciones químicas que presencia en la trastienda de la farmacia.

La lectura de la Biblia es una de las actividades más importantes en la escuela. Cuando está de regreso en su casa de Woolsthorpe, durante las vacaciones, se refugia en lugares apartados y se concentra en la lectura de los libros de teología de su difunto padrastro. Su poderosa imaginación emprende aventurados viajes, alejados de los caminos de la ortodoxia religiosa. Esto constituirá su «secreto», que mantendrá y alimentará a lo largo de toda su vida, siendo una más de las componentes de la personalidad retraída y neurótica que se va formando en él.

En cuanto a su formación matemática durante este período, se tenía la impresión de que no pasaba de un cálculo aritmético elemental y de unas reglas de determinación de áreas de figuras. Sin embargo, recientemente, D.T. Whiteside —gran especialista en la obra matemática de Newton y autor de una impresionante recopilación comentada de aquélla en ocho volúmenes: «The mathematical papers of Isaac Newton»— ha descubierto un cuaderno de apuntes fechado en 1654, presumiblemente perteneciente a Henry Stokes, maestro de Newton, en el que se contemplan temas y argumentos matemáticos no tan elementales.

En 1659, Newton es reclamado por su madre para ser instruído en las tareas de dirección de sus posesiones agrícolas. Nueve meses más tarde, y ante la total falta de disposición para ello, Newton es devuelto a Grantham tras la decisión familiar de que se prepare intensamente durante un breve período, antes de su ingreso en la Universidad. Mrs. Clark, la esposa del boticario, lo recomendará, maternalmente, a su hermano Humphrey Babington, «fellow» de la Universidad de Cambridge, que será su protector en los próximos años.

Los años de estudiante en Cambridge (1660-1664)

En 1661, la Universidad de Cambridge es una venerable institución con 400 años de vida, pero no está en su mejor momento. Va a sufrir las hostilidades de los nuevos y poderosos realistas que le harán pagar sus simpatías por los puritanos. Por otra parte, hay un desfase entre los currículos oficiales, impregnados todavía de escolasticismo, y la realidad de una revolución científica en pleno desarrollo.

Ingresa en el Trinity College como «subsizar», esto es, como un estudiante pobre que tendrá que realizar trabajos, en ocasiones, humillantes, para su manutención.

Newton se vuelca en los estudios del currículo oficial. Perfecciona el Latín y el Griego. Estudia la Lógica, la Etica y la Física aristotélica, pero pronto va a perder el interés por el saber oficial y se sumerge en la lectura de Henry More y de Descartes; de Galileo y de Hobbes; de Wallis, Gassendi y muchos otros. Tiene a su disposición la magnífica Biblioteca de la Universidad y unas inmensas ganas de saber.

Especial importancia, pensamos, tiene para Newton el descubrimiento del pensamiento cartesiano. Es, seguramente, a través de Henry More, entusiasta cartesiano en una primera etapa, que Newton entra en contacto con el libro que más le va a influir en esta fase de su formación: «El discurso del método, seguido de la Dióptrica, la Meteorología y la Geometría».

En la segunda edición latina de Van Schooten, comentada y ampliada, Newton va a pasar muchas horas venciendo las dificultades de lectura que encierra un libro como «La Geometrie». Pero, sacará dos consecuencias fundamentales:

— Para aspirar a ser un filósofo de la naturaleza, hay que aprender el arte de las matemáticas, manipular con habilidad las técnicas del cálculo, en un mundo que exige conocimientos cuantitativos. Las matemáticas, no como un fin en sí mismo, sino al servicio de la Física y de la Filosofía de la Naturaleza.

— No hay problema que no pueda ser resuelto si actuamos con el método adecuado y con la necesaria tenacidad.

Otra obra, cuya lectura deja profunda huella en el joven Newton es los «Discursos...» de Galileo. En ella descubre, maravillado, el sistema heliocéntrico y las increíbles complejidades de los espacios. Confirma, una vez más, que es el lenguaje matemático el adecuado para indagar en los enigmas de la Naturaleza.

A estas alturas, Newton ya ha decidido que su vía será la de la filosofía mecánica y su herramienta fundamental las matemáticas. Y se pone a la labor de una manera febril, trabajando dieciseis horas diarias, siete días a la semana y así durante muchos meses.

El carácter solitario y retraído de Newton se acentúa y hay que destacar su formación autodidacta. Siguiendo las pautas cartesianas, se hace un consumado algebrista, completando su formación con las obras de Vieta y Oughtread. Aprende de Wallis, en su «Arithmetica infinitorum», a usar sin temor —y sin rigor— los algoritmos infinitos. (cuadraturas, cálculos de tangentes, máximos y mínimos, indivisibles aritméticos, infinitesimales). Descuida el estudio de la geometría de los griegos. Lee superficialmente los libros aritméticos de «Los Elementos» de Euclides. No conoce los libros de Apolonio y de Arquímedes.

Cuando en abril de 1664, Newton se examina de matemáticas con Barrow, éste descubre con sorpresa, que Newton conoce y maneja la Geometría de Descartes sin haber estudiado a fondo la Geometría de Euclides, de la que Barrow es el traductor a la lengua inglesa además de profundo admirador de los métodos geométricos de los griegos.

La mente preclara de Barrow reconoce los rasgos de una gran inteligencia y no sólo no le reprocha el poco conocimiento de la materia a examen, sino que se hará su valedor en el futuro y tomará importantes decisiones que afectarán positivamente a la vida de Isaac Newton.

Una vez superado el examen de «undergraduate», Newton tiene asegurada su permanencia en la Universidad por cuatro años más, tras los que podrá aspirar a la condición de «fellow». Ha mejorado su condición y ahora recibe, incluso, una pequeña paga.

Los «Anni Mirabiles». (1665-1666)

A finales de 1664, Newton abre una entrada en su cuaderno de notas con el título de «Questiones quaedam philosophae», en el que se dejan abiertos una serie de temas, que constituyen una prefiguración de sus programas de investigación. Pero inmediatamente vuelve al estudio de las matemáticas, a las que dedicará todo su tiempo en los dos siguientes años, en los que conseguirá avances importantísimos:

A comienzos de 1665, El teorema del binomio, con el que abrirá las puertas al cálculo con las series infinitas.

A finales de 1665, El método de las fluxiones, o cálculo diferencial, ligado a encontrar la tangente a una curva.

En 1666, El método inverso de las fluxiones, o cálculo integral, ligado a encontrar el área de una curva.

Estos dos «años maravillosos» de invención, son los años de la peste que asoló Inglaterra y que hizo cerrar las puertas de la Universidad de Cambridge. Newton pasó este tiempo en el campo, en su casa de Woolsthorpe, a excepción de algunas breves visitas que hacía a su protector Humphrey Babington en Boothby Pagnell, cerca de Grantham. Pero aún tuvo tiempo de esbozar su teoría de los colores y según el propio Newton, en recuerdos evocados medio siglo después:

> *«...el mismo año empecé a pensar que la gravedad se extiende a la órbita de la luna y deduje que las fuerzas que mantienen los planetas en sus órbitas debían ser proporcionales a la inversa de los cuadrados de sus distancias a los centros alrededor de los que giran... Todo esto ocurrió en los dos años de peste de 1665-1666. Pues en aquellos días estaba en mi mejor edad mental para la invención, y me interesaban las matemáticas y la filosofía, más que en ninguna otra época después».*

En su libro «Never at rest», Westfall nos previene de la mitificación de este período de la vida de Newton, a la cual contribuirían las «memorias» del Newton anciano, que trataría de «embellecer» su biografía de cara a la feroz pugna que mantenía con Leibniz sobre la paternidad del cálculo diferencial.

En cualquier caso, el joven de 24 años Isaac Newton, es consciente en 1666 de la importancia de sus descubrimientos. Pero esto no es más que un entrenamiento. Para él lo importante está por venir, la Optica, la Mecánica Celeste, la Alquimia. En el resto de su vida científica dedicará muy poco tiempo a las matemáticas.

Ciertamente, perfeccionará sus resultados cuando, muy tarde, se decida a publicarlos. En la década de los ochenta, Newton «descubrirá» la matemática de los griegos, la geometría euclídea, el rigor. Se aproximará a la definición moderna de límite, y pretenderá presentar sus «Principia...» al estilo geométrico de los antiguos. Pero todo ello será inútil porque la matemática verdaderamente importante y la que usará en sus «Principia...» es la matemática de los «amni mirabiles», la matemática de su etapa cartesiana y algebraica, cargada de inventiva y preñada de fuerza fáustica.

Como dijo el economista J.M. Keynes (1883-1946), la combinación más extraordinaria que se haya dado en mente humana de intuición y voluntad de retener un problema en su mente el tiempo necesario hasta resolverlo, hacen de WOOLSTHORPE - NEWTON - (1665-66), el conjunto ESPACIO - HOMBRE - TIEMPO más fecundo de la Historia.

El teorema del binomio

> *«O binómio de Newton é tão belo, como a Vénus de Milo*
> *O que á, é pouca gente para dar por isso»*

Con estos versos, el poeta portugués F. Pessoa mostraba su admiración por la belleza estructural que advertía en el desarrollo del binomio de Newton, cuando era estudiante de bachillerato.

$$(a+b)^6=a^6+6a^5b+15a^4b^2+20a^3b^3+15a^2b^4+6ab^5+b^6$$

$$(1+x)^3=1+3x+3x^2+x^3$$

$$\begin{array}{ccccccccccccc}
 & & & & & & 1 & & & & & & \\
 & & & & & 1 & & 2 & & 1 & & & \\
 & & & & 1 & & 3 & & 3 & & 1 & & \\
 & & & 1 & & 4 & & 6 & & 4 & & 1 & \\
 & & 1 & & 5 & & 10 & & 10 & & 5 & & 1 \\
 & 1 & & 6 & & 15 & & 20 & & 15 & & 6 & & 1
\end{array}$$

....

Que los coeficientes numéricos del desarrollo del binomio n-ésimo (n, número natural), había que buscarlos en la fila n-ésima del triángulo aritmético, también llamado de Tartaglia o de Pascal, era un hecho ya conocido por los matemáticos chinos en el siglo XIII. Si el binomio lleva asociado el nombre de Newton, es porque éste tuvo el mérito de generalizar este desarrollo a potencias fraccionarias y negativas. (Era reciente el convenio de escribir $\sqrt[n]{a^m}=a^{m/n}$ y $\frac{1}{a^n}=a^{-n}$).

Hasta 1660 no se conocía una fórmula que diese en general los números de la fila n-ésima del triángulo aritmético. Pensamos que a Newton, convencido de la existencia de armonías preestablecidas, no le resultó muy difícil conseguir demostrar

$$X_{m,n}=\frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-(n-1))}{1\cdot 2\cdot 3\dots n}$$

donde $X_{m,n}$ denota el término n-ésimo de la fila m-ésima. (La numeración de los términos de una fila, empezará en el cero, y claramente $X_{m,0}=1$).

Entonces, Newton se plantea la validez del desarrollo para exponentes fraccionarios y negativos. Obtiene los siguientes desarrollos:

$$\frac{1}{(1+x)^3}=(1+x)^{-3}=1+(-3)x+\frac{(-3)(-4)}{1\cdot 2}x^2+\frac{(-3)(-4)(-5)}{1\cdot 2\cdot 3}x^3\dots=$$

$$=1-3x+6x^2-10x^3+15x^4+\dots$$

y análogamente,

$$\sqrt{1-x}=(1-x)^{1/2}=1-\frac{1}{2}x-\frac{1}{8}x^2-\frac{1}{16}x^3-\frac{1}{128}x^4-\frac{1}{256}x^5-\dots$$

Así pues, se encuentra un desarrollo algebraico infinito, pero Newton no se arredra ante sumas infinitas pues su espíritu está ya preparado con la lectura del «Arithmetica infinitorum» de Wallis. Comprueba que:

$$(1+x)^3 \cdot (1 - 3x+6x^2 - 10x^3+15x^4 - \ldots)=1$$

y que,

$$(1- \frac{1}{2} x - \frac{1}{8} x^2 - \frac{1}{16} x^3 - \frac{1}{128} x^4 - \ldots)\cdot(1 - \frac{1}{2} x - \frac{1}{8} x^2 - \frac{1}{16} x^3 - \ldots)=1 - x$$

El álgebra no le ha engañado. Aunque ¿qué sentido tiene una suma infinita? No se detiene mucho en esta pregunta y le basta con que su nuevo algoritmo le resulte muy útil. Lo comprueba para resultados ya conocidos y lo aplica a muchos otros casos y obtiene siempre resultados perfectamente válidos en la realidad. Más tarde, en 1669, en su «De analysi per aequationes numero terminorum infinitas», justificará el uso de series infinitas de la siguiente manera:

> *«Todo lo que el análisis común (el álgebra) realiza por medio de ecuaciones de un número finito de términos, éste (el nuevo análisis) puede realizar los mismo en todos los casos, por medio de ecuaciones infinitas (series), de tal forma que no he tenido ninguna duda en darle asimismo el nombre de análisis. Porque el razonamiento en éste no es menos cierto que en el otro; ni las ecuaciones menos exactas; aunque nosotros los mortales, cuyo poder de razonamiento está confinado dentro de estrechos límites, no podemos expresar ni concebir todos los términos de esas ecuaciones como para conocer exactamente de ellas las cantidades que deseamos».*

Cuando en 1676, Leibniz, a través de Oldenburg, secretario de la Royal Society, le pregunta a Newton por su ya famoso método de las series infinitas, éste le responde con una carta (*La epistola prior, 1676*), en la que crípticamente le facilita una fórmula, sin demostración, con la que obtendría sus desarrollos en serie:

$$(P+P\cdot Q)^{m/n}=P^{m/n}+ \frac{m}{n} A\cdot Q+\frac{m - n}{2n} B\cdot Q+\frac{m - 2n}{3n}C\cdot Q+\frac{m - 3n}{4n}D\cdot Q+\ldots$$

donde $A=P^{m/n}$ y B, C, D, ... serían el 2.°, 3.°, 4.°, ... término del desarrollo. Para nosotros, y una vez visto lo anterior, no es difícil la demostración:

$$(1+Q)^{m/n}=1+ \frac{m}{n} Q+ \frac{m/n\cdot(m/n - 1)}{1 \cdot 2}Q^2+\frac{m/n\cdot(m/n - 1)(m/n - 2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}Q^3+\ldots$$

multiplicando los dos miembros por $P^{m/n}$:

$$(P+PQ)^{m/n}=P^{m/n}+\frac{m}{n}P^{m/n}.Q+\frac{m/n(m/n-1)}{1\cdot 2}P^{m/n}.Q^2+$$

$$+\frac{m/n(m/n-1)(m/n-2)}{1\cdot 2\cdot 3}P^{m/n}.Q^3+\ldots$$

y llamando

$$A=P^{m/n},\quad B=\frac{m}{n}A\cdot Q,\quad C=\frac{m-n}{2n}B\cdot Q,\quad \text{etc.,}\ldots$$

tenemos la fórmula que en vano trataría de demostrar Leibniz, quien vuelve a escribir a Newton. Este le responde de nuevo (*La epístola posterior, 1676*) con una complicada explicación sobre los motivos y la obtención de la fórmula. Sería interpolando unos resultados sobre cuadraturas de Wallis que conseguiría la idea (una detallada explicación puede encontrarse en González Urbaneja, P. (1992)).

En nuestra opinión, Newton no es sincero con Leibniz y trata de complicarle las cosas al que ya vislumbra como enemigo en potencia. Entre otros resultados que Newton —en esta misma carta a Leibniz— dice haber encontrado con su método de desarrollo en series, se tienen:

— Resolución de la ecuación $y^3 - 2y - 5=0$

— Resolución de la ecuación $y^3+axy+a^2y - x^3 - 2a^3=0$

— Desarrollo en serie de $\operatorname{sen} x$ y $\operatorname{sen}^2 x$

— Solución al problema de Kepler (dividir un semicírculo por una línea que pasando por un punto dado del diámetro divide a aquél en dos secciones con áreas en proporción dada) para una elipse.

— Rectificación del arco de una elipse y de una hipérbola.

— El área de una hipérbola con la ayuda del desarrollo en serie del logaritmo.

— La cuadratura de la cuadratriz.

— El volumen de un segmento de un elipsoide de revolución.

En resumen, Newton consigue con su algoritmo de series infinitas una poderosa herramienta que le permitirá calcular raíces con la aproximación deseada, contruir nuevas funciones, realizar cuadraturas, cubaturas y rectificaciones, etc. Todo ello sin haber justificado rigurosamente los fundamentos. Sin preocuparse de la convergencia de la serie, pero estamos aún en una etapa de descubrimiento y avance, y no ha llegado el tiempo del rigor.

El método de las fluxiones

La obra de los matemáticos anteriores a Newton preparó el camino para que éste lograra dar nacimiento a una rama autónoma de la matemática, que hoy llamamos análisis infinitesimal pero que durante mucho tiempo siguió siendo en realidad un cálculo, un conjunto de reglas de gran utilidad y eficacia, puestas en evidencia por sus notables éxitos en las aplicaciones, pero sin unos fundamentos rigurosos.

Aquellos precursores habían tratado y resuelto numerosos problemas relativos a lo que hoy llamamos cálculo diferencial: determinación de rectas tangentes, curvatura y problemas de máximos y mínimos; y determinación de cuadraturas, cubaturas, rectificaciones y centros de gravedad, dentro de lo que hoy llamamos cálculo integral.

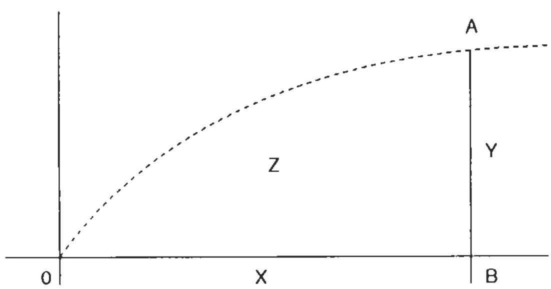
Faltaba el nexo que vinculara esos problemas aparentemente independientes.

Desde un primer momento, a través de Descartes, Newton ha puesto en estrecha relación la geometría analítica y la mecánica. Aprende, en las lecciones que escucha a Barrow, a considerar las curvas desde un punto de vista cinemático.

Su análisis de curvas será un análisis de puntos en movimiento y cuando se interese por el análisis del movimiento lo estudiará a través de consideraciones geométricas del mismo. El movimiento de un punto aparece así, vinculado a unos parámetros de naturaleza geométrica que permiten establecer ecuaciones con incógnitas a despejar. Si se conoce la naturaleza de esas ecuaciones, entonces es posible una matematización de los puntos en movimiento.

Estas ideas están en el origen de su Método de Fluxiones, fundamental en la elaboración futura de sus «Principia...».

Si consideramos la curva de la figura, Newton supone que el punto genérico A se mueve a lo largo de la curva, mientras



que su correspondiente ordenada y, su abcisa x, el valor z de la cuadratura (área OBA), o en general cualquier otra cantidad variable relativa a la curva aumenta o disminuye, cambia, fluye.

A estas cantidades que fluyen las llamó fluentes y a sus velocidades de cambio con respecto al tiempo las llamó fluxiones.

Hay que observar que en realidad los valores de las fluxiones en sí no interesan, sino su razón $\mathring{y}/\mathring{x}$, que nos da la pendiente de la tangente.

Pero veamos cómo procede en un ejemplo, en su «Tractatus de methodis serierum et fluxionum» que escribe en 1671.

Sea D un incremento de tiempo infinitesimal, entonces los incrementos correspondientes de las fluentes x, y, son respectivamente $\mathring{x}D$, $\mathring{y}D$; a estos incrementos los llama Newton momentos. Consideremos la curva de ecuación:

$$x^3 - ax^2 + axy - y^3 = 0$$

Si sustituimos en ella x e y respectivamente por $x + \mathring{x}D$ e $y + \mathring{y}D$ obtendremos

$$(x^3 + 3\mathring{x}Dx^2 + 3\mathring{x}^2D^2x + \mathring{x}^3D^3) - a\,(x^2 + 2\mathring{x}Dx + \mathring{x}^2D^2) + a\,(xy + \mathring{x}Dy + \mathring{y}D\,x + \mathring{x}\mathring{y}D^2)$$
$$-\ (y^3 + 3\mathring{y}Dy^2 + 3\mathring{y}^2D^2y + y^3D^3) = 0$$

y eliminando ahora $x^3 - ax^2 + axy - y^3$, que es igual a 0, dividiendo después por D y despreciando finalmente los términos en que figure todavía el factor D, nos queda

$$3\mathring{x}x^2 - 2a\mathring{x}x + a\mathring{x}y + a\mathring{y}x - 3\mathring{y}y^2 = 0$$

de donde puede despejarse la razón de $\mathring{y}$ a $\mathring{x}$ con el resultado

$$\frac{\mathring{y}}{\mathring{x}} = \frac{3x^2 - 2ax - ay}{3y^2 - ax}$$

Nótese que el numerador y el denominador en el resultado final son (salvo un signo) las derivadas parciales f_x y f_y de $f(x,y) = x^3 - ax^2 + axy - y^3$

Con su método de fluxiones, Newton resuelve los siguientes problemas geométricos: trazado de tangentes, mediante la subtangente; máximos y mínimos, anulando la fluxión; determinación de los puntos de inflexión, como máximos o mínimos del coeficiente angular de la tangente; determinación del centro y radio de curvatura.

Pero lo verdaderamente importante, lo que consigue generalizar y unificar todas las técnicas infinitesimales, dando lugar a un Algoritmo Universal, es la demostración del carácter inverso del problema de la cuadratura y de la obtención de la tangente. El resultado que se denomina con el nombre de Teorema fundamental del cálculo, permite obtener el área mediante una antiderivación, cosa que ya había vislumbrado Barrow.

Con Newton la derivación (su cálculo de fluxiones) ocupará el papel principal, quedando la integración reducida a ser el problema inverso.

El profesor de la cátedra Lucasiana (1667-1680)

Newton vuelve a Cambridge en abril de 1667. En octubre de ese mismo año es elevado a la categoría de «minor fellow». El 7 de julio de 1668 adquiere finalmente el grado de «fellow» de la Universidad de Cambridge.

Estrecha su relación con Barrow, a quien comunica sus descubrimientos matemáticos y éste queda tremendamente impresionado ante la magnitud de los logros conseguidos. Cuando a finales de 1668, Barrow recibe de Nicholas Mercator su «Logarithmotechnia» en la que se muestra el desarrollo en serie de log $(1+x)$, insta a Newton a que publique sus resultados, pero lo único que consigue es que ponga en orden sus conocimientos sobre las series y el método de fluxiones, en un escrito que titula «De Analysi per aequationes numero terminorum infinitas» y que será publicado muchos años más tarde.

El 29 de octubre de 1669 —no han pasado diez años desde su llegada a Cambridge— Newton accede a la Cátedra Lucasiana de Matemáticas, a propuesta del propio Barrow, titular de la misma hasta ese momento y que tres años más tarde accedería al puesto de Director del Trinity College.

Las obligaciones de su nuevo y bien remunerado cargo consistían, una vez a la semana, en impartir una lección sobre disciplinas matemáticas (geometría, astronomía, álgebra, óptica, etc.), y dos horas más para atender dudas. Además debía depositar cada año en la Biblioteca copias de diez de las lecciones impartidas.

En 1670 hace ciertas contribuciones al libro de Barrow «Lectiones geometricae», realiza un estudio sobre las cúbicas (de las cuales consigue enumerar 58 tipos distintas). Vuelve a sistematizar sus conocimientos sobre series y fluxiones en un escrito titulado «Tractatus de methodis serierum et fluxionum» y comienza aquí un largo período en el que se desinteresa de las matemáticas. Su interés se centra en la Optica y en la Teoría de los colores.

Ha decidido realizarse como un verdadero filósofo de la naturaleza. Se suscribe a las «Philosophical Transactions». Lee las obras de Boyle y Hooke.

En 1671 inventa el telescopio de reflexión, combinando sus teorías sobre la luz con su habilidad práctica y artesanal. Hace una desmostración de su invento en una reunión de la Royal Society en Londres. La comunidad científica le aplaude y Newton sienta su reputación en el mundo de la filosofía natural.

En 1672, animado por su éxito, envía a Oldenburg un artículo sobre la teoría de los colores, que es publicado en las «Philosophical Transactions». En esta ocasión sus ideas encuentran el escepticismo y el rechazo de personalidades como Hooke y Huyghens. Profundamente herido por estas críticas, Newton se retira más aún en su introvertido mundo. Las circunstancias parecen dar la razón a su enfermiza negativa a publicar. Su incapacidad de aceptar críticas le hará rehuir cualquier situación que conduzca a polémica.

Los años siguientes son de silencio y de rebelión. Newton se retira a sus aposentos de la fachada norte del Trinity College e instala allí un verdadero laboratorio. Poco a poco se ha ido haciendo con una impresionante colección de libros de alquimia. Construye con sus propias manos, en el patio-jardín de su apartamento, diversos hornos de fundición y se dedica con toda su apasionada fuerza a la tarea de penetrar en el secreto de la constitución de la materia y de las fuerzas que concurren en ella.

Según Westfall, que estudia largamente esta faceta newtoniana, «*Es necesario ver el interés de Newton por la alquimia como una manifestación de rebelión contra los límites que confinaban la filosofía mecánica en el estudio de la Naturaleza.*

Si la búsqueda de la verdad era la esencia misma de su vida, no hay razón para esperar que quedase satisfecho con ese primer amor que para él era la filosofía mecánica. Esta se le había rendido, quizás, demasiado fácilmente.

Insatisfecho, continuó la búsqueda y encontró en la alquimia y en filosofías paralelas una nueva dama de variedad infinita que nunca parecía poderse dominar totalmente...».

Desde el principio, Newton sintió algunas reservas sobre la filosofía mecánica. Compartía con Henry More el miedo a las implicaciones religiosas que se derivaban de una completa separación de espíritu y naturaleza. Ya en 1668 había escrito un ensayo, «De gravitatione et equipondio fluidorum», donde atacaba la filosofía cartesiana y la acusaba solapadamente de ateismo.

Paralelamente al interés por la alquimia se despierta en él de nuevo la inquietud por la verdad teológica. Estudia la cronología de las Sagradas Escrituras y cree descubrir una manipulación de la recta doctrina, que ha tenido lugar alrededor del siglo IV. Atanasio, venciendo a Arrio, ha hecho prevalecer la falsa doctrina de la Trinidad y esto ha llevado a la Cristiandad a su universal corrupción, encarnada fundamentalmente en el Papa de Roma.

Tiene que recurrir a las influencias de su amigo y protector Barrow, para ser liberado de su obligación, como catedrático del Trinity College, de dar sus votos como saderdote anglicano. Seguirá manteniendo, discretamente, durante toda su vida su pertenencia a la secta sociniana, una variedad del arrianismo, extendida en medios intelectuales ingleses.

Cabe decir que en todos estos años, su única actividad matemática es la de redactar, a regañadientes, las cartas a Leibniz en 1676, las Epistolas Prior y Posterior de las cuales ya hemos hablado en el desarrollo del tema del Binomio.

La ruptura con Descartes (1680-1684)

A finales de 1679 muere su madre Hannah Ayscough. Newton entra en la edad madura y como final de un proceso que se ha ido desarrollando paulatinamente, rompe con la filosofía y las matemáticas de su maestro René Descartes.

Desde la perspectiva religiosa, ya hemos visto cómo está convencido que el cartesianismo conduce al ateísmo. Desde el punto de vista físico-cosmológico, Newton que tiene ya en la cabeza las ideas que pronto plasmará en los «Principia...», advierte las deficiencias de los resultados físicos de Descartes: Los vórtices, la negación del vacío, la imposibilidad de interacción a distancia entre dos cuerpos.

Es en las matemáticas, donde a nuestro juicio es menos justificable la ruptura. Newton de pronto, «descubre» los valores de la Geometría de los Griegos. En 1679 se publica póstumamente «Varia opera mathematica» de Pierre Fermat, en la que éste hace una reconstrucción de un libro sobre lugares geométricos de Apolonio. Newton queda muy impresionado y se interesa de nuevo en las matemáticas. Tiene lugar en él una verdadera conversión a lo geométrico, que desde ahora será su ideal de elegancia y de rigor.

Se vuelca en la lectura de los libros VII y VIII de la Mathematical Collection de Pappus. Descubre con admiración los libros de Apolonio y Arquímedes. Se pone a la tarea de resolver geométricamente el problema de Pappus, que él tan bien conocía en su solución analítica a través de «La Geometría» de Descartes.

Newton se convence, en contra de lo que había afirmado Descartes, de que los Antiguos sí habían resuelto el problema para cuatro rectas, y que la demostración es mucho más elegante que la cartesiana. Da su propia solución en siete proposiciones y la hará aparecer en sus «Principia...», a pesar de no tener nada que ver con el tema allí tratado.

Newton se reprochará no haber estudiado a fondo la geometría de los griegos en su etapa de formación. Empieza a sentir la necesidad del rigor en las demostraciones y parece como si quisiera dar un aire de respetabilidad a sus matemáticas. Y ésta la conseguirá, piensa, a través de la geometría.

Escribe a James Gregory que «El álgebra es el análisis de los que no entienden de matemáticas». Por este tiempo, Newton vuelve a releer «la Geometría» de Descartes y en una especie de venganza anota en los márgenes comentarios peyorativos: «error», «esto no es geometría», etc.

Hacia 1683, juntando textos de sus lecciones de álgebra impartidas en los últimos doce años, compila un manuscrito, que será publicado en 1707 con el nombre de Arithmetica Universalis, que será una de sus obras más populares en el siglo XVIII, sin duda, por ser la de más fácil lectura dado lo elemental de su contenido. Leibniz la comentará laudatoriamente en sus Acta Eruditorum, porque contienen «ciertos logros que uno buscaría, en vano, en otros libros sobre análisis».

Sin embargo, en un libro que pretende explicar la geometría analítica, Newton ataca a los modernos analistas:

> *«Consecuentemente estas dos ciencias no deben ser confundidas. Los Antiguos distinguían tan bien la una de la otra, que nunca introdujeron términos aritméticos en su geometría; mientras que recientemente algunos autores (Descartes), confundiendo ambas, han hecho perder la simplicidad, base de la elegancia en la Geometría».*

Los principios matemáticos de la filosofía natural (1685-1694)

En 1664, Hooke observó la trayectoria de un cometa recién aparecido y sostuvo que se curvaba en las proximidades del sol, en contra de la supuesta trayectoria rectilínea. Así lo expuso ante la Royal Society, indicando que la causa de la desviación podía ser la de una fuerza de atracción que se ejercería desde el sol. Ni Hooke, ni ninguno de sus colegas fueron capaces de explicar matemáticamente dicha desviación, pero se empezó a concebir la idea de que el movimiento planetario podría estar sujeto a una influencia similar.

Recurren a Newton, por entonces ya el más renombrado matemático inglés, pero éste, recordando antiguos agravios no se digna contestar. En 1684, el matemático y arquitecto Christopher Wren, y destacado miembro de la Royal Society ofrece una prima a quien resuelva el problema. En agosto de ese mismo año es comisionado Edmund Halley para que se entreviste con Newton. Finalmente, el huraño profesor de Cambridge responde que la curva descrita por un cuerpo sometido a un movimiento inercial y a la vez solicitado por una fuerza central inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, es una elipse.

Halley quiere saber el fundamento de tal certeza y Newton le asegura haber hecho los cálculos en 1665-66, prometiendo buscar los papeles y enviárselos. Newton no halló los papeles y tuvo que emplear algunos meses en rehacer los cálculos.

Halley recibió más de lo que esperaba. En un pequeño tratado de nueve páginas, de título «De motu corporum in gyrum», Newton no sólo demostraba que una órbita elíptica implica una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a uno de los focos de la elipse sino que también resolvía el problema original: La curva sometida a las condiciones impuestas por Halley es una cónica —una elipse— siempre que las velocidades fuesen menores que unos determinados valores. Además, a partir de unos postulados de la dinámica, se demostraban la segunda y la tercera ley de Kepler.

Newton ha encontrado el buen camino, y al igual que le ocurrió en su período de creación del cálculo y de la óptica, avanza a grandes pasos. En Abril de 1686 tiene ya a punto en Libro I y a mediados de 1687 los Libros II y III de su gran obra: «PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA», que se editará ese mismo año, gracias al apoyo económico de Halley.

Dice I. Bernard Cohen, gran especialista de la obra newtoniana, en su obra «La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas»: «*'Principia...' es un libro extraordinario en varios niveles. Presenta resultados originales en matemática pura (teoría de límites y geometría de las secciones cónicas), desarrolla los conceptos fundamentales de la Dinámica (masa, momento, fuerza), codifica sus leyes principales (las tres leyes del movimiento) y demuestra la importancia dinámica de las leyes de Kepler... el broche de oro es el Libro III, donde expone su sistema del Universo, regulado por la gravedad, por la acción de una fuerza general, una de cuyas manifestaciones particulares es el familiar peso terrestre. Buena parte de la obra trata de las órbitas de los planetas y sus satélites, los movimientos y trayectorias de los planetas y las mareas oceánicas... el triunfo mayor fue, quizás, la explicación de que la causa de las mareas es la atracción gravitacional del sol y la luna sobre los mares*».

Es en los «Principia...» donde se ha desarrollado plenamente lo que se ha dado en llamar «el estilo newtoniano», cuya esencia era la capacidad de separar en dos partes el estudio de las ciencias exactas; a saber, el desarrollo de las consecuencias matemáticas de sistemas o constructos imaginados y la subsiguiente aplicación de los resultados matemáticamente derivados a la explicación de la realidad fenoménica.

El estilo newtoniano consta de tres pasos. El primero comienza usualmente simplificando e idealizando la naturaleza, lo que lleva a un constructo imaginativo en el dominio matemático, un sistema en el espacio geométrico, en el que las entidades matemáticas se mueven en un tiempo matemático según determinado conjunto de condiciones que vienen a ser expresables como relaciones o leyes matemáticas. A continuación, se deducen consecuencias por medio de procedimientos matemáticos, a fin de transferirlas luego al mundo observable de la naturaleza física, en el que, en la segunda fase, se lleva a cabo una comparación y contrastación entre los datos de la experiencia y las leyes o reglas derivadas de tales datos. Todo ello, por lo común, produce una alteración del sistema o constructo matemático original. Así, Newton comienza con una masa puntual con un campo con una fuerza central y deduce una ley de áreas. Más adelante, terminará por tomar en consideración cuerpos de tamaño finito y forma y constitución específica, llegando incluso a considerar las diferentes posibilidades de diversos tipos de medios resistentes a través de los que puedan moverse los cuerpos. En el tercer paso, Newton aplica los resultados obtenidos en los dos anteriores (que se corresponden aproximadamente a los Libros I y II de los «Principia...») a la filosofía natural, a fin de elaborar su «sistema del mundo» (Libro III).

En cuanto al estilo matemático de los «Principia...», Newton, en plena reconversión a lo «geométrico de los antiguos», presenta su obra de una manera que recuerda a Euclides, aunque solamente el «ropaje» es euclidiano. El espíritu de los «Principia...» es esenciamente distinto al espíritu de la geometría griega.

Es importante reseñar la preocupación en estos momentos de Newton por el rigor. Así, en la sección primera del Libro I: «DEL MÉTODO DE LAS RAZONES PRIMERAS Y ÚLTIMAS por cuyo medio se demuestra lo que sigue» Newton quiere salvar las dificultades lógicas y de fundamento que entrañan los métodos infinitesimales y se acerca mucho a nuestro concepto de «límite» actual.

Esta sección primera del Libro I, la constituyen once Lemas, el primero de los cuales dice así: «Las cantidades, así como las razones de cantidades, que tienden a la igualdad constantemente en un cierto tiempo finito y antes del límite de dicho tiempo se aproximan mutuamente más que una diferencia dada, al final se hacen iguales».

En el Escolio final, Newton justifica esta sección de la siguiente manera:

> *«He adelantado estos Lemas para evitar tediosas y largas deducciones ad absurdum al estilo de los antiguos geómetras. Pues las demostraciones se hacen más breves por el método de los indivisibles. Pero como la hipótesis de los indivisibles es más difícil y además, tal método se considera menos geométrico, he preferido reducir las demostraciones de las cosas que siguen a las sumas y razones últimas de cantidades evanescentes, y a las sumas y razones primeras de cantidades nacientes, esto es, a los límites de las sumas y de las razones y, por tanto, he preferido anteponer, con la brevedad que he podido, las demostraciones de dichos límites. Por este medio se consigue lo mismo que con el método de los indivisibles y así podremos utilizar con mayor seguridad principios ya demostrados. Por tanto, en lo que sigue, cuantas veces considere cantidades como si constaran de partículas, o cuantas veces tome pequeñas curvas por líneas rectas, no quiero entender nunca que se trata de indivisibles, sino de divisibles evanescentes, ni tampoco de sumas o razones de partes determinadas, sino de los límites de las sumas y de las razones; y la fuerza de tales demostraciones debe atribuirse siempre al método de los Lemas precedentes...».*

Observemos cómo Newton rechaza las cantidades indivisibles últimas en favor de «cantidades divisibles evanescentes», cantidades que podían disminuir sin cesar. Esta es la explicación más clara que Newton da de sus fluxiones. Pero se da cuenta de que su explicación no es completamente satisfactoria y recurre al significado físico, en un párrafo que recuerda a Zenón de Elea y sus aporías:

«...Pudiera objetarse que no hay proporción última alguna entre cantidades evanescentes, ya que antes de que desaparezcan no son últimas, y, después de desaparecidas, no puede darse ninguna. Pero por la misma razón podría decirse que un cuerpo que llega a un punto en el que se acaba su movimiento no tendría una velocidad última, puesto que dicha velocidad no sería última antes de que dicho cuerpo alcance el punto final de su movimiento, y cuando le haya alcanzado ya no tendrá velocidad alguna. La respuesta es fácil: por velocidad última se entiende aquella con la que el cuerpo se mueve, no antes de alcanzar el punto final y cesa, por consiguiente, el movimiento, ni tampoco después de haberlo alcanzado, sino aquella con la que se mueve cuando lo alcanza, esto es, aquella velocidad con la que el cuerpo alcanza el punto final y aquella con la que cesa el movimiento. De igual manera ha de entenderse por razón última de cantidades evanescentes la razón de cantidades, no antes de que desaparezcan, ni después de desaparecidas, sino aquella con la que desaparece... Existe un límite que puede alcanzar la velocidad al final del movimiento, pero no puede traspasarla. Esta es la velocidad última. Y semejante es la razón del límite de todas las cantidades y proporciones nacientes y evanescentes. Y dado que tal límite es cierto e indefinido, el problema de determinarlo es puramente geométrico. Por lo demás es legítimo utilizar medios geométricos para determinar y demostrar cosas también geométricas.

También pudiera objetarse que si se dan razones últimas de cantidades evanescentes, también se darán magnitudes últimas; y así toda cantidad constará de indivisibles, contra lo que demostró Euclides sobre los inconmensurables en el Libro X de Los Elementos. Pero esta objeción se apoya en una hipótesis falsa. Las razones últimas con las que tales cantidades desaparecen en realidad no son razones de cantidades últimas, sino límites a los que tiende a acercarse siempre las razones de cantidades continuamente decrecientes, límites a los que pueden acercarse más que una diferencia dada, pero nunca traspasarlo, ni tampoco alcanzarlo antes de que las cantidades disminuyan in infinitum.

Los últimos años (1695-1727)

El mismo año en que se publican los «Principia...» Newton es elegido diputado del Parlamento. Son frecuentes sus estancias en Londres, donde se relaciona con Locke y otras figuras de la cultura del momento.

Es testigo de los acontecimientos de la «gloriosa revolución» que coloca a Guillermo de Orange en el trono de Inglaterra, sustituyendo al tirano y «papista» Jacobo II.

A comienzos de los noventa la fama de Newton va en aumento y los «Principia...» es el libro que todo europeo culto quisiera entender...

Cuando Newton cumple cincuenta años comienza a dar inquietantes señales de cansancio e inestabilidad mental. Escribe cartas a Locke y Samuel Pepys en las que confiesa su estado turbado y depresivo. Se habla en Londres de «la locura de Newton». Sus amigos y particularmente el poderoso Lord Halifax, deciden retirarlo de su intensísima vida de trabajo intelectual (en la que sigue predominando una frenética actividad alquímica).

Newton es ahora la gran figura de la ciencia inglesa, a contraponer a Leibnitz y otros científicos del continente y encarna los valores de una sociedad inglesa que ya aspira a dominar el mundo.

Newton es separado de su cátedra de Cambridge y nombrado Director de la Casa de la Moneda en Londres, donde llevará una cómoda y tranquila vida, retirado ya de las inquietantes aventuras mentales que estuvieron a punto de sumirlo en la demencia.

En 1705 es elevado a la nobleza por la reina Ana. Desde 1703 es Presidente de la Royal Society, cargo que ostentará hasta su muerte en 1727.

Newton y el cálculo infinitesimal en el siglo de las luces

La influencia de Newton en el siglo XVIII queda sintetizada así por Isaíah Berlín: «*Las ideas de Newton tuvieron un enorme impacto; comprendidos correctamente o no, sus principios y métodos fueron la base del programa del Siglo de las Luces, sobre todo en Francia; este movimiento derivó su confianza y su gran influencia de las espectaculares realizaciones de Newton. Y esto, con el tiempo, transformó —en gran medida generó— alguno de los conceptos y orientaciones centrales de la moderna cultura occidental, en lo moral, político, tecnológico, histórico y social. Ninguna esfera del pensamiento o de la vida escapó a las consecuencias de esta transformación cultural*».

El siglo XVIII fue ante todo la era de la fe en la Ciencia y Newton era el símbolo de la ciencia triunfal.

Veamos la relación de Newton y el cálculo infinitesimal con tres grandes personajes del pensamiento y de la cultura del siglo XVIII: GEORGE BERKELEY (1685-1753), VOLTAIRE (1694-1778) y GOETHE (1749-1832).

George Berkeley, otro ilustre «fellow» del Trinity College, buen estudiante de matemáticas y de física, se dedicó a la filosofía y a la teología, llegando a ser obispo de la Iglesia Anglicana. En 1743, publica «*El analista o un discurso dirigido a un matemático infiel*» en donde con extrema virulencia ataca a las nuevas técnicas infinitesimales y «*en donde se examina si el objeto, los principios y las inferencias del moderno análisis están más distintamente concebidos, o más evidentemente deducidos que los misterios religiosos o los artículos de la fe*».

En este discurso, dirigido seguramente a Edmund Halley, Berkeley protesta del distinto trato que algunos matemáticos otorgan a la fundamentación de las «verdades» del cálculo infinitesimal y a la de las «verdades» de la religión.

«...Se supone que las líneas se generan por el movimiento de puntos, los planos por el movimiento de líneas y los cuerpos por el movimiento de planos. Y, puesto que las cantidades generadas en tiempos iguales son mayores o menores de acuerdo con la mayor o menor velocidad con que aumentan y son generadas, se ha hallado un método para hallar las cantidades a partir de las velocidades de sus movimientos generales. Y dichas velocidades se denominan diferenciales; y la cantidad generada se denomina cantidad fluctuante. Se dice que estas diferenciales son casi iguales a los incrementos de las cantidades fluctuantes, generados en las mínimas porciones iguales de tiempo; y, para ser exactos, en la primera proporción del incremento creciente, o en la última del menguante...

Ahora bien, siendo que nuestro sentido está extrañado y desconcertado por la percepción de objetos extremadamente pequeños, aún así la Imaginación, facultad que deriva de los sentidos, está muy extrañada y desconcertada para estructurar ideas claras sobre las mínimas partículas de tiempo, o los mínimos incrementos generadores en ellas: Y así, mucho más para comprender los momentos, o aquellos incrementos de las cantidades fluctuantes en statu nascenti, en su mismo primer origen o comienzo de existencia, antes de que se conviertan en partículas finitas. Y aún parece más difícil concebir las velocidades abstraídas de tales entidades imperfectas nacientes. Pero las velocidades de las velocidades —las segundas, terceras, cuartas y quintas velocidades, etc.— superan, si no me equivoco, toda comprensión humana... ciertamente, en cualquier sentido, una diferencial segunda o tercera parece un absurdo misterio...

Todos estos puntos, digo, lo suponen y creen ciertos rigurosos detractores de la evidencia de la religión, hombres que pretenden no creer más que lo que pueden ver. Que estos hombres que sólo se han ocupado de puntos claros, puedan admitir sin dificultad otros oscuros, no parece, en absoluto, inexplicable. Pero ellos que pueden asimilar una segunda o tercera diferencial, me parece que no deberían ser escrupulosos en cuanto a ningún punto de la divinidad...».

Tiene razón Berkeley cuando dice que los matemáticos estaban procediendo de manera misteriosa (sin rigor), y el que los resultados obtenidos y los teoremas demostrados con los métodos infinitesimales estuviesen de acuerdo con la realidad física de una manera sorprendente, no hacía más que irritar al buen obispo que veía cómo la «ciencia» se iba perfilando como una nueva y más poderosa «religión».

Fueron numerosos los matemáticos de esta época que replicaron a estas críticas, intentando rigorizar, sin éxito, el cálculo. Habrá que esperar a Cauchy y a los matemáticos alemanes del siglo XIX, para que con el concepto de límite y la fundamentación de los números reales, se dote al Cálculo de una base rigurosa.

Radicalmente distinta va a ser la postura frente a Newton del librepensador francés Voltaire. Ferozmente crítico con Descartes, Pascal y Leibniz, incansable enemigo de la religión organizada y ferviente abogado de la tolerancia, es el gran propagandista de las obras de Newton en Francia.

En sus «Cartas filosóficas» (1734), después de describir y ensalzar la tolerancia de la sociedad inglesa y de su régimen político, hace encendidos elogios de Newton y de su obra científica. Limitándonos a sus opiniones sobre el cálculo infinitesimal, digamos que Voltaire siente un gran respeto y admiración por ese extraño método que consigue resultados tan sublimes, *«Es el arte de nombrar y de medir con exactitud aquello de lo que ni siquiera puede concebirse su existencia»*.

> *«¿Que hay cuadrados de infinito, cubos de infinito e infinitos de infinitos, tales que el penúltimo es nada en relación al último?. Todo esto que parece de entrada el colmo de la sinrazón, es de hecho, la prueba de la finura y de la creatividad del espíritu humano, y el método de encontrar verdades hasta hoy desconocidas».*
> *«Sea como fuere, es por esta GEOMETRÍA DEL INFINITO que Newton ha llegado a los más sublimes conocimientos».*

Es a través de su amiga y amante Madame de Chatêlet, excelente matemática y traductora de los «Principia...» al francés, que Voltaire se familiariza con la obra de Newton. En 1737 publica los «Elementos de la filosofía de Newton», una de las principales obras de divulgación del pensamiento newtoniano en el siglo XVIII.

Newton aparece como un liberador del espíritu humano. El Universo no es ya el abismo insondable y angustioso de Pascal o el «mundo pleno» de Descartes lleno de resistencias. Ahora es una inmensidad límpida y serena que se abre al descubrimiento.

En «Micromegas» (1752), uno de sus «Cuentos filosóficos», el protagonista, un habitante de la estrella Sirio viaja por todo el universo: *«notre voyageur connaissait merveilleusement les lois de la gravitation, et toutes les forces attractives et répulsives. Il s'en servait si à propos que tantôt à l'aide d'un rayon de soleil, tantôt par la commodité d'une comète, il allait de globe en globe, lui et les siens, comme un oiseau voltige de branche en branche»*.

Con una cierta embriaguez cósmica, Voltaire hace viajar a su imaginación por un espacio infinito, homogéneo, donde hay diferencias que están medidas por proporciones que responden a una armonía, en un clima de fraternidad universal.

Voltaire está inmensamente agradecido, y con él toda la Europa culta de su tiempo, a este hombre que con su tesón e inteligencia y con la ayuda de las matemáticas —*«C'est une chose qui me paraît toujours admirable, qu'on ait découvert de si sublimes vérités avec l'aide d'un quart de cercle, et d'un peu d'arithmétique»*—, ha dominado el cosmos infinito, generando una confianza y una certidumbre en La Ciencia.

A finales del siglo XVIII, Goethe, el gran literato y pensador alemán, no ama el cálculo infinitesimal; sin embargo su ansia de infinito no conoce sosiego.

Goethe es decididamente escéptico a la idea de una completa matematización de la naturaleza. Las matemáticas, según él, tratan únicamente una faceta de lo real: la cuantitativa. Pero la Naturaleza no es sólo cantidad sino también calidad.

El Arte es también un intérprete de los misterios del Universo. El Arte y la Ciencia derivan de una única fuente: el Espíritu Universal. El conocimiento es una espontánea función orgánica de la vida y es precisamente desde este sustrato vitalista del mismo, desde donde Goethe intenta poner límites al análisis científico. Este no debe ir más allá del punto en que ponga en peligro la belleza de las cosas.

Goethe desarrolló una teoría sobre la luz y los colores, publicada en 1810, en la cual intenta dar a la percepción un papel básico en la óptica, mezclando física y fisiología en un esfuerzo cualitativo que desconfiaba del carácter exclusivamente cuantitativo de la teoría de los colores de Newton.

En 1800, la ciencia newtoniana está en el máximo de su esplendor. Laplace ha perfeccionado la mecánica celeste de Newton y cuando Napoleón, fino conocedor de la actualidad científica de su tiempo, le pregunta el papel de Dios en aquel soberbio entramado, éste le contesta: «Sire, je n'ai pas besoin de cette hypothèse».

Goethe, ciertamente, no simpatiza con este determinismo mecanicista y en el «Fausto» hace una reflexión sobre la Ciencia y sobre el ansia de sabiduría y sus limitaciones. Fausto es el prototipo de la humanidad descontenta que ambiciona la posesión de todos los saberes.

Goethe, seguramente, no conoció las facetas alquímicas y teológicas de Newton, celadas rigurosamente por los biógrafos-hagiógrafos interesados en presentar a Newton como el racionalista por excelencia, el mayor científico de la edad moderna.

...O sí las conoció y entonces fue Isaac Newton el modelo de su Doctor Fausto.

BIBLIOGRAFÍA

BERKELEY, G. (1985). Principios del conocimiento humano. Sarpe.

BOYER, C. (1949). The history of the calculus. Dover.

BOYER, C. (1987). Historia de la Matemática. Alianza Univ.

COHEN, B. (1987). La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas. Alianza Univ.

COHEN, B. (1989). Revolución en la ciencia. Edisa.

CUESTA, N. (1985). Historia de la invención del análisis infinitesimal y de su introducción en España. Ed. Univ. Salamanca.

FAUVEL, J. (1987). The history of mathematics: A reader. Mc Millan Press.

GONZÁLEZ URBANEJA, P (1992). Las raíces del cálculo infinitesimal en el siglo XVII. Alianza Univ.

GONZÁLEZ GARCÍA, J. (1992). Las huellas de Fausto. Tecnos.

GRATTAN-GUINNES (1984). Del cálculo a la teoría de conjuntos. Alianza Univ.

HALL, R. (1985). La revolución científica. Crítica.

HELENA, A. (1988). A hombros de gigantes. Alianza Univ.

KLINE, M. (1985). La pérdida de la certidumbre. Siglo XXI.

KLINE, M. (1992). El pensamiento matemático de la antigüedad a nuestros días. Tomo I. Alianza Univ.

KOYRE, A. (1989). Del mundo cerrado al universo infinito. S. XXI.

MERTON, R. (1970). Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII. Alianza Univ.

NEWMAN, J. (1969). El mundo de las matemáticas. Tomo I. Grijalbo.

NEWTON, I. (1987). Principios matemáticos de la filosofía natural. Traducción e introducción de Eloy Rada. Alianza Univ.

NEWTON, I. (1740). La méthode des fluxions. Chez de Bure.

REY PASTOR - BABINI (1985). Historia de la matemática. Gedisa.

STRUIK, D. (1969). A source book in mathematics. Harvard U. Press.

VICKERS, B. (1990). Mentalidades ocultas y científicas en el Renacimiento. Alianza Univ.

VOLTAIRE (1979). Novelas y cuentos. Bruguera.

VOLTAIRE (1964). Lettres philosophiques. Flammarion.

WESTFALL, R. (1990). Never at rest. Cambridge Paperback Library.

WHITESIDE, D. (1967). The mathematical papers of Isaac Newton. Volume I (1664-1666). Cambridge University Press.