

Las órbitas de los planetas: Hegel contra Newton. La ciencia de Newton

JOSÉ MONTESINOS SIRERA

FUNDACIÓN CANARIA OROTAVA DE HISTORIA DE LA CIENCIA

I. EL DESARROLLO DE LA CIENCIA NEWTONIANA

a) A hombros de gigantes

Cuando en 1683 Isaac Newton publicó los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, el Cielo y la Tierra quedaron finalmente unificados en la Física, en la Filosofía Natural que los seres humanos habían desarrollado hasta entonces para explicar los complejos fenómenos que el Universo Mundo les presentaba. Para ello había tenido que superar grandes dificultades, y entre ellas, la del «sentido común» y las creencias tradicionales. Aunque ciertamente, y como el propio Newton reconoció, algunos «gigantes» del pensamiento le habían abierto el camino.

Kepler le había dado sus tres leyes, que eran resultados empíricos conseguidos tras pacientes comprobaciones de datos numéricos sobre las posiciones de los planetas, obtenidos principalmente por Tycho Brahe. Las órbitas de los planetas serían –para asombro de muchos acostumbrados a la admirada perfección de lo circular– elipses, en uno de cuyos focos estaría el Sol; las áreas barridas en tiempos iguales por el radio vector que une el Sol con el planeta serían iguales; y los cuadrados de los periodos –el tiempo que tarda un planeta en hacer una revolución completa alrededor del Sol– serían directamente proporcionales a los cubos de las distancias medias al Sol.

En su admirado Galileo, Newton había encontrado las claves de la matematización de la Naturaleza: el método axiomático deductivo de la geometría arquimediana, con el que había concebido aquel maravilloso resultado en el que se asociaban los ritmos de caída de un grave con la sucesión de los números impares. Galileo, que había sido el afortunado primer mortal en descubrir con su artesanal telescopio montañas en la Luna y satélites en Júpiter, haciendo desmoronar así la explicación geocéntrica aristotélico-ptolemaica y la distinción entre el etéreo espacio supralunar y el corrupto mundo sublunar en el que habitamos.

Pero fue posiblemente Descartes quien más influyó en el joven Isaac Newton, que leyó con aprovechamiento *El Discurso del Método* y *La Geometría*, que le mostró las ventajas del álgebra y de la geometría analítica y que le pusieron en el camino de su análisis infinitesimal que consiguió cuando tenía veintiséis años. Posteriormente, Newton se rebela contra esta influencia, que le impediría un temprano conocimiento de la geometría sintética de los griegos, de la que fue un gran admirador en su edad madura. Por otra parte advierte la endeblez de la física cartesiana y se propone construir un Sistema del Mundo que demuestre lo falaz de aquel discurrido entramado.

Del holandés Huygens, Newton apreció la maestría en el arte de usar el razonamiento geométrico al servicio de la ciencia del movimiento. En su libro *De vis centrifuga*, Newton encontró el concepto de fuerza centrífuga, que si bien ya estaba en la obra de Descartes como tendencia centrífuga, corresponde a Huygens además del nombre, el haberla cuantificado. Más tarde, en su honor, Newton llamará fuerza centrípeta a la fuerza hacia un centro. Para él, y a diferencia de los científicos continentales, el movimiento circular uniforme está formado por una tendencia tangencial inercial y por una fuerza hacia el centro que desvía continuamente al móvil de su tendencia inercial rectilínea.

Y es a su compatriota Hooke, a quien Newton debe el haber cambiado la explicación continental de movimiento circular uniforme, la de Descartes, Huygens y Borelli, como formado por el movimiento circular propio más los efectos centrífugos: radial o fuerza centrífuga y tangencial o fuerza de inercia. Es también Hooke quien le pone tras la pista de la fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Pero Newton, que tenía bastante mal carácter no se lo reconoció nunca y se dice que la expresión «a hombros de gigantes» que empleó Newton era para descartar a Hooke, que era bajito.

b) Los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

«He aquí la Ley del Universo, las divinas medidas de la masa. He aquí el cálculo del Cielo [...]. Al fin aquí sabemos por qué avanza la plateada Luna con pasos desiguales».

De un poema de E. Halley

Este es el brillante e importantísimo estudio matemático con el que Newton consigue controlar, medir y predecir los movimientos de los planetas y de las mareas, aunque sin contestar a la pregunta clave de la Filosofía Natural: *A quo moventur planetae*, esto es, qué mueve a los planetas. Newton conoce las leyes de Kepler obtenidas empíricamente, y siguiendo el método galileano, a partir de unos principios adecuados, construye una teoría axiomático-deductiva con la que deduce, claro está, las propias leyes de Kepler, al mismo tiempo que el poderoso razonamiento matemático le pone al descubierto muchas cosas más.

Newton consigue hacer «equivalentes» dos movimientos que el sentido común dice ser diferentes: el movimiento **rectilíneo** uniformemente acelerado de la caída de un grave, ya cuantificado por Galileo, y el movimiento **circular** uniforme, que es la manera en que los planetas describen aproximadamente sus órbitas. Así pues, Newton nos dice que una manzana cae como «cae» la Luna. ¿Cómo lo consigue? Newton parte de las hoy llamadas leyes fundamentales del movimiento: el principio de inercia, la fórmula de la fuerza como producto de la masa por la aceleración y la ley de la acción y reacción. La piedra angular de todo su entramado es el principio de inercia: «todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que alguna causa exterior lo impida».

¿Qué es lo que cambia, entonces, a un móvil de su movimiento rectilíneo uniforme?: algo exterior, una fuerza, que en caso de que sea constante, o bien cambia el módulo de su velocidad, la rapidez, sin cambiar la dirección, o manteniendo constante la rapidez, cambia la dirección. En el primer caso la velocidad es proporcional al tiempo y el espacio es proporcional al tiempo al cuadrado; si lo que cambia, uniformemente, es la dirección, manteniéndose constante la rapidez, entonces tenemos el movimiento circular uniforme. Ambos son movimientos uniformemente acelerados.

Pero ¿cuál es la evidencia empírica del principio de inercia? ¿Existe verdaderamente un movimiento rectilíneo en la Naturaleza o es solamente una construcción matemática? Newton con osadía y también, pensamos, con ingenuidad, postula la existencia de un espacio absoluto, infinito y tridimensional, un inmenso receptáculo, en el que la Tierra es un objeto más y en donde impera el principio de inercia, ese triunfo de la especulación imaginativa sobre el sentido común, que es la base de toda la física moderna, de la mecánica newtoniana, y que es la clave de la superación definitiva de la mecánica medieval y aristotélica.

Esta obra, los *Principia*, seguramente la más importante que registra hasta ahora la Historia de la Ciencia, es una bella construcción matemática, de muy difícil lectura, que predecía maravillosamente bien los movimientos de los planetas, y que consecuentemente consagró el método newtoniano como la única y segura forma de hacer ciencia. Que no se supiese qué eran esas fuerzas a distancia, instantáneas, que atraían a los cuerpos y que ponían en un aprieto el modelo mecanicista, no impidió que durante doscientos años se la imitase. Pero el espacio absoluto y las fuerzas a distancia pasarían factura...

c) El espacio absoluto y las fuerzas a distancia

«El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil [...]. Los efectos por los que los movimientos absolutos y los relativos se distinguen mutuamente son las fuerzas de separación del eje de los movimientos circulares [...]».

Del Escolio inicial de los *Principia* newtonianos

En la segunda edición de los *Principia*, Newton había añadido un Escolio General, al final de su libro tercero, el de su *Sistema del Mundo*, en el que tras enumerar las inconsistencias de los vórtices cartesianos en la explicación de los movimientos de los Planetas, afirmaba que tan elegante combinación de movimientos sólo podía tener su origen en la inteligencia y poder de un ente eterno, infinito y absolutamente perfecto, esto es, Dios. Más adelante, Newton deja claro en este texto «que no ha podido deducir a partir de los fenómenos la razón de esas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis. Pues lo que no se deduce de los fenómenos ha de ser llamado *hipótesis*; y las hipótesis, bien metafísicas, bien físicas, o de cualidades ocultas, o mecánicas, no tienen lugar dentro de la *Filosofía experimental*». No obstante, Newton había

conseguido, con las matemáticas, dar una completa respuesta a la pregunta de *cómo* se mueven los planetas en torno al Sol.

Son evidentes los esfuerzos de Newton por presentar su sistema como necesariamente condicionado por la experiencia y por introducir el menor número posible de conceptos no directamente referidos a objetos empíricos. Sin embargo, en el Escolio inicial de su magna obra, Newton introdujo el concepto de Espacio Absoluto que distaba mucho de tal pretensión y que fue casi inmediatamente rechazado por Berkeley y por Leibniz y definitivamente expulsado de la Física por Mach y Einstein posteriormente. El espacio absoluto, ese receptáculo infinito en el que el planeta Tierra y las demás masas del Universo estarían sometidos a su ley de la gravitación universal, aun sin saber por qué. Newton sentía que el espacio debía tener una realidad física, que no podía ser a las cosas reales como los números a los objetos enumerados. Y si hay espacio absoluto habrá también movimiento absoluto y entonces habrá que saberlo distinguir del movimiento relativo; ello es difícil, dice Newton, pero no hay que desesperar. Así, en los movimientos circulares la existencia de fuerzas centrífugas detectará que el movimiento es verdadero, y en general, las fuerzas impresas determinarán la distinción.

El otro punto débil de su teoría, y Newton es consciente de ello, es el de las fuerzas a distancia e instantáneas que se ejercerían entre dos cuerpos cualesquiera. Pero los resultados prácticos de su Ley de la Gravitación son tantos y tan precisos, que a fuerza de fe o de fe en la fuerza, las ideas newtonianas fueron parte del programa de todo investigador en el campo de la física teórica hasta finales del siglo XIX.

La teoría del movimiento de Newton recibió su primer golpe desde la teoría electromagnética de Maxwell. Se había llegado a comprender con claridad que las interacciones eléctricas y magnéticas entre los cuerpos no eran debidas a fuerzas que operaran de modo instantáneo y a distancia sino a procesos que se propagaban a través del espacio a una velocidad finita. Un nuevo concepto, el de *campo electromagnético*, se iba a convertir en el nuevo elemento irreductible de la realidad física.

El terreno estaba ya preparado y las aportaciones de Mach, Poincaré y Lorentz, desembocaron en la Teoría de la Relatividad Restringida de Albert Einstein en la que, al abandonarse la noción de absoluta simultaneidad se excluía la existencia de fuerzas que actúan instantáneamente a distancia. El espacio y también el tiempo, quedaban despojados de su capacidad causal absoluta y pasaron a ser entes afectados por las masas del Universo en estrecha relación, ahora, con la energía. La teoría General de la Relatividad, la nueva teoría de la gravitación, sustituiría a la gravitación newtoniana. Las leyes del movimiento de Newton sólo son válidas para pequeñas distancias, las del sistema solar, y para pequeñas velocidades, que ahora también tienen un límite, el de la velocidad de la luz. Las misteriosas y mágicas fuerzas a distancia, dejarían el paso a magias más poderosas.

d) Otra visión del Mundo: Leibniz

«Ahora bien, habiendo una infinidad de mundos posibles en las ideas de Dios, y no pudiendo existir mas que uno solo, precisa que haya una razón suficiente de la

elección de Dios que le determine a esto mejor que a aquello [...]».
«Este enlace, pues, o acomodo de todas las cosas creadas con una y de una con todas las demás, hace que cada sustancia simple tenga relaciones que expresan todas las demás y sea, por consiguiente, un viviente espejo perpetuo del Universo».

Leibniz. *Monadología*, 53 y 56

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) fue un pensador de oceánica erudición que dedicó sus energías a estudiar y a escribir sobre todas las materias del conocimiento: lógica, matemáticas, filosofía, astronomía, física, historia natural, medicina, geología, alquimia, derecho, política etc. Leibniz, al igual que Newton, tiene, en principio, la voluntad de no mezclar el razonamiento científico deductivo con consideraciones de tipo religioso. Para ello, su arsenal de recursos probatorios se ha fortalecido con el cálculo diferencial, que Newton, independientemente también ha inventado con el nombre de cálculo de fluxiones. Y éste, el de la prioridad de su invención, fue uno más de los motivos de discordia entre estos dos grandes pensadores, en las postrimerías del siglo XVII. La presentación algebraica de Leibniz del cálculo infinitesimal será la que se imponga posteriormente y dote a los científicos del siglo XVIII de un potentísimo instrumento para la física matemática, que se convertirá en la ciencia por excelencia.

El elemento constitutivo de la realidad para Leibniz será la mónada, punto metafísico, átomo inmaterial, recinto sin puertas ni ventanas, aislado del exterior pero en el que se halla, desde su perspectiva, una representación de la totalidad del Mundo. En el Universo todo está en movimiento y la materia es infinitamente divisible y por tanto las unidades constitutivas del Todo son puntos de actividad, sin extensión, que a diferencia de los puntos matemáticos, son portadores de acción continua. Es la armonía pre-establecida por Dios, el Dios cristiano de atributos infinitos, que una vez más es el protagonista de los desarrollos científicos del siglo XVII. Leibniz, filósofo optimista y excelso matemático, es el físico creador de la Dinámica. En el sistema cartesiano, añadir el concepto de masa al de extensión no bastaba para dar cuenta de las acciones mecánicas. Era indispensable la noción de fuerza, pero no sólo como algo necesario para el análisis matemático del movimiento como en el caso de Newton, sino como una noción primaria estrechamente ligada a la Naturaleza y a los fenómenos que en ella se producen. Para Leibniz, fuerza es lo que hoy llamamos energía cinética.

El mundo que concibe Leibniz se puede comprender porque está pleno de razones, porque en el seno mismo de todo lo que es real se hallan los principios que hacen inteligibles a los seres, que explican su existencia de un único modo posible, aquel que viene determinado por sus esencias. Pero hablar de esencias o de sustancias, en un momento en que la ciencia naciente se esforzaba por expulsar de su territorio cualquier noción vinculada al viejo aristotelismo, constituía una provocación a la que muchos respondieron con mayor o menor vehemencia. Y es que Leibniz, lejos de denostar a Aristóteles, considera que no debe ser barrido de un plumazo y en su totalidad, y que hay que rescatar las ideas e intuiciones brillantes del estagirita. En este sentido, introduce de nuevo las causas finales en el universo, y no sólo desde la perspectiva

metafísica o explicación última del mismo, sino como una herramienta de gran valor en la investigación de los fenómenos de la Naturaleza.

Para Leibniz todo conspira. Todo está ordenado en el universo, todos los seres, interrelacionados entre sí, trabajan en un único y mismo fin, siempre sujeto a razones que podemos ir descubriendo, y así poder construir de ese modo el lenguaje o *mathesis universalis* que nos permita descifrar el Cosmos en su totalidad.

Acepta, impresionado, la explicación matemática del Cosmos newtoniano de los *Principia*, pero denuncia la inexistencia de una explicación física. No acepta el espacio absoluto, adelantándose en esto a Berkeley, Mach y Einstein. Para él, el espacio no es más que la relación que concebimos entre los seres coexistentes, el orden de sus cuerpos, sus configuraciones, las distancias entre ellos, etc. Tampoco acepta las fuerzas a distancia newtonianas y considera que la mejor explicación, aún no siendo completamente satisfactoria, es la de los vórtices, que comenzara Descartes y perfeccionara Huygens. Consigue demostrar todos los teoremas newtonianos por medio del cálculo diferencial pues es un excelente matemático, pero siguiendo una línea que viene de Aristóteles y de Kepler y que continuará posteriormente en Hegel e incluso en Einstein, antepone la física a la matemática y pone límites a los desarrollos únicamente cuantitativos.

II. EL TRIUNFO DE LAS IDEAS NEWTONIANAS EN EL SIGLO XVIII

a) Introdutores de Newton en el Continente: Voltaire y Mme. du Châtelet

«Sûr de me trouver dans la route du vrai quand je marche après Newton, et après vous ; incertain quand vous n'êtes pas de son avis ; je dirai fidèlement, soit ce que je recueillis en Angleterre de la bouche de ses disciples... soit ce que j'ai puisé dans les écrits mêmes de Newton et dans la fameuse dispute de Clarke et de Leibniz».

A Madame la Marquise du Châtelet, del *Avant Propos* a los *Éléments de la Philosophie de Newton*.

En 1726 llega Voltaire a Inglaterra. En París corren malos tiempos de intolerancia y despotismo. En Londres descubre una sociedad abierta, próspera y tolerante y de vuelta a Francia en 1728 se convierte en un apasionado defensor del newtonianismo, primero en sus *Cartas Filosóficas* (1734) y posteriormente en los *Éléments de la Philosophie de Newton* (1738). Hay que dejar claro que en esos momentos las teorías del inglés no estaban aceptadas en Francia ni en el Continente, en donde el cartesianismo era aún muy poderoso. Refugiado en el Chateau de Cirey con su amiga y amante Emilie de Chatélet, ambos se entregan, bajo la tutela matemática de Maupertuis, al estudio y lectura de la difícil obra cumbre del sabio inglés: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Voltaire ensalza a Newton como luz y progreso de la humanidad y denigra a su compatriota Descartes y al teutón Leibniz, que representan, según él, aún las tinieblas del pasado. Diferente fue la posición de Emilie de Châtelet, quien desde muy joven conoció y apreció la filosofía cartesiana, de la que adoptó no solo el rigor y la claridad en el pensamiento, sino también la profunda vinculación entre Física y Metafísica. Perteneció al círculo de jóvenes entre los que se hallaba Maupertuis, Clairaut y La Condamine, que lucharon por introducir la filosofía natural de Newton en el coto cartesiano de la Academia de Ciencias francesa, pero no dudó en separarse de ellos y defender, a contracorriente y con total autonomía, la necesidad de complementar el sistema newtoniano con las aportaciones de Leibniz y de Wolff.

Para Voltaire, Newton es un filósofo modélico porque desdeñando las especulaciones *a priori*, se limita a observar los hechos y deduce unas leyes de esa observación. Mme du Châtelet estaba convencida también, de que para explicar los fenómenos físicos había que atenerse a lo que se puede observar y calcular matemáticamente, esto es, el ámbito de la explicación causal que permite formular las leyes físicas. Pero consideraba que lo que expresan estas leyes sólo responde al cómo ocurren las cosas, sin dar razón de por qué son esas leyes y no otras las que gobiernan la Naturaleza. Esta indagación llevaría a otro nivel de explicación que trasciende el ámbito de lo descriptivo.

En la primera parte de los *Éléments*, dedicada a la Metafísica, comentaba Voltaire la polémica teológico-científica que mantuvieron públicamente Leibniz y el newtoniano Samuel Clarke, situándose claramente de parte del inglés. En la segunda y tercera parte de esta obra de divulgación, dedicadas propiamente a la física newtoniana, Voltaire comete muchos errores en su intento de aclarar aquel «arte de nombrar y medir con exactitud aquello de lo que ni siquiera puede concebirse su existencia», en referencia al cálculo infinitesimal; de aquella «geometría del infinito» con la que Newton ha llegado a los más sublimes conocimientos. Pero no importa, porque eran también muy pocas, entonces, las personas capaces de advertirlos. Lo importante era el entusiasmo, la fe con la que Voltaire predicaba la buena nueva: el Universo no era ya el abismo insondable y angustioso de Pascal ni el «mundo pleno» de Descartes lleno de resistencias, sino una inmensidad límpida y serena, abierta al descubrimiento.

Voltaire estaba inmensamente agradecido, y no pasado mucho tiempo también toda la Europa culta de su tiempo, a este hombre, que con su tesón e inteligencia, y con la ayuda de las matemáticas había dominado el Cosmos infinito, generando confianza y certidumbre en la Ciencia. El voluntarioso y algo sectario intento de divulgar y popularizar el pensamiento newtoniano tuvo gran repercusión en Europa, especialmente en los países de habla alemana en donde Voltaire gozaba de gran predicamento.

La traducción al francés de los *Principia*, que realizara Mme du Châtelet, más instruida en matemáticas y en física que Voltaire, es la única que existe aún hoy.

b) Berkeley: un obispo descreído

«Habiendo despachado estas cosas correctamente, ¿no se sigue de los fenómenos que hay un ser incorpóreo, viviente, inteligente, omnipotente que ve

íntimamente las cosas mismas en el espacio infinito, como si fuera en su sensorio, percibiéndolas plenamente y comprendiéndolas totalmente por su presencia inmediata ante él?».

Isaac Newton, *Óptica*, 28

«Con la doctrina expuesta se pone fin a las innumerables disputas y dificultades que han surgido entre los eruditos sobre la naturaleza del espacio puro. Pero su principal ventaja es que con ella quedamos fuera del peligroso dilema a que se han visto reducidos muchos que se han dedicado a escribir sobre esa materia, a saber: o que el espacio puro es el mismo Dios o, que de lo contrario, fuera de Dios hay algo eterno, increado, infinito, indivisible, inmutable. Nociones ambas que se han de tener por perniciosas y absurdas».

Berkeley, *Principios del conocimiento humano*. CXVII

George Berkeley (1685-1753) estudió en el Trinity College y fue un buen estudiante de matemáticas y de física, que dedicó su tiempo a la filosofía y la teología y que llegó a ser obispo de la iglesia anglicana. En 1643 publicó *El analista o un discurso dirigido a un matemático infiel*, en donde con extrema virulencia atacaba 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 ese discurso, Berkeley protestaba contra el distinto trato que otorgaban algunos matemáticos a la fundamentación de las «verdades» del cálculo infinitesimal y a las «verdades» de la religión.

Herederero intelectual del filósofo Locke, poseedor de un agudo sentido del rigor lógico, Berkeley tenía razón al afirmar que los matemáticos estaban procediendo de manera misteriosa y sin rigor. Que los resultados obtenidos y los teoremas demostrados con los métodos infinitesimales estuviesen de acuerdo aparentemente 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. Numerosos matemáticos de la época replicaron a esas críticas intentando dar rigor al cálculo. Pero habría 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 dotara al cálculo de una base rigurosa.

En 1715 tiene lugar una polémica físico-teológica entre Leibniz de una parte, y Samuel Clarke, como defensor de las tesis de Newton, por la otra. Leibniz había escrito que el mundo newtoniano, además de no ser el mejor de los posibles, ya que exigía una continua intervención divina para su conservación, convertía a Dios en un ser material, espacial. El espacio absoluto newtoniano, el «sensorium Dei», estaba en el corazón de la disputa.

Berkeley siente un gran respeto por la obra de Newton, «la mejor guía para el estudio de la Naturaleza es sin duda cierto tratado de universal y merecido renombre» dice, refiriéndose a los *Principia*, pero no puede aceptar el concepto de espacio absoluto. Para Berkeley, el movimiento,

sea real o aparente, es siempre relativo. Para concebir un movimiento se precisa que haya al menos dos cuerpos cuyas distancias o posiciones relativas experimenten variación. Por lo tanto, si sólo existiera un cuerpo, no sería posible que se moviera. El espacio absoluto no existe. Esta toma de posición, arriesgada en ese momento de euforia newtoniana, será refrendada a finales del siglo XIX por Ernst Mach y por el joven Einstein.

Cuando en 1758 el cometa Halley se hizo visible, acudiendo puntualmente a la cita que Edmond Halley, a través de cálculos newtonianos, predijese en 1704, la Humanidad comprobó admiradamente que los científicos eran capaces de dominar los cielos y que esto se debía a las matemáticas y a Isaac Newton. ¿Qué mejor prueba, entonces, de que el espacio absoluto era una realidad? Así razonaría Leonhard Euler, uno de los más grandes científicos que han existido y que llevará la física matemática a la más alta cota de prestigio entre las disciplinas que el ser humano ha construido para avanzar en el conocimiento.

c) Euler: las ecuaciones diferenciales al servicio de la Física

«Hay pues una gran diferencia entre reposo y movimientos verdaderos y absolutos y reposo y movimientos aparentes o relativos a un cuerpo al que consideramos entonces como si estuviera en reposo, aunque tal vez esté en movimiento. Los principios o leyes del movimiento se refieren principalmente al estado absoluto de los cuerpos, es decir, a su reposo o a su movimiento verdadero o absoluto. Para descubrir estas leyes se comienza por considerar un solo cuerpo, abstracción hecha de todos los demás, como si no existieran. Esta hipótesis, aunque imposible, puede permitir distinguir lo que es realizado por la naturaleza del cuerpo mismo de aquello que otros pueden realizar sobre él».

Euler, *Cartas a una princesa alemana*. Carta 71

Leonhard Euler (1707-1783) fue uno de los más grandes y prolíficos físico-matemáticos que han existido. Autor de trabajos sobre álgebra, geometría, análisis, teoría de números, óptica, mecánica, hidrodinámica y astronomía, fue extraordinariamente habilidoso en el planteamiento y resolución de problemas físicos. Su herramienta era el cálculo infinitesimal, las ecuaciones diferenciales, con las que se consigue plasmar matemáticamente la situación de un problema físico. La ecuación se resuelve con las técnicas infinitesimales y se obtiene, no un número como en las ecuaciones que estudiamos en el bachillerato, sino una función matemática que da cuenta de una infinidad de casos.

Ferviente newtoniano y detractor de los leibnicianos y de su metafísica, contribuyó en gran medida a la formación de una ciencia positiva, altamente matematizada que se impuso en la Europa ilustrada del siglo XVIII. En 1748 publicó unas *Reflexiones sobre el espacio y el tiempo* en las que defendió las ideas newtonianas sobre el espacio absoluto, que eran criticadas por los leibnicianos alemanes y por Berkeley en el propio Reino Unido. A través de una serie de cartas,

dirigidas a la joven princesa Federica Carlota, sobrina del rey de Prusia, Euler nos ha legado un magnífico modelo de prosa de divulgación científica.

Euler es consciente, como seguramente también el propio Newton, de la debilidad del concepto de espacio absoluto, pero sucede que éste está concebido en estrecha dependencia con el Principio de Inercia, que es el pilar intocable de toda la dinámica newtoniana por ser «equiparable a una verdad geométrica». Entonces inventa, para mejor argumentar, una experiencia mental que consiste en suponer la existencia de un solo cuerpo en el Universo. Posteriormente, el físico y filósofo alemán Ernst Mach criticará duramente este tipo de experimentos mentales, calificándolas de hipótesis sin sentido. En esas condiciones, si el cuerpo se pusiese en movimiento por alguna causa, mantendría la dirección y sentido del mismo porque no habría ninguna razón para que se desviara, así como no habría ninguna razón para que la velocidad aumentara o disminuyera.

Este resultado, conseguido al pensar en un solo cuerpo y en su contenedor, el espacio, se generaliza para constituir el principio de inercia, y en tanto un cuerpo, situado entre otros cuerpos, no esté sometido a la acción de una causa externa, permanecerá en reposo si ha estado en algún momento en reposo, o será movido en línea recta siempre con la misma velocidad, si ha sido puesto en movimiento. Así pues, con el principio de razón suficiente leibniano, Euler trata de convencer a Federica Carlota de la existencia del espacio absoluto, que Leibniz negara. Y es que Euler está convencido de que el espacio y el tiempo absolutos son cosas reales, que subsisten incluso aunque no podamos imaginarlos.

Euler no sólo convence a princesas, y su enorme prestigio como matemático influye en el filósofo alemán por excelencia del siglo XVIII, el ponderado Immanuel Kant, quien si en un principio aprecia el punto de vista relacionista de Leibniz, posteriormente buscará un compromiso entre la física de Newton y la metafísica de Leibniz. El espacio matemático de la geometría euclídea, necesaria y útil mediación, será el escenario en el que los esforzados físicos matemáticos descubrirán, con la ayuda de las ecuaciones diferenciales, las maravillas que la Naturaleza poco a poco irá desvelando.

d) El espacio en Kant

«Dos cosas llenan el ánimo de admiración y respeto, siempre nuevos y crecientes, cuanto con más frecuencia y admiración se ocupa de ellas la reflexión: el cielo estrellado sobre mí y la ley moral dentro de mí».

Kant, Crítica de la Razón Práctica

Immanuel Kant (1724-1804), el gran filósofo de Königsberg, dedicó muchas energías a pensar en ese gran tema que es el espacio. Espíritu riguroso pero conciliador, tenía ante sí la tarea de ordenar y hacer compatibles los avances que habían tenido lugar en el campo de la filosofía natural, disciplina que ya empezaba a delinarse como la ciencia actual, la ciencia positiva, que alcanzaría un impresionante desarrollo en el siglo XIX. Metafísica, Matemáticas y

Física se entrelazaban no siempre en armonía y Kant, muy interesado en las ciencias naturales, construyó una obra monumental para asentar en base firme la concepción del Mundo newtoniana, aun aceptando determinadas críticas que Leibniz y otros habían realizado al pensamiento de Isaac Newton.

Para Kant, el espacio no es una noción empírica, que pueda ser derivada de la experiencia de las cosas, pero es una percepción necesaria, la condición de posibilidad de todas las percepciones externas. No podemos imaginar que no hay espacio y en cambio sí podemos pensar en la ausencia de objetos en él. El espacio, como el tiempo, es una intuición «a priori», esto es, anterior y necesaria para que puedan operar nuestras percepciones sensoriales. La presencia del espacio y el tiempo en toda mente racional es lo que permite que exista conocimiento matemático cuyas verdades son universales y necesarias. Kant se ve obligado también a declarar la geometría euclídea, la geometría sintética, la que se estudiaba en el antiguo bachillerato, como una verdad necesaria, «a priori». Y es que Kant trata, y ello es comprensible, de justificar filosóficamente la cosmología newtoniana, la nueva y cuantificada explicación del Mundo.

Aunque, a decir verdad, a los físicos matemáticos del momento, a los científicos, les importaba poco cual fuese el estatus ontológico del espacio. Para d'Alembert, Lagrange y Laplace, lo importante eran los resultados y que estuviesen de acuerdo con la realidad, esto es, que sirviesen para el dominio de la Naturaleza. *¡Marchad hacia adelante, no importa que no comprendáis!*, decía el matemático d'Alembert, uno de los autores de la Enciclopedia francesa, en la que se compendia todo el saber de la época.

Y ciertamente, más adelante, a mitad del siglo XIX, los matemáticos descubrieron que podían existir otras geometrías, no euclídeas, que también podían ser candidatas a ser modelos de la realidad, y más adelante aún, lo fueron. Y nuestro espacio cotidiano, el de las moscas vulgares, pasó a convertirse en un ente matemático: el espacio-tiempo, físicamente indescriptible, pero que según Einstein se curva.

Aunque, volviendo a Kant, conviene decir que la noción, concepto o intuición de eso que llamamos espacio, se convirtió en una continua reflexión a lo largo de su obra y de su vida. Inicialmente, aceptó el punto de vista relacionista y relativista de su compatriota Leibniz y se propuso mediar entre éste y Newton, reconciliando en lo posible sus teorías. Algo que en esos momentos había hecho ya Madame de Châtelet en Francia. La Matemática al servicio de la Física, pero aún con la necesaria Metafísica. Posteriormente y bajo la influencia de los escritos del newtoniano Euler, Kant pretenderá incluso haber «demostrado» la existencia del espacio absoluto. Más adelante su entusiasmo newtoniano se atempera y renuncia a esta tranquilizadora e ingenua referencia, que es el espacio absoluto, en la que Newton había situado las estrellas. La Razón, diosa del siglo, no le permite tales licencias y Kant decreta y establece las Intuiciones «a priori» que humanizan, por un tiempo, la fría teoría de la Física, que poco a poco dejaba de ser Filosofía de la Naturaleza.

e) D'Alembert, Goethe y Laplace: el estado de la ciencia newtoniana hacia 1800

«[...] on est parvenu à reconnaître le petit nombre des lois générales que la matière suit dans ses mouvements. Tout leur obéit dans la nature; tout en dérive aussi nécessairement que le retour des saisons; et la courbe décrite par l'atome léger que les vents semblent emporter au hasard, est réglée d'une manière aussi certaine, que les orbés planétaires».

Laplace, *Exposition du Système du Monde* Livre. III.

Jean le Rond D'Alembert (1717-1783) fue un físico-matemático que pensaba que Newton era el ideal de científico, aun aceptando que en la obra del inglés existían ciertos puntos oscuros y metafísicos, como el del espacio absoluto, tema que no debería de interesar y entretener a los verdaderos físicos, o el de concepto de fuerza newtoniano, aunque se permita luego el usarlo. Editor de la *Enciclopedia* junto a Diderot, hacía de la combinación de la experimentación y del razonamiento matemático la única vía segura que a los humanos nos es dada para indagar en los secretos de la Naturaleza, cuyas leyes y su contingencia pertenecen a los designios del Creador. Lo que «cuenta» y es positivo para los humanos son los resultados de la ciencia matematizada.

No era ésta la opinión de Johan Wolfgang Goethe (1749-1832), poeta, amante de la Naturaleza, y sin embargo, también científico. Su manera de relacionarse con lo natural era a través de la aproximación morfológica, más cualitativa que cuantitativa, en la que las formas de los organismos sí tienen sabor y olor, cambiantes como lo vivo, y en los que hay que emplear facultades como la percepción intuitiva. Goethe es así de claro en *Máximas y Reflexiones*: «La gran tarea sería expulsar las teorías matemático-filosóficas de aquellas partes de la física en las que, en vez de fomentarlo, no hacen sino impedir el conocimiento, y en las que el tratamiento matemático ha encontrado una aplicación tan pervertida, debido a la unilateralidad del desarrollo de la reciente formación científica». Su filosofía de la naturaleza influirá en la de Hegel y su enfrentamiento a Newton explicitado en la *Teoría de los colores* es hoy cada vez más valorado por los historiadores de la ciencia.

Pero a finales del siglo XVIII, la Ley de la Gravitación Universal newtoniana era el resultado más admirable que los seres humanos hubiesen nunca conseguido. En 1796, Pierre Simon de Laplace (1749-1827) publica para el gran público el *Sistema del Mundo* en el que reúne y explica los resultados que más adelante y con gran aparato matemático publicaría en la *Mécanique Céleste*. En aquel libro de divulgación científica, el «Newton francés», que así le gustaba que le llamaran, comunicaba, orgullosa e ingenuamente al mundo culto, que la Astronomía había sido finalmente dominada y reducida a ser una parte de la Mecánica. Culminación del mecanicismo, su extremado determinismo científico influyó grandemente en la ciencia del siglo XIX –que será una ciencia fundamentalmente newtoniana– y en el surgimiento del positivismo moderno.

HEGEL CONTRA NEWTON¹

a) Introducción

«Las Leyes del movimiento absolutamente libre fueron descubiertas, como es sabido, por Kepler; un descubrimiento de fama inmortal. Tales leyes fueron demostradas por Kepler en el sentido de que él halló para los datos empíricos su expresión universal. Desde entonces se ha convertido en tópico decir que Newton fue el primero en hallar la demostración de aquellas leyes. No es fácil hallar casos en que la fama se haya transferido desde el primer descubridor a otro de una manera más injusta».

Hegel, *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*, 270.

Así de contundente fue el juicio de Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), sobre la paternidad de las leyes que rigen el movimiento libre, esto es, las trayectorias de los cuerpos celestes, que Hegel distinguirá del movimiento de caída de los cuerpos en la superficie terrestre. El más influyente filósofo del siglo XIX, siguiendo a su compatriota Leibniz, aprecia la voluntad kepleriana de conseguir leyes físicas y su causalidad, y que aquellas no se limiten a salvar las apariencias mediante una artificiosa construcción matemática. Hay en este apasionado juicio la intención de restituir a Kepler el innegable mérito de su obra, que una Historia mitificadora, que magnifica más aún a los más grandes, le negara.

En 1801, Hegel presenta su tesis de habilitación en la Universidad de Jena, apadrinado por su amigo Schelling, cuatro años más joven que él, y claro está, con el consentimiento de Goethe, que en esos momentos ejercía de faro de la cultura desde la vecina Weimar y desde su puesto de primer ministro del ducado. Y el tema que escoge, y que puede parecer sorprendente, es el de *Las órbitas de los Planetas*, cuando hasta entonces a lo que se había dedicado el joven Hegel era a la Teología. Pero estamos en plena efervescencia del romanticismo alemán, Goethe había mostrado su insatisfacción con la *Óptica* de Newton y Schelling era el máximo exponente de la *Naturphilosophie*, corriente científico-filosófica algo delirante y que se oponía al modelo mecanicista, que en esos momentos triunfaba en el panorama científico.

Hay que destacar que Hegel no era un ignorante en Ciencia y sus conocimientos en todos los terrenos de la Cultura eran impresionantes. Posteriormente se distanciará de Schelling y de sus excesos románticos. En cualquier caso, Hegel mantendrá hasta el final, en la tercera edición de su *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*, en 1830, las opiniones que diera en su tesis de habilitación y que atacaban frontalmente la construcción newtoniana. El núcleo de la crítica estaba en la noción y uso de la *fuerza* en Newton, pero se extendía nada menos que al Principio de Inercia, la primera y fundamental ley de la mecánica newtoniana.

¹ Mi agradecimiento a Ángeles Macarrón Machado, por acompañarme vital e intelectualmente en esta dura y difícil travesía hegeliana.

Al igual que la fuerza a distancia no tiene ninguna significación física, decía Hegel, el Principio de Inercia, no sólo no es verificable experimentalmente, sino que en Newton esa inercia se convierte paulatinamente en una fuerza y en definitiva en una propiedad real de los cuerpos materiales. Hegel va más allá y declara que la física de los cielos no es la misma que la terrestre, cosa que ya había dicho Aristóteles y cuya negación era el orgullo del hombre de Ciencia porque representaba el ansiado dominio de los cielos. La *gravedad* en la Tierra, esto es, el por qué cae una manzana, no es lo mismo que la *gravitación* en los cielos, es decir, por qué la Luna gira alrededor de la Tierra, y si bien el principio de inercia, a pesar de su abstracción, puede servir en el dominio terrestre, está en flagrante contradicción con la gravedad universal.

Esta es, ciertamente, una tesis muy osada y que fue ampliamente rechazada por la comunidad científica del siglo XIX, que calificó a Hegel de inconsciente parlanchín. Pero a los ojos de hoy, lejos de concepciones absolutas y de verdades eternas, la opinión de Hegel es, o debe ser, valiosa porque en la vigente teoría de la relatividad general einsteniana las aborrecidas fuerzas a distancia han desaparecido y la masa del Sol ya no atrae con fuerza nuclear a la Tierra, sino que ésta se desliza suavemente, sin someterse a fuerza alguna, por los vastos caminos que la curvatura del espacio-tiempo le impone, y que las masas del Universo establecen, cual pliegues del alma del Mundo. Y en cuanto al principio de Inercia, éste es hoy una antigualla que sólo sirve para poner en un aprieto a los profesores de física cuando se les pregunta por su validez actual. Y así, no en vano, el pensamiento que sutilmente enlaza a Aristóteles con Kepler, y a éste con Leibniz, y a Leibniz con Hegel, llega después a Einstein.

Estudiemos más detenidamente el cómo y el porqué de la opinión hegeliana.

b) Hegel: los primeros años

Nace en Stüttgart en 1770 en una familia de clase media. Jorge Federico Guillermo Hegel fue un niño precoz y aplicado, y a los diez años sabía latín². A los dieciseis años, ya en el *Obergymnasium* de Stüttgart traduce del griego *Sobre lo sublime* de Longinus, un tratado de crítica literaria. Para entonces ya había leído a los clásicos latinos y griegos, a los autores alemanes y las tragedias de Shakespeare. Consta por un Diario que escribió entre 1785 y 1787, que le gustaba jugar al ajedrez y a las cartas, que trabajaba la trigonometría esférica y los poliedros regulares. Escrito a trozos en latín, el día a día hegeliano muestra a un muchacho inteligente y capaz que traduce a Cicerón y escribe pequeños ensayos para mejorar su estilo literario. Desde entonces, su fijación en el tema religioso. Critica los rituales católicos y en esta primera etapa cuestiona también el cristianismo, al que considera una religión alienante y positiva, esto es, que coacciona desde el exterior. Escribe *Sobre la Religión de los griegos y romanos* en 1787, testimonio literario de su pasión por los clásicos y de su interés por las ideas ilustradas.

Los años universitarios de Hegel en el seminario de Tubinga (1788-1793) están cargados

² Lo que según alguno de sus biógrafos determinará las larguísimas frases y el estilo ampuloso de la prosa hegeliana.

de acontecimientos epocales. La Revolución francesa, culminación del siglo de las Luces, propaga las ideas de libertad y fraternidad por toda Europa, y éstas llegan también al antiguo seminario donde conviven, entre otros estudiantes de teología, Hegel, Hölderlin y Schelling. Tal concentración de talento potencial se unía a las magníficas condiciones para el estudio que reunía el viejo convento agustino, con su paz monacal, al equilibrado programa de estudios generales, y muy particularmente, a la atención que se prestaba a la Filosofía, que en esos momentos Kant había elevado a las más altas cotas.

Hegel poseía una inmensa ansia de saber y una enorme capacidad de asimilar conocimientos. Muy interesado por la Historia, dedicó gran parte de su juventud al estudio de las ideas que habían modelado dos grandes periodos de la historia de la Humanidad: el Helenismo y el Cristianismo. Estos serían los pilares sobre los que construiría su Filosofía y su interpretación de la Historia. Por el seminario circulan las obras de Rousseau y de D'Alembert y alguna que otra proclama revolucionaria. Lee el *Harmonices Mundi* de Kepler, antiguo alumno del mismo seminario. Estudia a fondo los clásicos griegos y latinos y queda profundamente impresionado por la tragedia de Antígona:

«Antígona es la obra de arte más sublime y más lograda de todos los tiempos. Todo es consecuente en esta tragedia: la ley pública del Estado y el íntimo amor familiar, así como el deber frente al hermano, se enfrentan conflictivamente entre sí: el interés de la familia es el pathos de la mujer, Antígona; el bienestar de la comunidad es el pathos del hombre, Creonte»³.

Sigue estando muy interesado en el tema religioso. La religión, para Hegel, es necesaria porque refuerza los impulsos éticos a través de la figura de un Dios legislador moral, y así, al Estado, «*el camino de Dios en el Mundo*» debe asociarse una *Volksreligion*.

c) Hegel en Berna (1793-1796)

En 1791, Kant había escrito *La crítica del juicio*, que Hegel no lee en esta primera etapa de su vida. A quien sí lee con pasión y aprovechamiento en 1795, es a Schiller: las cartas sobre *La educación estética del hombre*, que le abre una importante vía para su comprensión de la complicada realidad, de «*la perniciosa orientación del carácter de nuestro tiempo*»⁴. Schiller,

³ Cf. *Estética* en bibliografía.

⁴ En la carta VI, de la obra de Schiller se dice, tras comparar al individuo contemporáneo con el de la Grecia clásica:

«¿Cuál es la causa, pues, de esta inferioridad de los individuos, cuando tan superior es la especie? ¿Por qué el individuo en Grecia es un representante cualificado de su tiempo, mientras que no hay entre los modernos quien se atreva a presentar semejante galardón? Porque aquel recibió su forma de la naturaleza, que todo lo junta, y éste recibió la suya del entendimiento, que todo lo separa.

La cultura misma es la que ha descargado ese golpe sobre la humanidad actual. Por una parte, la experiencia y el pensamiento, cada día más amplios y precisos, han hecho necesaria una división más estricta de las ciencias; por otra parte, la creciente complicación del mecanismo político ha exigido que se separen las clases y los oficios».

dramaturgo, pensador y gran poeta, trata de superar la fragmentación del hombre moderno y para ello propone un «habitar acorde con la Naturaleza», en el que el arte y la belleza jugarán un papel principal.

Hasta Hegel llegan los ecos del Terror que la Revolución había desatado y esto le llena de zozobra. Escribe entonces *La Vida de Jesús* en ese mismo año, cuando trabaja como preceptor en la familia Steiger. En esta obra, Hegel identifica a Dios con la razón: «*La razón pura, que no tolera ningún límite, es la misma divinidad*». En Jesús se hace la armoniosa unión entre finito e infinito, entre razón y sensibilidad. En esta particular interpretación de la vida de Jesús, el legalismo mosaico y el moralismo kantiano serían superados por la ética del joven Hegel⁵. A través de una educación de la sensibilidad, en el sentido schilleriano, la ley de Moisés se integraría en el corazón humano sin necesidad de represión, la cual es extraña a la propia ley. Sería la superación de la «ley moral» kantiana y Hegel propone una Ética que vendría exigida por la Estética.

Dilthey señala el paralelismo entre «la vida de Jesús» y «la tragedia de Antígona». Antígona y Jesús mueren por defender la ley no escrita y eterna contra la ley positiva. Posteriormente escribiría dos obras más de tema religioso y teológico *La positividad de la Religión cristiana*, también en 1795 y *El espíritu del cristianismo* en 1799.

d) Hegel en Frankfurt (1797-1801)

Ahora trabaja como preceptor en Frankfurt, en el seno de la familia Gogel, trabajo que también le consiguiera su amigo Hölderlin, preceptor como él en la misma ciudad. Según Dilthey, los manuscritos de esta época atestiguan la prodigiosa concentración de espíritu en la cual se encontraba en esos momentos. Se desarrollaba en él una nueva comprensión del cristianismo que derivaba hacia una metafísica mística. Las lecturas de Nicolás de Cusa le abrían el camino de la dialéctica de los opuestos. Galvano della Volpe en su obra *Hegel romántico e místico (1793-1800)* concluye que en la génesis de la dialéctica hegeliana está el impulso místico-romántico de este periodo y que «lejos de la existencia de un *hiatus* entre el periodo místico, presistemático y el periodo sistemático afirmamos que no es posible comprender el segundo en su génesis íntima y en su motivación más profunda sin el primero»⁶.

En líneas generales, se puede decir que en el joven Hegel se fue operando un lento cambio desde la identificación con el ideal griego a la identificación con el cristianismo a medida que la

⁵ Para Antimo Negri, estudioso de los escritos juveniles de Hegel, el Cristo hegeliano es a Moisés como el propio Hegel es a Kant (el Moisés de la nación alemana, según Holderlin).

⁶ El cristianismo, según Hegel, habría conseguido la síntesis de los opuestos: finito-infinito, sujeto-objeto, Hijo-Padre. En el *Espíritu del Cristianismo*, (1799), Hegel se distancia más de Kant y critica su positividad. Dios es el Espíritu, purificado de cualquier limitación. La relación del Hijo con el Padre no es conceptual, sino que es la *Vida* misma, el nexo armónico de lo infinito con lo finito, el *Todo*. El Dios humanizado es la excelsa representación del *Amor* que une a la comunidad. En esta metafísica mística resuenan ideas e influencias de Schiller, Holderlin y el Maestro Eckhart

valoración de la Revolución Francesa como hecho más decisivo de la Historia moderna se fue desplazando en él hacia la Reforma Protestante⁷.

Hegel empieza a tener una visión general de la Historia y al igual que Leibniz, considera que Antigüedad y Cristianismo se fundieron en un todo con la concepción del mundo mecanicista de los Modernos. No hay verdadera ruptura entre esos periodos y los distintos sistemas filosóficos que se suceden no anulan los anteriores. Lo que hay es un «*desarrollo progresivo de la verdad*», producto del despliegue de la razón que es una. Su visión del mundo se va formando en diálogo con la Historia y después de veinte años de lecturas y de reflexión ya está dispuesto a salir y predicar su doctrina, y así, en noviembre de 1800⁸ escribe a Schelling, ya profesor en Jena, esta frase:

«Mi formación científica comenzó por necesidades humanas de carácter secundario; así tuve que ir siendo empujado hacia la ciencia, y el ideal juvenil tuvo que tomar la forma de la reflexión, convirtiéndose en sistema. Ahora mientras aún me ocupo en ello, me pregunto cómo encontrar la vuelta para intervenir en la vida de los hombres».

Y uno de los objetivos que se propone es el de recuperar la auténtica Filosofía de la Naturaleza, en la que las ciencias empíricas que deben a la Filosofía «vida, espíritu y verdad» vuelvan a estar supeditadas a ella.

El 21 de Enero de 1801, a instancias de su amigo Schelling, llega a Jena y a los treinta y un años comienza su actividad filosófica pública⁹.

e) Jena: la tesis de habilitación

«Los cuerpos celestes liberados de la gleba y suficientemente perfectos como para llevar en ellos mismos su centro de gravedad, circulan al modo de dioses por las leves auras: ese ser viviente que llamamos sistema solar, no es sino la expresión más pura y sublime de la razón, sin que haya cosa más digna de reflexión filosófica».

⁷ Cf. Ginzo en bibliografía.

⁸ En septiembre de ese año, Hegel escribe un texto –que desgraciadamente solo se conserva de manera parcial– en el que trata de sistematizar de manera rigurosa sus ideas. Sería (según Galvano della Volpe), la expresión de la salida de Hegel de su crisis místico-religiosa y el origen de la dialéctica hegeliana. El sentimiento religioso, esto es «*el infinito sentido desde el finito*», debe ser completado por la reflexión, que debe intervenir no para destruirlo, sino para tomar conciencia de su mera subjetividad e integrarla. Hegel no se conforma con haber «comprendido» la Religión, la realiza en conceptos. Intuición místico-estética y reflexión, religión y filosofía. La experiencia religiosa del joven Hegel satisface su exigencia original de unidad plena y orgánica. La intuición estético-religiosa le ofrecía aquella *unidad viviente*, modelo de la *unidad dialéctica* que va a venir. Para ello necesita de la reflexión y de tiempo.

Así comienza el texto presentado por Hegel como tesis de habilitación en la Universidad de Jena en 1801, que le permitiría impartir la docencia y que lleva el nombre de *Disertación filosófica sobre las órbitas de los Planetas*¹⁰.

La versión a la que hemos podido tener acceso es una edición francesa comentada por François De Gand y prologada por Dominique Dubarle¹¹. La *Disertación* hegeliana consta de tres partes:

- 1) Discusión crítica de los principios de la astronomía newtoniana
- 2) Exposición filosófica de los elementos del Sistema Solar
- 3) Un ejemplo: el problema de las distancias entre los planetas

Hay que señalar que estos títulos y esta división no se encuentran en la obra de Hegel, y que seguimos aquí la realizada por De Gand.

1) La crítica hegeliana de la mecánica de Newton se fundamenta en la consideración de puro juego formal, externo a la esfera de la realidad física, que tiene el análisis matemático. Hegel comienza su opúsculo diciendo que la mecánica celeste newtoniana no es verdaderamente física sino que es una parte de la ciencia matemática e inmediatamente previene de la confusión y del error en que se cae por confundir relaciones puramente matemáticas con relaciones físicas, por confundir el **formalismo matemático con la realidad física**¹².

Según Hegel, basta analizar unos pasajes de los *Principia* para averiguar qué idea tenía Newton de lo que era la Física¹³.

⁹ Maximiliano Robespierre, también saltó a la palestra pública a esa misma edad, dispuesto también a cambiar el Mundo, y la pureza absoluta del Incorruptible produjo mucho dolor y el Mundo cambió, no sin antes arrastrar al propio Robespierre.

¹⁰ Felix Duque, en *Historia de la Filosofía Moderna*, en su docto tratado sobre Hegel nos dice que había estudiado a fondo las ciencias naturales (sobre todo cálculo y geometría y, consecuentemente, astronomía) en la biblioteca de Tschugg, cerca de Barlach, donde pasaba los veranos la familia de la que era preceptor en Berna. En 1800 estudia los *Elementos* de Euclides siguiendo el *Comentario* de Jo. Fr. Lorenz. Halle, 1781. Es dudoso que Hegel haya leído a fondo y directamente los *Principia* de Newton. Desde luego *De orbitis* no se basa directamente en los *Principia* sino en el libro de Bern Martin: *Philosophia britanica oder Lehrbegriffe der newtonischen Weltweisheit...* Leipzig 1778, como ha probado convincentemente Wolfgang Neuser en su excelente edición y comentario de *De orbitis* (Weinheim, 1986). Se puede afirmar con seguridad que leyó la excelente exposición de los *Principia* de C. MacLaurin *Expositio philosophiae Newtonianae*. Viena, 1761. Y también los *Elements de philosophie de Newton* de Voltaire.

¹¹ y que es a nuestro juicio tendenciosa y manifiestamente anti-hegeliana...

¹² Hegel, no obstante, afirma:

«No es que se deba considerar a la totalidad matemática como algo puramente ideal o formal, ya que ella es también real y física; pues las relaciones entre cantidades, tales y como la Matemática las expone y justamente porque son razones-rationales, son inherentes a la naturaleza, y desde que son comprendidas así se convierten en leyes de la naturaleza. Pero hay que distinguir entre esta aprehensión racional de la totalidad y el análisis y la explicación que de ella se puede hacer, bien alejada de la perfección de la naturaleza: Puesto que la parte geométrica de las matemáticas hace abstracción del tiempo, y que la parte aritmética hace abstracción del espacio, la primera constituyendo la totalidad geométrica según el principio del espacio solo, la segunda constituyendo la totalidad aritmética según el principio del tiempo solo, las relaciones mediante las cuales conocemos estas totalidades formales están separadas de las verdaderas relaciones de la naturaleza, en las que tiempo y espacio están reunidos».

¹³ «Por cierto, que llamo en el mismo sentido fuerzas acelerativas y motrices a las atracciones y a los impulsos. Utilizo unas por otras, e indiferentemente, las palabras atracción, impulso, tendencia de cualquier tipo a un centro, y

Newton habría pretendido renovar la ciencia física con el concepto de **fuerza**, en su segunda ley de la mecánica, directamente concebido a partir del principio de inercia o primera ley de la mecánica. Para Hegel esto es una ficción pues:

«Si Newton quería desarrollar las relaciones matemáticas, es sorprendente que haya utilizado la palabra fuerza; pues las cantidades de los fenómenos atañen a las matemáticas, pero el conocimiento de la fuerza pertenece a la física. En realidad creyendo definir por doquier proposiciones entre fuerzas, Newton ha levantado un edificio compuesto de física y matemática, en el que con dificultad se extraen consecuencias para la ciencia física y constituyen un verdadero aporte real para ella».

Detrás del rechazo hegeliano del concepto de fuerza se encuentra la desconfianza en la matematización de la causalidad física. Para Dominique Dubarle, en su importante artículo de 1968 sobre la crítica hegeliana de la mecánica de Newton, Hegel habría intentado crear una físico-matemática sin el concepto de fuerza, inspirándose en Lagrange y su *Teoría de las funciones analíticas*, ya que el concepto de fuerza no sería para él más que una vana tautología. La idea de Hegel, según Dubarle, no sería absurda y encierra en ella como un presentimiento de las teorías de Einstein. Sin embargo, Hegel no consigue técnicamente llevarla a buen puerto y además no termina de comprender la necesidad que se tenía de esa noción, heredera de la experiencia y del sentido común, la única forma que Newton y la física clásica tenían de dar cuenta del hecho real de la desviación que ciertos movimientos presentan en relación al régimen de la inercia, esto es, del movimiento rectilíneo y uniforme¹⁴.

Según Karl-Norbert Ihmig, otro destacado estudioso de las relaciones entre Hegel y el newtonianismo, lo que éste critica es la forma en que Newton aplica el concepto de fuerza en la mecánica celeste, aunque no rechaza la validez de dicho concepto como categoría general y su

lo hago considerando a tales fuerzas, no en su aspecto físico, sino sólo en el matemático. De ahí que cuide el lector de no creer que con estas palabras yo esté definiendo algún género o modo de acción o causa o propiedad física, o que estoy atribuyendo a los centros (que son puntos matemáticos) verdaderas fuerzas físicas, si me hallare diciendo que los centros atraen o que las fuerzas son centrales» (Newton Tomo I Def. VIII. Pag. 126).

«Por lo cual paso ahora a exponer el movimiento de cuerpos que se atraen mutuamente, considerando a las fuerzas centrípetas como atracciones, aunque quizá, si hablásemos en términos físicos, se denominarían más propiamente impulsos. Pero ahora nos movemos en matemáticas y, por tanto, dejando de lado disputas físicas, hacemos uso de un lenguaje común en el cual podemos ser comprendidos más fácilmente por lectores matemáticos» (Newton Tomo I Sección XI. Pag. 328).

¹⁴ «L'histoire de la science, il est vrai, montre qu'avec la théorie de la relativité générale d'Einstein, l'analyse mathématique est en mesure de prendre en compte le fait physique du mouvement sans retenir le concept newtonien de la force d'attraction. Les textes de Hegel relatifs à la mécanique newtonienne sont si surprenants et ce qu'il dit par ailleurs de l'espace, du temps et de la matière est si remarquable que l'on peut se demander si, au total le philosophe n'avait point quelque obscur pressentiment de ce qui est, en effet, apparu avec la gravifique einsteinienne. [...] Sur la base d'une cinématique renouvelée, la gravifique relativiste traduit la déviation physiquement observé en termes de «courbure d'espace-temps» tout comme la gravifique newtonienne la traduisait en termes de «forces d'attraction». Les traductions sont épistémologiquement homologues, l'une comme l'autre indispensables à l'application de l'analyse à la description de l'univers physique, et l'une comme l'autre irréductibles à une simple tautologie intérieure à l'analyse».

aplicación en otros contextos de la ciencia. Especialmente criticable sería para Hegel la relación que Newton establece entre los conceptos de masa y de fuerza que implican el entender aquella como una sustancia inerte y sin embargo cuantificable. Es el concepto de masa que se adopte lo que determina qué estado de movimiento es natural y qué estado hay que ascribirlo a causas externas, esto es, a los efectos de fuerzas. Pero tratemos de entender lo que es una fuerza en Newton. Para la dinámica newtoniana y para la física de hoy, fuerza, o fuerza impresa, es en palabras del propio Newton:

«An impressed force is an action exerted upon a body in order to change its state, either of rest, or of uniform motion in a right line».

Pero ¿y la llamada fuerza de inercia?¹⁵: pues resulta que según la teoría newtoniana no es realmente una fuerza, aunque muchas veces se la designe así, y el propio Newton lo haga cuando le conviene. La inercia es la *tendencia* de un cuerpo a permanecer en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme (1ª ley de Newton) pero puede ser considerada también (matemáticamente es útil) como una especie de fuerza innata en el cuerpo, que reacciona a una fuerza exterior (3ª ley de Newton). Puede estar en un cuerpo que se mueve (en línea recta y velocidad constante) y entonces se asemeja al *impetus* medieval, o ser simplemente la resistencia pasiva a una fuerza exterior. Así pues, en palabras de Newton, en la definición III de los *Principia*:

«The vis insita, or innate force of matter, is a power of resisting, by which every body, as much as in it lies, continues in its present state, whether it be of rest, or of moving uniformly forwards in a right line».

Ihmig observa que la ambigua inserción en la frase de «as much as in it lies», de difícil interpretación, es entendida por la mayor parte de los expertos como equivalente a «natural» y provendría de las lecturas que Newton hacía de Lucrecio, que la emplea con ese significado. Así, para Newton **la inercia, y no la gravitación, sería la propiedad esencial de la masa** y esto conllevaría al Principio de Inercia, fundamental en la explicación newtoniana. Hegel, por el contrario, considera a la gravitación como la propiedad esencial de la materia y antepone la ley de la gravitación universal al principio de inercia¹⁶. Ley, la de los inversos de los cuadrados, que puede ser deducida matemáticamente de las leyes del movimiento planetario, que no son otras que las leyes de Kepler. Hegel indicará como otra de sus críticas a Newton que la recíproca no es exactamente cierta, esto es, a partir de la ley de los inversos de los cuadrados se puede sólo

¹⁵ Ihmig nos previene de la dificultad del tema: de una parte está el contenido propiamente dicho de los *Principia* y la exposición del mismo por parte de los newtonianos británicos y franceses como Mac Laurin, D'Alembert y Laplace en las que se han superado ciertas inconsistencias presentes en aquella magna obra, como por ejemplo, las relativas al concepto de fuerza de inercia. También sucede lo contrario, y es que en ciertas obras de fervientes newtonianos se interpreta incorrectamente su doctrina.

¹⁶ Cf. Renault en bibliografía,

deducir matemáticamente que los planetas giran alrededor del Sol siguiendo órbitas de secciones cónicas y no explícitamente elipses.

Hegel desciende al terreno de su adversario y se concentra en la Prop. 1, Secc. 2, Libro I de los *Principia* que considera como la proposición fundamental de aquella teoría de la gravitación:

«The areas which revolving bodies describe by radii drawn to an immovable centre of force do lie in the same immovable planes, and are proportional to the times in which they are described».

Newton está tratando de estudiar la relación entre la existencia de una fuerza centrípeta y la segunda ley de Kepler¹⁷. La demostración de esta proposición descansa en la aplicación de la ley de la diagonal del paralelogramo aplicada a dos segmentos que representan la fuerza centrípeta, de atracción, representando a la gravedad, y la fuerza de inercia, la *vis insita*, cuyo status como fuerza, según las propias leyes de la mecánica newtoniana, es más que problemático. Hegel protesta aduciendo que simples segmentos geométricos, entes únicamente matemáticos no pueden convertirse en fuerzas físicas, que la *gravedad* no puede reducirse a ser una mera *atracción*, y finalmente constata que la inercia de un cuerpo se convierte en fuerza cuando conviene a los cálculos matemáticos.

En cuanto a la feroz crítica que el texto de Hegel recibe de D. Dubarle y de François de Gand en relación a la fuerza centrífuga, esta se refiere a dos cuestiones:

i) La interpretación hegeliana de hacer participar dos fuerzas, la centrípeta y la centrífuga en las construcciones teóricas de los *Principia*.

Es cierto que parece existir la voluntad de Newton de no nombrar directamente a la fuerza centrífuga en los *Principia*. Ni siquiera en el famoso episodio del «*bucket*» es nombrada la fuerza centrífuga, se dice allí : «los efectos por los que los movimientos absolutos y relativos se distinguen mutuamente son *las fuerzas de separación del eje de los movimientos circulares*» (que podría ser interpretada incluso como la fuerza de inercia tangencial)¹⁸. La única vez que se nombra la **palabra** fuerza centrífuga (en el contexto de movimiento circular orbital) es en el esolio añadido a la tercera edición (1726):

«Si girasen muchas lunas en torno a la Tierra... y si la más baja de todas esas lunas fuese muy pequeña, y casi llegase a tocar la cima de los montes más altos, la fuerza centrípeta en cuya virtud se mantiene en su órbita vendría a ser casi igual a la gravedad de los cuerpos en las cimas

¹⁷ LAS LEYES DE KEPLER:

1ª. La órbita del planeta es una elipse, en uno de cuyos focos está el Sol.

2ª. La recta entre Sol y planeta (radio vector) barre en tiempos iguales áreas iguales.

3ª. Los cuadrados de los tiempos de revolución de dos planetas son proporcionales a los cubos de su distancia media respecto del Sol.

La 1ª y 2ª en *Astronomia Nova* (1609). La 3ª en *Harmoniae Mundi* (1618).

¹⁸ Porque, a veces, lo que se expulsa por la puerta entra de nuevo por la ventana, y así, Newton necesita de la fuerza centrífuga para «probar la existencia» del espacio absoluto

de dichos montes (por el cálculo precedente) y haría que esa pequeña luna si perdiera todo el movimiento con el que se desplaza en su órbita, al faltarle la fuerza centrífuga con la que había permanecido en su órbita caería hacia la Tierra¹⁹ ».

ii) En relación a la «bévue» hegeliana (calificativo de Dubarle et De Gand y que significaría algo así como «grosera incorrección») de confundir la fuerza centrífuga con la fuerza de inercia tangencial, W. Neuser en su artículo «The concept of Force in the eighteenth century» estudia la situación a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y

¹⁹ Domenico Bertoloni-Meli es el autor de importantes artículos sobre la fuerza centrífuga en la obra de Newton:

- «The Relativization of Centrifugal Force» *Isis* 1990, 81, 23-40. Una de las conclusiones de este artículo es:

«Newton's theory of centrifugal force followed a case-by-case pattern, and the solution to one particular problem could not be easily generalized [...].

In summary, before 1679 Newton –like Descartes, Borelli, and Leibniz– believed that orbital motion depended on the imbalance between gravity and centrifugal force; after 1684 he believed that centrifugal force was equal and opposite to gravity, from the third law of motion. In general, he explained curvilinear motion in terms of centripetal force and inertia alone, without centrifugal force; why, in this case, centrifugal force could be neglected, however, was not clear».

- «Inherent and centrifugal forces in Newton» 2004, publicado en *Archive for History of Exact Sciences*, que estudia la relación entre *vis inertiae* y *vis centrifuga* en los escritos de Newton de la época en que compone los *Principia*.

- «Who is afraid of centrifugal force?» 2005, que me fue enviado personalmente por el autor. En este artículo, Bertoloni hace una revisión de la tesis más comúnmente admitida por los historiadores de la Ciencia en relación al tema Hooke-Newton y el movimiento circular, según la cual:

«There is a correct approach for dealing with circular, or more broadly curvilinear, motion dispensing with centrifugal force; that Hooke had the correct approach whereas Newton did not; that on learning from Hooke the correct way of dealing with curvilinear motion, Newton abandoned his erroneous, or at least confusing, approach and adopted the right one; and that a satisfactory conceptual clarification precedes the mathematical solution to the problem of orbital motion» (Richard S. Westfall).

O sea, que **suponer que hay solamente una única forma correcta de tratar el movimiento circular y que ésta excluye a la fuerza centrífuga**, es problemático. Y no se resuelve la cuestión diciendo que sistemas de referencia inerciales o acelerados permiten a voluntad tratar o no con fuerzas centrífugas.

Sucede que históricamente las cosas son más complicadas:

En 1679 Hooke y Newton mantienen una correspondencia sobre el tema: En carta de Newton a Hooke de 13 de diciembre de 1679 le recuerda que no es a despreciar el hecho de que un cuerpo moviéndose en la Tierra «it would circulate with an alternate ascent and descent made by its vis centrifuga and gravity alternately over ballancing one another».

En 1715, en relación con su pugna con Leibniz, Newton escribió en tercera persona:

«The centrifugal endeavor is always equal and opposite to the force of gravity for the third law of motion in Newton's Principia» and «[...] The orbital motion of the planet does not depend on the excess of gravity over centrifugal force (as Leibniz believes), but <the orbit is curved> by <the action of> gravity alone, to which centrifugal force <(as reaction or resistance)> is always equal and opposite on account of the third law of motion put forward by Newton»

El texto entre < > fue colocado posteriormente, Así pues, no es tan descabellado atribuir a Newton una explicación de las órbitas planetarias basada en el binomio fuerza centrípeta-fuerza centrífuga.

comprueba cómo Voltaire e incluso D'Alembert cometen la misma «*bévue*», además de muchos de los libros de texto alemanes de esa época.

Ihmig, en su artículo llega a decir que el propio Newton parece cometer la «*bévue*» en el scholium to prop. four, book III, ya citado precedentemente:

«Newton considers the supposed motion of a little moon about the earth: The context makes it pretty clear thah what is being supposed here is not a motion related to a frame of reference rotating with it: The actual words are as follows: «Therefore if the same little moon should be deserted by its centrifugal force that carries it through its orbit and be disabled from going onward therein, it would descend to the earth». Here too mention is made of two components, which bring about the orbital motion of the little moon: the centripetal and the centrifugal force. There is, however, no mention of any innate force, the function of which has evidently been taken over by the centrifugal force. Since this motion is the same as that dealt with in prop. one, section two of book one of the *Principia* one can only conclude that in this case too Newton is in fact identifing the centrifugal with the innate force»

2) **Pero ¿qué puede decir la filosofía sobre el Sistema Solar** y las complejas relaciones que lo rigen? El joven Kant, en 1755²⁰, había hecho ya una interpretación escribiendo su *Historia General de la Naturaleza. Teoría del Cielo*, libro que con certeza Hegel había leído²¹. Hegel, en esta segunda parte, en la que debe dar una alternativa filosófica, no está, pensamos, a la altura de su hasta entonces justamente criticado Newton, y propone una serie de reflexiones y oscuros conceptos de moda en la *Naturphilosophie* de la época, que debieron sonar muy bien a su amigo Schelling, pero que simplemente no se entienden. Años después, cuando escriba su *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*²², Hegel se separa de algunas de las afirmaciones emitidas en *Las*

²⁰ Kant tiene también treinta y un año cuando se decide a dar su Cosmogonía.

²¹ En relación a la fuerza de atracción, newtoniana, Kant conoce bien las carencias de ese concepto como ente físico, pero transige: «Por ser además en alto grado probable que, si un efecto sólo se produce en presencia y en proporción del acercamiento de determinado cuerpo y su dirección se relaciona también en forma exactísima con este cuerpo, habrá que suponer que tal cuerpo es, en alguna forma, el motivo determinante; se ha creído encontrar así suficientes razones para atribuir esta tendencia general de los planetas hacia el Sol a una **fuerza de atracción** de este último, dotando a todos los cuerpos siderales en general con este poder de atracción».

²² La *Enciclopedia* (1ª ed. en 1817 y 2ª revisada en 1827) está dividida en tres partes: *La Ciencia de la Lógica*, *La Filosofía de la Naturaleza* y *La Filosofía del Espíritu*. Según E. Renault, la sección correspondiente a la Mecánica de la *Filosofía de la naturaleza*, está dividida en dos partes, una dedicada al estudio de la inercia, el choque y la caída libre, llamada Mecánica finita, y otra a la gravitación universal y al movimiento absolutamente libre, la Mecánica absoluta, y esto ha llevado a muchos intérpretes de la obra de Hegel (entre ellos A. Lacroix), a plantear que hay en él un rechazo a la unificación newtoniana entre física terrestre y celeste, y una vuelta a la distinción aristotélica entre mundo sublunar y supralunar. Si esto es cierto en *Las órbitas*, dice Renault, ya no lo es en la *Enciclopedia*. Aquí, la inercia y la gravitación explican tanto los fenómenos terrestres como los celestes. La distinción de estas dos mecánicas hace referencia a dos tipos de fenómenos regidos por los mismos principios, aunque los fenómenos terrestres implican unas relaciones entre la materia y el movimiento en los que predomina la inercia. La gravitación se convierte en el principio realmente importante, ya que frente a la naturaleza entendida como pura exterioridad, conjunto de cuerpos exteriores que resisten los efectos que producen unos sobre otros en sus contactos, la gravitación presenta a la naturaleza como un movimiento de reducción de esta exterioridad a la unidad.

órbitas de los planetas, aunque mantenga el espíritu general que la animaba, construyendo un discurso más elaborado y coherente, y sobre todo más inteligible.

Aceptará entonces que:

«La gravitación universal debe ser reconocida, en sí mismo, como un pensamiento profundo, incluso si –aprehendida inicialmente en la esfera de la reflexión– ha conseguido la atención y la confianza sobre todo por la determinación cuantitativa a ella ligada, y ha debido encontrar su confirmación solamente en la experiencia explorada a partir del sistema solar y descendiendo hasta los fenómenos de los tubos capilares»²³

Aunque, insiste:

«[...] hay que cobrar conciencia de la inundación que sufre la mecánica física por parte de una metafísica indescriptible que –contra experiencia y concepto– tiene como fuente única aquellas determinaciones matemáticas»²⁴.

«La ilusión fundamental en el empirismo científico es siempre la misma: utiliza las categorías metafísicas de materia y fuerza, además de las de uno, múltiple, universalidad, infinito, etc., y siempre sin advertir su contenido metafísico, utilizando estas categorías y sus relaciones de manera acrítica e inconsciente»²⁵.

La pretensión de Hegel será la de establecer un puente de unión entre la filosofía y la ciencia positiva a través de un proyecto, que él denomina especulativo, un proyecto complejo y original que devuelva a la Filosofía su original impulso de indagar en lo natural. Para ello la filosofía, si no quiere renunciar a su aspiración de expresar la totalidad, no puede dejar fuera los conocimientos positivos, adquiridos con legitimidad por el **entendimiento** científico. El entendimiento, considerado como la facultad humana que permite comprender la realidad a través de separar, fijar, ordenar, clasificar, es reconocido como una parte necesaria del proceso de comprensión de la realidad, pero de ningún modo responde, para Hegel, a lo que es la realidad en sí; ya que a éste se le escapa la movilidad y el dinamismo de lo real, su carácter dialéctico: lo que el entendimiento separa son sólo momentos necesarios de la dinámica de lo real. Será la facultad de la **razón** la que pueda completar ese proceso de comprensión al captar la unidad en la diversidad, el movimiento de los contrarios que se necesitan mutuamente. Para él, únicamente el **proyecto especulativo**, guiado por la razón es capaz de ofrecer una comprensión adecuada del desenvolvimiento de lo real, que es el objetivo de toda forma de saber, y especialmente de aquel tipo de saber que denominamos científico u objetivo. La razón no es exterior, ni lejana, respecto al entendimiento, como si se tratara de dos facultades distintas;

²³ *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*, 269.

²⁴ *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*, 270.

²⁵ *Enciclopedia de las Ciencias Filosófica*, 38.

son más bien, dos tipos de realización diferente de un único proceso, el del pensamiento entendido al modo hegeliano como dinámico y productivo²⁶.

¿Por qué la razón es capaz de llevar a cabo esta unificación que supone la comprensión de la realidad? Porque, según Hegel, la propia realidad no es más que el desarrollo, el despliegue de una racionalidad que está en el origen mismo de lo real. Esta racionalidad que gobierna el mundo es la misma razón que se encuentra en el hombre, de ahí que pueda producirse esa especie de reconocimiento y también la garantía del mismo.

En tanto que lo real es opaco e indefinido debe ser determinado, es decir, diferenciado, clasificado por el pensamiento para introducir orden en lo que se da en la experiencia, reduciendo los elementos singulares a un principio de unidad, a la vez que estas determinaciones generales que ha producido le permiten distinguir los seres según diferentes categorías. Este es el modo de ser y hacer propio del entendimiento, fija unas determinaciones, su actividad aísla, distingue, diferencia. Es la lógica del tercio excluso: se es esto o lo otro, presuponiendo una regla de homogeneidad interna. El rasgo central de su actividad es la abstracción, entendida más que como una elevación del material empírico a una primera forma de universalidad, como su incapacidad para captar las mismas determinaciones en el movimiento por el que se forman, en la relación negativa que las engendra, admitiéndolas pues sólo como elementos relativos.

La razón es el principio dinámico que unifica, a la vez que produce todo lo que el entendimiento había separado, es el proceso dialéctico que anima la realidad. No es exterior, ni un mero método, es parte del proceso de la realidad y de su inteligibilidad.

3) **En la tercera parte de su escrito** de habilitación, Hegel decide, desgraciadamente, manejar números y hacer numerología. En 1772, Bode, astrónomo real de Prusia, había propuesto al estilo de Kepler, una serie numérica que daría cuenta de las distancias de los planetas al Sol:

	0	3	6	12	24	48	96	192
4								
	4	7	10	16	28	52	100	196
:10								
	0.4	0.7	1	1.6	2.8	5.2	10	19.6
	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	?	Júpiter	Saturno	Urano (en 1781 Herschel)

La serie era una afortunada y práctica regla mnemotécnica que servía para averiguar la distancia aproximada de cualquier planeta al Sol, en relación con la distancia de la Tierra: 1 UA. Pero, ¿qué pasaba con el término 5º de la serie? Los astrónomos buscaban en los cielos una luminaria «que diera razón a la regla».

²⁶ Véase *Lacroix*.

Hegel empieza esta tercera parte diciendo:

«[...] la búsqueda y el conocimiento de las leyes de la naturaleza tienen un solo fundamento y es nuestra convicción que la naturaleza ha sido configurada por la razón [...] Esto se observa claramente en aquellos que buscan las leyes a través de la experiencia y por inducción: cuando con fortuna encuentran la apariencia de una ley, declaran la identidad de naturaleza y razón, y se ponen muy contentos con su descubrimiento; pero si algún fenómeno no se ajusta bien a lo que dice la ley, entonces ponen en duda la experiencia y se esfuerzan al límite por realizar la armonía de ambos.

Tenemos un ejemplo de ello en la relación de las distancias de los planetas que ahora vamos a estudiar a continuación: en efecto, las distancias de los planetas presentan la relación de una cierta progresión aritmética, pero el quinto término de la progresión no corresponde a ningún planeta en la naturaleza; entonces se sigue pensando que existe realmente un planeta entre Marte y Júpiter, desconocido para nosotros pero que debe estar ahí, errando en los espacios celestes, y se lo busca con asiduidad».

Pero Hegel no se conforma con esta razonable reflexión y propone una nueva serie numérica, esta vez extraída del Timeo platónico, con la que, pitagóricamente²⁷ pretende demostrar la no existencia de planeta alguno entre Marte y Júpiter. Sucedió que ese mismo año, el astrónomo Piazzzi encontró un cuerpo celeste entre aquellos planetas, calificado posteriormente como el asteroide *Ceres*, fragmento entre otros de un antiguo planeta. Gauss, que en esos momentos es un joven privat-dozent en Göttingen, consigue determinar su órbita y predecir sus posiciones sucesivas. Olbers encuentra el objeto de nuevo un año más tarde, encuentra un segundo tres meses después y emite la hipótesis de que se trata de los restos de un antiguo planeta. Herschel encontrará muchos más de esos asteroides posteriormente, Su órbita común está a 2'67 UA del Sol, mientras que la serie de Bode predecía 2'8²⁸.

f) El principio de inercia y el aristotelismo de Hegel

Aristóteles y su concepción teleológica de la realidad siempre están presentes en la obra de Hegel y muy especialmente en su *Filosofía de la Naturaleza*. En 1805, aún en Jena, Hegel escribe las *Lecciones de la Historia de la Filosofía*, obligado por la docencia que debe impartir y

²⁷ Michael J. Petry interpreta esto como una ironía hegeliana anti-numérica, pero De Gand implacablemente, nombra a Kierkegaard, para apostillar que todo Hegel es cómico. *Les Orbites...*p. 164

²⁸ En relación con estas dos últimas páginas del *De orbitis*, dice Félix Duque en su excelente libro *Historia de la Filosofía Moderna. La era de la crítica*. (VI.4.I.2.- La venganza de Ceres), que hay que lamentar que este desafortunado epílogo sirviese para condenar en bloque el escrito de habilitación y la capacidad de Hegel para opinar sobre ciencia:

«Pero cuando se hizo famoso (Hegel), sus enemigos empezaron a rebuscar en sus primeras publicaciones y sacaron a la luz *De Orbitis* como una infamante piedra de escándalo: ¡un asteroide debería destruir el Sol de Berlín!. Científicos de nota como Gauss o Schleiden y filósofos «cientifistas» como el archienemigo Jacob Fries comenzaron así una leyenda negra sobre el pensador «que se lo saca todo de su cabeza y dice que “peor para los hechos”; una mala fama que ha durado casi hasta hoy. De nada valió que se desdijera de su “pitagorismo” en la *Enciclopedia* de Heidelberg (1817): la única autocrítica que hiciera en su vida»

aquí es manifiesto su entusiasmo por la *Física* de Aristóteles, que contrapone a la física newtoniana:

«Aristóteles aprehende la naturaleza en tanto que es vida, esa es su idea maestra».

Aristóteles produce un pensamiento especulativo modélico, unión de idea y empiria, de metafísica y de experiencia. En estas lecciones, Hegel destaca la incapacidad de las ciencias empíricas modernas para captar la *efectividad* o inmediatez del fenómeno. La reflexión, que produce el entendimiento, surge cuando una apariencia queda como enajenada de su propia inmediatez. En vez de la inmediatez de la cosa se dan en la reflexión relaciones no «inmediatas»:

«El concepto aristotélico de naturaleza, de vitalidad, se ha perdido; está ausente en la manera moderna de considerar lo natural, la vida, fundamento de las cuales son ahora la presión, el choque, las relaciones externas».

En esa concepción mecánica de la Naturaleza se ha perdido la idea de la finalidad, que hay que recuperar, y Hegel aprovecha para criticar el principio de inercia newtoniano, que puede ser considerado como el abandono del punto de vista aristotélico que consideraba a la materia como dotada de un principio inmanente de movimiento.

Para Hegel, el principio de inercia juega en el ámbito de la Mecánica el mismo papel que el principio de identidad en la Lógica. Ambos son argucias del entendimiento, que en su afán de universalidad, anula las diferencias reales subsumiéndolas en una identidad formal. De igual manera que no podemos trasladar al campo de lo real, de lo físico, la idea contenida en el principio lógico de identidad de que no hay cambio, de que las cosas permanecen estáticas e idénticas a sí mismas, Hegel plantea que con el principio de inercia se separa movimiento y reposo, dejando de ser considerados como momentos de un proceso, para convertirlos en estados definitivos e independientes entre sí y de los cuerpos a los que caracteriza:

«La representación según la cual los cuerpos celestes se moverían por ellos mismos en línea recta, si ellos no estuviesen de manera contingente en la esfera de atracción del Sol, es una idea hueca».

«Un movimiento rectilíneo infinito es una abstracción vacía; pues el movimiento es necesariamente hacia alguna cosa-fin».

Entre los principios de inercia y de la gravitación se suscitaba para Hegel una contradicción insalvable:

«De manera inmediata la gravitación contradice la ley de la inercia, puesto que en virtud de aquella la materia tiende por sí misma hacia otra materia»²⁹.

Si el primero ofrece una imagen de la naturaleza esencialmente pasiva, inerte, de cuerpos separados en estados fijos de reposo, que necesitaban para moverse de la acción de una fuerza

²⁹Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas, 269

externa y aun así manifestando su resistencia al cambio, la atracción por su lado implicaba lo contrario, la acción de unos cuerpos sobre otros, un principio de actividad recíproca. Hegel integra y disuelve esta contradicción reinterpretando el principio de inercia y supeditándolo al de la gravitación. La naturaleza material y finita es un conjunto de cuerpos aislados e independientes que perseveran en su estado, pero ¿qué explica tal situación de hecho?: es la gravitación, esa fuerza por la que los cuerpos se atraen entre sí, la que constituye el centro de cada cuerpo, y que a través de ese centro gravitatorio reúne una cierta cantidad de masa a su alrededor constituyendo el propio cuerpo y provocando a su vez la inercia, esto es, esa especie de tendencia de los cuerpos materiales a permanecer en su estado. De estos dos principios el importante para Hegel es el de la gravitación, constituyéndose en principio de auto-organización del universo y de esta manera la tesis hegeliana de la unidad esencial de materia y movimiento queda así plasmada.

Hegel piensa que con el principio de inercia, viga maestra del edificio newtoniano, deja de ser inteligible lo que relaciona a materia y movimiento, al hacerlo depender de una causa externa: la fuerza. Y de esta manera, al permanecer desconocido para nosotros lo que es el movimiento, principio de la Naturaleza, seremos, aristotélicamente, huérfanos desconsolados de lo natural.

g) Conclusión

La tesis de habilitación hegeliana es la «presentación filosófica» del autor en la sociedad universitaria de Jena, dominada por aquellas dos grandes figuras de la Cultura alemana que son Goethe y Schiller, y en la que el joven y precoz Schelling se ha hecho el capitán de la *Naturphilosophie* romántica. Es en este entorno espacial y cultural, en el año de 1801, en el que debe ser juzgado este escrito menor, ignorado o mal interpretado de la obra hegeliana, pero que es significativo para comprender su cosmovisión.

Aislado por largos años de ejercer de *Hauselehrer*, imbuído de Historia y Teología, sabiéndose vivir en tiempos heroicos de cambio y esperanza, Hegel desciende de la montaña, cual nuevo mesías dispuesto a dar un giro a la nueva Religión en que se ha convertido la Ciencia, una ciencia mecanicista y positiva, que coarta la Naturaleza, y cuyo dios y sumo sacerdote es Newton. El Kant de la *Teoría del Cielo* y de las antinomias sería el Moisés, al que habrá que superar con el método dialéctico, con la *Fenomenología del Espíritu*, que ya y paralelamente bulle en su imaginación.

El denostado «panfleto» que para la ortodoxia newtoniana es *Las órbitas de los planetas*, es un ensayo filosófico que comienza acertadamente con una descarnada crítica del método newtoniano, ciertamente muy en la onda del Goethe de la *Teoría de los colores*; que continúa menos bien con una desvaída alternativa filosófica, plena de tópicos de la *Naturphilosophie*; y que termina peor, con un ingenuo y fallido ejercicio de predicción numerológica, que sólo caritativamente puede interpretarse como una parodia del uso de los números.

La Filosofía de la Naturaleza, que Hegel plasmaría en la *Enciclopedia*, en su etapa de profesor en Heidelberg (1816-1818), no reniega fundamentalmente de su tesis de habilitación y es una obra que merece ser estudiada a fondo por los historiadores de la Ciencia, porque con la *Fenomenología* constituye el núcleo de la cosmovisión hegeliana. En ella hay no sólo intuiciones que recuerdan a la física cuántica y relativista sino profundas consideraciones sobre la Naturaleza, sobre la manera de entenderla y respetarla.

Y quizás eso sirviese a nuestro devastado planeta Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTOLONI-MELI, DOMENICO, *Equivalence and Priority: Newton versus Leibniz*, Clarendon Press, Oxford, 1993.
- BERTOLONI-MELI, DOMENICO, «The Relativization of Centrifugal Force» *Isis* 1990, 81
- BERTOLONI-MELI, DOMENICO, «Inherent and centrifugal forces in Newton», *Archive for History of Exact Sciences*, 2004.
- BORZESZKOWSKI, HORST-HEINO V., *Voltaire's Newtonianism. Christian Wolff's Mechanical Philosophy*, MPIWG, Preprint 147, 2000.
- DE LORENZO, JAVIER, «La matemática en Marx y Engels», *Sistema* 63 (1984), 59-83.
- DÍAZ, CARLOS, *Hegel, Filósofo romántico*, Ediciones Pedagógicas, Madrid 1994.
- DILTHEY, WILHELM, *Hegel y el idealismo*, Fondo de Cultura Económica, México 1944.
- DILTHEY, WILHELM, *Leibniz et Hegel*, Les Editions du Cerf, París 2002.
- DUBARLE, D., «La Nature chez Hegel et chez Aristote», *Archives de Philosophie* 38, 1975, 3-32.
- DUBARLE, D., *La critique de la mécanique newtonienne dans la philosophie de Hegel. Hegel. L'esprit objectif- L'unité de l'histoire*, Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Lille 1968.
- DUQUE, FÉLIX, «Todo el saber del Mundo: G.W.F. Hegel», en *Historia de la Filosofía Moderna*, Akal, 1998
- ENGELS, FRIEDRICH, *Dialéctica de la Naturaleza*, Grijalbo, México 1961.
- ELLIS, BRIAN, «The Origin and Nature of Newton's Laws of Motion», *Beyond the Edge of Certainty*, ed. Robert G. Colodny, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1965.
- FESSARD, GASTON, *Le Christianisme et l'Histoire*, París, PUF, 1990.
- FÉVRIER, NICOLÁS, *La Mécanique Hegelienne*, Editions Peeters, Louvain-Paris 2000.
- FEYERABEND, PAUL, *Contra el Método*, Ariel, 1974.
- FRIEDMAN, MICHAEL, *Kant and the exact Sciences*, Harvard University Press, 1992.
- GARBER, DANIEL, *Descartes Metaphysical's Physics*, University of Chicago Press, 1992.
- GINZO, ARSENIO, *Protestantismo y Filosofía. La recepción de la Reforma en la filosofía alemana*, Universidad de Alcalá, Madrid 2000.
- HEGEL, GEORG, *Encyclopedie des Sciences Philosophiques (II). Philosophie de la Nature*, Bernard Bourgeois, Vrin, París 2004.
- HEGEL, GEORG, *Enciclopedia de las ciencias filosóficas*. Ramón Valls (ed.), Alianza Editorial, 2005.
- HEGEL, GEORG, *Estética*, Alta Fulla, Barcelona, 1988.
- HEGEL, GEORG, *Fe y Saber*, Vicente Serrano (ed.), Biblioteca Nueva, 2000.

- HEGEL, GEORG, *La théorie de la mesure*, Trad . y coment. André Doz, PUF, 1970.
- HEGEL, GEORG, *Les orbites des planets*, Trad. y coment. F. de Gandt, Vrin, París 1979.
- HEGEL, GEORG, *Scritti giovanili*, a cura di Edoardo Mirri, Guida ed., Nápoles 1993.
- HEGEL, GEORG, *Vita de Gesù*, a cura di Antimo Negri, Ed. Laterza. 2004.
- IHMIG, KARL-NORBERT, «Hegel's treatment of universal gravitation», *Hegel and Newtonianism*, Michael John Petry (ed.) Kluwer.
- IHMIG, KARL-NORBERT, «Hegel's rejection of the concept of force», *Hegel and Newtonianism* de Michael John Petry (ed.) Kluwer.
- INNERARITY, DANIEL, *Hegel y el Romanticismo*, Tecnos, Madrid 1993.
- KAUFMANN, WALTER, *Hegel*, Alianza Universidad, Madrid 1982.
- KENNEDY, HUBERT, «Karl Marx and the foundation of differential calculus», *Historia Mathematica* 4 (1977), 303-318.
- KOJÈVE, ALEXANDRE, *Introduction à la lecture de Hegel*, Gallimard, 1947.
- LACROIX, ALAIN, *Hegel. La philosophie de la Nature*, París, PUF, 1997.
- MIRANDA, FRANCISCO XAVIER, *La interpretación filosófica del cálculo infinitesimal en el sistema de Hegel*, Eunsa, Pamplona 2003.
- NEUSER, WOLFGANG, «The concept of force in eighteenth-century mechanics», *Hegel and Newtonianism*, Micael John Petry (ed.), Kluwer.
- NEWTON, ISAAC, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, Traducción y comentarios de Eloy Rada, Alianza Editorial, Madrid 1987.
- RENAULT, EMMANUEL, *Hegel : La naturalization de la Dialectique*, Vrin, París 2001.
- SCHILLER, JOHANN, *Escritos sobre estética*, Juan M. Navarro Cordón (ed.), Tecnos, 1990.
- SHAPER, DUDLEY, «The Philosophical Significance of Newton's Science», *The Texas Quarterly*, 1967,10: 201-215
- VALLS PLANA, RAMÓN, *Del yo al nosotros*, Estela. Barcelona 1971.
- VOLPE DELLA GALVANO, *Hegel romantico e mistico*, Le Monnier, Florencia 1928.
- WATKINS, ERIC, *The Argumentative Structure of Kant's Metaphysical Foundations of Natural Science. The Laws of Motion from Newton to Kant*, MPIWG, Preprint 71, 1997.
- WESTFALL, RICHARD, «Circular Motion in Seventeenth-Century Mechanics», *Isis*, Vol. 63, n°2, 184-189.