

doctrina lleva, por lo tanto, implícita la oposición a la teoría de la creabilidad del hombre en el estado de natura pura. Resulta explicable entonces que la teología ortodoxa haya insistido a partir de Bayo en precisar y defender esta noción, así como sus secuaces en negarla.

3) Cornelio Jansenio, legítimo heredero de las doctrinas bayanas, es el gran adversario de la teoría de la natura pura, que pronuncia contradictoria «in terminis». Al mismo tiempo, sus opiniones demuestran la utilidad de esta noción en la teología de la gracia, pero también la dificultad de manejarla.

4) El cardenal Noris y Fulgencio Bellelli, por sincera fidelidad a San Agustín y peligrosa herencia jansenista, defendían la misma imposibilidad absoluta del estado de natura pura. Pero el segundo (cuya teoría al respecto es más desarrollada) se diferencia enteramente de Bayo y Jansenio al insistir como lo hace en la supernaturalidad esencial de la gracia. Al hacerlo, sin embargo, atribuye a Bayo opiniones que éste nunca sostuvo, y por otra parte demuestra a las claras la extrema dificultad de conciliar dicha supernaturalidad esencial con su teoría de la natura pura.

5) El dominico Vicente Contenson es, en esta materia, el hombre de la *via media*: el estado de natura pura es imposible «de potentia Dei ordinaria» aunque posible «de potentia Dei absoluta». No obstante, en la historia de las doctrinas, esta *via media* no condujo a ninguna parte.

6) Juan Lorenzo Berti, honesto y ferviente defensor de la Escuela Agustiniiana, representa el «impasse» a que llegan las teorías jansenistas sobre el estado de natura pura aun rebajadas y diluídas, después de dos siglos de contraataque escolástico. De su obra hay que retener la neta diferencia que ponía —con razón— entre Bayo y su cofrade Bellelli; y quizás también la impresión dolorosa de que la polémica teológica, por bien intencionada, arranca a veces el trigo con la cizaña, y, queriendo tapar fosos, ciega puras y refrescantes fuentes.

Evolución del Pensamiento Cosmológico Acerca de la Gravedad Desde Aristóteles Hasta Einstein *

por JUAN A. BUSSOLINI, S. I.— San Miguel

Siendo, generalmente, las leyes el resultado de una o más hipótesis o teorías que han ido preparando el camino para sus enunciados definitivos, y no siéndolo, como a veces se ha creído, la eclosión esporádica, espontánea y sorpresiva de una mente superior, justo es pensar que el método histórico es el que más se acomoda al espíritu, para que éste interprete el contenido y evolución progresiva integral de tales formulaciones científicas.

En particular, no es nuestro intento exponer detalladamente las vicisitudes que han sufrido a través de los siglos las teorías e hipótesis que contribuyeron a gestar la ley de la gravitación universal tal cual la formulara NEWTON. Baste para ello recordar a grandes rasgos los esfuerzos realizados y las energías quemadas para desembocar en tan memorable descubrimiento.

El que el orden de los capítulos de una obra no responda en general a lo que fué la estricta seriación temporal de las ideas de su autor, en una exposición tan compleja como la que abordamos, nos autoriza a un proceso inverso, sacrificando, a veces, las fechas de la convivencia histórica de los autores, para dar paso al ordenamiento lógico de las ideas, máxime cuando, como en el siglo XVII, muchos fueron los que simultáneamente trataron de elaborar una solución definitiva del problema de la gravedad.

* Capítulo de una obra del autor, próxima a publicarse, sobre los ESQUEMAS DEL UNIVERSO. (N. d. R.).

Por lo demás, adelantamos que en las ciencias no es necesario conocer la naturaleza íntima de las causas que rigen los fenómenos —en nuestro caso la de la caída de los cuerpos y la de los movimientos celestes— para poder descubrir y formular las leyes matemáticas a que se sujetan.

Así, pues, al estudiar el mundo físico, el investigador de la naturaleza debió, desde la más remota antigüedad, —conjeturando, más que conociendo, en qué consistía la fuerza llamada de la gravedad—, agrupar empíricamente un sinnúmero de fenómenos cuyas manifestaciones parecían obedecer a una misma ley. Tales, entre otros, los de la caída de los cuerpos, clase de fenómenos que históricamente habrá de distinguirse de la del régimen de los movimientos de los astros alrededor de sus centros respectivos. Con Newton habrá, por fin, quedado en claro que estas dos clases de fenómenos, al parecer tan dispares, derivan de una misma y única causa. Hasta la formulación precisa de esta ley, no se tendrá, pues, sino una noción confusa de una cierta fuerza que dirige el curso de los astros; jamás se pensó que ella fuera idéntica a la que precipita los cuerpos sobre la Tierra.

Pasando por alto los primeros balbuceos de la antigüedad helénica, corresponde a Aristóteles el mérito de haber formulado al respecto un equipo de principios inconcusos, que constituyen su Física, y de los cuales derivan aseveraciones cuya técnica dominará la humanidad científica por más de dos milenios.

I. ARISTÓTELES (384-322 a. C.): Dichos principios, con su teoría de los graves, quedaron ya expuestos al tratar en detalle la cosmovisión peripatética; a ese pensar nos atenemos cuando lo resumimos en la siguiente forma: de Empédocles, rechazada la teoría atómica de Demócrito, aceptó Aristóteles que los cuerpos terrestres constan en proporción diversa y en continua transformación cíclica de cuatro elementos, de los cuales la tierra, el agua y el aire son pesados y sólo liviano el fuego; para los cuerpos celestes aceptó, además, y también *a priori*, una quinta esencia llamada éter; los cuerpos terrestres son, en consecuencia, mixtos y más o menos pesados o livianos, según la proporción de los elementos primordiales que los componen.

De su maestro Platón, aprendió y retocó la doctrina de los lugares naturales; según ésta, la tierra es pesada porque su naturaleza la lleva hacia abajo, como si éste fuera su lugar natural propio, mientras que el fuego es liviano porque su lugar propio se encuentra arriba, hacia el cual, naturalmente, tiende; si, por alguna fuerza ajena a estos elementos (movimiento violento), alguno de ellos fuera separado de su lugar natural, se vería que por sí mismos volverían a tender hacia él.

Persuadido, además, Aristóteles de que los fenómenos o acciones externas de los cuerpos dan razón de su naturaleza íntima, entiende que, siendo los movimientos naturales las manifestaciones más generales de los mismos, por dichos efectos se puede llegar a conocer las causas. Estudia, entonces, los movimientos, llegando a las consecuencias que: el circular será el que conviene naturalmente a los cielos y el rectilíneo a las translaciones contenidas en la concavidad sublunar, en donde el fuego se elevará hasta la órbita de la Luna, y la tierra descenderá hasta el centro del mundo, regiones que serán, como dijimos, sus lugares naturales. El movimiento, pues, natural de los cuerpos es lo que rige el andar ordenado del universo, constituyendo ello su perfección, y restableciendo ese orden siempre que algo ajeno a los componentes del mismo lo violente.

A esto se refiere Aristóteles cuando dice que la tendencia de cada uno de los cuerpos hacia su lugar natural no es otra cosa que tender a la perfección de su forma¹. Esta es el elemento variable que, con la materia invariable, constituye al cuerpo en su ser sustancial; las alteraciones de aquella son las que harían que un cuerpo pase por estadios diversos hasta su perfección definitiva.

Así, pues, de acuerdo al gran principio de la metafísica peripatética, la causa eficiente del movimiento de los graves resulta ser al mismo tiempo su causa final; ella se identifica no con una atracción violenta ejercida por el centro del universo, sino con una tendencia natural propia de cada cuerpo, que le hace tender hacia el lugar más favorable a su conservación y a la armoniosa disposición del universo.

¹ ARISTÓTELES, *Op. Omnia, De Coelo*, IV, 3. Didot, II.

Tal el nuevo sentir de Aristóteles, quien, al proclamar que a cada elemento le corresponde un lugar determinado porque en el universo hay un bajo y un alto definidos por la naturaleza misma de los elementos, se desentiende audazmente de la concepción de Platón de que el semejante tiende naturalmente hacia el semejante, es decir, que, para el Estagirita, la gravedad no sería sino la tendencia que conservan los elementos a reunirse nuevamente al conjunto de los cuerpos de su misma especie cuando han sido separados de los mismos violentamente.

Ahora bien, si los principios de una teoría física, como se entendió durante dos mil años, no eran autónomos, sino debían ser refrendados por algún sistema metafísico para subsistir, era razonable pensar que, según fueran éstos, aquellos recibirían interpretaciones de acuerdo al que pareciera respaldarlos. Tal lo que aconteció con la dinámica aristotélica. Habrá de esperarse, pues, a que la Tierra pierda su lugar de privilegio (centro del mundo) para encontrar nuevas explicaciones; no es de extrañarse que, hasta el siglo XVI, los sabios que en el mundo fueron no hayan abordado el tema de la gravedad, sino en su fase restringida de la caída de los cuerpos.

II. LOS ESCOLÁSTICOS: Las hipótesis sobre las que se basa la concepción peripatética de la gravedad, sufre, sin embargo, con el correr de los siglos, variantes que, si bien no alteran el fondo del problema en sí, preparan, con todo, el camino a nuevas conquistas científicas que vale la pena subrayar. Tales, el estudio del centro de gravedad de los cuerpos y el de sus virtudes magnéticas.

1) Con respecto a lo primero, es al mismo Aristóteles a quien hay que acudir para encontrar el germen de una discusión que ha de durar hasta los tiempos en que Torricelli precise, en 1644, el verdadero concepto de gravedad. En efecto: aquel en un pasaje bastante impreciso de *De Coelo*, habría ya hecho referencias al movimiento de los cuerpos pesados, entre ellos la Tierra, que tienden al centro del Universo, en el sentido de que entonces permanecerán definitivamente inmóviles «no cuando su extremidad inferior toque el centro del universo, sino cuando su parte más pesada coincida con el centro del mismo»².

² *Ibidem*, II, 14.

Este texto, pues, que, para el Filósofo, que ignoraba lo referente al centro de gravedad de los cuerpos tal cual lo entendemos ahora, y que, comentado en el mismo sentido, con mayor o menor imprecisión, por Averroës, Santo Tomás, Alberto Magno y otros, no pasaría de una vulgar acotación a las disquisiciones de la teoría clásica de los graves, llega a constituir en el siglo XIV un tema de palpitante actualidad para los doctores de la Escuela Nominalista de la Sorbona, encabezados por Alberto de Sajonia.

Los conceptos vagos e imprecisos sobre equilibrio de los cuerpos, debidos a Arquímedes (287-212 a.C.) en primer lugar, quien, con frecuencia, se refiere al centro de gravedad de las figuras planas y, sobre todo, a Pappus (s. IV), quien trató de definirlo, aunque poco felizmente, fué creando con Aristóteles y sus comentaristas, un sentir que, si bien para los geómetras mencionados careció de importancia, para los físicos del medio evo constituyó una doctrina tan duradera como, quizás, la menos controvertida en la historia de la Física.

En todo grave, se decía, existe un punto donde se encuentra como concentrado su peso: éste es el centro de gravedad. En todo cuerpo pesado, la gravedad no es sino la tendencia que tiene dicho cuerpo a unir este su centro de gravedad con el centro del universo. El cuerpo estará en reposo, si su centro de gravedad coincide con dicho centro; de lo contrario, aquél tenderá a unirse a éste hasta alcanzarlo, dirigiéndose en línea recta hacia él, si no hay nada que se lo impida. Siendo la Tierra, por lo tanto, un grave semejante a los demás, cualquier punto de la misma que resulte ser el centro de gravedad de toda la masa terrestre, es el que debe ocupar el centro del universo, si se quiere decir de ella que permanece inmóvil en dicho centro.

Esta es, en síntesis, la doctrina escolástica, cuyo mayor representante, como dijimos, fuera Alberto de Sajonia; sus obras y comentarios aristotélicos, difundidos profusamente, hacen de su pensamiento una escuela Física cuya influencia es dable encontrarla aún en el ideario científico del siglo XVI. Grandes pensadores, como Timón el Judío, clérigo de Münster (1349), Juan Marsile de Inghem, Rector de Heidelberg (1386), Pedro de Ailly. Legado Papal en Alemania y Avignon (1420), Juan B. Ca-

puano, canónigo regular agustino (1475), Gregorio Reisch, Abad de la Cartuja de Friburgo (1496), por citar los principales, representan la tradición viviente de las teorías escolásticas albertinas³.

Pero aun fuera de los teóricos de la escuela, la concepción de que el centro de gravedad de un cuerpo tiende naturalmente a unirse al centro del universo, no sólo encuentra entusiastas cultores en Leonardo de Vinci (1451-1519), Jerónimo Cardan (1501-1576), Guido U. del Monte (1545-1607), Galileo Galilei (1564-1642) y otros de menor renombre, sino que parecería aún reinar ampliamente en el espíritu de los físicos de jerarquía, como Fermat (1601-1665), quien, en pleno siglo XVII y a pesar de la revolución copernicana que subvertiría las bases en que reposaba dicha teoría, escribiendo en 1636 a Röverbal con ocasión de las objeciones que éste le proponía a raíz de los principios geostáticos sostenidos por aquél, decía:

«La primera objeción consiste en que usted no quiere admitir que la mitad de la línea que une dos pesos iguales, al descender libremente, tienda a unirse con el centro del mundo. En lo cual me parece que usted falsamente se opone a la luz natural y a los primeros principios... La verdad de mi principio depende del hecho que los dos pesos o potencias tienden naturalmente al centro de la Tierra... Además, nunca nadie ha dudado de que el centro de un grave no se una al centro de la Tierra, si no hay algo que se lo impida»⁴.

La historia nos da cuenta de que la evolución del pensamiento científico hacia el verdadero concepto de centro de gravedad de un cuerpo, tal cual hoy lo entendemos, termina con Torricelli en 1644⁵. Por otro lado, nos consta, como queda dicho, que la revolución copernicana, al abandonar el sistema geocéntrico, subvertiría las bases en que se fundaba la teoría de los ilustres catedráticos de la Sorbona.

2) Deben buscarse, pues, nuevos derroteros, dado que el cuerpo pesado por excelencia, la Tierra, no tiende ya naturalmente al centro del universo. La historia nos hace volver nuevamente al siglo XIII para retomar otro filón científico en el que la caída de los cuerpos sobre la Tierra encuentra una ex-

³ P. DUHEM, *Les Origines de la Statique*, Paris, 1905.

⁴ FERMAT, *Oeuvres*, T. II, *Corr.*, p. 31.

⁵ TORRICELLI, *Op. Geom., De motu grav. desc.*, p. 99.

plicación analógica con las virtudes magnéticas con que un trozo de hierro es atraído por un imán, o con la de la atracción de los imanes entre sí.

Los orígenes de estas teorías hay que buscarlos nuevamente en la concepción hilemórfica peripatética de la constitución de los cuerpos y en sus comentadores. Al respecto, y como dejamos dicho, un cuerpo consta, según Aristóteles, de una parte permanente e inmutable llamada *materia*, y de otra variable, sujeta a alteración, llamada *forma*. Según el primer elemento, un trozo de hierro, por ejemplo, permanecería siempre y en cualquier circunstancia el mismo trozo de hierro; según el segundo, las propiedades del mismo trozo de hierro pueden cambiar debido a las circunstancias; podría así, según ellas, pasar por los estados de sólido o líquido, caliente o frío, y revestir tal o cual figura.

La armoniosa disposición del universo, sin embargo, reflejada en cada uno de los elementos que lo constituyen, exige que un cuerpo homogéneo tienda a conservar su integridad, que es la perfección de su forma, es decir, que ésta resiste a todo movimiento que tenga por efecto desintegrarlo, así como procura integrarlo, si sus partes hubieran sido violentamente separadas de su estado natural. Así, pues, y en nuestro caso, el trozo de hierro, en presencia de un imán, vería alterada su forma y en tanto mayor intensidad cuanto mayor fuera su proximidad; esta alteración provocaría un principio de movimiento natural debido a la virtud magnética del imán, que hace que el hierro se precipite sobre aquél. Cuando más adelante (Maricourt, 1269), debido al progresivo estudio de las acciones de los imanes, se compruebe que todo imán posee dos polos, que los de nombres opuestos se atraen y que los del mismo se repelen, se argüirá, completando y precisando la doctrina anterior, que al fraccionarse o romperse un imán, las formas sustanciales de las partes alteradas, en el primer caso y por la aparición de polos opuestos, actuarán restituyendo la unidad lesionada, mientras que en el segundo, aquellas harán que los dos fragmentos aislados se reconstituyan, disponiendo nuevamente sus polos como el imán primitivo.

El parentesco del trozo de hierro con el del imán y *a fortiori* el de dos imanes entre sí, el primero alterando naturalmente su forma y los segundos tratando de conservarlas, darían prueba de esa tendencia natural de los cuerpos a su propia conservación y a la armoniosa disposición del cosmos. Tales, en síntesis, el pensamiento unánime de la escuela peripatética hasta Averroës y Santo Tomás, sus comentadores más autorizados⁶

Analogando estos conceptos con los de la gravedad, ésta no sería sino una como corriente de simpatía cuya expresión más genuina sería la del hierro por el imán, o la recíproca de dos imanes. Así, pues, cuando las partes de un mismo cuerpo fueran violentamente separadas del conjunto, cada una de ellas emitiría de su forma sustancial una cierta *species* de emanación, la que, al propagarse en el interespacio que las circunda, haría que no pierdan el contacto y conserven la tendencia de reunirse en un todo cuando desaparezca la causa que los desuniera. Así Fracastor (1483-1553), generalizador de esta teoría dinámica, la que, a través de los años, aportará mayor contribución a la gravífica de los cuerpos celestes, que, con la estática del centro de gravedad, lo hiciera Alberto de Sajonia.

III. LA REVOLUCIÓN COPERNICANA: Al tratar de Copérnico (1473-1543) dejamos expuestos todos los puntos en que el Canónico de Torn disiente de la metafísica de Aristóteles; no siendo, como dijimos, su mente el destruir, conserva de éste todo lo que cree aún inobjetable, como es que la gravedad es una tendencia inherente al grave y no una tracción violenta de un cuerpo extraño, que esta tendencia se dirige a un punto, centro de la Tierra o centro del astro del que forma parte, y, finalmente, que esta tendencia hacia esos centros es la razón de la esfericidad de la Tierra y de los cuerpos celestes.

«Me parece —dice Copérnico— que la gravedad no es otra cosa que una cierta tendencia natural dada a las partes de la Tierra por la Divina Providencia del Arquitecto del Universo, a fin de que adquieran su unidad e integridad tomando la forma esférica. Es de creer que esta tendencia sea también propia del Sol y

⁶ ST. THOMAS AQ., in 7 *Phys. Lect.*, III, 7.

de la Luna, como así de los otros cuerpos celestes, a fin de que, por la persistencia de esta afección, conserven la esfericidad con la que se nos presentan⁷.

Ni el texto enunciado, ni página alguna de la obra de Copérnico nos induce a creer que éste hubiera abordado el tema de una gravitación universal; generaliza sólo el problema de la caída de los cuerpos a los demás objetos celestes e insinúa una divergencia, que harán más profunda sus discípulos, entre ellos Galileo, al desentenderse de la doctrina Aristotélica de los lugares naturales para restaurar nuevamente la de Empédocles y Platón, de la simpatía del semejante por su semejante. Por lo demás, nada asevera sobre un centro de gravedad al que tiendan los cuerpos, en el sentido expuesto anteriormente, a pesar de quienes quieran considerar a Leonardo de Vinci como su precursor. Las razones que inducen a éste a pensar astronómicamente que por «no encontrarse la Tierra en el centro del círculo del Sol, ni en el del mundo, sino más bien en medio de los elementos que le rodean y le están unidos», los elementos estarían dotados de una forma sustancial tal, que los ligaría al astro de que forman parte asegurándole la forma esférica, se tienen que tomar más bien como un caso particular de la posterior generalización enunciada por Fracastor. Además, y sin restar nuevamente méritos a Leonardo en otras concepciones originales, no es justo creer que las consideraciones que hace Copérnico en los primeros capítulos de su obra sobre la esfericidad del mundo, de la Tierra, y de ésta y las aguas, aunque sea casi con los mismos términos, se sirva de los escritos y comparaciones de aquel. Vale para uno y otro, que ambos leyeron, meditaron y sintetizaron lo válido de Aristóteles en sus respectivos tiempos.

El que realmente parecería aplicar la doctrina de Alberto de Sajonia al sistema copernicano sería Galileo. En efecto; al definir el centro de gravedad de un cuerpo, dice:

«Es así como este punto que tiende a unirse al centro universal de las cosas graves, es decir al de la Tierra...»⁸. La misma idea rige en sus famosas *supposizioni*: «Un conjunto de cuerpos pesados se dice en equilibrio, cuando el centro de gravedad se encuentra lo más cerca posible del centro de la Tierra»⁹.

⁷ COPERNICO, *De Revolutionibus...*, L. I, Cap. IX. 1543.

⁸ GALILEO, *Della Scienza meccanica*, Opere, IV, p. 183. Milano, 1810.

⁹ *Ibidem*, p. 185.

Estas ideas, sin embargo, más bien argüirían que tanto Copérnico como Galileo no estaban aún en condiciones lo suficientemente adelantadas como para abordar el tema de una atracción universal de los graves; su verdadero aporte está en ahondar la discrepancia entre las ideas de gravedad de Aristóteles y las platónicas de la simpatía de las fuerzas ocultas hacia el semejante.

«Las partes de la Tierra, dice, se mueven no para dirigirse hacia el centro del mundo, sino para incorporarse a su conjunto; de ahí que ellas tengan una inclinación natural hacia el centro del globo terrestre, inclinación por la que ellas conspiran a formarlo y conservarlo...»¹⁰

Al médico inglés William Gilbert (1540-1603) es a quien se deben las primeras ideas de algún valor científico sobre los imanes, si bien es verdad que ya en el 1200 era conocida en Europa la brújula y parecería seguro que mil años antes era ya usada por los Chinos. La filosofía magnética, contenida en su obra científica *DE MAGNETE*, acentúa la interpretación platónica acerca de la gravedad de los anteriores, despertando a su vez una pléyade de físicos admiradores.

«El movimiento —dice Gilbert— simple y rectilíneo hacia abajo, considerado por los peripatéticos como el propio de los graves, es un movimiento que tiende a unificar las partes dispersas (coacervatio), las que, por razón de la materia que las compone, se dirigen en línea recta y por el camino más corto hacia el cuerpo de la Tierra. Los movimientos de las diversas partes magnéticas de la Tierra, además del que tiende a agruparlas en un todo, son los que las llevan a unirse unas con las otras (coitio), los que las hacen girar (conversio) y los que las dirigen al todo (directio), de acuerdo a la sinfonía y concordancia de la forma»¹¹ «Este movimiento rectilíneo, añade, que no es sino la inclinación hacia su principio (fuente común de origen), no sólo es propio de las partes de la Tierra, sino también de las del Sol, de la Luna y de los demás globos que pueblan el orbe celeste»¹².

Gilbert tampoco ha propugnado una atracción universal; la inclinación o apetencia de que habla frecuentemente en su obra no es una tendencia de las partes de un cuerpo a un determinado lugar o un cierto punto del espacio, sino el de una corriente de simpatía, al igual que Copérnico, hacia la fuente

¹⁰ *Ibidem*, VIII, Diálogo I.

¹¹ GILBERT, *De Magnete*, p. 225. Londini, 1600.

¹² *Ibidem*, p. 227.

común de origen donde, nuevamente unidas, volverán al reposo violentamente perturbado.

«Dejadas de lado —aclara Gilbert— las opiniones de los otros sobre la atracción magnética, indicaremos ahora nosotros la razón de esta *coitio* y de este movimiento que dirige la naturaleza... Es una forma singular, peculiar, no la causa formal de los peripatéticos... sino la que corresponde a los globos primarios y principales; una entidad propia de sus partes homogéneas, no adulteradas, que podríamos llamar la forma primaria, radical y astral; no la forma primaria de Aristóteles, sino aquella peculiar por la que el globo defiende y conserva lo que le es propio. En cada uno de los globos, en el Sol, en la Luna y en los astros, existe una tal forma; también en la Tierra hay una, que constituye esa verdadera potencia magnética que nosotros llamamos «vigor primario». En consecuencia, existe una naturaleza magnética que es propia de la Tierra y que, por una razón elemental y maravillosa, reside en todas sus partes principales; que no deriva del cielo, ni es generada por simpatía, influencia, fuerzas ocultas, ni por ningún astro especial, sino que existe en ella un vigor magnético que le es propio, como en el Sol y en la Luna sus formas; la Luna dispone sus fragmentos lunáticamente de acuerdo a su forma y a los límites propios; un fragmento solar tiende hacia el Sol, como el imán a la Tierra o a otro imán, atrayéndose según su inclinación natural»¹³.

Gilbert, dijimos, contó con numerosos y entusiastas adeptos entre los físicos, aunque prácticamente su obra cerraba ya en el 1600 el período de las disquisiciones filosófico-platónicas de la gravedad en el sentido estricto de la caída de los cuerpos.

Francisco Bacon (1561-1626) representa uno de esos contemporáneos, fiel reflejo, aunque confuso, de las ideas de aquel. En su obra maestra se expresa así:

«Sea el noveno movimiento el magnético; el cual, aunque es del mismo género que el movimiento de congregación menor, todavía, como opera a largas distancias y sobre grandes masas, merece una investigación aparte; especialmente, si no empieza por el contacto, como la mayor parte de los movimientos, ni conduce al contacto como todos los movimientos de congregación, sino que eleva los cuerpos sin más o los hace hincharse sin pasar más allá. Pues si la Luna eleva las aguas o hace que los cuerpos húmedos se hinchen, o el cielo estrechado atrae los planetas hacia un apogeo, o el Sol sujeta los astros Venus y Mercurio para que no se alejen de su cuerpo más que hasta una distancia determinada, parece que no se pueden colocar con razón estos movimientos bajo los de congregación mayor o menor, sino que son movimientos congregativos intermedios e imperfectos, y que, por tanto, deben constituir una especie propia»¹⁴.

¹³ *Ibidem*, p. 65.

¹⁴ BACON, *Novum Organum*, L. II, XXVIII, 9.

Así y hasta tanto el pensamiento científico del siglo XVII no incorpore definitivamente a los fenómenos de la atracción universal el tan discutido caso especial del flujo y reflujo de los mares provocado por la acción Luni-Solar, ésta será interpretada también como una tendencia de simpatía del semejante hacia su semejante, razón de ser de la gravedad dada por Copérnico.

IV. LAS MAREAS: Representan el fenómeno de transición cuyo estudio llevará a incorporar la caída de los cuerpos terrestres en particular al de la atracción de los celestes en general.

El movimiento del flujo y reflujo de las aguas del mar era perfectamente conocido desde los tiempos de Eratóstenes, Seleuco e Hiparco; sus relaciones con el andar de la Luna, después de los estudios de Posidonio (135-50 a.C.), convirtiéronse en leyes para Cicerón, Plinio el Anciano y Toloméo; en los siglos IV y V, San Basilio, San Ambrosio y San Agustín las aceptan en sus homilías a los fieles; en el VIII, San Beda el Venerable se hace eco de los anteriores, y en sus escritos ya describe las más diversas influencias lunáticas sobre los reinos vegetal, animal y humano¹⁵. En el siglo IX, el astrónomo árabe Albumasar se encarga de exponer clara y minuciosamente todas las alternativas del flujo y reflujo de los mares¹⁶.

Así, pues, desde entonces hasta el siglo XVII se discutirán sólo las causales del fenómeno.

Los peripatéticos no reconocerán otra fuerza terrestre oculta a los sentidos más que la magnética, y extraterrestres relacionadas con aquellas, sólo las acciones astrales provenientes del movimiento, de las distancias y de los rayos de su luz¹⁷. Así es cómo Avicennas (s. XI), Averroës (s. XII), Alberto Magno y Rogelio Bacon (s. XIII) atribuían la intervención de la Luna sobre las aguas marinas a su luz, o al calor que esta luz pueda transportar, o a las corrientes atmosféricas que este calor pueda engendrar en las mismas, o a la ebullición que el mismo calor pueda provocar en el seno de las aguas.

¹⁵ MIGNÉ, *Patrol. latina*, T. 90.

¹⁶ DUHEM, *Le système du Monde*, II, pp. 369 sgs.

¹⁷ ARISTÓTELES, *Theologia*, VII, 6. Didot, IV.

En el siglo XIII es Santo Tomás quien, el primero entre los grandes escolásticos, incluye ya al margen de los sentidos como influencia astral distinta de la luz y del calor en las mareas, la magnética¹⁸. Los nominalistas de la Sorbona (S. XIV), sin embargo, no adhieren plenamente a la explicación magnética del fenómeno, en parte por aceptar como válida la objeción de Albumasar, quien argüía que nada tenía que ver la influencia de la luz (comportamiento similar a la magnética) de la Luna sobre las mareas, dado que éstas tienen lugar en el novi o plenilunio, sea que ella esté en el cenit o en el nadir, y, en segundo lugar, por contrariar su racionalismo aristotélico. En tal sentido se pronuncia también acremente, en el siglo XIV, Pico de la Mirándola.

La reivindicación, con todo, de la astrología judicial contra las invectivas del anterior —era natural, se decía, que las aguas del mar se esfuercen a unirse a la Luna, por cuanto éste era el astro húmedo por excelencia—, hace que en el siglo XVI, la virtud divina del magnetismo, como la llamó Platón, sea nuevamente aceptada como explicación plausible de los fenómenos en discusión. Bellancio, Duret, Gilbert y Cardan, en efecto, rechazan la influencia de la luz de la Luna sobre los mares y se pronuncian decididamente por la atracción magnética.

En marcha ya la revolución copernicana y si bien favorable a la simpatía y tendencia del semejante hacia su semejante, con todo, en lo referente a las mareas, otro es el sentir de los copernicanos. Para estos, la razón del flujo y reflujo de las olas debe buscarse en la raíz del sistema astronómico mismo; estos provendrían de los movimientos contrarios que animarían a la Tierra; sus balanceos hacia una y otra parte, harían que las aguas unas veces suban y bajen otras. Galileo es quien más tarde ha de formular de estos fenómenos una teoría que, aunque errónea, sería por él mismo enumerada entre las acciones que derivan de la rotación de la Tierra; los defensores de Copérnico la usarán luego como argumento concluyente de la nueva concepción astronómica. Para los adversarios de este

¹⁸ ST. TOMAS, *In II Meteor.*, Lect. II.

nuevo sistema, por razones conocidas no fácilmente aceptable, la explicación de las mareas por la atracción de la Luna no implicaba, naturalmente, la rotación de la Tierra; seguía, entonces, siendo la magnética.

Así las cosas, no faltaron entre los autores anteriormente citados quienes, al igual que F. Bacon, ampliarán ya esta acción magnética a los planetas entre sí y al Sol en particular. Cardan, en efecto, reconoce a éste como el «principal conductor de todas las cosas», y Gilbert, adelantando ideas, como el «reforzador de los efluvios de la Luna», a los que denominaba «las avanzadas auxiliares del Sol». La idea de la conjunción de las fuerzas luni-solares no era nueva tampoco, aunque las causales asignadas fueran diferentes. Varios siglos antes, Timón, el Judío, ya citado, admitía la coexistencia de dos mareas, una provocada por la Luna y por el Sol la otra; la primera efecto del frío lunar, la segunda debida a la ebullición causada en las aguas por el calor solar.

A los médicos, sin embargo, al mismo tiempo que filósofos y sobre todo astrólogos de fines del siglo XVI, es a quienes corresponde la gloria de haber relacionado el flujo y reflujo de las aguas marinas con la intervención conjunta luni-solar sobre las mismas y a Morin (1583-1656) muy en especial, astrólogo y horoscopista, acérrimo adversario del sistema de Copérnico, a quien se debe el haber preparado en célebre controversia con Gassendi, en la primera mitad del siglo XVII, las piezas fundamentales para librar la batalla definitiva de considerar a las mareas como uno de los tantos casos particulares de la ley universal de la atracción newtoniana.

Antes de proseguir, vale la pena dejar sentado el hecho de que al iniciarse el siglo XVII y antes del alegato histórico de Gassendi contra Morin, muchos eran los científicos que, en una u otra forma, admitían ya la influencia lunisolar sobre las aguas del océano. Esta idea figura ya en los autores citados y, además, en las obras de Federico Grisogone de Zara (1528), Federico Delfino (1577), Pablo Galluci (1588), Aníbal Raimondo (1589) y otros, citados por Duhem¹⁹.

¹⁹ DUHEM, *La Theorie Physique*, p. 368.

V. EL SIGLO XVII: Pocas veces la historia de las ciencias recuerda a tantos y tan ilustres talentos en simultánea labor, arduosamente preocupados en la búsqueda de la verdad. En el siglo de las grandes controversias y comunicaciones científicas entre ilustres sabios, el de las más sorprendentes conquistas astronómicas y el de las definiciones de la mecánica de los cielos.

1. GASSENDI (1592-1655): Vigoroso filósofo empírico y astrónomo francés, profesor de la Universidad de Aix hasta tanto se lo permitieran los embates despiadados de los Jesuitas; defensor de los nuevos derroteros científicos marcados por Copérnico, Galileo y Kepler, atacó en la cátedra y con escritos al peripatetismo, uniéndose a F. Bacon y Descartes en la lucha contra la escolástica en decadencia. En general, la seriedad y circunspección de sus escritos polémicos contrastan con la virulencia, ligereza y sorna con que juzga los escritos del Estagirita. Santo sacerdote, en especial para los habitantes de la Alta Provenza, fué para sus numerosos alumnos, a juicio de Tennemann, «el más sabio entre los filósofos y el más filósofo entre los sabios»; su influencia resultó grande en la filosofía francesa del siglo XVIII.

Como filósofo antirracionalista cartesiano y como científico entusiasta de Galileo, busca un esquema filosófico que se adapte a su concepción naturalista de las ciencias. Lo encuentra en Epicuro, cuyos escritos estudia y rehabilita con fervor, consiguiendo amoldar la concepción atomista de aquel con la física de su época.

En efecto; como Epicuro, propugna la constitución atómica de la materia, su perfecta homogeneidad y la identificación de todos los fenómenos con el movimiento local. Mecanicista moderado, sostiene que los átomos son extensos aunque indivisibles, finitos en número, de diverso peso, magnitud y configuración externa, autónomos en sus movimientos y dotados de las fuerzas de atracción y repulsión; sujetos, además, a la acción de la gravedad como propiedad inherente al cuerpo que los lleva a caer en línea recta hacia él, pueden, sin embargo, cambiar la dirección de su movimiento sin que causa alguna externa o interna, fuera del orden preestablecido por el Creador, determine esta desviación, asegurando así la combinación

de las masas moleculares que forman el mundo material. Subscribe, en fin, filosóficamente hablando, la imagen del universo de Epicuro, siempre y cuando no contradiga su sentir dogmático²⁰.

Como excelente observador de la naturaleza, asegura Gassendi el registro de los principales fenómenos astronómicos desde el 1618 al 1655. Su versación en las cosas celestes jerarquiza sus escritos; después de exponer en una apretada y magistral síntesis la equivalencia cinemática de los sistemas geo y heliocéntricos, y de hacer al final una abjuración más elocuente que la de Galileo, se pronuncia por el de Copérnico, especialmente por encontrar aceptable la explicación dada por el Pizzano del fenómeno de las mareas fundamentada en la rotación de la Tierra²¹. A la Tierra en particular considérala, al igual que Gilbert, como un gran imán, cuya fuerza magnética sería la que retiene los elementos que le son propios y devuelve a su seno a los que de ella violentamente se separaran; fluirían de ella, como de un imán a un trozo de hierro, torrentes de partículas o corpúsculos invisibles e impalpables (Lucrecio), que actuarían como vehículos portadores de dichas virtudes o cualidades de atracción o repulsión sobre los elementos²²; la intensidad de dicha fuerza magnética variaría con la distancia, siendo naturalmente mayor en sus proximidades²³. La gravedad, pues, no sería una cualidad inherente a los cuerpos que caen, sino a la Tierra que los atrae²⁴. Y si bien es posible pensar que cada uno de los astros en sí considerados se comporte cual un inmenso imán como la Tierra, no es de creer, sin embargo, que sus acciones magnéticas puedan ser superiores a las distancias que los separan; y menos, por razones especiales, en el asunto de las mareas defendidas por Morin. La alusión al real profesor de Matemáticas del Colegio de Francia, obliga a éste a escribir un libelo insultante contra Gassendi, el que es contestado con gran altura e hidalguía por el autor. De

²⁰ GASSENDI, *Physicae, Sectio*, I, L. III. Lugduni, 1658.

²¹ GASSENDI, *De motu impresso*... T. III, Ep. II, XII, pp. 517, 518.

²² *Ibid.*, Ep. I, XII, p. 491.

²³ *Ibid.*, Ep. I, XV, p. 494.

²⁴ *Ibid.*, Ep. II, VIII, p. 508.

este escrito, donde se citan los textos originales del alegato de Morin, extractamos sumariamente sus ideas.

Después de haber criticado la mala defensa que Gassendi hace de la opinión de Galileo acerca del flujo y reflujo del mar, y subrayado la censura que le merece la nueva experiencia de los proyectiles para probar el movimiento de la Tierra, pasa a exponer en capítulo aparte su nuevo concepto del movimiento de los océanos, completando la concepción general de que la Luna sola fuera la que concitaba las aguas del mar, atrayéndolas como el imán atrae al hierro. El hecho de que los niveles entre la alta y baja mar se presentaran más acentuados en las épocas del pleni- y novilunio, que cuando la Luna se encontrara en las cuadraturas, requería, en efecto, de los filósofos que atribuían esas alternativas a las virtudes magnéticas del astro, una explicación más de acuerdo con las realidades. Estas son explicadas por Morin, apelando, según él, a los principios de la astrología:

«los astrólogos, dice, conocen cuánta sea la fuerte influencia conjunta del Sol y de la Luna; la razón es que tanto en las conjunciones como en las oposiciones, sus fuerzas dirigidas según una misma recta que pasa por la Tierra se conjugan, cumpliéndose el axioma vulgar que, las virtudes unidas son más fuertes que las dispersas».

La réplica de Gassendi es elemental: a) si la Luna atrae magnéticamente a las aguas, estas tendrían que ser solicitadas continuamente y con la misma intensidad, al igual que lo hace el imán; b) si el fenómeno, pues, no se explica por la atracción de la Luna, debe negarse consiguientemente que el Sol vigorice dicha acción; c) confirma lo dicho, además, que vulgarmente se admite que la humedad es un efecto producido por la Luna, y virtud del Sol es provocar el efecto contrario. Cuando, pues, Morin dice, que las acciones de la Luna y del Sol se suman, supone que ambas son de la misma especie o naturaleza específica, cosa que debe probar y no sólo enunciar²⁵.

La obra de Gassendi no ha sido espectacular; ha contribuido, sin embargo, a formar una conciencia gravitatoria de transición; aunque confusamente, ha definido a la gravedad, en

²⁵ *Ibid.*, Ep. III.

contra de Descartes, como algo inherente al cuerpo mismo que atrae, y si liga los elementos a sus semejantes, es porque discute la concepción peripatética de la tendencia de los graves a su lugar natural; por último, ha formulado una teoría atómica del magnetismo aceptada por muchos hasta las experiencias definitivas de Coulomb en el siglo XVIII.

2. ROVERBAL (1602-1675): Cien años exactos después de la publicación de los libros *DE REVOLUTIONIBUS* de Copérnico y en el mismo año 1643, en que Gassendi declaraba descabellada la hipótesis de la mutua atracción Luni-Solar de Morin, Roberval expone, en un libro editado y anotado por él mismo y velando su nombre por el de Aristarco, la grandiosa concepción de la atracción universal, criticada luego despiadadamente por Descartes.

En carta y a pedido del P. Mersenne, el filósofo francés comenta las conclusiones de Roberval; a pesar de la mala voluntad con que lo hace, vale el autorizado resumen siguiente:

«Cuando no proponemos ilustrar una cosa, dice Descartes, por medio de otra, ésta debe ser más probable, evidente y simple, o de cualquiera manera más clara que aquélla, de lo contrario, nada de luz se ha aportado para explicarla. Si para cada una de las cosas que alguien ha de exponer, no sólo no aduce hechos igualmente claros, sino que supone muchos otros y menos aceptables, y, sobre todo, de los que supone no se sigue lo que se quería demostrar, ciertamente no se debe pretender haber dado una solución de jerarquía». El autor, en todo este libro trata de explicar las causas de tres cosas que taxativamente pertenecen al sistema del mundo y de otras tres que están al margen del mismo. Primero dice que el Sol, la Tierra y demás partes principales del Universo, guardan cierto orden de colocación entre sí; segundo que las tales se mueven circularmente y, tercero que sus movimientos no son con todo perfectamente circulares, sino que sufren alguna irregularidad, punto éste al que añade todo cuanto luego pesadamente expone sobre la declinación de la Luna, los apogeos y perigeos, y la precesión de los equinoccios...

Para explicar lo primero, o sea, el orden de las partes del Universo, supone:

- a) Que el Sol calienta poderosamente, y que la materia flúida, líquida, permeable y diáfana con que se ha estructurado el mundo, por la mayor o menor cantidad del calor, puede enrarecerse o condensarse;
- b) Que un cuerpo más denso no puede permanecer sumergido en otro menos denso, sino que debe tender a alojarse en las partes más densas del líquido, si éste es de diversa densidad;
- c) Que toda y cada una de las partes de la materia que componen el mundo gozan de cierta propiedad, cuya virtud es la de obligarlas a aglomerarse

en un cuerpo continuo, cuyas partes tienden, a su vez, a unirse mutuamente por una especie de ímpetu que hace que recíprocamente se atraigan de modo de mantenerse estrechamente unidas;

- d) Finalmente, que todos y cada uno de los elementos de la tierra, del agua y del aire gozan, además, de otra propiedad similar a la anterior, que les hace tender los unos hacia los otros y que se atraigan mutuamente; en forma tal, que cada uno de estos elementos (y de manera parecida todos los que componen los planetas o los rodean) están dotados de dos fuerzas semejantes, una que hace que cada componente tienda a unirse con los otros de su planeta, y otra con las partes restantes del Universo»²⁶.

Hay quienes estiman que la concepción de Roberval no debe interpretarse como una teoría de la gravitación universal; la opinión, empero, de Descartes, por lo expresado anteriormente, llevaría a pensar lo contrario. Cualquiera sea en definitiva la opinión de sus intérpretes, es manifiesto que la hipótesis de Roberval adolecía de una imperdonable omisión que la hacía ya entonces incompleta, desde el momento que no abordaba el estudio de la ley que rige la atracción de las partículas o los cuerpos en función de sus distancias. Decimos imperdonable omisión, pues si-bien el problema no había sido aún claramente formulado, sin embargo, la capacidad del notable geómetra francés podría haber adelantado algo sobre lo que en la conciencia científica de su tiempo constituía ya un lugar común.

3. DESCARTES (1596-1650): Avido de dar una explicación clara y comprensiva del Universo, con la teoría de los torbellinos, representa el primer esfuerzo científico y primera teoría cosmogónica moderna en la historia de la formación del mundo.

Finge para ello una misma materia inicial, sutilísima y flúida, en la que, cual en un locante universal, extendiéndose indefinidamente en todas direcciones, se encuentran sumergidos los cuerpos celestes, centros de acción o del movimiento giratorio de la multitud de partículas elementales que componen a aquella.

«Suponemos, dice Descartes, que toda esa materia con la que ha sido estructurado este mundo que contemplamos, fué al principio compuesta por Dios de partículas lo más semejantes posible entre sí..., dotadas de la misma canti-

dad invariable de movimiento que actualmente conservan... mutuamente distanciadas de modo de formar el cuerpo flúido cual entendemos ser el cielo... o agrupadas en forma de torbellinos alrededor de centros, cuales son los que ya constituyen las estrellas o los planetas»²⁷.

Los satélites se agrupan, a su vez, en torbellinos islotes menores desiguales, cuyos centros de acción serán los distintos planetas, los que, al igual que las estrellas y la Tierra, aunque conserven de sí su posición de equilibrio, careciendo de movimiento propio, con todo, son arrastrados por el movimiento de la materia del cielo que los contiene, semejante al de una nave que ni impulsada por los vientos, ni por remos, ni sujeta por las anclas, aparece quieta en medio del mar, a pesar, quizás, de que la ingente mole del agua que la rodea, al deslizarse sin manifestación alguna aparente exterior de movimiento, la arrastra consigo²⁸.

La mecánica, pues, de Descartes no exigiría más que la creación de la materia inerte y el impulso circular turbillonario impreso y conservado perennemente por el Creador.

La *species motus*, pues, de Kepler, de la que nos ocuparemos más adelante, no cuenta entonces en la concepción cartesiana, aunque sí el esquema astronómico. Aquella era reemplazada por la fuerza de arrastre del torbellino etéreo, cosa parecida a la que había recurrido Roberval.

«La astronomía de Descartes, dice Leibnitz, en el fondo no es más que la de Kepler... Pero Kepler había preparado tan perfectamente esta materia, que la composición que Descartes ha hecho de la filosofía corpuscular con la astronomía de Copérnico, no tenía nada de difícil»²⁹.

Además, si su cosmovisión difiere, por su origen teístico, de la imagen materialista del Universo de Leucipo y Demócrito, con todo, parecería, en el fondo, reasumir los principios netamente mecanicistas de estos. Reduciendo todo al movimiento, como explicación de los fenómenos observables, aunque no niegue a los cuerpos integrantes del cosmos toda actividad interna, sin embargo, el hecho de identificar la esencia de los cuerpos con su extensión sensible, postulado de su filosofía, no autoriza

²⁷ DESCARTES, *P. Ph.*, III, n. XLVI.

²⁸ *Ibid.*, n. XXXVI.

²⁹ LEIBNITZ, *Obras*, T. I, p. 259. Madrid, 1877.

a suponer otros cambios en los cuerpos que no sean sus propios movimientos locales y las cualidades derivadas de estos, a saber, la división mecánica de las partículas y la consiguiente alteración de sus figuras³⁰.

Las causas de las modificaciones que sufrirían los cuerpos, desprovistos de todo principio interno de actividad, deberán buscarse entonces al margen de los cuerpos mismos. Todos los fenómenos que nos es dable contemplar, dice Descartes, no serían más que diversas configuraciones del movimiento local comunicado por Dios a las partículas materiales. En su origen, el Creador ha dotado al universo de una cierta cantidad de movimiento que, transformándose y transmitiéndose, se conserva intacta, a pesar de la continua variación de sus modalidades. El mundo, añade, no es sino una máquina, en la que no hay nada que considerar fuera de las figuras y los movimientos de sus partículas³¹.

La gravedad, entonces, no sería, según Descartes, sino una pura consecuencia, una modalidad del movimiento circular propio, impreso por Dios a la materia al crear el universo. La tendencia natural de los cuerpos hacia el centro de los torbellinos, vendría frenada por el giro de la periferia de sus respectivos vértices que impediría que un astro se precipitara sobre el otro. No es extraño, entonces, que disienta de la concepción atómica de la materia de Gassendi y de considerar a la gravedad como una propiedad inherente a los cuerpos, así como que no acepte la hipótesis de la atracción universal de Roberval.

«Es absurdísimo, dice, que cada una de las partículas que forman los cuerpos sea sede de una propiedad en virtud de la cual éstas se atraigan y repelan recíprocamente»³².

La autoridad de influencia del filósofo francés sobre la multitud de sus alumnos y más sobre los grandes científicos de su siglo, fué inmensa y la causa de la rápida difusión de una hipótesis que hoy en día representa, en la historia de las ideas astronómicas, un lamentable retroceso. Así es dable consignar có-

³⁰ DESCARTES, *Loc. cit.*, II, n. XXIII.

³¹ *Ibidem*, II, n. XXXVI.

³² *Ibidem*, T. IV, p. 401.

mo los más eminentes físicos posteriores hasta un siglo después, consideraran las hipótesis cartesianas, no ya como un medio más o menos plausible para clasificar los hechos y establecer leyes, sino como explicaciones reales y peremptorias de los fenómenos. La hipótesis del atomismo químico de Dalton, franqueando luego los estrechos límites del método inductivo, hará revivir los principios de la constitución de la materia de los griegos, la que, asentada en la concepción algún tanto abandonada del mecanicismo cartesiano, cuya fundamentación filosófica oontaba con raíces metafísicas y epistemológicas propias, dará nueva vida a una imagen del universo que perdurará hasta los albores del siglo XX, viciando las mentes de los sabios en los terrenos de la Física, la Cristalografía y hasta de la misma Fisiología.

Tal Secchi, al proclamar como ley cósmica universal a fines del siglo XIX que:

«Es un principio que hemos establecido como fundamental, que es suficiente la materia y el movimiento para explicar todos los fenómenos conocidos bajo el nombre de fuerzas físicas»³³.

4. KEPLER (1571-1630): La secuencia de las ideas nos ha obligado a postergar a Kepler. No sin razón, quizás, pues su pensamiento astronómico, a pesar de ser cronológicamente anterior, y conocido por sus contemporáneos debido al P. Mersenne, un algo así como «oficial de enlace» entre los sabios de aquel tiempo, representa, en conjunto, la síntesis útil para la enunciación de Newton. Si se hubiera aceptado de inmediato el pensamiento kepleriano, la ley de la atracción universal se habría formulado cincuenta años antes. ¡Cuántas veces, entonces como siempre y en nuestro caso en particular, el adelanto en el estudio de la naturaleza se ha visto entorpecido o por moldes filosófico-religiosos preconcebidos (Peripatéticos), o por métodos científicos exclusivamente racionales (Atomistas, Cartesianos), o por marcos burdamente empíricos (Bacon), o por prejuicios autoritarios de Escuela (Fermat), cuando no por los celos, egoísmo, suficiencia y diversidad de criterio individualista de muchos sabios simultáneos en juego! Desbrozar la ruta para

³³ SECCHI, *Unité des forces physiques*, pp. 610-611. Paris, 1874.

orientar el rumbo a seguir, en esas condiciones, siempre ha sido dificultoso.

Kepler representa una excepción; pues, a pesar de su admiración por los hombres y teorías de los que le precedieron, altera la base misma de sus concepciones de ellos y la propia, abandonando la filosofía magnética, por la que se había pronunciado anteriormente y a la que profesaba honda simpatía³⁴.

Introduce la atracción mútua de los cuerpos entre sí, haciéndola derivar de una misma y sola virtud, cualquiera que ella fuese, desestimando la finalidad aristotélica, causa de la conservación de las formas de cada astro. Más aún, en el tan discutido problema de las mareas, el asunto ya mucho antes habría tenido solución, si se hubiera aceptado el sentir de Kepler:

«El flujo y reflujo del mar es tan cierto, como no lo es que la humedad de la Luna sea la causa del fenómeno... La Luna no actúa como astro húmedo o humectante, sino como masa similar a la terrestre; ella atrae las aguas del mar... no porque las aguas son humores, sino porque forman parte de la masa terrestre, a la que deben igualmente su gravedad»³⁵.

La atracción, pues, se verifica porque ambos astros participan de masas similares:

«Si la Luna y la Tierra no fueran retenidas en sus respectivas órbitas por una fuerza equivalente, cualquiera que ella sea, la Tierra tendería hacia la Luna como ésta hacia aquélla, hasta la conflagración de ambas. Si la Tierra dejara de actuar sobre las aguas que la cubren, éstas se elevarían hasta el cuerpo de la Luna»³⁶.

El hecho de sostener que la Tierra trabe a todos los cuerpos terrestres y los arrastre necesariamente consigo, cosa que estimaba válida para la Luna y para todo cuerpo celeste en particular, representaba ya una sólida reacción al concepto aristotélico de la absoluta liviandad de ciertas sustancias que, por su naturaleza, tenderían a librarse de la acción de la Tierra.

«La gravedad, decía, es la tendencia de los cuerpos a unirse, y por ello la piedra tiende, no hacia cualquier punto en el espacio, sino que es atraída por la Tierra y sigue su movimiento»³⁷.

³⁴ KEPLER, *Op. Omnia*, T. III, p. 151. Ed. Ch. Frisch.

³⁵ KEPLER, *Op. Omnia*, T. VIII, p. 118.

³⁶ *Ibid.*, T. III, p. 151.

³⁷ *Ibid.*

Encontrado luego el carácter geométrico de los movimientos con sus célebres leyes, restábase a Kepler buscar la razón física de los mismos, es decir, la causa o fuerza que ligaba los planetas al Sol, haciéndolos girar a su alrededor. Porque, abandonada la idea pitagórica de la armonía de los números —tan del gusto de Kepler— y la ficción tolemaica de movimientos cuyos centros serían puntos geométricos no materiales, como carentes de sentido, estima que dicha fuerza debe emanar del Sol mismo, dado que éste es el que se encuentra en el foco de las órbitas (1.^a ley) y es a él a quien se refieren las velocidades de los movimientos de los planetas (2.^a ley) y los períodos de sus respectivas revoluciones (3.^a ley). Y si bien repite con ello la idea de Copérnico de que «el Sol dirige la familia de astros que giran a su alrededor» y acepta con el mismo que la atracción es una propiedad común a todos los cuerpos del sistema y no exclusiva de la Tierra como dijimos, completa, sin embargo, su pensamiento al rechazar que el semejante necesariamente solicita a su semejante (Platón) y que las partes separadas de la influencia de un astro del que formaban parte, conservan la tendencia a volver a este astro o hacia el centro no material del universo:

«Si se trasladan, dice, dos piedras fuera de la esfera de atracción de un tercer cuerpo, experimentarán también una atracción mutua, comenzando a moverse una al encuentro de la otra... y los caminos recorridos por las mismas han de guardar una relación inversamente proporcional a sus masas»³⁸.

Así las cosas, urgía a Kepler entrar a discutir en detalle la analogía entre los efluvios de los astros y la luz emitida por los mismos, fenómenos que para los físicos y astrólogos del medio evo y del renacimiento representaron ya, como dijimos, un verdadero lugar común; como la rotación del Sol era para Kepler la causa de la revolución de los planetas, aquel debería enviar a éstos cierta *species motus*, cuya *virtus movens*, si bien guardaba determinado parentesco con la luz, sin embargo, no se identificaba con la misma, como prácticamente se creyó hasta Scaliger (1484-1558); a lo más, sólo podría servir como

³⁸ *Ibid.*

vehículo transmisor de tal fuerza motriz³⁹. No ignoraba Kepler, además, lo que desde los tiempos de Euclides conocían los antiguos, pero cuya demostración él suministró⁴⁰, que la intensidad de la luz emitida por un astro varía en razón inversa al cuadrado de la distancia a dicho astro. La analogía exigía, entonces, que la *virtus movens* que emanaba del Sol variara en tal sentido, pero la dinámica kepleriana, que seguía siendo la aristotélica⁴¹, sostenía que la fuerza que mueve a un móvil es proporcional a la velocidad de dicho móvil, cuando la ley de las áreas descubierta por él mismo enseñaba que la *virtus movens* a la que se halla sujeto un planeta, variaba en razón inversa a su simple distancia al Sol.

No deja de contrariar a Kepler esta discrepancia entre el comportamiento de la *species motus* originaria del Sol y el andar del haz emitido por cualquier fuente luminosa; la explicación postrema dada, aunque no convincente ni para él mismo, fué que la luz se propagaba en el espacio en todas direcciones, mientras la *virtus motrix* lo hacía solamente en el plano del ecuador solar; la intensidad de la primera sería por eso inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente, mientras la segunda a la simple distancia recorrida; a pesar empero, de que el andar de ambos fenómenos fuera diferente, opinaba con todo, Kepler, que algo de común debía admitirse en ellos, y era que la cantidad total de la luz y de la *species motus* no sufrían debilitamiento alguno durante su propagación⁴².

Esta es la razón por la cual Kepler habría adoptado el magnetismo como principio inicial, considerando al Sol como un gigantesco imán que retiene a los planetas en sus órbitas. No que él atribuyera este efecto a la fuerza de atracción magnética ordinaria del hierro, sino a que, ejerciendo el Sol una acción rectora por medio de sus rayos, que resultaban arras-

³⁹ KEPLER, T. III, p. 302, 309; T. VI, p. 349.

⁴⁰ *Ibidem*, T. II, p. 133.

⁴¹ Leyes de la dinámica aristotélica: a) dos translaciones son comparables entre sí; b) las distancias recorridas y los pesos desplazados se han entre sí, como los tiempos o las fuerzas entre sí; c) las distancias recorridas están en razón inversa de los pesos desplazados, y recíprocamente; d) lo están también los tiempos con respecto a las fuerzas y recíprocamente (ARISTÓTELES, *Phys.* VII, c. 5).

⁴² KEPLER, T. III y VI.

trados en un movimiento circular dependiente de su rotación, formaban alrededor del mismo, y en el que estaban sumergidos los planetas, un torbellino etéreo, razón de esa acción magnética. Para Kepler, en una palabra, la fuerza magnética simbolizaba todas las fuerzas de atracción⁴³. De ahí que a Kepler debería considerársele como el verdadero primer autor y fundador de la teoría, de que el foco de la fuerza de atracción no tiene como sede los centros propiamente dichos de los cuerpos, sino el medio que los circunda; pero de esto, más adelante.

El desconocimiento, por lo demás, de la formulación completa de las leyes inerciales de Galileo le hacía suponer también que la fuerza gravitatoria era sólo la causa del vínculo y no la del movimiento de los planetas alrededor del Sol. La idea de que todo movimiento debe extinguirse si no obra alguna causa exterior impulsora que lo mantenga constantemente y la de que, de no girar el Sol alrededor de su eje, provocaría la precipitación de los planetas hacia dicho centro, dado que las revoluciones de éstos estaban condicionadas a la rotación de aquel, obligó al sabio astrónomo a admitir que «los planetas fusionan en cierta proporción la inercia de su propia masa con la velocidad del motor que los pone en movimiento», razón al mismo tiempo de la desigual duración de sus revoluciones alrededor del Sol⁴⁴.

Kepler deja, pues, enunciado el estudio de las ideas fundamentales de la mecánica celeste: el de la aplicación a cada planeta de una fuerza perpendicular al radio vector que los une al centro, y el de otra cuya tracción lo retenga sobre su trayectoria, obligándolo a no salirse de su órbita.

Valé la pena dejar sentado, finalmente, que poco le faltó a la rica fantasía de Kepler, el más simpático y humano de los astrónomos, el conseguir apoderarse de la «Arquitectura del Universo», «investigando y siguiendo, como él decía, el pensamiento de Dios durante la creación del Mundo».

5. BORELLI (1608-1679): Participa de las ideas de Roberval y de Kepler. Por un lado estima, como Kepler, que la fuerza

⁴³ *Ibidem*, T. III, p. 302.

⁴⁴ *Ibidem*, T. VI, Epit. L. IV, Part. II.

de atracción es una virtud que, emanando del Sol, es transportada por o como la luz del mismo hacia los diversos planetas y cuya intensidad varía en razón inversa a la distancia que separa a aquél de éstos; por otro lado, como Roberval, supone, al tratar los movimientos de los satélites de Júpiter en especial, pero que extiende luego a todos los demás planetas, que éstos gozan de un instinto natural que los inclina a precipitarse en línea recta hacia el Sol. No aparece claro que el discípulo de Galileo identifique este instinto o tendencia natural hacia el centro del sistema con la fuerza de la gravedad, como Roberval, y que la haga depender de las distancias que los separa individualmente del Sol; sin embargo, mérito es ya del astrónomo italiano y muy grande, el no haber apelado ni a las inteligencias de los escolásticos, ni a la influencia magnética, ni a un éter de densidad variable en cuyo seno se encontrarían sumergidos los astros, ni a la presión de los flúidos para establecer la armonía de las tensiones en juego, y así haber contrabalanceado el instinto natural de los planetas a precipitarse hacia el Sol con una fuerza o tendencia repulsiva (*vis repellens*) de todo cuerpo que gira, a desentenderse de su centro de revolución, al modo como pasan las cosas cuando se hace rotar rápidamente una piedra sujeta a un hilo.

Borelli, pues, en 1666, es el primero que, como decimos, sin llegar aún a la solución fundamental del problema, insinúa por vez primera que el movimiento de los cuerpos celestes podría explicarse mediante la simultánea coordinación de la fuerza atractiva central y la inercia del cuerpo circulante⁴⁵; si bien es verdad que ya anteriormente Galileo había aplicado una tal composición para el caso de los proyectiles.

También a la imagen física anteriormente citada, ya en la antigüedad se habían referido Empédocles, citado por Aristóteles⁴⁶, cuando trataba de explicar aquel el reposo de la Tierra por la rápida rotación del cielo, y Plutarco, citado y comentado por Kepler⁴⁷, al atribuir también aquel a la violencia de la revolución de la Luna el que no se precipitara sobre la Tierra. Ambos enunciaban ya la hipótesis de la fuerza centrífuga que,

⁴⁵ WULF, *Física*, p. 59. Barcelona.

⁴⁶ ARISTÓTELES, *De Coelo*, II, 13. Didot, II.

⁴⁷ KEPLER, *Op. Omnia*, T. VIII.

retomada a tiempo por Borelli, con o sin conocimiento de los autores nombrados, debía poco años más tarde producir opimos frutos. Estos sólo hubieran sido posibles de inmediato, si se hubieran conocido en ese entonces las leyes exactas que rigen el andar de los móviles que se desplazan con movimiento circular y uniforme, y en especial en el caso de los planetas, con movimiento elíptico, de acuerdo a las leyes de Kepler no ignoradas por Borelli.

Por eso y a pesar de todo, en última instancia, sus simpatías estarían por los torbellinos etéreos, pues sus ideas aún confusas sobre la inercia, no le permitían comprender que un movimiento pueda conservarse sin necesidad de una fuerza que continuamente lo impulse. Mucho es, por lo demás, haber abandonado ya sistemas que, si bien podrían considerarse como físicamente aceptables, con todo, geoméricamente derivaban del falso principio que suponía que para la translación de un planeta era necesario contar con la circulación efectiva de cierta materia ponderable alrededor de un centro⁴⁸.

6. HOOKE (1635-1703), WREN (1632-1723): estos científicos, con HUYGENS (1629-1695) y HALLEY (1656-1742), representan la última etapa que precede a la formulación definitiva de la ley de Newton. Hooke cuenta ya en 1672 con todos los postulados aptos para la enunciación científica del sistema gravitacional. Conoce los principios inerciales de Galileo, conoce que todos los cuerpos celestes sin excepción se atraen mutuamente por la gravedad que emana de sus centros y que esta fuerza es tanto más enérgica cuanto los cuerpos sobre los que actúa se acercan más al centro de donde dimana. Ignora, a pesar de todo, cuáles sean los importes proporcionales de la intensidad que corresponden a los distanciamientos de los mismos. Enuncia, sin embargo, sus hipótesis y, presentadas en 1674 ante la Sociedad Real de Londres, de la que era secretario, el sabio físico solicita de la misma sean consideradas, esperando que algún matemático más hábil las haga fructificar.

«Aquellos que conozcan, escribía, la teoría de las oscilaciones del péndulo y del movimiento circular, comprenderán fácilmente sobre qué fundamento re-

⁴⁸ SECCHI, *L'unità des forces physiques*, p. 572. 1874.

posa el principio general que enuncio, y ellos sabrán encontrar en la naturaleza el medio de establecer su verdadero carácter físico»⁴⁹.

Le había detenido en su estudio, al igual que a Borelli, el desconocimiento de la forma de tratar el movimiento curvilíneo producido por una fuerza de dirección e intensidad variables.

En el momento en que aparece el ensayo de Hooke, el estudio de las oscilaciones del péndulo hecho por Huygens revela tan ansiadas leyes, producto o consecuencia, por otro lado, de la solución de un problema de astronomía práctica. En efecto: muchos años antes, la necesidad de registrar con exactitud los tiempos de sus observaciones astronómicas llevó a Huygens —descubridor del primer satélite de Saturno— a estudiar el problema de la aplicación del péndulo para regular los relojes, trabajo dejado incompleto por Galileo. En 1657 podía ya presentar a los Poderes Públicos el primer reloj a péndulo, publicando luego en 1673 su famosa obra *De Horologio Oscillatorio*, donde se resolvían, entre otros, problemas de capital interés relacionados con las diversas curvas que recorren los móviles, entre los que figuran sus fórmulas sobre la fuerza centrífuga de los cuerpos que se mueven en la periferia de un círculo, de importancia para el régimen planetario subordinado a la fuerza de gravedad, así como la demostración de que el simple péndulo que bate segundos podía servir de medida longitudinal normal para la determinación del espacio que recorre en la unidad de tiempo un cuerpo que cae libremente, con lo que se aseguraba un método suficientemente preciso para medir la intensidad de la gravedad sobre la Tierra. Así, pues, Huygens entregaba a Hooke los teoremas que posibilitaban abordar por lo menos las trayectorias circulares. Y mérito de Hooke fué que en 1678 enunciara ya la ley, que su colega académico Wren, según testimonios de Newton y de Halley, formulara al mismo tiempo, aunque independientemente, quizás comparándola con el andar de la luz, a saber, que la intensidad de la fuerza que rige la gravitación se comporta de acuerdo a la razón inversa al cuadrado de la distancia que separa a los cuerpos celestes⁵⁰. Los trabajos de Huygens merecieron de inmediato nueva y fecunda aplicación.

⁴⁹ DUEM, *Op. cit.*, p. 381.

⁵⁰ ABETTI, *Storia dell'Astronomia*, p. 117. Vulecchi, 1949.

LEIBNITZ (1646-1716), asiduo lector de Galileo y Descartes, de Gassendi, Bacon y Roberval⁵¹, hace uso de los estudios de Huygens, pero en su concepción general parafrasea a Borelli; tratando, además, de salvar su armonía preestablecida del universo, se refugia en una cosmogonía más filosófica que empírica, al estilo turbillonario de Desacartes y Roberval. Los trabajos de Leibnitz (1689), posteriores a los de Newton, en sí no representan, pues, gran contribución en lo que respecta a la teoría gravitacional; y llama ello más la atención cuando no le faltaron talentos para superar lo andado.

«Os diré, le escribe Fontenelle en 1700, que M. Varignon, uno de nuestros mejores geómetras, nos ha dado a conocer poco ha un método general para encontrar las diferentes fuerzas centrales que arrastran a un planeta. Al comenzar esta indagación, no puedo menos de haceros la justicia que se os debe, y decir que vos y M. Newton sois los primeros y aun los únicos que habéis perfeccionado la geometría hasta descubrir esa gravitación de los planetas hacia el Sol, además de que como M. Varignon sólo se sirve del cálculo diferencial, con cuyo medio marcha perfectamente, es continuo su reconocimiento respecto del autor de este cálculo y se complace en hacerlo público»⁵².

Según Leibnitz, pues, cada astro se encontraría subordinado a una fuerza de atracción dirigida hacia el sol, a otra centrífuga de sentido contrario, cuya magnitud deberá deducirse de los teoremas de Huygens, y a una tercera de impulsión, provocada por el flúido etéreo que le circunda, impulsión que se supone normal al radio vector y cuya intensidad se comportaría en razón inversa a la longitud del mismo; esta impulsión, que no es sino la *virtus motrix* de Kepler y Borelli, desempeñaría el papel de tal en el sistema turbillonario, como dijimos, de Descartes y Roberval. Calculando luego, con el auxilio de los teoremas de Huygens, la fuerza con la que el planeta debe gravitar hacia el Sol, si su movimiento viene regido por las leyes de Kepler, la encuentra inversamente proporcional al cuadrado del radio vector.

Halley, a su vez, y por su cuenta desde 1684, o sea cinco años antes que Leibnitz, aplica los teoremas de Huygens a las hipótesis de Hooke; suponiendo circulares las órbitas de los di-

⁵¹ LEIBNITZ, *Obras*, Corr. Fil., IV, p. 10. Madrid.

⁵² *Ibidem*, T. IV, p. 101. Cajori, Newton and Leibnitz on the invention of the Calculus. Newton's Principia, Appendix, p. 655. California, 1946.

versos planetas, comprueba que la 3.^a ley de Kepler supone a éstos sometidos a fuerzas proporcionales a sus masas y a la inversa de los cuadrados de sus distancias al Sol. Poco después de la encuesta inédita de Halley, antes de que Leibnitz formulara su teoría y prácticamente arrebatando el triunfo a Hooke, Newton comunica, en 1686, a la Real Sociedad de Londres los primeros resultados de sus trabajos sobre Mecánica Celeste; su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) representa el orden lógico de sus concepciones⁵³.

IV. — LA OBRA DE NEWTON (1643-1727): aceptados, después de cincuenta años, los principios inerciales de Galileo, conocidas las expresiones matemáticas de la fuerza centrífuga y en posesión de las leyes de Kepler tenidas por rigurosas, e ignorando nosotros de propósito, para no empañar la exposición, las quereñas de primacía científica, múltiples en el siglo XVII, Newton, nacido en 1643, a un año de la muerte de Galileo y cien después de la de Copérnico, muy joven aún, escribe:

«en el año 1665... comencé a meditar sobre la gravedad referida a la órbita de la Luna; habiendo encontrado cómo se podría medir la fuerza con la que un globo que gira dentro de una esfera, presiona la superficie de la esfera misma, de la ley de Kepler sobre los tiempos periódicos de los planetas que aseguran que se han en proporción sesquialtera con sus distancias a los centros de sus órbitas, deduje que la fuerza que mantiene los planetas en sus órbitas debe ser inversamente proporcional a los cuadrados de sus distancias al centro en torno a los que ellos giran; y por ello parangoné la fuerza que mantenía a la Luna, en su órbita, con la fuerza de la gravedad sobre la superficie de la Tierra, encontrando que eran casi iguales»⁵⁴.

En efecto: si la *virtus motrix* de Kepler producía una aceleración de los planetas hacia el Sol, que era inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias al mismo, resultaba natural investigar si la Tierra accionaría sobre su satélite la Luna de la misma manera, es decir, con una fuerza igual, capaz de equilibrar la centrífuga que tiende a desalojarla de su órbita. Conociendo el espacio que recorre un cuerpo en su caída sobre la tierra en la unidad de tiempo, y aplicándolo a la distancia entonces concida de la Luna, en la hipótesis de que dicha fuerza dis-

⁵³ DUHEM, *Op. cit.*, p. 382.

⁵⁴ ABETTI, *Op. cit.*, p. 123.

minuyera en razón inversa al cuadrado de la distancia, encontraba Newton que, en tales condiciones, dicho cuerpo tendría que haber recorrido la distancia de 15 pies (4.57 m.), valor superior a los 13 pies (3.96 m.) encontrados como importe en la unidad de tiempo de la desviación que la Luna debía sufrir para poder mantenerse en su órbita. Dos pies de diferencia en dicha comparación le hicieron abandonar la encuesta, hasta que, varios años más tarde (1682), ante una consulta del enciclopédico Hooke sobre la curva que describiría un cuerpo que cae desde cierta altura, retoma Newton la discusión del problema conocedor de las últimas medidas geodésicas de Picard sobre las dimensiones de la Tierra, notablemente más precisas que las utilizadas en sus primeros cálculos, comprueba la perfecta coincidencia de los resultados, fiel reflejo de la validez de sus hipótesis⁵⁵.

Dos años más tarde (1684) Wren y Halley tuvieron también motivos para discutir con Hooke la trayectoria que describiría un móvil sujeto a la fuerza de atracción que actuara conforme a la ley de la gravedad, o, en otros términos, cuál debería ser la forma de las órbitas de los planetas alrededor del Sol en la hipótesis de que la fuerza de atracción disminuyera con el cuadrado de la distancia. No encontrando la solución adecuada, Halley se decide a visitar a Newton, quien, ante la consulta en cuestión, responde inmediatamente: «Elipses», añadiéndole que su afirmación la respaldan los cálculos necesarios para demostrarlo. Estos serán luego publicados en el primer libro de su obra, en cuya conclusión final generaliza:

«la trayectoria que describe un móvil atraído hacia un centro fijo con una fuerza que actúe en razón inversa al cuadrado de la distancia, es una cónica»⁵⁵.

En posesión de los movimientos mecánicos de los cuerpos celeste, entra Newton a considerar las particularidades de esta fuerza incógnita. Esto lo hace en el libro tercero *De mundi systemate*, donde aborda de lleno el tema. La fuerza, estima Newton, que incesantemente solicita a los cuerpos terrestres y que les precipita según la vertical, caso de que sean libres, nos ofrece el ejemplo de una fuerza aceleratriz, emanada de un cuerpo pla-

⁵⁵ CAJORI, *Op. cit.*, Appendix, nota 40.

⁵⁵ NEWTON, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, L. I, Prop. LVII y sgs.

netario y que se ejerce a distancia. Cualquiera que sea la sustancia y la masa de los cuerpos que nosotros sometamos a su acción, ella los solicitará con igual energía⁵⁷.

Por lo tanto, esta fuerza que actúa igualmente sobre todos los cuerpos terrestres sin distinción de naturaleza, debe ser de la misma especie que la que retiene a los planetas suspendidos en sus órbitas alrededor del Sol, y cuya acción debe extenderse indefinidamente en el espacio, con una intensidad que decrezca en razón inversa al cuadrado de su distancia.

«Así, pues, concluye Newton, la fuerza que retiene a la Luna en su órbita, reducida a la superficie terrestre, es igual a la que nosotros llamamos gravedad; por consiguiente, ésto es la gravedad. Pues no podemos conocer nosotros, ni caracterizar las fuerzas, sino por su intensidad y modo de actuar»⁵⁸.

Después de haber comprobado que la gravedad terrestre es suficiente para retener a la Luna en su órbita, y de haber deducido de la tercera ley de Kepler que una misma fuerza es la que se extiende desde el Sol a los planetas y de éstos a sus satélites, la sola analogía hace intuir a Newton que todos estos fenómenos deberían ser consecuencia de un mismo principio mecánico, que consistiría en que todas las partículas materiales contenidas en nuestro mundo planetario gravitarían directa y recíprocamente entre sí en virtud de una misma fuerza general, cuya energía sería proporcional a sus propias masas e inversa al cuadrado de sus mutuas distancias. Newton llama a esta fuerza «Gravitación Universal» o también «Atracción», para designarla por sus efectos aparentes y sensibles, evitando así especificar su naturaleza física o razón de ser interna, la que él declara ignorar⁵⁹.

Como consecuencias necesarias de la universalidad de la fuerza de atracción, pudo señalar Newton, entre otras, las perturbaciones lunar y planetarias, la configuración esferoidal de la Tierra y demás cuerpos celestes, la determinación de las masas y la evolución de las densidades relativas de los planetas, la medida de la gravedad que cada uno de ellos ejerce sobre los elementos materiales de su superficie... enunciados que luego

⁵⁷ *Ibidem*, L. III, Prop. VI, Teor. VI.

⁵⁸ *Ibid.*, Prop. IV, Teor. IV.

⁵⁹ *Ibid.*, Prop. VII, Teor. VII, Cor. I.

Euler, d'Alembert, Clairaut, Lagrange, Laplace, Leverrier y otros desarrollarán en detalle, aplicando útiles matemáticos más precisos, englobando toda la teoría mecánica de nuestro sistema planetario en maravillosa imagen de conjunto ⁶⁰.

Del ideario Newtoniano vale la pena subrayar cinco consecuencias que responden al tema que venimos tratando:

1. *Centro de gravedad*: estipula Newton que en cualquier cuerpo o sistema de cuerpos, existe un punto llamado «centro de gravedad» o «centro de masa», que puede ser siempre considerado en equilibrio ⁶¹, y que en el solar debe ser estimado como el centro del mundo ⁶². Tal hecho, en la Tierra, no sería sino consecuencia de la mutua atracción de las partículas que la forman y de su rotación diurna.

La atracción universal da así por terminada la discrepancia entre el pensamiento kepleriano, que veía en la gravedad una fuerza mutua de atracción entre el grave y cada una de las partes del globo terrestre, y las ideas de Alberto de Sajonia, Cardan, Guido Ubaldo y Galileo, según quienes el centro de gravedad de un cuerpo aspira a coincidir con el centro común de las cosas pesadas ⁶³.

2. *Mareas*: prueba Newton que éstas son debidas a la atracción luni-solar, con lo que da cuenta de un fenómeno vislumbrado y discutido, pero no resuelto correctamente por sus antecesores; aunque es verdad que su teoría sobre las oscilaciones periódicas del mar se basaba sobre hipótesis que debieron ser más tarde modificadas, sin embargo, sus nuevas proposiciones fueron definitivas para finiquitar tan discutido problema ⁶⁴.

3. *Magnetismo*: si bien Newton, en diversas partes de su obra, asimila la fuerza de atracción con la del magnetismo, sin embargo, su opinión respecto a la naturaleza específica de ambas fuerzas es concluyente:

«La fuerza de la gravedad es de una naturaleza diferente a la fuerza magnética pues ésta no es proporcional a la materia atraída. Algunos cuerpos son

⁶¹ NEWTON, *Op. cit.*, L. III, Prop. XI.

⁶² *Ibid.*, Prop. XII, Cor.

⁶³ DUHEM, *Les origines de la Statique*, II, Comment s'est épuée la notion de centre de gravité, p. 156 sgs.

⁶⁴ NEWTON, *Op. cit.*, III, Props. XXIV, XXXVI, XXXVII.

atraídos por el imán más, otros menos y la mayoría de ninguna manera. La fuerza magnética hacia un mismo cuerpo puede aumentarse o disminuirse; a veces ella, según la cantidad de la materia, es más fuerte que la fuerza de la gravedad; y apartándolo del imán decrece no como el cuadrado, sino más bien como el cubo de su distancia, según se ha podido estimar a base de observaciones, por lo demás, de no gran precisión» ⁶⁵.

Quedan, pues, confirmadas las presunciones de los argumentos de Gassendi contra Morin al tratar las causales de las mareas, así como definitivamente eliminadas las concepciones magnéticas de Gilbert, como fuerzas rectoras del cosmos.

4. *Sistemas turbillonarios*:

«La hipótesis de los torbellinos, dice Newton, adolece de muchas dificultades. Para que el radio vector de cada planeta pueda barrer superficies alrededor del Sol que sean proporcionales a sus tiempos, los tiempos de revolución de cada una de las partes de su torbellino deben ser proporcionales al cuadrado de sus distancias al Sol; para que los cuadrados de los tiempos de revolución de los planetas sean como los cubos de sus distancias al Sol, los cuadrados de los tiempos de revolución de las partes de su torbellino tienen que ser proporcionales a los cubos de sus distancias; para qué, en fin, los pequeños torbellinos conserven sus trayectorias alrededor de Saturno, Júpiter y demás planetas, y puedan participar libre e imperturbablemente del gran vortex del Sol, los tiempos de sus revoluciones deben ser iguales a los de las partes del torbellino del Sol. Las rotaciones, empero, del Sol y de los planetas alrededor de sus ejes, que deben corresponder a los movimientos de sus vórtices, están muy lejos de guardar todas estas proporciones. El andar, finalmente, de los cometas, cuyos desplazamientos son muy regulares y rígidos por las mismas leyes que las de los movimientos de los planetas, no puede ser computado a base de la hipótesis de los torbellinos; pues ellos se desplazan muy excéntricamente en todas las partes del cielo, cosa que sólo puede acontecer si no forman parte de un torbellino» ⁶⁶.

El sistema turbillonario cartesiano, cuya razón de ser había sido cubrir la necesidad de encontrar un algo que mantuviera y ligara el movimiento de los planetas, y al que Descartes llamó «el más sencillo y más claro» y que «actualmente es aceptado por casi todos los astrónomos, los que ven palpablemente que de otra manera es imposible explicar los fenómenos que se producen», queda, pues, relegado en la historia de las ideas cosmológicas como un episodio que cubrió una necesidad peremptoria.

⁶⁵ *Ibid.*, III, Prop. VI, Cor. V.

⁶⁶ NEWTON, *Op. cit.*, L. III, Scholium Generale.

ria del momento científico y que propició, para ser benévolos, la recepción del gran descubrimiento de Newton ⁶⁷.

5. *Naturaleza de la gravedad*: al prefacio de Cotes se deben principalmente las controversias suscitadas sobre las ideas filosóficas profesadas por Newton sobre la fuerza de la gravedad. Diversas expresiones de la primera edición de la obra ⁶⁸ hacían sospechar que para Newton «la gravedad era una propiedad inherente a los cuerpos», como taxativamente declara el susodicho Cotes. Tal impresión sostuvieron en el continente Huygens, Lalande, Bordas-Demoulin y otros, siendo opinión común entre los astrónomos y físicos de su tiempo. Por ello, si bien Huygens adhiere a la mecánica celeste de Newton abandonando la cartesiana, rechaza, con todo, el punto de vista filosófico del nuevo sistema, calificando a la gravedad, *vis insita* de la materia, como un absurdo.

Que en realidad tal no era el sentir de Newton lo pone de manifiesto en carta a Bentley (17-I-1693), donde aquél corrige las falsas interpretaciones que se le atribuyen sobre la naturaleza de la gravedad y también sobre la *actio in-distans*:

«Es inconcebible, dice, que la materia bruta inanimada, deba actuar sobre otro cuerpo a distancia, como sería, si la gravitación, al sentir de Epicuro, fuera algo esencial e inherente a los mismos. Y ésta es una razón por la cual deseo que usted no me adjudique una gravedad innata. Que la gravedad deba ser una cualidad innata, inherente y esencial a la materia, en forma de que un cuerpo pue-

⁶⁷ El prefacio de Cotes (1713) a la segunda edición de la obra de Newton es de capital importancia histórica para interpretar, entre otros hechos, la casi secular lucha entre las teorías de Descartes y Newton, así como la reacción de Leibnitz (1716), salpicado en el mismo, al calificarlo de «excesivamente áspero». La necesidad de refutar el sistema turbillonario de Descartes 26 años después de la aparición de la obra de Newton, indica la gran popularidad que aun en Inglaterra había adquirido la concepción cartesiana enunciada en 1644. La presentación literaria de Descartes había ganado, en efecto, más adeptos que la matemática de Newton. Es verdad que matemáticos de la talla de Halley, David y James Gregory, Keill, Whiston, Taylor, R. Smith y otros se habían pronunciado por la doctrina de Newton, para aun entonces en Cambridge el sistema cartesiano gozaba de gran vitalidad; habrá de esperarse hasta que en 1730, tres años después de la muerte de Newton y 43 de la primera aparición de su obra, se imponga como texto en esa alta casa de estudios. En el continente, sin embargo, la obra de Descartes tarda 20 años más en ser suplantada; no obstante las correcciones introducidas a la concepción original cartesiana por Hygens, Perrault, J. Bernoulli y otros, ya a mediados del siglo XVIII las ideas newtonianas habían triunfado definitivamente.

⁶⁸ NEWTON, *Op. cit.*, L. I, Props. LX, LXIX, LXXII, LXXV, LXXVII; L. III, Prop. V.

da actuar sobre otro a distancia y a través del vacío, sin nada intermedio que sea portador de su fuerza y acción, es para mí un absurdo tan grande que no debe haber hombre que por poco competente que sea en materias filosóficas caiga en semejante aseveración. La gravedad debe ser causada por un agente que actúe constantemente de acuerdo a ciertas leyes; pero si este agente debe ser material o inmaterial, lo dejo a la consideración de mis lectores».

Consideraciones posteriores añadidas a las segundas ediciones de su obra *princeps* (1713) y de su *óptica* (1717), reflejan oficialmente su pensamiento definitivo:

«así, según esta regla, debemos afirmar que todos los cuerpos se atraen según un principio de mutua gravitación... No que yo afirme que la gravedad es esencial a los cuerpos; por *vis insita* no entiendo otra cosa que su inercia» ⁶⁹ «Y para demostrar que no asevero que la gravedad es una propiedad esencial de los cuerpos, he añadido una cuestión (Q. 31) referente a su causa, prefiriendo proponerla a manera de Cuestión, porque aún no estoy satisfecho con lo que dan los experimentos» ⁶⁹. Por lo demás, «hasta ahora yo no he sido capaz de deducir de los fenómenos la causa de estas propiedades de la gravedad, y no formulo hipótesis —HYPOTHESES NON FINGO— ⁷⁰, porque todo lo que no puede ser deducido de los fenómenos debe denominarse hipótesis; y las hipótesis, sean metafísicas o físicas, sean de cualidades ocultas o mecánicas, no caben en una filosofía experimental. En esta filosofía, de los fenómenos se obtienen proposiciones particulares, de las que se deducen luego las generales por inducción» ⁷¹.

RESUMEN:

1. *Principios matemáticos*: antes de Newton, se creía que la gravedad se encontraba en el centro de los planetas. Desde Newton dicha fuerza se considera residir en cada molécula y que una acción recíproca es ejercida entre todas las partículas de la materia terrestre y planetaria. De los movimientos celestes darían cuenta dos fuerzas: la inercia, que, con el impulso inicial, constituye el elemento tangencial, y la continua central, que no es otra que la gravedad. Esta es inseparable de la materia y decrece como toda acción que emana de un centro en razón inversa al cuadrado de la distancia.

⁶⁹ *Ibidem*, L. III, Reg. 3.

⁷⁰ NEWTON, *Optica*, Advertisement, 1717.

⁷¹ CAJORI, *Op. cit.*, Appendix, p. 671: Newton's use of hypotheses. Síntesis de las falsas interpretaciones modernas que se atribuyen a la frase «Hypotheses non fingo», como si Newton propugnara el método empírico solamente, denegando a las disciplinas metafísicas su mejor contribución para explicar la naturaleza íntima de las causales de los fenómenos.

⁷² NEWTON, *Phil. Nat.*, L. III, Scholium Generale.

2... *Naturaleza de la gravedad*: Expuestas las leyes por las que se rige esta fuerza que extiende su influencia hasta los más remotos límites del universo, al abordar el tema de su naturaleza, Newton reduce su exposición a algunas ideas generales, que en nada conforman una opinión definida sobre el origen positivo de dicha fuerza. Acepta como un hecho que la fuerza —es decir la velocidad que el cuerpo toma en la primera unidad de tiempo, supuesto que la intensidad se mantenga constante a través de toda su duración— que actúa entre dos cuerpos varía en razón inversa al cuadrado de las distancias, llamándola fuerza aceleratriz; pero no por creer en algún principio especial inherente a los cuerpos mismos, sino para indicar el efecto y la medida de la razón del movimiento, cualquiera que fuera, por lo demás, la naturaleza de la causa.

El espacio correspondiente a esta velocidad es, en la Tierra, el que recorren los graves en la caída sobre su superficie en la primera unidad de tiempo; en las órbitas planetarias esta cantidad vendría dada por el apartamiento que sufren los cuerpos celestes de la tangente a las mismas. Además, nunca ha negado Newton que el espacio que circunda a los cuerpos pueda ser también sede, como ya lo creyera Kepler, de las acciones gravitatorias, por cuanto también este espacio, aunque sutil y etéreo (*spiritus quidam subtilissimus*), es, a su vez un enorme medio material y físico donde estarían sumergidos los cuerpos celestes.

Esto, entiende Newton, es todo lo que le da la geometría de los cielos; el resto pertenece a la especulación filosófica, porque de la coordinación de todos los hechos observados, nada se deduce que le pueda sugerir fundadamente una imagen sobre la naturaleza de la gravedad.

VII. RAÍCES METAFÍSICAS DEL PROBLEMA. — EINSTEIN (1879-1955): Newton nos ha llevado así a un punto de la discusión que, si bien por un lado representa el tope a que han podido llegar las ciencias astronómicas sobre el hecho que realmente sirve de trabazón mecánica a los cielos, por otro, sin embargo, deja abierto el interrogante que fué y sigue siendo después de casi tres siglos el objeto de las controversias de los sabios: cuál sea la naturaleza o esencia misma de la gravedad.

El problema erizado de dificultades y del que se habrían desentendido los físicos creyéndolo astronómico, vuelve de nuevo a ellos, por cuanto la fenomenología del hecho postularía abandonar la búsqueda del origen de la fuerza gravitacional, felizmente encontrado, para orientarla hacia el estudio de los constitutivos esenciales de la materia misma, sede de dicha propiedad, y de cuyo estudio tiene necesariamente que participar el cosmólogo.

En el famoso *Scholium Generale* al tercer libro de su obra, plantea Newton el problema de la inducción de las leyes como menester de la Filosofía de la naturaleza, cuyos principios se identificaban con los propios de la Física teórica de su tiempo, pero no con la generalidad que supondría tal método inductivo. Este, para ser epistemológicamente completo, debería partir de los principios precientíficos de la razón suficiente y de la uniformidad de la naturaleza, los que sobreentendidos, trabajo del científico sería investigar las causas de las que dependen los fenómenos naturales, formulando luego las leyes universales que los engloban.

Así, pues, las especulaciones del cosmólogo y del físico tienen un punto común de partida; este punto común son los hechos experimentales que descubre la observación, aplicada a los fenómenos del mundo anorgánico. Difieren, con todo, en que la Física teórica, con la ayuda de las demás ciencias aplicadas afines, entre las que se debe contar como básica la física experimental, trata de dar razón, por medio de teorías e hipótesis, del sinnúmero de acontecimientos naturales, los que, previamente catalogados con gran minuciosidad estadística, estudia a los efectos de una posible formulación matemática de las leyes que los rigen, sintetizando en éstas, cuando las encuentra, las causas próximas que los respaldan; la Cosmología, empero, de la que serían subsidiarias estas ciencias físicas, trata de adentrarse en el estudio de la naturaleza íntima que adecúan los mismos fenómenos de la naturaleza inorgánica, buscando dar con las causas propiamente llamadas últimas y universales, objeto, por lo demás, de todas las disciplinas filosóficas en general.

En este orden de ideas podemos aseverar que el trabajo mancomunado de los astrónomos y de los filósofos fué hasta

Newton ejemplar; las diferencias o puntos de vista dispares deben atribuirse a que, al alternar, en un tema de su común incumbencia, reprochábanse errar el camino en la ferviente búsqueda de la verdad; ello era posible debido al conocimiento y gran interés que las disciplinas científicas de los unos despertaba en los otros. Por eso Newton termina su *Scholium Generale* cediendo a los cosmólogos lo que él, también filósofo, no ha podido madurar debidamente: «hasta ahora yo no he sido capaz de deducir de los fenómenos la causa de estas propiedades de la gravedad...».

No obstante lo acotado anteriormente sobre el método inductivo proclamado por Newton, la frase característica de su famoso *Scholium* «*Hypotheses non fingo*», desconectada de su texto e intención y malintencionadamente interpretada, ha derivado la creación de un método empírico neomecanicista —sombra narcotizante de los investigadores— que ha viciado en general las realizaciones científicas posteriores. Las hipótesis, en realidad, que Newton se resiste a aceptar, son las combinaciones mecánicas de figuras y movimientos como causas de la gravedad, al estilo de las explicaciones de Descartes y de Huygens. Para Newton, atrás de los fenómenos gravitatorios, existe latente una «causa oculta» de la que sólo podría dar razón la Cosmología. La solución integral del problema depende, pues, como dijimos anteriormente, de las conclusiones a que arribe el estudio de la constitución íntima de la materia, sede del fenómeno gravitatorio.

«La gravedad, la inercia y la materia —dice Armellini—, pueden considerarse como tres aspectos de un único misterio; opinamos, pues, que la ciencia podrá realmente explicar qué cosa sea la gravedad, sólo cuando conozcamos ciertamente qué cosa sea la materia»⁷³.

En tal empresa siguen empeñados los físico-químicos y las grandes escuelas cosmológicas que los respaldan.

De estas, la Peripatética, la Atomística, la Cartesiana y la Newtoniana (Boscovich 1711/87 y discípulos) ya dieron de sí todo lo que se hubiera podido esperar de ellas, no llegando a con-

⁷³ ARMELLINI, *I problemi fondamentali della Cosmogonia e la legge di Newton*. Roma, 1937 - XV.

clusión alguna definitiva plausible. El historial de las mismas nos las presenta como reprochándose, unas el arsenal de cualidades, ocultas bajo la llamada forma sustancial (Newtonianos a Peripatéticos), otras recriminándose como sólo verbales apariencias las fuerzas de sollicitación mútua entre los cuerpos (Atomistas a Newtonianos), cuando no sindicándose de absurda la identificación de las esencias de los cuerpos con la sola extensión de los mismos (Atomistas a Cartesianos). El aporte de todas ellas refertne a la constitución de los cuerpos es, en realidad, negativo: los peripatéticos y los cartesianos niegan la posibilidad de un espacio vacío; los newtonianos niegan todo lo que no se reduzca a una fuerza de interacción entre puntos materiales; los atomistas y los cartesianos niegan toda acción a distancia; los cartesianos, además, no reconocen otras cualidades de la materia que no sean la configuración externa y el movimiento. Así es como, tristemente, el trabajo haya resultado estéril, pues con solas negaciones no se puede construir una ley física que pueda generalizar el metafísico.

No mejor suerte que los anteriores sistemas metafísicos y físicos a la vez, han corrido los exclusivamente físicos o metafísicos desconectados entre sí. Entre estos últimos deben anotarse el Dinamismo Leibnitziano, reacción contra el empirismo de Descartes, y el criticismo Kantiano, reacción contra la escolástica renacentista. Ni el criticismo puro del autor, ni mucho menos el postkantiano han sido válidos para la interpretación de las causas de los fenómenos cuya existencia mantiene a *priori* permanentemente en duda. Como escuela de confusión científica moderna, goza, sin embargo, de gran jerarquía universitaria.

Hechos de orden químico, físico y mecánico parecieron en un momento favorecer las opiniones de aquellos que trabajaron sólo empíricamente, desconociendo en absoluto las raíces trascendentes del problema. Tales los que se agruparon en el neomecanicismo (Perrin, Langevin, Bouty, Hertz, Kirchhoff, Lord Kelvin, Lorentz, Picard, Boltzmann...); o en el atomismo dinámico (Secchi, Helmholtz, Moleschott, Buechner, Haeckel...); o, finalmente, en el energetismo (Le Bou, Ostwald, Mach, Maxwell, Duhem, Poincaré...).

Pero ya en el siglo XX todo ello ha quedado atrás; lo andado, sin embargo, no ha sido, felizmente, en vano. «Si yo he visto un poco más lejos que los demás, escribía Newton, es porque me he apoyado sobre las espaldas de los gigantes que me precedieron...»⁷⁴. Algo similar habrá de decir algún moderno Newton, refiriéndose a los jefes del saber de las dos últimas centurias.

A partir del año 1915 una nueva tentativa insospechada vino a substituir todas las teorías anteriores; ella se debe a Einstein y forma parte de su teoría física de la relatividad generalizada. Uno de los puntos más importantes de este audaz ensayo se refiere a la identificación de la masa con la energía.

«La masa pesada de un sistema aislado, dice Einstein, viene necesariamente determinada por la energía de este sistema. A la energía de un sistema aislado pertenece también la energía de su campo de gravitación; ésta, por lo tanto, debe contribuir no sólo a la masa inerte del sistema, sino también a la masa pesada... Todo proceso físico por el solo hecho de corresponderle grandes importes de energía, determina un campo gravitacional. Por otro lado, el hecho de que todos los cuerpos estén sujetos a caer de la misma manera, lleva a pensar que en un campo gravitacional los procesos físicos se comporten exactamente como si ellos tuvieran lugar en un sistema de referencia acelerada».⁷⁵

Ahora bien; como en el vacío todos los cuerpos caen con la misma velocidad, y como la gravedad (pesanteur) imprime una misma velocidad a todos los cuerpos vecinos, supuestas las mismas condiciones iniciales, justo es entonces asimilar la gravedad (pesanteur) a un campo de fuerzas de inercia, o, lo que es lo mismo, decir que la masa pesada y la masa inerte de un cuerpo son siempre idénticas. Pero como la gravedad (pesanteur) no es sino un caso particular de la gravitación universal, ésta es asimilable a los efectos de un campo de fuerzas debido a la inercia. Esta asimilación es tal que, según Einstein, el campo gravitacional actúa sobre todas las cosas, como lo hace sobre los cuerpos pesados, sean ellas luz, energía o cualquiera de las formas en que ésta se presente. De ahí su famoso principio:

«en cada punto y en un instante dado, o, en otros términos, en cada punto del espacio-tiempo, existe una equivalencia entre el campo de gravitación y un cierto campo de fuerzas inerciales, cualquiera que sea el sistema de referencia elegido»⁷⁶.

⁷⁴ ABETTI, *Op. cit.*, p. 130.

⁷⁵ EINSTEIN, *Sur le problème de la relativité*. Scientia, 1914.

⁷⁶ METZ, *La relativité*, p. 57. Paris, 1923.

La ley general así encontrada del campo gravitacional⁷⁷, cuya acción se propaga gradualmente con la velocidad de la luz y no instantánea o casi instantáneamente en todas direcciones, como suponían los Newtonianos, es, quizás, la mejor contribución científica de Einstein; sólo ella es suficiente para hacerse acreedor al respeto universal de los sabios; fué en su tiempo de gran valor eurístico, en hechos que hasta ese momento eran imprevisibles por la sola enunciación de la ley de Newton, tales, por citar sólo los astronómicos: la curvatura de los rayos luminosos al pasar las proximidades de un cuerpo de gran masa gravitatoria, el desplazamiento de las rayas espectrales hacia el rojo y el corrimiento del perihelio de Mercurio.

La gravífica einsteineana, resumen de toda la dinámica⁷⁸ y síntesis genial de una enormidad de hechos físicos, no admite, sin embargo, como postulado la reducción de todas las fuerzas al-

⁷⁷ *Ann. d. Phys.*, T. XVII, p. 89.

⁷⁸ Síntesis de las principales teorías dinámicas:

- a. *Aristóteles*: en los móviles obran dos fuerzas: una potencia y una resistencia; la velocidad varía en proporción directa de la primera e inversa de la segunda. De ello se deduce: que el movimiento es imposible en el vacío, porque en él, no habría resistencia y se produciría una velocidad que excedería cualquier velocidad posible. La potencia lleva a los cuerpos a su lugar natural, a los pesados hacia abajo, a los livianos hacia arriba; la Tierra, pesada, y que ocupa su lugar natural, no está sometida a potencia alguna; no tiene, pues, ninguna velocidad: está inmóvil.
- b. *Galileo*: la existencia de una velocidad no es indicio de que una fuerza esté obrando sobre un móvil, o, en otros términos, la conservación de la velocidad de un móvil no requiere la acción de una fuerza; de existir, se manifestaría en las variaciones de la velocidad del cuerpo, sea aumentándola, disminuyéndola o desviándola, midiéndose su efecto por la rapidez con que varía dicha velocidad, o sea por la aceleración. Es más; si sobre un cuerpo obra una fuerza única, la misma fuerza se requiere para que mientras dura su acción, se produzca cierto incremento de velocidad, sea que este incremento se sume a una pequeña o a una gran velocidad anterior. Y así, si se juntaran en una sola masa dos cuerpos iguales, la aceleración que la misma fuerza produce sobre el conjunto, es sólo la mitad de la que produciría obrando sobre uno de ellos; en general, la fuerza se mide por el conducto de dos factores: la aceleración producida y la masa que ha recibido esta aceleración.
- c. *Newton*: postula, además de la medida de las fuerzas por las aceleraciones, la igualdad de las atracciones mutuas de dos partículas materiales, y también que la inercia de los cuerpos para tomar aceleración, que hoy denominamos masa, es proporcional a su cantidad de materia.
- d. *Einstein*: perfecciona la definición de fuerza, diciendo con Galileo que si no hay aceleración, no hay fuerza, y afirmando con Aristóteles que a mayor velocidad corresponde mayor fuerza, si las demás circunstancias son iguales, y negando también que la velocidad de los móviles puede exceder una velocidad finita, la velocidad de la luz.

puro y simple movimiento local, o a la pura energía, como lo hiciera Mach (1838-1912), precursor indiscutible de Einstein, cuyas hipótesis acepta y utiliza éste, para formular su célebre teoría de la relatividad⁷⁹. Einstein no era filósofo. Físico y matemático, sólo puede formular una teoría físico-matemática.

Considerada desde el punto de vista físico, Einstein deja prácticamente intacta la concepción de Newton, que corre paralela a la de aquél:

«La ley de la gravitación de Einstein, dice Eddington, controla una cantidad geométrica, la curvatura; en cambio, la ley de Newton rige una cantidad mecánica, la fuerza»⁸⁰; desde el punto de vista matemático, la completa con términos no-euclídeos, que parecerían expresar mejor la realidad euclídica: «la supremacía aparente de la geometría (sobre la mecánica) se debe al hecho de que posee un vocabulario más rico y de más fácil adaptación»⁸¹.

Filosóficamente hablando, sin embargo, subsiste el problema clásico planteado por Newton, a pesar de la profunda revisión y alteración introducida por Einstein a los conceptos físicos del espacio y tiempo: los hechos observados aún no nos han develado el misterio, al parecer irreductible, de la naturaleza y causa de la gravedad. Ello no será posible, sin duda, con sólo pizarra y tiza al estilo de Einstein.

Resumiendo:

La gravitación, o la gravedad, como expresión particular de aquella, en la antigüedad se consideró como una cualidad innata propia de los cuerpos, de la que era reflejo la tendencia de los mismos hacia sus semejantes (Platón) o hacia sus lugares naturales (Aristóteles); desde Newton pasó a ser para sus discípulos, no para el Maestro, una fuerza inherente a los elementos materiales que ejercían sobre los otros recíprocamente su acción a distancia, o sea, instantáneamente, sin que interviniera para nada el medio que los separaba; para los modernos, en fin, una propiedad que, al margen de los cuerpos mismos, reside más bien en el medio material o inmaterial, llámesele éter, en el que se

⁷⁹ WULF, *Física*, p. 73.

⁸⁰ EDDINGTON, *La naturaleza del mundo físico*, p. 160. Bs. As., 1938.

⁸¹ *Ibid.*, p. 164.

encuentran como sumergidos los cuerpos celestes en el macro, o los elementos atómicos en su microcosmos.

Aceptado este último modo de ver las cosas, que, prácticamente, en nada difiere de la concepción expuesta por el propio Newton Senior en sus *Principia* (3.^a ed., 1725-6) y en su *Optica*, y al no admitirse una acción a distancia, debe propugnarse que la gravedad actúa a través de un medio, sede de tal actividad; pero en ninguna forma se puede afirmar que este medio, llamado éter, interpuesto entre los astros o los elementos constitutivos de la materia en general, sólo él, sea la única causa de la atracción. Porque ésta, según el sentir y consideración más elemental, primero emanaría como de una fuerza interna propia del Sol (de los astros), cuya influencia por medio del éter se propagaría hasta los astros (el Sol). La manera cómo se efectúe esta transmisión posiblemente siga siendo un eterno enigma. Si, por el contrario, los cuerpos celestes no cuentan como sedes de la gravitación, o retrocedemos a la concepción cartesiana de los torbellinos, o la ciencia aún no es capaz de explicar satisfactoriamente el porqué los átomos o partículas etéreas, con constancia no disminuía por la interposición de otros cuerpos y en línea recta, empujen la Tierra hacia el Sol y por qué la gravedad se mantenga siempre proporcional a la masa de los cuerpos que se atraen.

Científicamente, entonces, la naturaleza y causa próxima de la fuerza de la gravitación (materia e inercia) ha resultado ser aún un factor difícil de doblegarse a los intentos experimentales; a casi tres siglos de distancia, pues, las consideraciones fundamentales del *Scholium Generale* de Newton se mantienen válidas.

Posiblemente, algo más se hubiera adelantado si, después de Newton, no se hubiera menospreciado en lo científico la contribución filosófica; escribiendo Leibnitz a Clarke, alumno de Newton, ya se lo recriminaba:

«Lo capital que hizo M. Boyle, le decía, fué inculcar que en la Física todo se hacía mecánicamente. Es una desgracia que los hombres acaben por disgustarse de la razón misma, y que hasta les cause fastidio la luz»⁸².

Muy fácil, también es verdad, expresarse así, cuando la naturaleza puede ser filosóficamente interpretada sin necesidad de

⁸² LEIBNITZ, *Obras*, IV, p. 344.

referirse a los hechos que primero debe suministrar el científico; pero si, como en la cuestión de la gravedad, éste es uno de esos casos en que la razón y la luz que puede aportar el Cosmólogo están supeditadas a los datos ciertos que proporciona el Físico, justo es pensar que, no existiendo aún éstos, corresponde no arbitrar soluciones filosóficas definitivas desconectadas de la realidad.

Y como vale aún, sin embargo, del escrito citado de Leibnitz al mismo Clarke, que «en cuanto a los movimientos celestes, nada hay que sea milagroso, excepto el Principio de las cosas»⁸³, damos fin a este artículo contentándonos, como lo hiciera Newton, con dejar, lo primero «a la consideración de mis lectores» y lo segundo, señalando ese Principio a quien él llama «Dios Supremo, Señor de los Señores, Piélago insondable en el que gravitan y se mueven las obras todas del Universo salidas de sus manos»⁸⁴.

⁸³ *Ibid.*

⁸⁴ NEWTON, *Op. cit.*, Sch. Gen.

RESEÑAS BIBLIOGRAFICAS

MANUEL HERRERA FIGUEROA; *En Torno a la Filosofía de los Valores*, Editorial Richardet. Tucumán, 1954, 18 x 27,5 cms., 48 págs.

La presente publicación del Dr. Herrera Figueroa, nos ofrece una síntesis histórica de los problemas relativos a la filosofía de los Valores, completada con el próximo punto de vista del autor.

Analiza, primero, la «perspectiva histórica inicial», donde bosqueja brevemente los antecedentes históricos de la actual filosofía de los valores, refiriéndose, especialmente, a Bolzano, Lotze y Brentano. Luego estudia la «oposición Meinong-Ehrenfels»: el primero acentúa el sentimiento como central en la captación de los valores, al paso que el segundo recalca, más bien, el apetecer o el desear, condicionado por el sentimiento, pero que no se encuentra en el sentimiento (p. 16). En la escuela eticista de Baden, analiza el Dr. Herrera Figueroa las líneas del pensamiento de Windelband y Rickert, aquél hace entrar el aspecto histórico como principal factor plasmador de los hábitos de valoración, y el segundo, en cambio, condiciona la historia y el valor al concepto de cultura. En cuarto lugar se ocupa el autor de la filosofía material de los valores con una apreciación de los sistemas de Max Scheler y Nicolai Hartman, y finalmente bosqueja también, dándole particular relieve la teoría del valor formulada por Erich Heyde. Para éste, «el valor es una cualidad que descansa en una relación con nuestra conciencia. Las cualidades secundarias dependen de la percepción sensible del yo, los valores, de la capacidad de estimación (p. 27). A pesar de que el valor es «subjetivo y relativo», puede hablarse de un «objetivismo y absolutismo axiológico», por cuanto la estimación subjetiva «no significa que depende de la voluntad del sujeto el hecho de que halle o no un valor en un objeto (Ibid).

«La objetividad de los valores no impide su relación con un sujeto; solo significa su autonomía con respecto a toda estimación arbitraria» (p. 28).

El último párrafo lo ha reservado el autor para exponer su pensamiento propio acerca de la problemática axiológica. Esta debe siempre relacionarse con la «vocación humana» y, por supuesto, también con la ontología, todo lo cual supone como última referencia, «el sentido»: «en intimidad de unión han de constituirse axiología y ontología, aquella pendiente del sentido de ésta. En «el sentido» radica en última instancia la facultad de aprehender los valores. El sentido se constituye en fundamento de toda valoración, de toda significación» (p. 29). Si pedimos que se nos declare lo que es el sentido, nos remitirá el autor al problema de la «comprensión». «La comprensión del sentido, como captación de las significaciones últimas, no es sólo un saber acerca de algo, sino más bien una participación en algo, ha sido Von Rintelen, quien estima que en un plano de relaciones humano existenciales mutuas, la filosofía de antaño pudieron justificarse en