

“Y SE HIZO LA LUZ...”: NEWTON Y LA ILUSTRACIÓN

Roberto Torretti

Publicado originalmente en *La Torre* (Puerto Rico), n.e. 5: 169-178 (1991).

Muy pocos hombres han sido objeto de una admiración tan unánime y entusiasta como la tributada a Newton por los intelectuales ilustrados del siglo XVIII. Su expresión más conocida —el dístico de Pope a que alude el título de esta ponencia— es quizás también la más notable:

*La Naturaleza y sus leyes yacían ocultas en la noche.
Dios dijo: “¡Hágase Newton!” y se hizo la luz.*

*Nature and Nature’s Laws lay hid in Night. God said,
Let Newton be! and All was Light*¹.

Para una época que gustaba llamarse el Siglo de las Luces no había mérito mayor que el celebrado en estos versos: esclarecer la verdad, disipar las tinieblas de la superstición y del error. En cierto modo, el dístico proclama a Newton padre fundador de la Ilustración. Newton mismo, el teólogo y alquimista, estudioso apasionado del Apocalipsis y la literatura hermética, probablemente no se habría sentido

¹ “Epitaph. Intended for Sir Isaac Newton in Westminster-Abbey” (written ca. 1730, published 1730), *The Poems of Alexander Pope*, John Butt, ed., London: Methuen, 1963, p. 808.

bien en este rol póstumo de capitán de impíos. Pero nadie sabe para quien trabaja. Y el siglo que honrará a Franklin porque le arrebató a Zeus el rayo —que, al fin y al cabo, no es más que un fenómeno atmosférico— no podía sino venerar a quien, con una idea tan sencilla como audaz, había secularizado el cielo.

El cine y la televisión nos han habituado a ver el cielo como espacio abierto a los astronautas y por eso nos cuesta apreciar la magnitud del logro de Newton. Conviene recordar que para los hombres educados bajo el alero de Aristóteles la ciencia astronómica confirmaba y explicaba la concepción tradicional de los astros como morada de dioses —o por lo menos de ángeles. En el siglo V a.c., un filósofo de la llamada Ilustración griega sostuvo que el sol no era más que una gran piedra incandescente, y con ello se ganó una condena por impiedad. Pero en el siglo IV a.C. Eudoxo de Cnido, creador de la astronomía matemática griega, elaborará los modelos de movimientos planetarios en que descansa la astroteología aristotélica. En todas partes del mundo, las civilizaciones agrarias han observado periodicidades en los movimientos del cielo e intentado anticiparlas. Se percibe fácilmente que la gran mayoría de los astros —las llamadas estrellas fijas— giran diariamente en torno a un punto del cielo a la vez que conservan sus distancias mutuas. Pero el sol, la luna y los planetas, aunque se mueven cada día con las estrellas, deambulan entre éstas a lo largo del año. Establecer la regularidad del movimiento de estos astros vagabundos (que es lo que la palabra 'planeta' significa en griego) es la meta primordial de la ciencia astronómica en todas las civilizaciones en que surge. Pero el método por el cual Eudoxo propuso alcanzarla es característicamente griego. Eudoxo le asigna a cada planeta (inclusive el sol y la luna) un pequeño número de esferas concéntricas, la primera de las cuales gira diariamente

alrededor del polo, a velocidad angular constante, igual que las estrellas fijas. Cada una de las otras esferas gira con su propia velocidad constante en torno a un eje fijo en la esfera que inmediatamente la precede. El planeta ocupa un punto fijo en la última esfera y se mueve con ella. Así, en un modelo planetario eudoxiano, el número de esferas que siguen a la primera, la posición del eje de cada una en la esfera precedente y la velocidad uniforme con que se mueve en torno a ese eje son parámetros ajustables. Con los recursos de la matemática moderna se prueba fácilmente que, ajustando parámetros, un modelo eudoxiano puede representar con la precisión que se desee el movimiento arbitrario de un punto en la bóveda celeste. Platón, que no lo sabía, se burla en *La República* de quienes pretenden predecir con precisión los movimientos del cielo, olvidando que las cosas visibles no pueden ceñirse exactamente a una forma inteligible. Pero cuando escribe *Las Leyes*, presumiblemente después de que Eudoxo le ha dado pruebas del valor predictivo de sus modelos, Platón ha cambiado de opinión. Aunque, a diferencia de Aristóteles, no alude expresamente a la nueva astronomía, parece ser que la puntualidad con que cada planeta cumple el complejo y delicado plan de vuelos prescrito por el respectivo modelo eudoxiano lo ha convencido de que sus movimientos tienen que estar operados por un dios. Esta idea halla su expresión clásica en el capítulo viii del libro Λ de la *Metafísica* de Aristóteles: las posiciones observables de los astros en el cielo resultan del movimiento incesante de 55 esferas, concéntricas con la tierra, la primera de las cuales coincide con la esfera de las estrellas fijas, mientras cada una de las otras gira a velocidad uniforme en torno a un eje fijo en la esfera anterior; cada esfera está movida por una inteligencia inmortal. De este modo, la astronomía matemática le da un fundamento científico al politeísmo griego. Para Aristóteles,

la divinidad de los astros es el núcleo de verdad que la religión popular preserva, incrustado de supersticiones, como reliquia de una época pasada en que el hombre tuvo la ciencia que luego perdió y recién está alcanzando de nuevo².

Los astrónomos griegos descartaron las esferas concéntricas de Eudoxo cuando percibieron que los planetas se acercan y alejan de la tierra. En el siglo II a.C., Hiparco introduce las esferas excéntricas. Poco antes, Apolonio de Perga había inventado los epiciclos. La astronomía europea anterior a Kepler compondrá sus modelos planetarios con estos ingredientes, ya sea en la versión geocéntrica de Tolomeo, ya en la heliocéntrica de Copérnico. De tarde en tarde algún filósofo señalará la dificultad de imaginarse un soporte físico para tales modelos. Pero, por regla general, dicha dificultad se pasará por alto. En todo caso, la coreografía de los epiciclos tolemáicos es tan misteriosa como los movimientos de un modelo eudoxiano, y demanda, al parecer, como éstos, la operación directa de una inteligencia. Como es sabido, Kepler acabó con estas complicaciones. Tras una larga y ardua labor de cómputo, derivó sus tres leyes del movimiento planetario de las

² παραδέδοται δὲ παρὰ τῶν ἀρχαίων καὶ παμπαλαίων ἐν μύθου σχήματι καταλειμμένα τοῖς ὕστερον ὅτι θεοὶ τέ εἰσιν οὗτοι καὶ περιέχει τὸ θεῖον τὴν ὅλην φύσιν. τὰ δὲ λοιπὰ μυθικῶς ἤδη προσῆκται πρὸς τὴν πειθῶ τῶν πολλῶν καὶ [5] πρὸς τὴν εἰς τοὺς νόμους καὶ τὸ συμφέρον χρῆσιν: ἀνθρωποειδεῖς τε γὰρ τούτους καὶ τῶν ἄλλων ζῶων ὁμοίους τισὶ λέγουσι, καὶ τούτοις ἕτερα ἀκόλουθα καὶ παραπλήσια τοῖς εἰρημένοις, ὧν εἴ τις χωρίσας αὐτὸ λάβοι μόνον τὸ πρῶτον, ὅτι θεοὺς ᾤοντο τὰς πρώτας οὐσίας εἶναι, θείως ἂν εἰρησθαι [10] νομίσειεν, καὶ κατὰ τὸ εἰκὸς πολλακίς εὐρημένης εἰς τὸ δυνατὸν ἐκάστης καὶ τέχνης καὶ φιλοσοφίας καὶ πάλιν φθειρομένων καὶ ταύτας τὰς δόξας ἐκείνων οἷον λείψανα περισεῶσθαι μέχρι τοῦ νῦν. ἢ μὲν οὖν πάτριος δόξα καὶ ἢ παρὰ τῶν πρώτων ἐπὶ τοσοῦτον ἡμῖν φανερὰ μόνον. (Aristóteles, *Metafísica* Λ 8, 1074b1-14)

excelentes observaciones de Tycho Brahe, las últimas —y con mucho las mejores— antes del telescopio:

1. Cada planeta se mueve en una elipse en uno de cuyos focos está el sol.
2. La recta que une al planeta con el sol barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los periodos de revolución de todos los planetas tienen entre sí la misma proporción que los cubos de sus respectivas distancias medias al sol.

Aún no acababa Kepler de formular estas leyes, cuando el telescopio, recién inventado por Galileo, permitió observar los satélites de Júpiter, cuyos movimientos también se ajustan a ellas, con Júpiter en el papel de sol. La sencilla uniformidad evidenciada por este descubrimiento demanda, al parecer, una explicación unitaria de todos estos fenómenos astronómicos. Descartes la ofreció con sus torbellinos, pero Newton mostrará en el Libro II de los *Principios* que ellos no pueden generar movimientos acordes con las leyes de Kepler. Kepler mismo había especulado con el concepto de una fuerza irradiada por el sol, comparable a la de un imán. Es natural suponer que si esa fuerza se difunde desde el sol como la luz, su intensidad irá disminuyendo según crece el área sobre la cual se ejerce, esto es, en proporción inversa al cuadrado de la distancia. Robert Hooke, contemporáneo de Newton, propondrá justamente esta idea, y acusará a Newton de plagio cuando la vea puesta al centro de su sistema del mundo. Pero, como bien dijo Newton, para explicar lo que se observa en el cielo no basta postular en abstracto que hay una fuerza de cierta magnitud y dirección; hay que saber conectarla de un modo preciso con los fenómenos.

Como es sabido, Newton asevera que, dado un par de cuerpos cualesquiera, cada uno es atraído hacia el otro en proporción directa de sus respectivas masas e inversa del cuadrado de su distancia mutua. De esta ley dinámica Newton deduce las leyes cinemáticas de Kepler como teoremas. Para ello, se vale de los recursos del cálculo que ha inventado. Luego hablaré de la proyección física de esta invención matemática. Pero antes quiero referirme a una plausible interpretación metafísica de la deducción newtoniana. Según ella, si toda materia posee, como tal, la propiedad de atraer a la materia conforme a la simple ley que acabo de enunciar, los planetas y sus lunas tienen que moverse con la regularidad descrita por Kepler y corroborada por las observaciones astronómicas. Entonces, los astros no necesitan una inteligencia que los guíe: basta con la materia de que están hechos. Alarmado por el potencial de impiedad que su olfato eclesiástico discierne en esta proposición, el obispo Bentley consulta al respecto a Newton. En sus cartas a Bentley éste insiste que sólo una inteligencia superior “perita en mecánica y geometría” (“very well skilled in mechanics and geometry”) ha podido disponer inicialmente a los planetas de modo que se muevan como se mueven, todos prácticamente sobre un mismo plano. Por otra parte, “es inconcebible que la materia bruta inanimada, pueda, sin la mediación de algo diferente que no sea material, operar sobre otra materia y afectarla sin contacto mutuo”³. Por eso, aunque la existencia de una fuerza atractiva universal es evidente, para él, por sus efectos sobre el

³ “It is inconceivable that inanimate brute matter should, without the mediation of something else which is not material, operate upon and affect other matter without mutual contact”. Carta a Bentley del 25 de febrero de 1693. *Newton's Philosophy of Nature. Selections from his writings*, H.S. Thayer, ed., New York: Hafner Press, 1953, p. 54. (En adelante, me referiré a esta edición por la sigla NP).

movimiento de los cuerpos, Newton no puede aceptar que se trate de una propiedad inherente a la materia.

Que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia, de modo que un cuerpo pueda actuar sobre otro a la distancia a través de un vacío, sin la mediación de ninguna otra cosa a través de la cual su acción y fuerza pueda transmitirse al otro cuerpo, es para mí un absurdo tan grande que no creo que ningún hombre que posea una facultad de pensar competente en materias filosóficas pueda nunca incurrir en él. La gravedad tiene que ser causada por un agente que actúe constantemente según ciertas leyes, pero he dejado a mis lectores la consideración de si ese agente es material o inmaterial⁴.

La decisión de los lectores no se hizo esperar. Ya su discípulo directo, Roger Cotes, en el prefacio que antepone —todavía en vida de Newton y con su anuencia— a la segunda edición de los *Principios* (1713), tiene esto que decir sobre la gravedad: Ella no es —como sostienen los adversarios de la nueva física— una causa oculta de los movimientos celestes, porque los fenómenos mismos ponen de manifiesto que tal fuerza realmente existe. ¿Diremos que la gravedad es una causa oculta porque la causa de la gravedad está oculta y aún no ha sido descubierta? Quienes lo aseveran no ven que están

⁴“That gravity should be innate, inherent, and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance through a *vacuum*, without the mediation of anything else, by and through which their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking can ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws, but whether this agent be material or immaterial I have left to the consideration of my readers”. NP, p. 54.

proponiendo un absurdo que desquicia los fundamentos de toda la filosofía.

Pues las causas suelen remontarse en una cadena continua de las compuestas a las más simples. Cuando llegas a la causa más simple no puedes avanzar más allá. Por lo tanto no se puede dar una explicación mecánica de la causa más simple, pues si pudiera dársele no sería la más simple. ¿Llamarás ocultas a estas causas más simples y las desterrarás? Con ellas saldrán desterradas las que dependen directamente de ellas, y a su vez las que dependen de éstas, hasta que finalmente la filosofía quede vacía y enteramente purgada de causas⁵.

Otros —prosigue Cotes— dicen que la gravedad es una causa sobrenatural y la llaman un milagro perpetuo.

Esta objeción inepta, que subvierte toda la filosofía, apenas merece el tiempo invertido en refutarla,. Porque, o bien negarán que la gravedad ha sido impartida a los cuerpos, lo cual no puede sostenerse; o bien la llamarán sobrenatural porque no deriva su origen de otras propiedades de los cuerpos, ni por ende de causas mecánicas. Pero ciertamente hay

⁵ “Etenim causae continuo nexu procedere solent a compositis ad simpliciora: ubi ad causam simplicissimam perveneris, jam non licebit ulterius pro gredi. Causae igitur simplicissimae nulla dari potest mechanica explicatio. Si daretur enim, causa nondum esset simplicissima. Has tu proinde causas simplicissimas appellabis occultas, & exulare jubebis? Simul vero exhulabunt & ab his proxime pendentes & quae ab illis porro pendent, usque dum a causis omnibus vacua fuerit & probe purgata philosophia”. *Isaac Newton’s Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, A. Koyré and I.B. Cohen, eds., Cambridge, MA: Harvard University Press, 1972, p. 27. (En adelante, me referiré a esta edición por la sigla PNPM).

propiedades primarias de los cuerpos; las cuales, porque son primarias, no dependen de otras⁶.

Las palabras de Cotes claramente implican lo que Newton negaba: que la fuerza de atracción entre los cuerpos es una propiedad irreductible de los cuerpos mismos. La concepción de la materia como sede de varias clases de fuerza caracterizadas por leyes matemáticas, relativamente simples, que gobiernan su respectivo modo de operar, inspira la filosofía dinamista de la naturaleza, elaborada (independientemente) por Kant y Boscovich. Ambos proponen que la mutua impenetrabilidad de los cuerpos es el efecto de una fuerza repulsiva de corto alcance (inversamente proporcional al cubo de la distancia, en la versión de Kant). El programa de identificar las fuerzas irreductibles de la naturaleza y establecer sus leyes respectivas que, en cierto modo, guía a la física hasta el día de hoy, se remonta, pues, a Newton y sus seguidores. Dicho programa, por cierto, sólo se vuelve posible gracias al concepto preciso de los efectos observables de una fuerza, propuesto por Newton en las llamadas Leyes del Movimiento, y al significado que alcanza dicho concepto gracias al cálculo diferencial e integral. Para terminar, me referiré rápidamente a esto.

Newton enuncia su Segunda Ley o Axioma del Movimiento así:

⁶“Huic ineptae prorsus objectioni diluendae, quae & ipsa philosophiam subruit universam, vix operae pretium est immorari. Vel enim gravitatem corporibus omnibus inditam esse negabunt, quod tamen dici non potest: vel eo nomine praeater naturam esse affirmabunt, quod ex aliis corporum affectionibus atque adeo ex causis mechanicis originem non habeat. Dantur certe primariae corporum affectione; quae, quoniam sunt primariae, non pendent ab aliis”. PNPM, pp. 27s.

Mutationem motus proportionalern esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

La variación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre siguiendo la línea recta en que esa fuerza se imprime (PNPM, p. 54).

El movimiento se mide, según Newton, por el producto de la masa del móvil por su velocidad. Como la masa no varía, el efecto propio de la fuerza impresa sobre un cuerpo es, pues, una variación en la velocidad de éste. ¿Cómo hay que concebir tal variación de velocidad? Aunque lo que voy a decir no se deduce del texto citado, desde el siglo XVIII se entiende que dicha variación o bien es lo mismo que, o bien se mide por la derivada de la velocidad respecto del tiempo. Hay pasajes en los *Principios* que indican bastante claramente, a mi modo de ver, que el propio Newton entendía su Segunda Ley de este modo, o al menos la empleaba como si así la entendiera. La velocidad, a su vez, se define como la derivada de la posición respecto del tiempo. Por eso, si designamos por \mathbf{r} la posición del móvil y usamos, como Newton, uno o dos puntos sobre una variable para simbolizar, respectivamente, su primera y su segunda derivada con respecto al tiempo, la Segunda Ley debiera enunciarse así:

$$F = m \ddot{\mathbf{r}} \quad (I)$$

Esta mal llamada “ley”, es sólo un esquema que hace falta llenar especificando la fuerza \mathbf{F} como una función de las propiedades físicas, permanentes o momentáneas, de su fuente y del cuerpo sobre el cual actúa. Por ejemplo, si suponemos que el móvil sólo está expuesto a la influencia de una atracción gravitacional ejercida desde el origen del sistema de referencia utilizado para la determinación de \mathbf{r} , \mathbf{F} se especificará como un vector en dirección opuesta a \mathbf{r} , de

magnitud proporcional a la masa m del móvil y M de la fuente de la atracción, e inversamente proporcional al cuadrado de r . La ecuación (1) toma entonces la forma siguiente:

$$m \ddot{\mathbf{r}} = -k\mathbf{r} Mmr^{-3} \quad (2)$$

Esta es una ecuación diferencial de segundo orden, equivalente al siguiente sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden:

$$m \dot{\mathbf{v}} = -k\mathbf{r} Mmr^{-3} \quad (3)$$

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{r}}$$

Las letras que vemos en estas ecuaciones simbolizan el valor de ciertas cantidades que caracterizan el estado momentáneo del sistema. Algunas de esas cantidades miden la tasa momentánea de variación de otras. En virtud de las propiedades matemáticas generales de las ecuaciones diferenciales de primer orden (teoremas sobre existencia y unicidad de soluciones), y de la relación específica que según (3) existe entre las referidas cantidades en el momento en cuestión, el valor de esas cantidades está completamente determinado para cualquier otro instante anterior o posterior comprendido dentro del intervalo de tiempo al que (3) es aplicable. De este modo la mecánica de Newton comprende íntegramente dentro del estado actual de la materia que forma el sistema planetario, la necesidad con que el mismo se desplaza en el curso del tiempo de configuración en configuración. Por eso, no es casual que el Marqués de Laplace, cuya *Mecánica celeste* corona el desarrollo de la astronomía newtoniana durante el Siglo de las Luces, haya propuesto —en su *Ensayo filosófico sobre las probabilidades* de 1799— la imagen de una inteligencia superior, que, conociendo perfectamente el estado actual de todas las cosas materiales y las leyes que gobiernan su

evolución, puede por eso calcular todo el futuro del universo para siempre jamás. Este es el mismo Laplace que, cuando Napoleón I le pregunta qué papel desempeña Dios en su astronomía, responde: “Majestad, no he requerido esa hipótesis”.

Eurípides canta la hazaña de Hércules, héroe predilecto de los intelectuales ilustrados de Atenas, quien, “estirando las manos hasta el asiento del cielo,... sujetó con hombría la mansión estrellada de los dioses”.

*οὐρανοῦ θ' ὑπὸ μέσσαν
 ἐλαύνει χέρας ἔδραν,
 Ἄτλαντος δόμον ἐλθών,
 ἀστρωπούς τε κατέσχευ οἴ-
 κους εὐανορίᾳ θεῶν
 (Herc. Fur, vv. 403-7)*

Newton, el héroe de la Ilustración moderna, no coge el cielo con las manos, pero lo posee con la inteligencia y, limpio de dioses, lo incorpora al ecosistema del hombre.