

LA COSMOLOGÍA OCULTA DE GALILEO

Carlos Solís Santos

¿Cómo concebía Galileo el cosmos? Esto es, ¿de qué estaba hecho y por qué se movía? Probablemente nunca lo sabremos, de modo que habrá que prepararse para la frustración. Sólo se ofrecerán aquí conjeturas y dudas. Mas espero que sean las conjeturas y dudas que asaltaban a Galileo sin que fuese capaz de resolverlas. Un filósofo natural como él, que desmontó sistemática y tenazmente la visión aristotélica de la naturaleza, debía tener alguna alternativa en mente aunque no considerase oportuno manifestarla. A ese silencio contribuyó la actitud de no exponer nada que no pudiese defender con argumentos empíricos y geométricos, sea por sobriedad epistémica, sea por el medio hostil, tanto filosófico como religioso, en el que se movía. Si, como sabemos, tuvo serias dificultades para que se aceptasen sus observaciones y cálculos sobre el relieve lunar o las manchas solares, por no hablar de sus argumentaciones a favor del movimiento de la Tierra, fácil será calibrar lo que le hubiera ocurrido de dar rienda suelta a especulaciones imaginativas sobre el cosmos del tipo de las que hicieron otros coetáneos como Kepler o Descartes, por no hablar de los naturalistas y neoplatónicos.¹

¹ “Él [Galileo] no daba por verdaderas las proposiciones que no se pusiesen en claro mediante alguna experiencia irreprochable. Por eso, incluso en las cosas físicas, sus más fieles escuderos fueron siempre las demostraciones matemáticas. Cuántas ideas ingeniosas, cuántas proposiciones insólitas se le ocurrieron a aquel ingenio maravilloso y eximio, todas las cuales eran verosímiles. Si se les hubiesen ocurrido a otros, presto las habrías visto salir a la luz como nueva y bien fundada filosofía. Pero ¿qué creéis que respondió al Padre Campanella que así se lo aconsejaba? Que no quería en modo alguno desacreditar y perder la ventaja de las diez o doce proposiciones que había hallado y cuya verdad conocía por demostración, con cien o más

Pero se trata de un silencio, ya que Galileo insiste constantemente en la importancia de la cosmología. Por ejemplo, Salviati nos recuerda “que investigar la constitución del mundo es uno de los problemas máximos y más nobles que existen en la naturaleza”.² Sin embargo, como ha señalado A. Beltrán en su edición del *Diálogo*, “cuando acabamos de leer el libro no podemos describir claramente su concepción cosmológica, no sabemos exactamente cómo es el universo según Galileo”.³ Sabemos que cree en la ordenación de los cuerpos celestes de la astronomía copernicana y que el movimiento de la Tierra no plantea problemas físicos merced a su concepción de que en ciertas condiciones el movimiento se perpetúa sin motores y no se nota (es “como si no fuese”). Pero poco más sabemos, especialmente de las cuestiones que preocupan a los cosmólogos, cual es *de qué* está hecha y *por qué* funciona esa estructura celeste descrita por la astronomía. En especial, qué materiales y fuerzas componen la máquina del mundo, explicando así su conducta. Por ejemplo, ignoramos de qué están hechos los diversos astros, ya que incluso nuestra familiar Luna posee una *química* distinta de la nuestra, si se nos permite hablar así.⁴ Tampoco sabemos qué hay en los espacios siderales e interplanetarios y si *eso* interactúa y cómo con los cuerpos celestes. Ignoramos por qué rotan los astros, por qué giran los planetas y por qué los siguen sus satélites.

Aunque Galileo elaboró una física para los graves en la superficie de la Tierra, no dio con una teoría de la gravedad y no la extrapoló a los cielos, como haría Borelli en su intento de explicar qué mueve a los planetas en torno al Sol o por qué los satélites siguen a sus planetas.⁵ También ignoramos si un trozo de mármol elevado a las proximidades de la Luna caerá hacia ésta o hacia la Tierra. Con todo, es imposible que no tuviese alguna idea sobre todas estas cuestiones. Hoy día se nos viene enseñada a la mente el espacio vacío de Newton con astros atrayéndose con una fuerza universal inversa del cuadrado. Pero Galileo no dialogaba con Newton, sino con Kepler, con el aristotelismo, el naturalismo, el neoplatonismo y el atomismo, dado que entre tanto Descartes seguía contemplando su estufa.

proposiciones aparentes de las cosas naturales”. Orazio Ricasoli Rucellai, *Dialoghi filosofici*, en F. Palermo, *I manoscritti palatini di Firenze*, Florencia: M. Cellini, 1868, Vol. III, pág. 290.

² *Diálogo sobre los dos máximos sistemas*, VII: 236. (Los números romanos indican el volumen y los arábigos las páginas de la edición de A. Favaro, *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, 20 volúmenes. Florencia: G. Barbèra Editrice, 1890-1909.) La misma idea se expresa ya en la dedicatoria al Serenísimo Granduca.

³ Introducción a G. Galilei, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas*, Madrid: Alianza, 1994, pág. xlv.

⁴ *Diálogo*, pág. 126 y sig: “considero que la materia del globo lunar no es de tierra y agua...”, por lo que los procesos que en él tendrían lugar habrían de ser “muy diferentes y totalmente inimaginables para nosotros”.

⁵ En uno de los fragmentos relativos al *Diálogo* (*Opere* VII: 544), Galileo sugiere que la gravedad que lleva a los cuerpos hacia el centro de la Tierra, siguiéndola en su camino anual en torno al Sol, es lo que explica que la Luna siga a la Tierra y los mediceos a Júpiter. Sin embargo, como veremos más abajo, decidió no publicar semejante idea.

Como hemos mencionado, otros coetáneos no tuvieron empacho en exponer sus hipótesis y especulaciones cosmológicas más audaces como alternativa a la cosmología de Aristóteles-Ptolomeo. Según ésta, el cosmos está formado por capas esféricas de éter incorruptible e inalterable, cuya rotación uniforme arrastra los sistemas de círculos descritos por la astronomía para cada planeta. Esta doctrina se tornó insostenible gracias especialmente a Tycho Brahe. A finales del siglo XVI, sus estudios sobre novas y cometas arruinaron la inmutabilidad celeste, mientras que su determinación de que la distancia de la Tierra a Marte era mucho menor en la oposición que en la conjunción de éste con el Sol refutaba la ordenación ptolemaica. Su propia teoría exigía que las órbitas circunsolares de Mercurio, Venus, Marte y los cometas próximos cortasen la órbita del Sol en torno a la Tierra, poniendo en entredicho la creencia en los viejos orbes que explicaban el funcionamiento del cosmos. Sin embargo a Tycho Brahe sólo se le ocurrió recurrir a los milagros para explicar la generación de novas y cometas, y postular una *ciencia infusa* en los astros para que pudiesen recorrer sus caminos en los cielos fluidos sin necesidad de orbes sólidos ni otros principios dinámicos.

Pero el debate cosmológico que caracterizó la “revolución científica” llevó a los mejores pensadores a aceptar las implicaciones de la astronomía copernicana y a reconocer la función dinámica del Sol central. El primero en hacerlo fue Kepler en el *Prodromus* (1596), seguido medio siglo más tarde por las explicaciones de Descartes en los *Principia* (1644) en términos de una corriente de éter.⁶ Ambas cosmologías representan dos modelos extremos. El primero insiste en la existencia de fuerzas inmateriales, aunque matemáticamente descriptibles. Las de Kepler son a modo de efluvios magnéticos o nervios intangibles emanados del Sol, mientras que las de Newton serán entidades espirituales derivadas más o menos directamente de la voluntad de Dios. Eran representaciones que se compadecían bien con las operaciones de la magia y la astrología. Galileo expresó su disgusto por este tipo de explicaciones y consideraba que Kepler mostraba un ingenio demasiado libre y agudo cuando hablaba de acciones a distancia, como la atracción de las aguas por la Luna.⁷ Por el contrario, el segundo tipo de explicación, el cartesiano, recurría al arrastre mecánico por contacto ejercido por un fluido material y denso en el que nadan los astros. Esa era la doctrina cartesiana de los torbellinos materiales, y aunque se publicó demasiado tarde para que influyera en Galileo, éste consideró un escenario de fluidos circulantes que no dejó de atraer a alguno de sus discípulos.

Al menos esa impresión dan las palabras de Baltasar de Monconys, un viajero francés interesado por la ciencia que en el Otoño de 1646 se entrevistó con E. Torricelli. Según nos dice,

⁶ R. Descartes, *Principia philosophiae*, III. 54. Kepler explicó su idea sobre la dinámica solar en la Introducción a la *Astronomia nova* (1609).

⁷ Pero véase N. Kollerstrom, “Galileo’s Astrology”, en este volumen, págs. 421-431.

El mencionado Torricelli me explicó también cómo los cuerpos [celestes] giran sobre su centro; cómo el Sol, la Tierra y Júpiter hacen girar todo el éter que los rodea, aunque las partes próximas más rápidamente que las lejanas, tal y como muestra la experiencia en el agua, en cuyo centro se hace girar un bastón, y lo mismo ocurre con los planetas respecto al Sol, con la Luna respecto a la Tierra y con los Médiceos respecto a Júpiter.⁸

No es fácil calibrar la fidelidad del informe de Monconys, dada la ausencia de otros escritos torricellianos sobre cosmología.⁹ En cualquier caso, la idea parece ser que los cuerpos centrales son los motores del cosmos, pues su rotación mueve el éter que a su vez arrastra a planetas y satélites. Por las mismas fechas en que Galileo retocaba y publicaba el *Diálogo*, Descartes trabajaba en *Le monde*, que interrumpió al enterarse de la condena de Galileo. (Se publicó póstumamente en 1664.) Su esquema mediante fluidos circulantes difiere del de Torricelli-Monconys en que el origen del movimiento está en los grandes vórtices,¹⁰ entre los que se distribuye el movimiento otorgado originariamente a la materia por Dios, y no en la rotación de los propios cuerpos celestes. Los vórtices expulsan la materia estelar al centro y arrastran a los planetas en su derredor. La variación de la velocidad también difiere. Mientras que en Torricelli disminuye con la distancia, en Descartes esa disminución se troca en aumento tras Saturno a fin de dar cabida al rápido movimiento de los cometas (Ibid., pág. 54). En cualquier caso, dos años antes de la entrevista de Monconys con Torricelli, Descartes había publicado sus ideas cosmológicas en *Los principios de la filosofía*.

Los espacios cósmicos de los galileanos no están vacíos como los de Newton. Así ocurre en Borelli cuyas ideas son un desarrollo original de las galileanas y keplerianas. En primer lugar, como decíamos, elevó al cielo la gravedad, concebida como una tendencia que lleva a los planetas hacia el Sol y a los satélites hacia sus planetas, todos los cuales nadan en un fluido como el aire, aunque más tenue. Pero frente a Galileo, entendió que aquella tendencia central de los planetas se equilibraba merced a la fuerza centrífuga creada por el movimiento circular, implantado en los astros gracias al impulso tangencial del torbellino de los rayos solares. Esta circulación no es pues el movimiento eternamente conservado de la *inercia* circular galileana, sino que exige una causa continua suministrada por un torbellino solar formado no por una corriente de materia densa al modo cartesiano, sino por una substancia asimilada a los rayos solares,

⁸ Baltasar de Monconys, *Journal des voyages de luy faites en Portugal, Provence, Italie, Egypt, etc. ou les savants trouveront un nombre infini de nouveautez et machines et mathématiques, expériences physiques, raisonnements de la belle philosophie, curiositez de chymie et conversations des illustres de ce siècle*, etc., Lyon, 1665.

⁹ Una ficha de la Laurenziana de 1741 alude a “scriti e studi dell’astronomia” de Torricelli, pero no se han encontrado. Cf. la información en Internet del Istituto e Museo di Storia della Scienza de Florencia: Evangelista Torricelli; 4. Il copernicanesimo di Torricelli.

¹⁰ Cf. Cap. VIII, pág. 49 y Cap. IX, pág. 57 (del tomo XI de la edición de Adam y Tannery).

pues si la luz es una substancia corporal difundida por el cuerpo solar a modo de un viento constante, esa substancia que irradia debe girar a su vez en círculo como el cuerpo del Sol, y ciertamente es posible y necesario que los cuerpos planetarios, que flotan en equilibrio en el aura etérea celeste, se vean empujados por estos rayos corporales en traslación.¹¹

Las doctrinas cosmológicas copernicanas de los contemporáneos y discípulos de Galileo hablan de cielos fluidos, en los que se produce sea un arrastre de éter, sea una caída gravitatoria, sea una emanación corporal del Sol que circula y transporta a los planetas. Las ideas cosmológicas de Galileo, aunque no desease comunicarlas, debían expresarse en términos similares. Veamos si es posible barruntar algo acerca de cómo estaba constituido y cómo era movido el cosmos. Empecemos por la materia del universo.

1 La materia y los elementos

En la tradición peripatética, los cielos eran distintos del mundo terrestre. En aquéllos, los cuerpos no se alteran y se mueven en círculos; en éste, la generación y corrupción lo invade todo y los cuerpos físicos caen o suben en línea recta. Aristóteles sancionó esta situación que creía observar construyendo los cielos del elemento éter sin contrarios, y por tanto inalterable, mientras que nuestro mundo está formado por los elementos tierra, agua, aire y fuego, definidos por cualidades contrarias (seco-húmedo y frío-caliente) que permitían la alteración.

Frente a ello Galileo defendió muy pronto (en el *De motu*, c. 1590) la existencia en la Tierra de un solo tipo de materia sobre la que operaba una única fuerza, la gravedad tendente al centro. Mecánicamente, la única diferencia entre los cuerpos era de densidad o gravedad específica, aplicándose la hidrostática de Arquímedes. Como señalaba: “todos los cuerpos son de una sola materia” y “los más graves son los que incluyen más partículas en un espacio menor”. Por tanto “los cuatro cuerpos que hemos dado en llamar elementos” no son sino conjuntos de partículas “más o menos rarificadas” (I: 252 y sig., 344). Pero con una excepción: siempre expresó dudas sobre que el fuego fuese un *tipo de substancia*.¹² Los otros tres (tierra, agua y aire) son muy comunes, pero no únicos;¹³ y su propiedades físicas derivan

¹¹ *Theoricae medicorum planetarum ex causis physicis deductae*, Florencia, 1666; citado en A. Koyré, *La révolution astronomique*, París: Hermann, 1961, pág. 488 y sig. Como veremos, se encuentran ideas similares sobre la acción de la rotación solar en las cartas de Galileo a Castelli (21-X-1613) y a Dini (23-III-1615).

¹² Desde el *De motu*, (I: 294) hasta el *Diálogo* (VII: 468), pasando por *Il Saggiatore* (VI: 350).

¹³ En el *De motu*, (I: 376 y sig.) señalaba que había substancias más ligeras que el fuego (“si es que existe el fuego”) y otras más pesadas que la tierra, pues “¿quién no ve que todos

de las propiedades mecánicas de las partículas de materia universal que los componen.¹⁴ En efecto, las propiedades mecánicas de la tierra y el agua las acercan más a nuestros “estados de la materia” que a nuestros “elementos químicos”. Así, por ejemplo, el agua y los líquidos en general no son sino un material cuyas partículas están de hecho divididas y por tanto no presentan resistencia a la división, sino tan sólo al desplazamiento rápido.¹⁵ La diferencia entre líquidos y sólidos (de los que el agua y la tierra son meros ejemplos) estriba en que las partículas de los primeros son sólo *contiguas*, mientras que las de los segundos son *continuas*. Si mediante el fuego se arruina la continuidad de un lingote de plata, la mera contigüidad de sus partículas la harán comportarse como el agua. Los elementos tradicionales son modelos y paradigmas de estados mecánicos de la materia y no *especies* de la misma:

tenemos mil líquidos como el agua, mil sólidos como la tierra, mil como el aire (lo que se manifiesta por la evaporación de mil olores), ¿por qué no mil como el fuego? Por tanto el calor que experimentamos no procede de la substancia, sino de la forma, tamaño y movimiento del cuerpo...¹⁶

“Forma, tamaño y movimiento” es lo único pertinente en física. Nuestros aire agua y tierra, junto con las otras mil substancias como ellas con las que estamos familiarizados, son peculiaridades de la Tierra que tal vez no estén presentes en la Luna o en otros astros. Pero las propiedades mecánicas generales, como la fluidez, la solidez, o las ópticas, son comunes a todo el cosmos y constituyen la base de la interpretación de las observaciones telescópicas del Sol y la Luna.

los metales son más pesados que la propia tierra?” Y concluía: “por tanto, para decirlo brevemente, afirmo que en la naturaleza hay alguna substancia que es la más pesada de todas y alguna otra que es la más ligera de todas, esto es, que posee la menor gravedad; pero niego que tales substancias sean necesariamente la tierra y el fuego”.

¹⁴ En el apartado 48 de *Il Saggiatore*, por ejemplo, las partículas de fuego no son una especie de substancia, sino las partes mínimas de cualquier cuerpo debidamente aceleradas. Cuando el fuego penetra en los cuerpos combustibles, éstos “se resuelven en otros mínimos ígneos volantes”. Mientras sean extensos, producen calor; “pero al alcanzar luego la última y altísima resolución en átomos realmente indivisibles, se crea la luz de movimiento o mejor expansión y difusión instantánea” (VI: 352).

¹⁵ En el *Discorso intorno alle cose che stanno in sù l'acqua* de 1612 (*Opere*, IV: 103-108) señalaba que en ningún fluido “como el aire, el agua y otros líquidos, hay resistencia alguna a la división”, sino que todos ellos “son divididos y penetrados por cualquier fuerza mínima”. De ahí que en los *Discorsi* (VIII: 62), donde defiende que la resistencia de los cuerpos a la fractura deriva de la resistencia de la naturaleza al vacío, proponga medir dicha fuerza mediante el peso que es preciso para romper una columna de agua, pues careciendo sus partes de continuidad, la resistencia a la fractura se debe exclusivamente a la fuerza del vacío.

¹⁶ Anotación de Galileo al margen de una carta de G. B. Baliani del 8 de Agosto de 1619 (*Opere*, XII: 475), en la que éste expresaba algunas dudas sobre su concepción mecánica del calor, dado que al calentarse la cera produce vapores y el hierro no.

El éter celeste

Si nos trasladamos ahora a los espacios cósmicos, vemos que aunque Galileo emplee la palabra “éter”, lo hace sin las connotaciones clásicas de elemento sin contrarios con tendencias al movimiento distintas de las de los elementos terrestres. Para él no es sino un fluido sutil en que se mueven los astros sin necesidad de orbes sólidos o de otro tipo:

no admitimos aquella multiplicidad hasta hoy aceptada de orbes sólidos, sino que estimamos que por los inmensos campos del universo se difunde una *sutilísima* substancia etérea por la que vagan los *sólidos* cuerpos mundanos merced a sus propios movimientos.¹⁷

Ese éter es la continuación de la atmósfera, de la que no se distingue demasiado, pues “más allá del aire se extiende una continua prolongación de una substancia *bastante más tenue y pura que nuestro aire* por la que vagan los planetas” (*Diálogo*, VII: 469; las cursivas son nuestras). Es decir, es como el aire, aunque más fino y sin vapores, humos o exhalaciones térreas (VII: 465).

Pero si mecánicamente el éter no se diferencia demasiado de nuestro aire fluido, los cuerpos celestes tampoco se diferencian mucho físicamente de la Tierra (aunque su “química” pueda ser muy distinta), pues poseen partes sólidas que reflejan la luz como nuestras paredes, y fluidos aéreos que la refractan como nuestra atmósfera y en la que nadan sean nubes o manchas. Galileo atribuye la esfericidad de los astros, no a su perfección, sino a la operación local de una gravedad como la terrestre.¹⁸ Si además aceptamos el movimiento anual de la Tierra, cesan las razones que asistían a Aristóteles para sancionar la aparente diferencia entre cielos y Tierra construyéndolos de materiales diferentes con leyes físicas distintas. Todo ello hace dudar de que “los cuerpos celestes sean tan puros, excelentes y sin mezcla comparados con los nuestros elementales” (XI: 147).

Así pues, los espacios cósmicos están llenos de un fluido no muy distinto mecánicamente del más fino aire montano, mientras que los astros están formados por materiales sólidos, vapores y exhalaciones no muy distintos físicamente de aquellos con que estamos familiarizados, por más que formen compuestos distintos de nuestra agua, nuestros metales o nuestras plantas.

¹⁷ *Il Saggiatore*, VI: 317; las cursivas son nuestras: la oposición no es entre materiales, sino entre sutileza y solidez. Ya en la carta a P. Dini del 23-III-1615 (*Opere*, V: 299) expresaba la misma idea negando que “se encuentre en el cuerpo celeste una estructura de orbes sólidos distintos y separados, los cuales, afilándose y rozando entre sí, transporten los cuerpos de los planetas, etc.” En el *Diálogo*, VII: 146, le parece que lo más razonable es creer que “el cielo es líquido” y que los astros “vagueen por sí mismos en él”. Así, la Tierra es “un cuerpo pendiente y equilibrado sobre su centro..., situado en y rodeado por un ambiente líquido”.

¹⁸ En una carta a G. Gallazoni del 16-VII-1611, en la que habla de la similitud entre la Luna y la Tierra (*Opere*, XI: 141-155).

Continuidad entre cielos y Tierra

La continuidad material y espacial entre los cielos y la Tierra fue afirmada repetidamente por Galileo para dar cuenta de la generación transitoria de luces en el cielo, especialmente novae y cometas. En unas notas de unas conferencias dadas con ocasión de la nova de 1604, sugiere la posibilidad de que los vapores y exhalaciones de la Tierra se eleven lo bastante como para salir del cono de sombra de la Tierra y ser iluminadas por el Sol, y aduce lo que podrían ser observaciones de auroras.¹⁹ En el caso de novae y cometas, acepta la posibilidad de que o bien se generen en la materia celeste o bien en la terrestre para elevarse luego. En cualquier caso, puso grandes esperanzas en que el alejamiento rectilíneo de esos fenómenos pusiera de manifiesto el movimiento anual de la Tierra.²⁰

El objetivo principal del estudio de la nova era mostrar que los cielos eran mutables, ya que la paralaje nula indicaba que estaba más allá de la Luna. Pero también ofrecía algunas ideas acerca de su “substancia y generación” (X: 134 y sig.), pues las novae podrían ser “una exhalación iluminada” (II: 282). En efecto, basta que haya una zona ligeramente más densa que el éter circundante para que brille notablemente. Si las nubes sutiles iluminadas por el Sol brillan más que el aire o la sólida Luna, esos vapores tenues pueden brillar más que las estrellas, y “no es absurdo poner tal condensación en el cielo, ya que vemos otras semejantes en torno a la Luna y la Tierra”.²¹

¹⁹ Quizá de la luz zodiacal o del *Gegenschein*, al que parece aludir Grassi en la *Libra astronomica*, Perugia: M. Naccarini, 1619, págs. 24-25. En cualquier caso, según indica Galileo: “Quod circa terram elevarunt vapores, qui, ascendentes, solis lumen reflectant, saepissime apparet; cum in media interdum nocte caelum adeo illustretur, ut lumen in terram crepusculino maius effundat. Id autem a me saepius observatum est; et semper talis lux boream versus apparet. Et ratio est manifesta: quia ex meridie, vel ab ortu, vel ab occasu, intra conum umbrae, tales complectuntur vapores, qui boream versus, ob nostram in eam partem situm, conspici possunt”, y “vidi Venetiis, circa horam noctis 2^{am}, aërem ad boream adeo clarum, ut adversus parietes, ultra Lunae rotundae lumen, illustraret, aversi autem tenebrossissimi erant” (*Opere*, II: 281). Se aduce la misma comparación al hablar de la naturaleza de los cometas en el *Discorso delle comete* (*Opere*, VI: 94).

²⁰ “Así pues, la causa de que aumentase la elongación de la estrella respecto al vértice podría deberse al movimiento anual de la Tierra que se dirigía entonces al Sur, etc.” (*Opere*, II: 281 y sig.). La nova apareció a principios de Octubre sin mostrar paralaje diaria alguna y, según Galileo, disminuyendo constantemente. Ambas peculiaridades inducían a pensar que se hallaba al menos a la distancia de los planetas exteriores y que se alejaba radialmente de la Tierra. De ser así, para Navidades, tras un período de invisibilidad por estar en conjunción con el Sol, la Tierra habría recorrido casi una cuarta parte de su presunta trayectoria anual y la nova se habría alejado aún más, lo cual podría revelar un cambio en su posición respecto a las fijas, lo que le permitiría “poter sapere qualche cosa di più di quello in che la semplice coniettura finisce” (carta de Enero de 1605 a O. Castelli, según Favaro, y a G. Mercuriale según S. Drake; *Opere*, X: 135). Pero, aunque siguió disminuyendo, no se encontró desplazamiento paraláctico alguno lo que, al menos eso pretende S. Drake, habría minado su fe copernicana (*Galileo at Work*, The University of Chicago Press, 1978, pág. 110).

²¹ *Ibidem*. Esa misma es la opinión de O. Brenzoni en una carta a Galileo del 15 de Enero de 1605 sobre las novae (*Opere*, X: 141): pueden ser condensaciones producidas en la mate-

En el caso de los cometas, la continuidad de materiales y movimientos entre cielos y Tierra es más patente. En el *Diálogo* afirma no tener inconveniente en que se engendren sea en la atmósfera sea en los cielos, aunque prefería decantarse por que “la materia de los cometas sea elemental [terrestre] y que pueda elevarse cuanto se quiera sin encontrar obstáculos en la impenetrabilidad del cielo peripatético que yo tengo por más tenue, más dúctil y bastante más sutil que nuestro aire” (VII: 77). Esta es la postura sostenida en la polémica con los jesuitas sobre los cometas de 1618. Esa elevación de los vapores en que se refleja el Sol explicaría la ausencia de paralaje (como en los arco iris, que son reflexiones y refracciones en un medio extenso y no un objeto sólido con localización espacial precisa), así como la disminución de tamaño y la aproximación al zenit. También en este caso, como en el de las novas, la generación terrestre sugiere un posible argumento en pro del movimiento de la Tierra, ya que en ocasiones los cometas sobrepasan el zenit hacia el Norte, en lugar de dirigirse a él. Obviamente, tres años después del Decreto anticoncarniano de 1616, Galileo no podía ser muy explícito sobre este punto.²²

Aun cuando estas cosas no fuesen sino conjeturas de Galileo, indican que para él la región celeste y la elemental eran espacialmente continuas y físicamente homogéneas.²³ Es lamentable que no tuviese oportunidad de debatirlas abiertamente, pues eso lo hubiera obligado a especificar mejor sus ideas cosmológicas. Veamos dos casos relativos a los cometas. En primer lugar, si salen y se ponen como los demás astros, eso quiere decir que las exhalaciones carecen del movimiento diurno, lo que podría deberse a que

ria fluida y rara de los cielos por acción de la luz y el calor. En el *Dialogo de Cecco di Rochitti*, publicado a principios de 1605, se adopta una posición dudosa sobre el origen de esas condensaciones celestes que constituyen la nova: se puede generar a partir de estrellas invisibles o engendrarse en la atmósfera y elevarse (*Opere*, II: 316 y sig.). Lo único que se afirma es que no es un cuerpo sólido como las fijas: “Chi diambarne g'hà ditto che sta stella nuova sea na stella stella? l'è ben on spianzore, mo no na stella”. Y a la pregunta: “Que ela tonca?”, se responde: “Que segui mi? basta, che la n'è na stella purpiamente”. Aunque en el cielo pueda haber corrupciones y generaciones locales, como en la Tierra, globalmente las estrellas no se engendran ni perecen, como tampoco lo hace la Tierra (*Ibid.*, 318).

²² Sería preciso “añadir alguna otra razón de tal desviación aparente”, cosa que “no osaré hacer”, pues para ello habría que conocer la estructura del mundo que tan sólo “podemos conjeturar entre sombras” (*Opere*, VI: 98 y sig.). Grassi se lanzó sobre esta sugerencia esgrimiendo el Decreto de 1616; cf. la *Libra astronomica*, Perugia: M. Naccarini, 1619, Segunda pesada, cuestión II, págs. 34 y sig.

²³ No le importa que los cometas se generen en el cielo, nos visiten y se vayan, pues su concepción física del cosmos no lo impide: “A mí, en cuyo pensamiento nunca ha tenido cabida aquella vana distinción o aun contrariedad entre los elementos y el cielo, no me causa el menor fastidio o dificultad que la materia de la que se ha formado el cometa pudiese acaso invadir estas nuestras bajas regiones para elevarse después superando el aire y aquello que, después de él, se difunde por los inmensos espacios del universo; cosa que según creo hubiera podido hacer sin hallar resistencia u obstáculos tan duros que impidiesen su viaje o siquiera la retrasasen un breve momento” (*Discorso delle comete*, en *Opere*, VI: 93 y sig.). Sin embargo, la conjetura “más razonable” en la disputa contra Grassi y Tycho Brahe le parece la de que el cometa sea una exhalación que se aleja radialmente de la Tierra (*Ibid.*, págs. 91, 94).

las capas altas de la atmósfera pierden el movimiento circular, y habría que preguntarse por qué. Como veremos, la existencia de un medio interplanetario en reposo relativo a la Tierra podría ser una respuesta que Galileo, en cualquier caso, no da.²⁴

En segundo lugar, si se supone que los vapores terrestres pueden elevarse más allá de la Luna, habría que explicar por qué lo hacen. En el modelo arquimediano de la mecánica de los graves, se supone que todo es pesado y que los cuerpos “ligeros” son simplemente de menor peso específico que el medio. Entonces, si los vapores atmosféricos se elevan por el éter, ¿quiere eso decir que éste gravita hacia la Tierra más que los vapores? Es muy dudoso. Galileo nunca explica como pasar a los cielos las leyes del movimiento estudiadas en condiciones terrestres. No sabemos hasta dónde llega la gravedad terrestre, ni siquiera si depende de la distancia o de los materiales.²⁵ No lo sabemos; pero discutir estas cuestiones hubiera obligado a Galileo a ser más explícito en la aplicación a los cielos de sus principios del movimiento ingenidados para los graves en la superficie terrestre. Tal vez hubiera rehusado hacerlo; pero ciertamente desde 1616 no se sintió muy alentado a especular.

Las atmósferas de los astros

La concepción galileana de la atmósfera terrestre es un caso muy especial de la continuidad cósmica, pues constituye una zona fronteriza en la que concurren materiales y movimientos de ambos mundos. Para empezar, la atmósfera no es homogénea, sino que está formada por una mezcla de diversos fluidos aeriformes raros, como los “mil fluidos como el aire” de la apostilla a la carta de Baliani (cf. la nota 16). Especialmente en las partes bajas de la atmósfera el aire es una “mezcla de muchos vapores y exhalaciones terrestres” (*Diálogo*, VII: 169, 465).

Pero si por abajo se empapa de emanaciones de la Tierra, por encima se difumina en el éter:

Digo pues que es bastante obvio y bastante aceptado que la atmósfera que rodea la Tierra no es aire puro y simple, sino aire mezclado hasta cierta altura con humos y vapores crasos que lo tornan bastante más denso y corpulento que *la parte restante del éter superior*, la cual, genuina y límpida, se

²⁴ Aunque parece estar implicada por el argumento a favor del movimiento terrestre derivado de los alisios (*Diálogo*, 462 y sigs.), del que nos ocuparemos más abajo, pág. 370 y sigs.

²⁵ Aunque quizá sólo a modo de ejercicio, considero en el *Diálogo* el caso de una bala de cañón llevada a la Luna y dejada caer ¡a la Tierra! (*Opere*, VII: 245-47). Es como si perviviese la idea aristotélica de unos materiales cuya naturaleza (en este caso terrestre) entrañase tendencias especiales al movimiento. Como veremos, en las ocasiones en que sugirió una gravitación de los satélites hacia los planetas o de éstos hacia el Sol, nunca se trataba de una interacción mutua ni generalizada. Los satélites tienden sólo a sus planetas y éstos, al Sol.

expande luego por inmensos espacios. [*Discorso delle comete*, VI: 100 y sig.; las cursivas son nuestras].

Parece que lo mismo da decir que el aire es éter sucio o que el éter es aire límpido. Ciertos fenómenos ópticos, como las refracciones que constituyen las colas de los cometas, se producen en la capa esférica de los vapores inferiores y no en el aire superior, que a este respecto es como el éter puro interplanetario. Sea como sea, “más allá del aire se extiende una continuada prolongación de una substancia bastante más tenue y pura que nuestro aire, por la que vagan los planetas” (*Diálogo*, VII: 469). La Tierra, pues, se mueve en un medio líquido que mecánicamente, recuérdese, es un cuerpo cuyas partes están divididas de hecho, siendo meramente contiguas. Al criticar el tercer movimiento atribuido por Copérnico a la Tierra, pensado para mantener constante la orientación del eje, Galileo recurrió a un experimento en el que una bola flota en un recipiente de agua que gira, situación aplicable a la Tierra, pues “un cuerpo cualquiera colocado en un medio tenue y líquido, si se transporta por la circunferencia de un gran círculo, adquirirá espontáneamente un giro sobre sí mismo contrario al otro gran movimiento”. Así, “siendo la Tierra un cuerpo colgado y suspendido en un medio líquido y sutil, y en él transportada por la circunferencia de un gran círculo por el espacio de un año”, adquirirá “por naturaleza y libremente” un giro anual contrario (*Saggiatore*, 40; VI: 326).

Pero la atmósfera no es privativa de la Tierra. Al final del *Sidereus nunciatus* se atribuye a todos los planetas (III: 96) después de habérsela otorgado a la Luna. La atribución a ésta de “una especie de esfera de substancia más densa que el éter restante” (III: 70-73) se basa en la observación de que el radio de la parte iluminada parece mayor que el de la oscura y en la observación de la luz rojiza en los eclipses, semejante a la del crepúsculo terrestre. Esto es, la atmósfera de la Luna es éter interplanetario densificado hasta cierta altura por sus propias exhalaciones.²⁶

²⁶ Treinta años más tarde, en 1640, respondió al *Litheosphorus* de F. Liceti en una larga carta al Príncipe Leopoldo (*Opere*, VIII: 489-545; véanse especialmente las págs. 505-6 y 522-24), en la que reitera que hay “en torno a la Luna una parte de su éter ambiente más densa que el restante éter purísimo” y que “el éter, por así decir condensado, rodea perpetuamente el globo de la Luna, en torno a la cual se eleva hasta una cierta altura”, como se desprende del halo cobrizo que se ve en los eclipses totales, así como de los crepúsculos por iluminación solar del éter condensado, al modo en que ocurre en la Tierra. La diferencia con la Tierra deriva de la naturaleza de los vapores más densos de ésta, pues “siendo universalmente la materia del éter celeste más pura que el ambiente aéreo, es de creer que la parte del éter condensado en torno a la Luna sea menos denso... que el aire condensado en torno a la Tierra por la mezcla con los vapores”.

Galileo compara repetidamente la atmósfera lunar y terrestre, y en sus símiles, el éter celeste es al aire purísimo lo que el “etere addensato” de la Luna es al aire mezclado con vapores de aquí abajo. Ni el *éter puro* ni el *aire puro* dan cuenta de los fenómenos ópticos o térmicos de las atmósferas, pues ni se calientan ni reflejan, refractan o absorben los rayos solares. Eso sólo se produce en la capa mezclada con vapores procedentes del cuerpo del astro

También atribuye una atmósfera al Sol, puesta de manifiesto por la evolución, deformación y cambio de las manchas solares mientras giran mensualmente en torno a él. En la segunda carta a Welser, Galileo demostró, mediante la ley de los senoversos que las manchas están muy próximas al cuerpo solar, al modo de nuestras nubes.

No afirmo con esto que sean de la misma substancia que las nuestras, formadas por vapores acuosos elevados de la Tierra y atraídos por el Sol; tan sólo digo que no sabemos de cosa alguna que más se les asemeje. Me resulta incierto que sean vapores o exhalaciones o nubes o humos producidos por el cuerpo solar o por él atraídos de otros lados, pudiendo ser otras mil cosas imperceptibles para nosotros.²⁷

Así pues, podemos resumir las ideas de Galileo acerca de los materiales cósmicos. Desde un punto de vista físico o mecánico, la materia del universo es una y la misma, variando tan sólo en la densidad y en la cohesión de las partes (solidez o fluidez). Los espacios cósmicos están llenos de un éter fluido y tenue en el que se hallan suspendidos los astros sólidos. En torno a ellos, el éter cósmico se torna más denso por mezcla con las exhalaciones y vapores de los astros. Aunque la materia universal forme mil sólidos como la tierra, mil líquidos como el agua y mil como el aire y por tanto no podamos decir que estas substancias estén presentes en la Luna o en el Sol, con todo los sólidos y fluidos que puedan contener se comportan físicamente como los nuestros, lo que permite la interpretación de las observaciones telescópicas.

2 La dinámica cósmica

El problema ahora es determinar qué leyes del movimiento rigen en el cosmos. A lo largo de su carrera, Galileo consideró diversos modelos de interacción entre los cuerpos celestes, relacionados con los que sostuvieron sus contemporáneos y discípulos.

(*Ibid.*, págs. 524 y sig., 538 y sig.). Así por ejemplo, la iluminación del Sol a mediodía es más intensa que cerca de la puesta, ya que entonces los rayos atraviesan una mayor distancia por la esfera vaporosa. Pero, señala, si el aire fuese puro, ambas iluminaciones tendrían la misma intensidad, ya que la distancia a la fuente es la misma. Así ocurre en la Luna, por lo que la densificación del éter provocada por sus exhalaciones no es tanta como la que provocan en nuestra atmósfera las terrestres. Así, aire puro y éter cósmico son físicamente equivalentes, pues no interactúan con la luz y el calor debido a que son “muy ligeros”. Si existe alguna diferencia entre el éter y el aire puro, resulta irrelevante, por lo que da la impresión de que Galileo llama al fluido cósmico “éter” más bien que “aire” (como hacía Foscarini) por comedimiento.

²⁷ Primera carta a Welser, V: 108. En la tercera, se usan como modelo de las manchas solares las substancias bituminosas colocadas sobre una plancha caliente.

(A) Modelos de circulación y arrastre de éter

Empecemos por la atmósfera solar y sus manchas que plantean inmediatamente un problema dinámico: ¿es el Sol el que mueve a su atmósfera o es la atmósfera etérea la que mueve al Sol? Localmente la alternativa es entre un modelo de tipo cartesiano con el origen del movimiento en fluidos circulantes, y otro de tipo torricelliano con el origen del movimiento en la rotación de los astros.

Galileo considera posibles ambas explicaciones, aunque se inclina más bien por la segunda, torricelliana.²⁸ La primera es posible a pesar de lo tenue del medio fluido y lo grande de la mole sólida del Sol. En efecto, como la gravedad local se dirige al centro, los cuerpos *de cada mundo* tienen una inclinación natural a descender y resistencia a ascender, como en la Tierra. Sin embargo carecen de apetencias o repugnancias por lo que atañe al movimiento horizontal, equidistante del centro: “un cuerpo grave en la superficie esférica y concéntrica de la Tierra, será indiferente al reposo y al movimiento... y se mantendrá en aquel estado en el que una vez fue puesto”; y una vez en movimiento “se moverá continuamente en torno a nuestro globo”. Del mismo modo, “el Sol, cuerpo de figura esférica suspendido y equilibrado en torno a su propio centro, no puede dejar de secundar el movimiento de su ambiente al no tener ni repugnancia intrínseca ni impedimento exterior”. Carece de repugnancia extrínseca porque el ambiente está también en movimiento y de repugnancia intrínseca porque al rotar “ni se desplaza como un todo de su lugar ni sus partes se permutan entre sí” (VI: 135). Por muy débil que sea el impulso del éter sutil, se comunicará a un Sol sin resistencia natural o intrínseca a dicho movimiento, a la manera de una pesada nave que se desplaza por mor de una ligera brisa.

Sin embargo, como decíamos, prefiere la otra explicación, según la cual el cuerpo solar mueve al éter de su atmósfera, pues el origen del movimiento de sus manchas, común y constante a pesar de estar en un fluido, conviene más a un cuerpo sólido que a uno líquido cuyas partes sin cohesión serían proclives al movimiento errático. La atmósfera solar y sus manchas serían así como la fina capa de agua que arrastra una nave al desplazarse por un océano globalmente inalterado por su movimiento. Esta alternativa entraña que el Sol es un motor perpetuo y no un cuerpo con movimiento circular conservado indeleblemente, ya que la resistencia del medio en reposo no arruina su movimiento, como objeto Baliani.²⁹

²⁸ Cf. el apartado 38 de *Il Saggiatore*.

²⁹ En una carta del 31-I-1614 (*Opere*, XII:19-22): “no puedo negar cierta dificultad en conceder lo que usted dice en f.51 del movimiento del Sol; pues aunque se concediese que la nave movida, a la que se le quitasen los impedimentos extrínsecos, se habría de mover siempre, no se habría de seguir, si no me engaño, que el Sol se haya de mover siempre, pues no parece necesario conceder que el ambiente no le deba proporcionar algún pequeño impedimento”. G. Baliani expresaba también sus dudas sobre el modelo de tipo cartesiano, ya que el aire en torno a una rueda que gira es movido por ésta más bien que al contrario. Galileo contestó

Los problemas mecánicos de arrastre del éter atmosférico se manifiestan más claramente en su explicación de las brisas constantes que llevaban a la flota española a las Indias Occidentales y de ellas a las Filipinas.

La causa de los alisios

Galileo atribuía los alisios a la rotación terrestre.³⁰ La idea puede proceder de P. A. Foscarini,³¹ quien escribió a Galileo pidiéndole su opinión al respecto. Supone que los astros se mueven en el aire que llena el cosmos y, habiendo leído en G. Botero³² la existencia de brisas constantes en el Pacífico, se pregunta si no serán “la pequeña resistencia que hace el aire al movimiento de la Tierra” (XII: 217). En efecto, el movimiento diario es “del globo de la tierra y del agua que forman una esfera perfecta, mientras que el aire no será un elemento que se mueva con el movimiento de la Tierra, sino que será *aquél cuerpo continente* en el que se recibirá por inmensos espacios el movimiento de la tierra y el agua”.³³

Galileo nunca es tan claro y explícito. En el *Discurso de las mareas* (1616), el aire, al no estar unido sólidamente al sistema mecánico terrestre, carece del movimiento natural del agua y la tierra,³⁴ de manera que sólo lo acompaña en la medida en que se ve arrastrado por las montañas y las par-

dándole la razón en este punto (carta del 12-III-1614; *Opere*, XII: 33-36), aunque insistía en que era físicamente posible. Con todo, en el apartado 38 de *Il Saggiatore*, muestra su ignorancia acerca de si el Sol mueve a la atmósfera, ésta al Sol o si ambos tienen ese movimiento por naturaleza. Parece claro en cualquier caso que la rotación solar no podría mover todo el éter (sino sólo el mezclado con sus exhalaciones), pues aunque el río pueda mover una nave o incluso toda una flota, la nave no mueve el río, sino tan sólo un sutil velo de agua. “La razón de ello no debería ser muy recóndita, pues aunque no se puede hacer fuerza a la superficie de la nave sin hacerla asimismo a toda la máquina, cuyas partes, al ser sólidas, esto es, al estar firmemente unidas entre sí, no se pueden separar y disgregar, de modo que algunas cedan al ambiente externo y otras no; con todo, eso no ocurre con el agua u otro fluido cuyas partes, al no poseer entre sí tenacidad o adherencia apenas sensible, muy fácilmente se separan y dispersan, y por más que tal vez se vea forzado a seguir el movimiento de la nave ese velo sutilísimo de agua que toca su cuerpo, las otras partes más alejadas, abandonando a las más próximas y éstas a las contiguas, a poquísima distancia de la superficie se liberan por completo de su fuerza e imperio”. En el apartado 40 de *Il Saggiatore* se ofrecen experimentos de flujo laminar en los que una superficie lisa no arrastra más que “una sutilísima capa” del aire.

³⁰ *Discurso sobre el flujo y reflujo*, enviado al cardenal A. Orsini a principios de 1616 (*Opere*, V: 393-95) y *Diálogo* (VII: 463-68).

³¹ Véase la carta de Foscarini de 1615-1616, según Favaro; *Opere*, XII: 215-220.

³² *Delle relationi universali*, Roma, 1581, 1592.

³³ *Ibid.*, pág. 218; las cursivas son nuestras. Para Galileo el fluido cósmico es éter más bien que aire, por más que ambos no difieran físicamente; cf. supra, nota 26.

³⁴ La expresión *natural* o *por naturaleza*, dice Galileo en el *Diálogo* (VII: 261), es el nombre que damos al ignoto principio o virtud que supuestamente causa los infinitos movimientos observados.

tículas terrestres suspendidas en él, “aptas innatamente por su naturaleza para los mismos movimientos térreos” (V: 373). Sobre la inmensa llanura del mar, ambas causas del arrastre cesan y el aire pierde una pequeña parte de su velocidad.³⁵ Si las atmósferas son el fluido cósmico (llámese ‘aire’ o ‘éter’) mezclado con vapores del astro, es obvia la necesidad de estos mecanismos de arrastre.

En el *Diálogo* se explica la mecánica del fenómeno diciendo que “los cuerpos ligeros son mucho más fáciles de mover que los más graves, aunque al cesar la causa que los mueve, son tanto menos aptos para conservar el movimiento que se les ha impreso”.³⁶ Mas rechaza la objeción de Simplicio de un viento de 1000 millas que se seguiría si el movimiento no se conservara en absoluto. Aunque el aire sea menos pesado que el agua, “es falsa la consecuencia de que [el aire], por su ligereza, tenuidad y menor adherencia a la Tierra, tiene que resultar más eximido que el agua de secundar los movimientos terrestres”. La diferencia estriba en que el aire ligero “es ineptísimo para conservar el movimiento cuando ha cesado el motor”, lo que implica que el motor es la Tierra.

Ahora bien, según dice Galileo en otros lugares, en los movimientos circulares, ni a favor ni en contra de la gravedad, no hay ninguna resistencia interna al movimiento, con lo que un impulso mínimo produce un movimiento indeleble, eliminada la resistencia externa. Por consiguiente la no conservación del movimiento rotatorio del aire bajo los montes (una milla) se debe a alguna resistencia externa. Eso lo conjeturamos nosotros, porque Galileo no lo dice así, merced a esa común falta de radicalidad en la aplicación a la cosmología de sus principios del movimiento. Pero podemos pensar que si el aire “que no resulta más eximido que el agua de seguir los movimientos terrestres”, es incapaz de conservar todo “el movimiento cuando ha cesado el motor” se debe a que se halla en un medio cósmico en reposo relativo con una densidad algo inferior a la suya. En la *Respuesta a Ingo-*

³⁵ Perdería menos del 2% de su velocidad, ya que los alisios del Pacífico tienen una velocidad media de 25 Km/h y no los aproximadamente 1.500 Km/h de la superficie terrestre entre los Trópicos. Galileo no expone estos cálculos triviales, aunque es obvio que los hizo, ya que todo el pasaje sobre los alisios empieza con la observación aristotélica de Simplicio de que si la Tierra se moviese, deberíamos sentir un viento provocado por “nuestra rápida carrera de 800 ó 1000 millas por hora contra el aire libre del tal movimiento” (VII: 463).

³⁶ *Ibidem*. En la discusión acerca del arrastre de éter por parte del Sol, al final del apartado 38 de *Il Saggiatore*, señalaba que “el ímpetu y la movilidad impresa se conserva mucho más larga y fuertemente en los cuerpos sólidos y graves que en los fluidos y ligeros”, y pone como ejemplo algunos movimientos realizados en medios resistentes, como los péndulos (que no se detendrían si se pudiese eliminar el peso de las partes de la cuerda y la resistencia del aire; cf. VII: 257). Sin embargo no da cuenta allí de por qué los cuerpos más densos son “aptos por naturaleza” para conservar el movimiento impreso. Una explicación más pormenorizada de la acción diferencial del medio resistente sobre graves de distinta densidad se encontrará más adelante en los *Discorsi* (VIII: 110-113, 118-121; cf. infra, nota 38); pero Galileo no aplica con claridad y perspicuidad al mundo en su conjunto sus teorías sobre el movimiento en la superficie terrestre.

li hay un razonamiento en este sentido.³⁷ Tras apuntar que los cuerpos pesados conservan mejor el movimiento que los ligeros, explica por qué. Un cuerpo no-grave es el que tiene la misma gravedad específica que el medio en el que se halla en equilibrio, razón por la cual no se moverá naturalmente, mientras que si un motor externo lo mueve, “abandonado por él, dejará súbitamente de moverse”. Si es algo más denso que el medio, tardará algo más en detenerse, como ya había indicado en el *De motu* y explicará en los *Discorsi*, donde las relaciones de densidad entre el cuerpo y el medio en que se mueve diversifican unas velocidades de caída que en caso contrario serían iguales.³⁸

Extrapolando al caso de los alisios, eso quiere decir que si el aire bajo no conserva el movimiento impreso por los montes y vapores, es porque se mueve en un medio “aéreo” de parecida densidad, aunque menor, pues es “más tenue y puro”. Lo que se desprende de la discusión sobre la atmósfera de la Tierra es que el éter de los espacios cósmicos se halla en reposo relativamente al movimiento diurno, pues así se explican los alisios. La rotación de la Tierra no puede ser lo que hace girar a un éter que arrastre a la Luna, como en el modelo torricelliano, pues el arrastre se extingue rápidamente con la altura, como muestran los movimientos diarios de los cometas. A la inversa, tampoco la rotación terrestre se puede deber a estar inmersa en un torbellino etéreo, al modo cartesiano, pues entonces no habría alisios que prueben el movimiento terrestre respecto al éter. Así pues, al igual que el Sol, también la Tierra es un motor perpetuo, si bien Galileo remite la causa de la rotación de los astros a un flatus vocis: *por naturaleza*.

¿Mas qué ocurre con los movimientos anuales, cuyos períodos hablan claramente de la dependencia respecto al Sol? Si ni el ambiente mueve al Sol ni éste puede mover todo el éter cósmico, habrá que ingeniar otros procesos para mover el mundo. El Sol es en cualquier caso la clave.

(B) Modelos de gravedad celeste

Ya hemos señalado que Galileo no sabía hasta dónde o a qué extender la gravedad terrestre. Pero alguna vez consideró gravedades de alcance cósmico.

Así ocurre en la fábula pseudo-platónica sobre el origen de las velocidades de los planetas, que aplica al cosmos en su conjunto doctrinas desarro-

³⁷ Postergada desde 1616 y redactada en 1624, prefigurando en parte el futuro *Diálogo*. Véase en especial *Opere*, VI: 556-7.

³⁸ Véase *De motu*, I: 368, 378 y sig., para la resistencia al movimiento derivada del efecto de flotación. En los *Discorsi* se muestra que el efecto retardador del movimiento de un cuerpo debido al desplazamiento del medio es, por unidad de volumen, una fracción mayor en los cuerpos raros que en los densos. En efecto, para avanzar, el cuerpo ligero debe desplazar un volumen igual de un medio que pesa casi lo mismo que él, mientras que el muy grave desplaza uno que es una fracción mínima de su peso. Por eso concluye que “eliminada la resistencia del medio,” todos los graves se mueven a la misma velocidad (VIII: 120 y sig.).

lladas para la Tierra. Para que esta “broma osada”³⁹ tenga sentido hay que suponer una gravitación de los planetas hacia el Sol. Dios hizo que los planetas, partiendo del reposo, “se movieran por distancias determinadas con el movimiento natural y rectilíneo con el que vemos que se mueven los cuerpos terrestres, acelerando sucesivamente a partir del reposo”. Una vez presuntamente alcanzada su rapidez orbital, Dios los desvió por sus círculos anuales, porque el círculo “es el único apto para mantenerse uniforme, ya que va girando siempre sin apartarse ni acercarse a cualquier término preestablecido al que tiendan”.⁴⁰ Esta generalización de la gravedad al cosmos, al modo de Borelli, no se afirma positivamente, sino que se plantea como juego intelectual. Aunque en algún momento, como enseguida veremos, estuvo tentado de explicar el movimiento de los satélites en términos de una interacción gravitatoria local, no es esa una idea que se le pueda imputar, pues reprocha a otros las atracciones e interacciones inmateriales, como en el caso de las mareas.⁴¹

No obstante, no se puede afirmar que no barajase estas ideas. Con todo, en la *Respuesta a Ingoli*, tras tres lustros de ensayar la aplicación de su mecánica terrestre al cosmos copernicano, señala que los astros, concretamente la Tierra, no son ni ligeros ni pesados globalmente, ya que

la gravedad, según yo (y creo que según la naturaleza) es aquella inclinación innata por la que un cuerpo se resiste a ser movido de su lugar natural y merced a la cual, tras haber sido apartado de él forzosamente, retorna allí espontáneamente [VI: 556 y sig.].

(Como se ve, Galileo lleva aún adheridos restos de la placenta aristotélica. Aristóteles consideraba que el orden cósmico estaba ligado a ciertos “lugares naturales” mediante fuerzas especiales para objetos específicos.) Pero la no-gravedad de los astros no puede ser como la de los graves en medios de la misma densidad, y no habiendo nada que detenga la caída de los planetas al Sol, Galileo no parece haber tomado en consideración la generalización de la gravedad al modo de Borelli.

Otro intento ya mencionado de generalizar la gravedad terrestre se relaciona con los satélites. Al final del *Diálogo* (VII: 477-82) hay una curiosa explicación para la correlación entre la Luna y las mareas mensuales, sin recurrir para ello a acciones inmateriales o atracciones de la mar por la Luna. La idea es que el sistema Luna-Tierra acelera y decelera en función de su distancia al Sol. Esas aceleraciones son las causantes de las mareas, siendo casual la conexión de la marea con el paso meridiano de la Luna. En efecto, con la Luna nueva en conjunción con el Sol, la distancia del sistema

³⁹ Así la tilda en una carta a Carcavy de 1637 (*Opere*, XVII: 98).

⁴⁰ *Discorsi*, VIII: 283 y sig. La fábula aparecía ya en el *Diálogo*, VII: 44.

⁴¹ Aunque lo que parece molestarle es que la mar gravite hacia la Luna (*Diálogo*, VII: 486) y no que ésta gravite hacia la Tierra.

al centro dinámico es menor y la velocidad mayor, como en el péndulo; mientras que con la Luna llena en la oposición, la distancia es mayor y la velocidad menor. Pero para que la analogía mecánica funcione tiene que haber, como en el péndulo, una fuerza motriz dada, y no está claro cuál es aquí el correlato cósmico de la gravedad que mueve los péndulos.

Además, para que la Luna y la Tierra funcionen como un péndulo compuesto, hace falta una ligadura entre ambos cuerpos que Galileo no puede ofrecer en términos materiales. Aparentemente sólo tenemos una asombrosa extensión de la gravedad terrestre hasta la Luna:

Las partes de la Tierra tienen tal propensión hacia el centro de ésta que, si cambiase de lugar, dichas partes la seguirían por todos lados [...]. Lo mismo debe decirse de la Luna, obligada a seguir a la Tierra [...] sin que estén atadas con una cadena ni ensartados en un asta (VII: 544).

Esto sugeriría que los satélites son “parte” de sus cuerpos centrales a los que siguen como las nubes siguen a la Tierra, manteniéndose siempre sobre la misma vertical cuando no hay viento porque conservan eterna y circularmente el movimiento común. Pero sabemos que las gotas que forman las nubes están cayendo siempre a la Tierra, y aunque un cuerpo pueda flotar a pesar de la gravedad si está en un medio de la misma densidad, nada de eso nos explica por qué no cae a la Tierra esa Luna, si es grave como las piedras, y ciertamente mucho más grave en especie que el presunto éter sutil. No es de extrañar que Galileo decidiese no incluir este fragmento en el *Diálogo*; pero que lo escribiese muestra que ensayó la posibilidad de resolver un problema cosmológico ampliando un tanto el alcance de la gravedad terrestre. (Sólo Borelli extendió la gravedad a los cielos, componiéndola con la fuerza centrífuga para evitar la caída al centro.)

(C) *El agente cósmico de la luz*

No obstante, entre las hipótesis mecánicas de fluidos etéreos circulantes y las inmatriciales de las acciones a distancia, existe la posibilidad de recurrir a fluidos cósmicos especiales, de naturaleza un tanto metafísica ligada a la luz,⁴² encargados de impulsar transversalmente a los planetas. Ya Kepler, al final de la Introducción a la *Astronomia nova* (1609) había teorizado que “el cuerpo del Sol es el origen de la fuerza que hace girar a todos los planetas” y había predicho que

permaneciendo sin duda en su lugar, con todo rota como en una rueda de alfarero y en verdad emite fuera de sí, por la expansión del mundo, una *espe-*

⁴² Véase la reveladora contribución a este volumen de Susana Gómez, “Galileo y la naturaleza de la luz”, págs. 403-418.

cie inmaterial de su cuerpo, análoga a la *especie inmaterial* de su luz, la cual gira ella misma según la rotación del cuerpo solar, al modo de un torbellino, y al mismo tiempo transporta consigo los cuerpos de los planetas.⁴³

En su lustro de gloria, entre los descubrimientos telescópicos de 1610 y el decreto anti-copernicano de 1616, Galileo albergó ideas como ésta, aunque sin el giro inmaterial de Kepler.⁴⁴ En medio de su campaña para acallar las críticas al copernicanismo sacadas de las escrituras, desarrolló su idea de que el milagro en que Josué detuvo el Sol para prolongar el día es en realidad incompatible con el aristotelismo y sienta como un guante al copernicanismo.⁴⁵ Para ello, por “detener el Sol” se debe entender detener su rotación y no su supuesta traslación en torno a la Tierra. La razón estriba en que el Sol mueve todo el mundo:

Habiendo yo descubierto y demostrado necesariamente que el globo solar gira sobre sí mismo..., giro mediante el cual entiendo que se producen todas las demás circulaciones celestes, y siendo además muy probable y razonable que el Sol, como instrumento y ministro máximo de la naturaleza, casi corazón del mundo, no sólo de luz, como claramente da, sino también movimiento a todos los planetas que en torno a sí giran... ¿quién no ve que para detener todo el sistema... bastó con detener el Sol...?

¿Mas cómo se transmite ese movimiento a los planetas? En medio de la campaña de los dominicos contra el copernicanismo de Galileo, éste buscó el apoyo de los jesuitas del Collegio Romano y de Bellarmino a través de P. Dini, a quien escribía precisando esta idea acerca de la dinámica cósmica:⁴⁶ “Me parece que se halla en la naturaleza una substancia muy espirituosa, tenue y veloz que, al difundirse por el universo..., calienta, vivifica y fecunda a todas las criaturas vivientes”. Dicha substancia procede del Sol y se expande con la luz. Ambas emisiones, la calorífica y la lumínica, tienen en el Sol su receptáculo o almacén, no su fuente, pues son anteriores a él, ya que según el *Génesis*, I, 3 y 16, Dios creó la luz el primer día y el Sol, el cuarto. Lo que ocurre más bien es que esas ágiles substancias cósmicas se concentran en el cuerpo solar, se fortalecen y se expanden luego por el mundo para iluminarlo, calentarlo y vivificarlo. Es difícil no percibir aquí

⁴³ Las cursivas son nuestras. Hace sugerencias similares al final de la *Conversación con el mensajero sideral* de 1610, antes del descubrimiento de la rotación solar por parte de Galileo.

⁴⁴ Casi un cuarto de siglo más tarde, el 19-XI-1634, Galileo escribía a F. Micanzio (*Opere*, XVI: 162-63) que ésta era la única ocasión en que coincidiera con Kepler, cuyo modo de filosofar “agudo y libre (quizá demasiado)” difería mucho del suyo propio. “Y puede ser que, escribiendo de las mismas materias, tan sólo por lo que atañe a los movimientos celestes hayamos dado tal vez con alguna concepción similar”.

⁴⁵ Véase la carta a B. Castelli del 21-XII-1613, *Opere*, V: 287-88.

⁴⁶ Carta del 23-III.1615; *Opere*, V: 301-305.

los armónicos neoplatónicos del gran animal cósmico con una circulación cíclica para su nutrición y actividad, especialmente cuando Galileo cita largamente al Pseudo-Dionisio. El corazón del mundo es el Sol que recicla en sí todas las cosas, a las que conecta y rige mediante las emanaciones y la luz.

Galileo sabía de los esquemas neoplatónicos al servicio del copernicanismo que ponían en el Sol el origen de la actividad⁴⁷. El naturalismo tardo-renacentista, de Telesio a Campanella o Bruno, formaba parte del medio intelectual de Galileo, especialmente en una Florencia en la que Ficino había propagado el neoplatonismo, incluidas las ideas de Plotino sobre las emanaciones y el espacio como luz. De hecho algunos de sus seguidores, como A. Nardi y O. Ricasoli Rucellai, ensayaron sintetizar las doctrinas galileanas en un amplio esquema renacentista, cuando no descaradamente neoplatónico. Es el caso de Ricasoli, quien exponía su metafísica de la luz sugiriendo repetidamente que procedía de las enseñanzas acroamáticas que nuestro académico destilaba en Arcetri al oído de sus íntimos.⁴⁸ Si bien es cierto que tras 1616, Galileo no incurrió públicamente en estas libertades especulativas, así como que hay que tomar *cum copia salis* las pretensiones de Ricasoli Rucellai de prestar a sus ideas el apoyo de Galileo, está claro que éste tomó en consideración las visiones neoplatónicas de la función de la luz en la economía del cosmos, siquiera fuese para reformularlas en un formato mecánico. Así, no es descabellada la atribución que Ricasoli hace a Galileo de que:

quizá la luz pudiese ser el comienzo universal de la naturaleza, ya que creía que la luz era la extrema expansión, esto es, la última rarefacción que darse pudiera, y de ese primer principio se formaron todas las demás cosas al condensarse aquélla más o menos, hasta la condensación más tupida y fija incluso de las piedras más duras e impenetrables.

Galileo dejó entrever estas ideas en los *Discorsi*. Pero, según pretende Ricasoli, no habría sido más explícito porque “no quería en absoluto, mediante cien o más proposiciones aparentes sobre las cosas naturales, desacreditar y perder la ventaja de las sólo diez o doce que había hallado y cuya verdad había demostrado”.⁴⁹ Que distinguiera las teorías demostradas de las especulaciones plausibles no quiere decir que no tomase a éstas en serio, y

⁴⁷ Véase la contribución a este volumen de W. Appelbaum y R. Baldasso, “Galileo and Kepler on the Sun as planetary mover”, pág. 381 y sigs.

⁴⁸ A. Alfani, en la pág. 284 de su obra *Della vita e degli scritti di Orazio Ricasoli Rucellai*, Florencia: Barbèra, 1872, pretende que la metafísica de la luz de Ricasoli Rucellai es “un fruto galileano” y que el triunvirato formado por A. Nardi, R. Magiotti y E. Torricelli recibió la influencia del Galileo oculto, que es “aquél sobre todo de los últimos años de su vida, cuando al charlar con sus discípulos exponía pensamientos que, exceptuando unos pocos (principalmente en los libros de Viviani y Magalotti), son en su mayoría desconocidos”.

⁴⁹ A. Alfani, *op. cit.*, pág. 141 y sig. Cf. la pág. 290 de los *Dialoghi filosofici*, editados por F. Palermo, *I manoscritti palatini di Firenze*, Florencia: M. Cellini, 1868, Vol. III.

no cabe duda de que sus doctrinas sobre los alisios, los cometas o las manchas solares se alimentan de visiones e hipótesis especulativas sin las que, excepto para el positivista más extremo, la investigación no es posible.

No obstante, y al margen de las motivaciones circunstanciales que pudiera tener Galileo para defender de este modo el copernicanismo, su versión de las emanaciones solares que mueven tangencialmente a los planetas es más materialista y mecánica que la de Kepler, pues, como veremos, la luz y el calor no son para Galileo sustancias especiales, sino corpúsculos cualesquiera con el tamaño y velocidad adecuadas. Su discípulo B. Castelli⁵⁰ le había sugerido un par de años antes de que él le contara su versión del milagro de Josué, cómo la materia emitida por el Sol podía circular y animar el mundo. Pero se trataba de la materia ordinaria presente en esas manchas solares que Galileo considera ahora su “alimento o excremento”. Para Castelli, las manchas son reservorios de materia ordinaria que la vibración del Sol acelera y despide. Como no pueden alcanzar instantáneamente la velocidad de la luz, inicialmente aparecerán oscuras, aunque cuando finalmente la alcancen, “tendrán esa apariencia que llamo luz”. Tras llegar a los cuerpos opacos, penetran por sus poros y los mueven con ese movimiento que constituye el calor.

Para Galileo la luz no es una sustancia de naturaleza y fuerza especial, sino que es la materia ordinaria con el tamaño y movimiento adecuados. El fuego o calor son partículas mínimas y veloces de cualquier cuerpo capaces de entrar en los poros de otros cuerpos y disolverlos en partes que se convierten en otras partículas mínimas ígneas, proceso que continúa mientras haya más materia soluble (o combustible). Si se frota dos cuerpos, pueden resolverse en “mínimos sutilísimos y volantes” que causan la sensación de calor.

Y tal vez, mientras la sutilización y la atrición se mantenga en los límites de los mínimos extensos, su movimiento es temporal y su operación sólo calorífica. Mas al alcanzar luego la última y altísima resolución en átomos realmente indivisibles, se crea la luz de movimiento o mejor dicho expansión y difusión instantánea...⁵¹

Por más que se haya visto atraído por la metafísica cosmológica de la luz, Galileo la reformula en términos mecánicos: “No puedo creer que la

⁵⁰ En una carta de Mayo de 1612; *Opere*, V: 302 y sig. En la *Mattonata*, del 15-VIII-1637 (*Opere*, XVII: 121 y sigs.), la luz, como Dios, hace al mismo tiempo las cosas más humildes y “los otros innumerables, inmensos y maravillosos negocios”: calienta ladrillos pintados a la vez que ilumina, viste los campos, cubre los montes de bosques y llena de animales la mar, la tierra y el aire.

⁵¹ *Il Saggiatore*, final del apartado 48; *Opere*, VI: 350-52. Más tarde, en los *Discorsi* (VIII, 66, 85-86), las partículas últimas son matemáticamente indivisibles, no sólo las del fuego y la luz, sino también las del agua y los líquidos.

acción de la luz, por pura que sea, se haga sin movimiento” (*Discorsi*, VIII: 87). La materia ordinaria y la luz se convierten la una en la otra, y la circulación cósmica mediante la luz se produce por condensaciones y rarefacciones:

con estos razonamientos hallareis millares de rarefacciones similares [como la explosión de la pólvora y la expansión de la luz], más fáciles de observar que las condensaciones, pues los materiales que inicialmente son densos son más fáciles de manejar y captar con los sentidos. Podemos manipular la madera y ver cómo se resuelve en fuego y luz, pero no vemos cómo el fuego y la luz se condensan para formar madera [VIII: 104 y sig.].

Galileo no consideró oportuno divulgar sus especulaciones sobre la luz por no poder demostrarlas como sus otros resultados más firmes, pero parece que las tuvo en cierta estima. Con todo, la obligada prudencia no nos permite saber más en concreto cuál era el ciclo y qué lo ponía en marcha, salvo que el Sol tenía una parte importante en ello, siquiera sea como *estación de bombeo*. En efecto, esa luz creada tres días antes que el Sol y difundida por el cosmos, se condensa en éste desde fuera, “ab extra”, de manera que el flámígero astro diurno no es la fuente primaria de la luz, que proviene de Dios, sino un reservorio o depósito en que se vigoriza, difundiéndose de nuevo por el espacio para animar los mundos, cumpliendo así un proceso circulatorio de regeneración.⁵²

Pero, dejando de lado dificultades filosóficas y teológicas, supongamos que se haya de tomar en serio su idea de que hay una emanación solar que transporta circularmente a los planetas, pues siendo el círculo su lugar natural, carecen de resistencia interna y un impulso mínimo se conserva indeleblemente. Pero si esas velocidades no se acumulan produciendo una aceleración constante, debería ser porque se alcanza el equilibrio con la resistencia del éter... Pero es inútil plantear estas preguntas que el propio Galileo rehusó tratar, dejando a otros la exploración de diversas vías para abordar la dinámica del cosmos.

Tras la condena de Galileo, y durante un buen par de décadas, los galileanos hubieron de obviar la cosmología y el mecanicismo atomista de *Il Saggiatore*. Torricelli y Ricci desistieron de su idea de publicar las obras de Castelli a la muerte de éste en 1643, y los manuscritos astronómicos del propio Torricelli han desaparecido. Sólo en los años sesenta empezaron a bullir de nuevo los átomos⁵³ y Borelli, discípulo de Castelli, planteó su teoría planetaria. Si Galileo no resolvió los problemas de la dinámica cósmica, se los planteó y, si lo dicho hasta aquí es correcto, ensayó diferentes ideas, desde los torbellinos y la gravedad jerárquica a la naturaleza

⁵² Carta a Dini del 23-III-1615; *Opere*, V: 302 y sig.

⁵³ Véase Susana Gómez López, *Le passioni degli atomi*, Florencia: Leo Olschki, 1997.

activa de la luz. Es frecuente ver los análisis de Galileo a la luz de la síntesis de Newton, como algo muy próximo a la mecánica clásica y muy lejano del aristotelismo y el platonismo. Es un error. Galileo dialogaba con Platón y Aristóteles, con Bruno y Kepler; no con Newton. La cosmología era para Galileo un misterio y ni quiso ni pudo desarrollar públicamente sus ideas, aunque las dejó entrever aquí y allí de manera inconsistente e incompleta.

