

la *música de los planetas*. Por supuesto, el compositor no puede ser otro que Dios, el cual ha concebido el universo desde la doble armonía matemática (geométrica) y musical. Por ello lo creado es la más perfecta obra que ha podido salir de su mano.

Desvelar el *secreto del universo* ha implicado poner de manifiesto la *armonía del mundo*. Más de veinte años han pasado entre una y otra obra, sin que el objetivo final haya cambiado. Se pretendía mostrar la verdad del sistema copernicano poniendo de manifiesto que sólo una *teoría físicamente verdadera* podría poner ante los ojos del intelecto las leyes estructurales que gobiernan el cosmos. Además, ello hará que sea útil desde la perspectiva de la observación y del cálculo; pero una teoría falsa como es la ptolemaica también puede ser útil. Por ello el criterio no es la utilidad sino la verdad.

No cabe duda de que Kepler, en la transición del siglo XVI al XVII, es uno de los más radicales *defensores realistas del sistema copernicano*. Su contribución a la causa, sin embargo, ha tenido una orientación muy distinta a la de G. Bruno. Este último había propuesto, no sin cierta osadía, la ruptura de la esfera estelar, la dispersión de las estrellas, la multiplicidad de los mundos, la infinitud del universo. Ningún tipo de apertura hacia el infinito hallamos en Kepler. El universo sigue siendo único, formado por seis y sólo seis planetas, con un privilegiado Sol central (que de ningún modo es un astro como los demás) y con estrellas encerradas dentro de la bóveda celeste, que no se elimina. En consecuencia, seguimos dentro de un mundo esférico, cerrado, limitado, regido por criterios estéticos de orden, armonía y regularidad. Los dos grandes principios astronómicos formulados en Grecia, el de uniformidad y el de circularidad, han sido reemplazados. Pero el cosmos griego en cierto modo permanece. Nada más ajeno a lo que Kepler describe que un universo ilimitado, ciego y mecánico, tal como el que su contemporáneo Descartes, por ejemplo, se afanaba por construir.

4 La física y el movimiento de la Tierra

4.1. Galileo Galilei: la física de una Tierra en movimiento

Siete años mayor que Kepler, Galileo es también un copernicano de segunda generación. Ambos nacen más de dos décadas después de la publicación del *De Revolutionibus* de Copérnico, en una época en la que el pensamiento dominante entre protestantes y católicos es aristotélico-ptolemaico. La obra de Kepler ha tenido como pretensión mostrar la verdad del copernicanismo mediante el hallazgo de las *leyes y armonías* que rigen la estructura del cosmos y el movimiento de los cuerpos celestes. En cambio, la contribución de Galileo a esta misma causa muestra características muy diferentes.

De lo que se tratará es de cumplir un doble objetivo. Por un lado, aspira a poner de manifiesto que los nuevos *fenómenos celestes*, a los que la utilización del telescopio le dará acceso por vez primera, se ajustan mejor a una concepción heliocéntrica del mundo que geocéntrica. Por otro, tratará de rebatir a quienes, desde la Antigüedad, han considerado los *fenómenos terrestres* como una prueba de la inmovilidad de la superficie que pisamos debido a que no percibimos su supuesto movimiento. La posibilidad de que éste no sea observable para quienes participan de él va a abrir las puertas a una completa renovación de las ideas mecánicas que regían desde Aristóteles. La fundamental noción de *movimiento inercial* hará su aparición, poniendo de manifiesto toda su fecundidad cuando es cuestión de hacer física en un mundo en el que la Tierra no está en reposo.

Se desarrollan así de modo paralelo dos tipos de investigaciones en favor del sistema copernicano. Por un lado la *física celeste* de Johannes Kepler, por otro la *física de una Tierra móvil* (la expresión es de Cohen, 1989: cap. 1.º) de Galileo Galilei. En uno y otro caso puede afirmarse que ha comenzado la construcción de la llamada *ciencia moderna* que conduce, en la segunda mitad del siglo XVII, a la síntesis de Isaac Newton.

4.1.1. La biografía intelectual de Galileo

El 15 de febrero de 1564 nació en Pisa (ciudad perteneciente entonces a la república italiana de Florencia) el hijo primogénito del matrimonio formado por Vicenzio Galilei y Giulia Ammannati di Pescia. Le pusieron por nombre Galileo. Posteriormente vendrían al mundo otros seis hijos más. Su infancia transcurre entre esta ciudad y Florencia. Cuando contaba diecisiete años inicia sus estudios universitarios en la facultad de artes de la Universidad de Pisa, con la intención (más atribuible al padre que al hijo) de convertirse en doctor en medicina. Sin embargo, nunca accederá a esta titulación dado su escaso interés por la materia. Su auténtica vocación eran las matemáticas, disciplina que cultivaba en privado y al principio sin conocimiento de su padre.

Tras cuatro años de permanencia en la mencionada Universidad (1581-1585), decide abandonarla y residir de nuevo en Florencia. Allí pasa otros cuatro años con su familia, dando clases particulares y adquiriendo una sólida formación en mecánica, astronomía y, por supuesto, en matemáticas. El estudio de la obra de Arquímedes y de la aplicación que en ella se hace de la geometría a la estática y la hidrostática ejercerá una profunda influencia sobre él. Como se sabe, la estática es la parte de la mecánica que estudia las leyes del equilibrio, es decir, el estado de los cuerpos cuando el conjunto de las fuerzas que se ejercen sobre ellos se compensan mutuamente de modo que se destruyen; por su parte la hidrostática atiende al equilibrio de los fluidos. El desarrollo de la *ley de la palanca* o la formulación del llamado *principio de Arquímedes*, entre otras cosas, hacen de este siciliano del siglo III a. C. un claro antecesor de Galileo y de cuantos, en el siglo XVII, defenderán la matematización de la física en contra de la tradición aristotélico-escolástica.

La influencia de Arquímedes se pone de manifiesto en una obrita sobre la balanza hidrostática escrita en el año 1586 y que lleva por título *La Bilancetta*. En general no parece imprudente afirmar que, ya en tan temprana fecha, las enseñanzas acerca de la física aristotélica recibidas en la Universidad de Pisa (muy probablemente gracias a Francesco Bonamico) pesaban menos que la orientación hacia la matemática aplicada a cuestiones físicas y mecánicas proveniente de Ostilio Ricci, un profesor florentino discípulo de Nicolò Tartaglia.

En el año 1589 la Universidad de Pisa ofrece a Galileo un contrato por tres años como profesor de matemáticas. Dada la estrecha relación siempre existente entre astronomía y geometría, ello implicaba la exigencia de introducir a los alumnos en el conocimiento cuantitativo de los fenómenos celestes, por supuesto dentro de una concepción ptolemaica del mundo. Galileo cumplió

con esta obligación escribiendo incluso un comentario al *Almagesto* de Ptolomeo, sin que sea fácil establecer cuál era su verdadera opinión sobre el copernicanismo en esta época.

A esos años de profesor en Pisa corresponde la redacción de una serie de escritos sobre temas relacionados con el movimiento que hoy conocemos como *De Motu*. Su inclinación al modo de proceder de Arquímedes, más que al de Aristóteles, se pone de manifiesto en que el uso de la matemática forma parte imprescindible de la resolución de los problemas que plantean los desplazamientos de móviles diversos, bien en caída libre, bien a lo largo de planos con diferentes grados de inclinación. Aquí Galileo establece algo tan fundamental (en contra de Aristóteles) como la igualdad de tiempos empleados por cuerpos de distinto peso al caer desde idénticas alturas en el mismo medio.

Una vez cumplido el contrato que tenía en Pisa, en el año 1592 se traslada a Padua en cuya universidad (dependiente de la República de Venecia) se le había ofrecido la cátedra de matemáticas durante seis años (si bien permaneció dieciocho). Allí tendrá tres hijos con Marina Gamba, veneciana con la que no llegó a casarse y a la que abandonó cuando dejó Padua en el año 1610.

Aunque no puede afirmarse que durante esta etapa de Padua careciera de interés por cuestiones celestes, lo cierto es que todas sus investigaciones versaron sobre temas terrestres. Unas tiene que ver con el hallazgo de leyes cuantitativas de los movimientos, tales como la del movimiento uniformemente acelerado de los graves en caída libre, el desplazamiento parabólico de los proyectiles o el isocronismo de las oscilaciones pendulares; otras con la invención de utensilios como el "compás geométrico y militar" (algo parecido a una máquina de cálculo). Fruto de todo ello es la publicación de su *Operazioni del compasso geometrico e militare* y la redacción de *Le meccaniche*, no publicada, cuyo contenido en líneas generales fue recogido en su gran obra del año 1638, *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Asimismo se ocupó de fenómenos térmicos y magnéticos (puestos de moda por Gilbert) construyendo, además de imanes capaces de aumentar su fuerza atractiva, un primer termoscopio o termómetro de aire que muestra el aumento de temperatura de un cuerpo (aunque sin escala).

Pero sin duda lo más relevante desde el punto de vista astronómico fue su dedicación al perfeccionamiento de un nuevo artilugio, el anteojo o telescopio, cuya primera patente era del holandés Hans Lippershey. Según se ha mencionado, resulta complicado fijar con claridad la posición galileana con respecto a los grandes sistemas del mundo, el ptolemaico y el copernicano, con anterioridad al año 1610. Si bien es verdad que en mayo de 1597 escribió sen-

das cartas dirigidas a Jacopo Mazzoni y a Kepler en las que se declaraba partidario de Copérnico, lo cierto es que sus manifestaciones públicas en la Universidad de Padua eran favorables a Ptolomeo. Sea como sea, lo más interesante es dejar constancia del modo en que el telescopio iba a alterar el marco de discusión en astronomía y cosmología.

En Galileo personalmente tuvo el efecto de persuadirle por completo sobre la verdad del sistema copernicano, en la medida en que las nuevas observaciones sobre las estrellas de la Vía Láctea, la superficie de la Luna, los satélites de Júpiter, las fases de Venus, las manchas del Sol o lo que posteriormente se han denominado los anillos de Saturno recibían una interpretación razonable y verosímil suponiendo una Tierra móvil desplazada del centro desde la cual se llevan a cabo dichas observaciones, y un Sol ocupando la posición central.

Llegamos así a 1610, año en el que suceden dos cosas importantes. La primera tiene que ver con el cambio de residencia de Padua a Florencia. La segunda se refiere a la publicación de la obra que da cuenta de los primeros resultados en astronomía observacional con telescopio, *Sidereus Nuncius*. El contrato de tres años en la Universidad de Padua se había ido prorrogando hasta convertirse en una cátedra vitalicia. Sin embargo, Galileo opta por abandonar ese puesto y aceptar el de primer matemático y filósofo del gran duque de Toscana, Cosimo II de Medici (máxima autoridad política de la República de Florencia). Ganaba el hecho de ser eximido de dar clase y una remuneración económica superior; perdía la mayor libertad de pensamiento y expresión de la que había disfrutado en la República de Venecia.

La mencionada obra, *Sidereus Nuncius*, suscitó inmediata y ardorosa polémica dentro y fuera de Italia. El problema era doble; por una parte resultaba necesario ponerse de acuerdo sobre *qué se veía* (cosa no fácil con los rudimentarios telescopios de que se disponía); por otra había que decidir hasta qué punto las nuevas observaciones constituían una *prueba* en favor del sistema copernicano.

En la primavera del año 1611 decide emprender un viaje a Roma a fin de tratar de ganarse el apoyo del poderoso e influyente Collegio Romano (el más importante centro de enseñanza de los jesuitas). En el mundo católico interesaba especialmente la posición que adoptara esa institución por su ascendiente dentro del ámbito de las altas esferas eclesiásticas y también por el alto prestigio que había llegado a tener como centro de estudios astronómicos, gracias a la labor desarrollada por el padre Clavius (1538-1612), un convencido realista geocéntrico que enseñaba en dicho Collegio Romano desde el año 1565 y que había sido miembro de la comisión que estableció la reforma gregoriana

del calendario. Al principio este jesuita rechazó que con la interposición de unas lentes entre el ojo del observador y el objeto celeste observado se viera lo que Galileo decía que se veía, considerando más bien que se trataba de una ilusión óptica producida por la mediación de aparatos. Pero cuando dispuso de un telescopio propio y pudo llevar a cabo observaciones sistemáticas reconoció con honestidad que Galileo tenía razón en cuanto a la existencia de satélites de Júpiter y demás fenómenos contemplados por vez primera. Lo que no admitió es que constituyeran testimonios favorables al copernicanismo, estando como estaba convencido de la falsedad de esta doctrina (el hecho es que, según el propio Galileo reconoce, nada de ello constituía pruebas propiamente dichas que permitieran zanjar la polémica entre ptolemaicos y copernicanos).

Este viaje a Roma del año 1611 resultó para Galileo muy alentador ya que fue bien recibido, no sólo por los jesuitas del Collegio Romano (el padre Clavius y el cardenal Bellarmino, entre otros), sino también por cardenales e incluso por el papa Pablo V. Si nos atenemos a las expectativas creadas en esta ocasión, todo parecería presagiar un desenlace mucho más favorable del que tuvo lugar años después.

Tras su regreso a Florencia dos cuestiones acapararon su atención. En primer lugar fue invitado a participar en un debate informal sobre la causa de la flotación de los cuerpos, en el que adoptó una posición arquimedea en contra del aristotélico y anticopernicano Lodovico delle Colombe. Como colofón de dicho debate escribió una obra sobre hidrostática, *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua*, publicada en Florencia en el año 1612, que tuvo el efecto de crearle un buen número de enemigos partidarios del mencionado filósofo. En nada, desde luego, contribuyó a calmar los ánimos otra disputa mantenida esta vez con el jesuita alemán Christoph Scheiner a propósito de las manchas solares. La aparición en Roma, en el año 1613, de la obra *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* no hizo sino aumentar la aversión y el odio de quienes, no siempre sin razón, se sentían burlados y ridiculizados por un sarcástico e implacable Galileo.

Además de estos temas (pese a todo de carácter técnico), Galileo se adentró por caminos mucho más peligrosos que invadían el campo de los teólogos y que hacían referencia a la necesaria independencia entre ciencia y religión. Pretendía mostrar que las Sagradas Escrituras y las tesis copernicanas podían interpretarse de modo que fueran compatibles. La ocasión para abordar tan espinoso asunto se la brindó, sin proponérselo, un discípulo suyo y profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa, Benedetto Castelli. Éste se vio envuelto en una discusión propiciada por la gran duquesa Cristina de Lorena, madre

de Cosimo de Medici, quien gustaba de reunir en su residencia a personalidades capaces de disputar sobre temas diversos. En una de esas ocasiones fue invitado Castelli, a quien se incitó a que se pronunciara sobre la posibilidad de defender el movimiento de la Tierra sin contradecir lo que se afirma en ciertos pasajes de la Biblia.

La defensa del movimiento terrestre por parte de Castelli se basó en la libertad de los estudiosos de la Naturaleza para decidir cuestiones que en el mencionado Libro Sagrado se abordan de modo metafórico y no literal. Huelga decir que en los tiempos contrarreformistas que corrían, no habría de faltar quien encontrara sospechoso semejante punto de vista. Puesto al corriente Galileo por su propio discípulo de lo ocurrido, escribió lo que se conoce como *Carta a Castelli* (21 de diciembre de 1613), en la que insistía en el carácter metafórico de lo narrado en la Biblia. Dos años más tarde, ampliaba estas consideraciones sobre las relaciones entre ciencia y religión en la famosa *Carta a Cristina de Lorena, Gran Duquesa de Toscana* (la dos cartas se hallan contenidas en, Galileo: 1987). Ambas ofrecen interesantes reflexiones sobre un tema que aún hoy no ha perdido vigencia.

Castelli había mostrado la carta de Galileo a un dominico, Nicolò Lorini, quien la copió y en el año 1615 la remitió al Tribunal romano de la Inquisición para que fuera investigada por si contenía afirmaciones incompatibles con lo defendido por la Iglesia católica. Pese a que otro dominico enemigo de Galileo, Tommaso Caccini, declaró en su contra, en esta ocasión ninguna condena se produjo ni contra Copérnico ni contra el propio Galileo. Pero la suerte no dura siempre.

En todo caso lo sucedido le impulsó a visitar de nuevo Roma, en el año 1615, con la intención de disipar todas las dudas acerca de su posición teórica. Desde luego resultó imprudente insistir en su tesis acerca de la independencia de científicos y teólogos en un momento en que la jerarquía católica endurecía sus posiciones ante la presión de los protestantes, por un lado, y de los más celosos contrarreformistas, por otro (entre los que se encontraban los representantes en Roma de la poderosa corona española). La opinión expresada por el influyente cardenal Bellarmino a propósito de una consulta hecha por un carmelita, el padre Paolo Antonio Foscarini, fue clara y tajante: conviene que Galileo se limite a hablar *ex suppositione*, es decir, suponiendo que el movimiento de la Tierra y la posición central del Sol permiten salvar mejor las apariencias, pero sin que ello implique que en realidad, cosmológicamente hablando, las cosas son así. Los diversos pasajes de la Biblia en los que se afirma que el Sol gira en torno a la Tierra han de interpretarse literalmente, a no ser que de modo explí-

cito pudiera *demostrarse* lo contrario, en cuyo caso más bien debiera decirse que no lo entendemos.

Éste es el punto de vista que se va imponiendo en el mundo católico. Además del carácter meramente instrumental del heliocentrismo que la Iglesia siempre había defendido, se establece ahora con la mayor intransigencia algo que todavía en las últimas décadas del siglo XVI no era motivo de conflicto, a saber, la interpretación literal y no metafórica de las Sagradas Escrituras. *Instrumentalismo copernicano y literalidad bíblica* resumen la posición oficial católica hasta finales del siglo XIX. Pero parece como si Galileo se resistiera a aceptar lo inevitable. Prueba de ello es su *Discurso del flusso e refluxo del mare* (1616), dirigido al cardenal Alessandro Orsini, en el que se propone probar la verdad del sistema copernicano mediante una teoría de las mareas (falsa, por otro lado, ya que este fenómeno no se explica por el movimiento de la Tierra sino por la influencia de la Luna). En todo caso el escrito da cuenta de su posición copernicana realista.

Si su ingenua pretensión era acallar las voces anticopernicanas con argumentos y razonamientos, el resultado conseguido fue exactamente el contrario. Ante el cariz que estaban tomando las cosas, el cardenal Bellarmino aconsejó al papa Pablo V que los teólogos del Santo Oficio examinaran las dos proposiciones referidas a la posición central y al reposo del Sol, por un lado, y al movimiento de una Tierra que ya no ocupa el centro del mundo, por otro. El resultado del mencionado examen resultó catastrófico para Galileo, pese a que él mismo no fue condenado y ni tan siquiera aludido. En efecto, el 24 de febrero de 1616 la comisión de teólogos dictaminó lo siguiente:

1. La proposición según la cual el Sol está situado en el centro del mundo y carece de movimiento "es necia y absurda desde el punto de vista filosófico, y además formalmente herética ya que contradice expresamente muchas de las afirmaciones de las Sagradas Escrituras, tanto en su significado literal como en el significado que les atribuyen los Santos Padres y los doctores en teología".
2. La proposición según la cual la Tierra no está situada en el centro del mundo ni es inmóvil, sino que se mueve incluso con el movimiento diurno "merece idéntica censura que la anterior desde el punto de vista filosófico, mientras que desde el punto de vista teológico es errónea en lo que se refiere a la fe".

No faltó quien buscara la condena explícita de Galileo, pero de momento el tema se cerró con una amonestación verbal y privada para que no defen-

diese ni enseñase de ningún modo, ni oralmente ni por escrito, las dos proposiciones anteriores bajo la amenaza de males mayores en caso de desobediencia. El Papa encomendó la tarea al cardenal Bellarmino, de manera que la mencionada amonestación a Galileo tuvo lugar el 26 de febrero de 1616 en la residencia de dicho cardenal, en Roma, con la asistencia no prevista del padre Comisario General de la Inquisición. El edicto que contenía la sentencia del Santo Oficio se promulgó el 5 de marzo de ese año, siendo ésta la primera vez en que era condenado el heliocentrismo por parte de la Iglesia católica cuando habían transcurrido más de setenta años desde la muerte de Copérnico.

El 4 de junio de 1616 Galileo regresa a Florencia. No se había visto obligado a abjurar de sus teorías ni se le había impuesto penitencia alguna, pero se encontraba en una incómoda situación con respecto a la posibilidad de continuar su labor en favor del copernicanismo. Resultaba poco claro si se le había prohibido absolutamente referirse a este asunto o si podía hacerlo *ex suppositione*, es decir, en tanto que hipótesis meramente instrumental. De hecho esta cuestión será motivo de desacuerdo en el proceso que se siga contra él diecisiete años más tarde. Durante un tiempo optó por guardar silencio, ocupándose de precisar algunas de las observaciones astronómicas realizadas con anterioridad. En especial los satélites de Júpiter (cuyos eclipses permitían arbitrar un método para la medición de longitudes) acapararon su atención hasta que en noviembre del año 1618 se divisaron en el Cielo tres cometas. Ello daría pie a una nueva polémica, que en nada había de beneficiar a Galileo.

La aparición de ese triple fenómeno hizo que muchos se ocuparan de la cuestión. Desde luego el Collegio Romano no iba a ser la excepción, de modo que uno de los jesuitas que entendían sobre el tema, el matemático Orazio Grassi, escribió un libro sobre los cometas en el que adoptaba el punto de vista de Tycho Brahe. Por su parte un discípulo de Galileo, Mario Guiducci, se pronunció públicamente en contra de los jesuitas con palabras sugeridas por su maestro. La réplica de Grassi, dirigida directamente contra Galileo, no se hizo esperar, si bien esta vez se ocultó bajo el seudónimo de Lotario Sarsi. A su vez, el propio Galileo respondió con una obra escrita en italiano y publicada en el año 1623, *Il Saggiatore* o *El Ensayador*, cuyo estilo sarcástico tuvo la virtud de atraer sobre sí las iras de todo el Collegio Romano.

Il Saggiatore es una obra equivocada en lo que a la naturaleza de los cometas se refiere (más próxima a Aristóteles que a Brahe). Pero en ella se contienen interesantes reflexiones sobre el carácter matemático de los fenómenos naturales o sobre la hipótesis atomista, lo que la convierte en uno de los escritos galileanos de obligada lectura. Es verdad que no incluye la menor referen-

cia al copernicanismo, pero también es cierto que se pronuncia a favor del otro gran tema tabú para la Iglesia católica, a saber, la concepción atomista de la materia frente a la concepción hilemórfica (materia y forma) de Aristóteles en la que los teólogos habían fundamentado su explicación de la Eucaristía. Galileo parece pues mostrar un cierto gusto por los temas que rozaban el peligro. (En un apasionante libro aparecido en Torino en 1983, el italiano Pietro Redondi sostiene que el factor desencadenante de la condena de Galileo no fue la defensa del heliocentrismo sino justamente su teoría atomista de la materia; P. Redondi, 1990).

Lo que definitivamente le situó en una posición delicada fue un hecho que, en apariencia, hubiera debido serle favorable. Se trata de la elección como papa de un amigo suyo, el cardenal Maffeo Barberini, con el nombre de Urbano VIII. Esto ocurría en el mismo año en que se publicó *Il Saggiatore*, 1623. El nuevo papa no se avino a anular el edicto de condena del año 1616, tal como Galileo le pidió, pero sí permitió a éste que se refiera a su teoría de las mareas a condición de que el movimiento de la Tierra fuera considerado de modo puramente hipotético. Arriesgada concesión dada la personalidad tanto de quien la hacía (el nuevo papa demostró ser persona de carácter poco firme, muy vulnerable a las críticas y comentarios chismosos) como de quien la recibía (Galileo por su parte hizo gala de un temperamento temerario y polémico que no necesitaba de grandes estímulos para acometer imprudentes empresas).

Así, entre los años 1624 y 1630 (con algunos períodos de interrupción) Galileo se decidió a trabajar en su libro más importante en cuanto a la defensa del copernicanismo se refiere. Su título es *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, ptolemaico e copernicano* (*Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano*). Está dividido en cuatro partes o "jornadas", siendo la cuarta la que dedica al tema de las mareas (en el epígrafe 4.1.5 será comentada la estructura y el contenido de la obra). El *Dialogo* se publicó en Florencia en marzo del año 1632, tras obtener con dificultad la correspondiente licencia eclesiástica y civil de esa ciudad. Cinco meses después el libro fue retirado de las librerías por orden de la Inquisición romana y Galileo recibió una citación para comparecer ante ella. A causa de una enfermedad, dicha comparencia se dilató hasta febrero del año 1633. Dos meses después, concretamente el 12 de abril de ese año, se iniciaba uno de los procesos más famosos de la Historia que finalizaría el 22 de junio con la abjuración y la reclusión perpetua de Galileo.

¿Qué había sucedido para que la obra fuera prohibida por la Inquisición? La verdad es que el número de enemigos acumulados por el ilustre y polémico italiano a lo largo de toda su vida fue muy elevado. Y de modo especial los

hallamos en las filas de los jesuitas y de los dominicos. Suelen aducirse dos tipos de hechos que influyeron sobre el Papa, disponiendo su ánimo en contra de su antiguo amigo. Unos le susurraron al oído insistentemente que Galileo se había burlado de él al poner en boca del personaje más simple e ignorante de la obra (que tiene forma de diálogo entre tres interlocutores) palabras pronunciadas por él mismo. Otros le mostraron un acta sin firmas que supuestamente daba cuenta de la amonestación recibida por Galileo del cardenal Bellarmino (ya fallecido) para no defender ni enseñar *de ningún modo* (es decir, ni siquiera a modo de hipótesis instrumental) la doctrina de Copérnico. En la medida en que el papa ignoraba este episodio de la vida de Galileo (que éste, por otra parte, le había ocultado), se sintió burlado y engañado, lo que despertó en él una profunda cólera. Si a ello unimos las presiones de sectores políticos fanáticamente contrarreformistas, como es el caso del embajador del rey de España (cardenal Borgia), para que se tomaran medidas contra todo tipo de desviacionismos, tendremos un cuadro siquiera superficial de la explosiva situación que en el año 1633 degeneró en la apertura del proceso contra el sabio de Pisa.

Se ha discutido mucho sobre la validez de un acta sin firmas como la presentada al Papa. La cuestión que en el fondo se discutía es si el cardenal Bellarmino prohibió absolutamente a Galileo defender el copernicanismo, tal como constaba en la mencionada acta (en cuyo caso éste habría desobedecido la amonestación del año 1616), o si le había sido permitido referirse a ella *ex suppositione*, tal como Galileo sostenía que había sucedido. Si esto último era lo cierto, entonces se había respetado la prohibición puesto que explícitamente se afirma al principio de la obra haber tomado “en la argumentación el partido de la teoría copernicana, considerándola como pura hipótesis matemática” (Galileo, 1994: 5). Ésta es al menos la línea de autodefensa que adoptó Galileo; sin embargo, pese a esas palabras que se vio obligado por los censores a incluir, ninguno de sus lectores podía ignorar que se hallaba ante un convencido realista copernicano. Es por ello que la redacción y publicación de un libro en favor del copernicanismo, por mucha cautela instrumentalista que se adoptara, era de por sí un riesgo que Galileo asumió al estar persuadido de contar con el favor papal. Dominicos y jesuitas, sin embargo, se encargaban de trocar amor en odio, cosa no difícil en un hombre tan orgulloso, impulsivo e inseguro como el papa Urbano VIII.

Extraño proceso el que se desarrolla entre abril y junio del año 1633, puesto que se dispone de un acta escrita sin valor legal frente a la sola palabra del acusado, y poco más. En privado se le recomienda que renuncie a su defensa y admita una cierta culpabilidad no imputable a la mala fe sino a la vanidad,

a cambio de un benévolo trato que excluiría el uso de la tortura y una sentencia no en exceso desfavorable. En efecto, no fue torturado pero sí condenado a reclusión perpetua, tras abjurar públicamente de rodillas. Con casi setenta años se veía obligado a “abjurar, maldecir y aborrecer” la doctrina referente al movimiento de la Tierra, ante el temor (que algunos le han reprochado) de terminar sus días de modo tan dramático como Giordano Bruno.

Sin duda Galileo no esperaba una resolución de los inquisidores tan dura: prisión de por vida y prohibición total de difundir el *Dialogo sopra...* Se le permitió, sin embargo, cumplir la pena primero en la residencia del arzobispo de Siena y después en su propio domicilio (en la villa de Arcetri, en Florencia), el cual no pudo abandonar nunca, ni siquiera para visitar al médico (perdió la vista en 1637). Tras una etapa de mayor condescendencia inicial, tampoco se le autorizó a recibir visitas, por lo que permaneció prácticamente solo durante nueve años con alguna excepción como la de Vicenzio Viviani, un discípulo que pudo acompañarle y escribir lo que Galileo dictaba una vez que éste quedó ciego.

Durante estos últimos años escribió su otra gran obra, junto al *Dialogo*. Se trata de los *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, que vieron la luz en Leyden (Holanda) en 1638. En esta ocasión la lección había sido bien aprendida, de modo que no volverá a ocuparse nunca más del copernicanismo. Por el contrario, retoma asuntos menos conflictivos como son el de la resistencia de los materiales a la ruptura en máquinas de tamaños diversos o el del movimiento local, los cuales había analizado en su etapa de profesor en Padua y sobre los que había escrito en su obra de juventud no publicada *Le meccaniche*. Es pues en los *Discorsi* donde hallamos temas que le han hecho famoso tales como la correcta ley de caída de los graves, la ley del isocronismo de las oscilaciones pendulares o el estudio de la trayectoria parabólica de los proyectiles (lo que exige componer dos movimientos independientes, uno horizontal uniforme y otro vertical uniformemente acelerado).

Lo mismo que el *Dialogo*, los *Discorsi* tienen estructura de diálogo entre los mismos tres personajes que discuten y comentan problemas de estática y de dinámica a lo largo de cuatro jornadas. En ella se abandonan las cuestiones cosmológicas para considerar problemas únicamente mecánicos. Arquímedes ocupa el lugar de Copérnico en cuanto autor que inspira un modo de proceder en el que se combinan matemáticas y experimentación. Pese a la prohibición expresa de la Inquisición, en el año 1635 y en 1641 se publicaron en Estrasburgo dos ediciones latinas del *Dialogo*. En noviembre de ese año enfermó gravemente y murió en enero del año 1642, once meses antes de que nacie-

ra Isaac Newton en la distante Inglaterra. La mencionada obra permaneció en el *Índice de Libros Prohibidos* hasta 1835. (Sobre la biografía de Galileo pueden consultarse: Beltrán, 1983; Drake, 1983 y Geymonat, 1986).

4.1.2. Nuevas observaciones celestes mediante telescopio

Según se desprende de lo dicho hasta aquí, en el conjunto de la obra de Galileo destacan dos tipos de investigaciones que admiten una consideración independiente y que pueden resumirse haciendo uso de los dos nombres propios ya citados: Arquímedes y Copérnico. En efecto, en un caso se atiende a temas relativos a las leyes del equilibrio, leyes del péndulo, fenómenos magnéticos y térmicos, movimiento de los cuerpos por planos de diferente inclinación, ley de caída de los graves, etc., de todo lo cual se ocupa preferentemente antes del año 1610 y después de 1633. Constituyen trabajos que Geymonat califica de "matemática aplicada" y que muestran la simpatía intelectual de Galileo hacia el modo de hacer física de Arquímedes frente al de Aristóteles. El otro caso tiene que ver con la cruzada llevada a cabo en favor del sistema copernicano del mundo en el período comprendido entre las dos fechas anteriores.

El año 1633 marca el fin de la campaña de Galileo en pro del copernicanismo debido a que es entonces cuando tiene lugar la condena por parte de la Inquisición. Mayor explicación precisa el hecho de que tal empresa comience hacia el año 1610, momento en que se publica el *Sidereus Nuncius* (*La Gaceta sideral*. En: Galileo-Kepler, 1984: 28-90). En primer lugar se plantea el problema de cuándo y por qué Galileo, que había sido educado en la doctrina ptolemaica, habría sustituido dicha doctrina por la de Copérnico. No es fácil responder a esta cuestión, ya que durante sus años de profesor en Pisa y Padua (esto es, entre 1589 y 1610) públicamente aparece como un despreocupado ptolemaico, si bien en privado hace algunas manifestaciones en favor de Copérnico. En concreto, según se ha mencionado páginas atrás, en mayo y agosto respectivamente del año 1597 escribe sendas cartas al filósofo Jacopo Mazzoni y a Johannes Kepler en las que se confiesa copernicano. Especial interés tiene la remitida a Kepler, la cual es respuesta al envío de éste de su obra *Mysterium Cosmographicum*. En dicha carta incluso manifiesta disponer de pruebas que ponen de manifiesto la verdad del sistema copernicano. Ignoramos en qué podrían consistir éstas (si es que en efecto disponía de alguna), pero lo que sí parece es que dichas pruebas no serían de carácter estrictamente astronómico. Tal vez se basaran en consideraciones físicas antiaristotélicas que hacían menos verosímil un mundo geocéntrico.

El 9 de octubre de 1604 tuvo lugar un fenómeno que apartó su atención durante un tiempo de los estudios de mecánica. Se trata de la aparición de una *nova stella* en la constelación de Ofiuco. Lo mismo que hiciera Tycho Brahe en el año 1572 con ocasión de la observación de otra nova (epígrafe 3.2.2), Galileo supuso que si este nuevo cuerpo celeste, hasta entonces no observado, estaba situado en la región sublunar como pretendían los aristotélicos, entonces debería producirse paralaje (variación en la posición aparente de la estrella). Al no constatar tal cosa, la conclusión era que se hallaba tan alejado como para ser considerado una verdadera estrella, y no un simple fenómeno atmosférico. Ahora bien, ello ponía en entredicho la inmutabilidad de los cielos defendida por Aristóteles, así como la fundamental división del mundo geocéntrico en dos zonas, una por encima y otra por debajo de la Luna. La nova del año 1604 no constituía una prueba del sistema copernicano, pero debilitaba el aristotélico-ptolemaico. A los pocos meses desapareció de la vista y Galileo volvió a sus quehaceres arquimedeanos alejados de la astronomía.

Lo que realmente cambiaría este estado de cosas es algo importantísimo que no sucedió en el Cielo teniendo a los astros por protagonistas, sino en la Tierra como consecuencia de la intervención de los humanos. Nos referimos a la *invención del telescopio y su utilización para fines astronómicos*. La construcción de este peculiar artilugio tiene una larga historia tras de sí relacionada con la óptica geométrica o estudio del comportamiento de la luz. Dichos estudios (y muy especialmente los de Euclides) habían permitido conocer su propagación en línea recta, además de los fenómenos de reflexión y refracción. La reflexión se produce de modo ejemplar en los espejos, mientras que la refracción es especialmente manifiesta cuando se ven los objetos a través de cuerpos transparentes. La consecuencia en cualquier caso es una distorsión de las imágenes transmitidas que había que tratar de corregir. El tema resultó ser más sencillo cuando se trataba de pulir espejos (inicialmente de plata), siendo la forma geométrica un factor decisivo de la mayor fidelidad de aquéllas. En cambio, los vidrios representaban el asunto más complicado debido a la especial dificultad de fabricarlos sin imperfecciones.

Interesaba, sin embargo, construir vidrios capaces de lograr la ampliación de las imágenes. En la Edad Media se utilizaron para aumentar el tamaño de las letras al ponerlos en contacto con el pergamino o papel y poder corregir de este modo algunos problemas de visión como la presbicia. Tampoco los renacentistas fueron ajenos al interés por el estudio de las lentes y la obtención de imágenes por medio de ellas. Así, se conocieron las propiedades de las lentes cóncavas y convexas, pero siempre con el obstáculo de no poder conseguir un pulido regular y unos vidrios de razonable calidad.

Es en este contexto donde hay que situar, en las últimas décadas del siglo XVI, la aparición del primer *anteojo* (denominado por el filólogo Demisiani *telescopio* a principios del siglo XVII), probablemente montado por diferentes personas dispersas por la geografía europea y usado sobre todo para escrutar los mares (advirtiendo de la llegada de barcos enemigos) y las tierras llanas. No es de extrañar, por tanto, que el primer telescopio que en el año 1608 fuera patentado correspondiera a un oriundo de los Países Bajos, el holandés Hans Lippershey (ca. 1570-1619), cuya principal contribución consistió en insertar dos lentes en un tubo de metal a fin de proporcionar una mayor comodidad a la visión.

A principios del año 1609, Galileo tuvo conocimiento de este invento capaz de ampliar el tamaño de objetos lejanos. Desde el punto de vista práctico, de inmediato advirtió su utilidad en una república de marinos como era la Serenísima de Venecia (lo que le proporcionó ventajas económicas); desde el punto de vista teórico aportó fundamentales resultados a la astronomía de observación que modificarían para siempre el *status* del sistema copernicano. Se puso pues manos a la obra y en poco tiempo consiguió perfeccionar el anteojo hasta alcanzar veinte aumentos, mientras que sus contemporáneos no lograban pasar de tres o cuatro.

En esencia constaba de una lente cóncava más próxima al ojo (ocular) y otra convexa más cercana al objeto (objetivo), ambas embutidas en un tubo de metal (a tales telescopios de ocular cóncavo se les llamó *telescopios galileanos* para distinguirlos de aquellos otros de ocular convexo denominados *telescopios keplerianos*). Además incorporó un diafragma o apertura oval en el objetivo a fin de regular la cantidad de luz que dejaba pasar, lo que permite suponer que descubrió pronto las aberraciones cromáticas o defecto del instrumento óptico que presentan los objetos contorneados con los colores del arco iris. Si a lo anterior unimos una mejor calidad de las lentes que él mismo pulía, en conjunto puede decirse que Galileo obtuvo el máximo rendimiento posible del anteojo de la época. Y ello por puro procedimiento de ensayo y error ya que, a diferencia de Kepler, no era en modo alguno un teórico de la óptica.

Pero lo más relevante quizá no sea tanto el perfeccionamiento mismo del instrumento óptico patentado por Lippershey, pese a ser muy importante, como el *uso* que Galileo le dio más allá de la observación de objetos terrestres en el horizonte con fines comerciales y, sobre todo, militares. Aunque es cierto que no fue el primero que orientó el telescopio a la bóveda celeste (Thomas Harriot, en concreto, había estudiado la superficie de la Luna de este modo en el año 1609), sin embargo no puede negársele el mérito de haber sido el

que *comprendió* antes que nadie la importancia de observar los cuerpos celestes interponiendo entre ellos y el órgano de la visión un aparato que acortara las distancias que los separan. Y también fue el que se anticipó a publicar los resultados obtenidos en una obra que causó un gran impacto en la época, *Sidereus Nuncius*, la cual dibujaba un nuevo panorama celeste totalmente imprevisible tras muchos siglos en los que siempre se había percibido lo mismo.

Llegados a este punto, procede preguntarse *qué vio* Galileo con su flamante telescopio dirigido sistemáticamente a todos los tipos de seres celestes conocidos desde la Antigüedad: estrellas, planetas, Sol y Luna. Dando cuenta de sus observaciones en el orden cronológico en que fueron establecidas (al menos tal y como aparecen relatadas en la mencionada obra), hay que comenzar hablando de la *Luna*.

En verano del año 1609 decide mirar este cuerpo con el nuevo instrumento. El asombro fue grande al reparar en que, pese a haber sido concebido por los griegos como perfectamente esférico, inmutable, etéreo, homogéneo y, en definitiva, por completo distinto a la Tierra, presentaba un aspecto demasiado parecido a ésta. Un extraño conjunto de luces y sombras, desigualmente repartidas, fue interpretados por el perspicaz Galileo como consecuencia de una orografía lunar formada por valles y montañas. Así, supuso ("suponer" no es "ver") que las manchas eran *valles* y los puntos luminosos *montañas* que emergían de la superficie hasta alcanzar cierta altura (máximo de seis mil metros, según calculó), debido a lo cual presentaban mayor luminosidad. Al contemplar los cambios que se producían en función de la iluminación recibida por el Sol en momentos distintos, intuyó que se trataba de una situación similar a la que se produce en la Tierra al amanecer. En efecto, cuando aún no ha llegado la luz a los valles terrestres, sólo los montes que los circundan por la parte opuesta al Sol aparecen resplandecientes. Por su parte, en la Luna se divisaban zonas oscuras en el lugar en el que se halla el Sol con contornos muy luminosos en la parte opuesta que, según esta analogía, corresponderían a los picos de hipotéticas montañas lunares. A medida que la luz diurna aumenta en la Tierra, las sombras de sus valles disminuyen; del mismo modo se observaba que las manchas lunares iban perdiendo su oscuridad, lo que quería decir que la luz del Sol había comenzado a invadir sus valles.

La superficie de la Luna y de los demás cuerpos celestes, concluye Galileo, no es de hecho lisa, uniforme y de esfericidad exactísima, tal como ha enseñado de ésta y de otros cuerpos celestes una numerosa cohorte de filósofos, sino que, por el contrario, es desigual, escabrosa y llena de cavidades y prominencias, no de otro modo que la propia faz de la Tierra, que pre-

sentada aquí y allá las crestas de las montañas y los abismos de los valles (*La gaceta sideral*. En: Galileo-Kepler, 1984: 41-42).

A continuación enfocó su anteojo hacia las *estrellas*. Lo que de entrada resultaba relevante es la diferente apariencia de planetas y estrellas. Los primeros aumentaban su tamaño hasta parecer discos redondos, mientras que las segundas apenas cambiaban la forma que tienen a simple vista, lo que fue interpretado por Galileo como una consecuencia de su enorme lejanía. Además aparecieron nuevas estrellas que eran invisibles sin telescopio, cosa que avalaba la anterior interpretación: no se observan a ojo desnudo, no porque fueran muy pequeñas, sino porque estaban a fantásticas distancias de la Tierra.

En tercer lugar contempló la naturaleza de la *Vía Láctea* o *Galaxia*. La tesis aristotélica la convertía en un fenómeno meteorológico similar al de los cometas. Sin embargo, Galileo puso de manifiesto que "no es otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en montón. [...] Además las estrellas que hasta estos días han denominado todos los astrónomos *Nebulosas* son cúmulos de estrellitas admirablemente esparcidas" (Galileo-Kepler, 1984: 65-66). El universo estelar se despliega ante el primitivo telescopio, de modo que mirar la bóveda celeste supondrá en el futuro adentrarse en un mundo de luz que parecerá multiplicarse incesantemente.

Pasemos a continuación a los *planetas*, siendo Júpiter el primero de ellos que cae bajo su atenta mirada telescópica el 7 de enero de 1610. Aquí le aguardaba una gran sorpresa.

Mas lo que supera con mucho todo lo imaginable y que principalmente nos ha movido a llamar a la vez la atención de astrónomos y filósofos, es precisamente haber descubierto cuatro estrellas errantes que nadie antes que nosotros ha conocido ni observado, las cuales, a semejanza de Venus y Mercurio en torno al Sol, presentan sus propios períodos en torno a una estrella insigne, que se cuenta entre las conocidas, ora precediéndola, ora siguiéndola, no alejándose jamás de ella fuera de ciertos límites (Galileo-Kepler, 1984: 37).

Esas "cuatro estrellas errantes" nunca vistas antes son lo que Kepler denominó *satélites de Júpiter*, mientras que Galileo los bautizó con el nombre de "planetas medicos" en honor del duque de Medici. Se trata de Ío, Europa, Ganimedo y Calisto. Puesto que los nuevos astros contemplados aparentemente seguían siempre a dicho planeta en sus desplazamientos, lo mismo que

hace la Luna con la Tierra, no resultaba absurdo concluir que "realizan sus revoluciones en torno a él, al tiempo que todos a una cumplen sus revoluciones en torno al centro del mundo" (Galileo-Kepler, 1984: 88).

Meses después, esto es, en la primavera del año 1610, Galileo publicó todos estos descubrimientos en la citada obra *Sidereus Nuncius* (*La gaceta sideral*). Posteriormente vendrían nuevas observaciones referidas también a planetas, en concreto a Saturno y Venus por este orden. En efecto, en julio de ese año advirtió, admirado, que Saturno presentaba una extraña forma cuando se le contemplaba con el anteojo, pues no parecía ser un solo cuerpo sino tres juntos que se tocan, uno grande en el centro y dos pequeños en los lados. En cambio, si el anteojo era de menor aumento, no se percibían tres cuerpos sino uno solo en forma de aceituna (oblongo en el ecuador). Se trata de lo que él califica como "extravagancia de Saturno", que no supo explicar.

Pero lo que definitivamente le desconcertó fue lo siguiente. Tras observarlo durante unos meses sin advertir el menor cambio en su aspecto "trícórporeo" y dejar de prestarle atención durante otros dos meses más, cuando volvió a él lo encontró solitario, sin los dos cuerpos laterales y, por tanto, con una forma tan redonda como la de Júpiter. ¿A qué se debía tan extraña mutación? Las limitaciones del telescopio de Galileo no le permitieron llegar a saber que lo que había descubierto es lo que conocemos como los *anillos de Saturno* (conjunto de partículas de finísimo polvo, que se distribuyen uniformemente en sistemas de "anillos" que circundan este planeta; no se trata pues de ningún nuevo cuerpo celeste). Dependiendo de la posición relativa de Saturno, la Tierra y el Sol, el observador terrestre puede contemplar su brillo o no. Es pues comprensible la turbación de Galileo que sucesivamente veía y no veía algo con su instrumento óptico (será Huygens quien establezca la verdadera naturaleza de este fenómeno a mediados del siglo XVII gracias a la utilización de un telescopio más potente).

En octubre del año 1610 pasó a ocuparse de otro planeta, Venus. Durante muchos días su figura es perfectamente redonda, pero gradualmente comienza a alterar su forma y tamaño atravesando por las mismas variaciones que se dejan ver en la Luna. Se trataba de las *fases de Venus*, que constituyeron uno de sus mejores argumentos en favor del sistema copernicano. En efecto, la teoría de Copérnico predecía tales fases, pero puesto que no se detectaban a simple vista (Venus está demasiado lejos para distinguir de él algo más que un punto luminoso), ello constituía un serio obstáculo para este astrónomo. Al contemplarlas con telescopio, Galileo logró corroborar su existencia proporcionando así un arma importante a los defensores de la nueva astronomía.

Además estableció que lo mismo había de ocurrir con el otro planeta situado entre la Tierra y el Sol, Mercurio. Su excesiva proximidad al Sol impide una adecuada observación, pese a lo cual Galileo estaba seguro de que le era aplicable idéntico planteamiento.

Lo anterior tenía una consecuencia inmediata. La Luna tiene fases porque, al carecer de luz propia, refleja la del Sol. Por la misma razón, Venus (y, por extensión, el resto de los planetas) ha de ser un cuerpo opaco iluminado por la luz de aquél. En la época aún no se disponía de una solución definitiva al problema de si los planetas se asemejan a la Luna (cuerpos opacos) o a las estrellas (cuerpos luminosos). Ahora la respuesta no dejaba lugar a dudas: todos los planetas reciben la luz del Sol, siendo oscuros por naturaleza; en cambio las estrellas brillan por sí mismas.

Por último, Galileo hizo otra gran aportación a la astronomía, esta vez a propósito del Sol. A principios del año 1611 un astrónomo de Wittenberg, Johann Fabricius, había publicado una obra en la que se describían las llamadas *manchas solares* (parte central oscura rodeada de una aureola más clara), que presentaban un aspecto cambiante. Puesto que ello ponía en cuestión la inmutabilidad de ese astro, en ambientes escolásticos se apresuraron a dar una explicación acorde con la física aristotélica. En concreto, el jesuita y profesor de la Universidad de Ingolstadt, Christoph Scheiner, supuso que o bien eran consecuencia de la interposición de multitud de pequeñísimos cuerpos celestes que giran alrededor del Sol (por debajo de Mercurio), o bien eran fenómenos atmosféricos (tales como nubes muy altas) que obstaculizarían la visión desde la Tierra. En todo caso se trataba de garantizar que ninguna variación pudiera atribuirse al propio Sol. Galileo discutió el planteamiento de este autor en una obra publicada en Roma en el año 1613, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari*.

Ello dio pie a una agria polémica referida tanto a la prioridad del descubrimiento (pese a que ni uno ni otro contemplaron el fenómeno por vez primera), como a su interpretación. Esta última cuestión era del mayor interés. Aun cuando no estuviera clara su naturaleza física, consideraciones varias llevaron a Galileo a concluir que las manchas solares están en la superficie del Sol, y no en alguna región entre él y la Tierra. Además, debido a que periódicamente se ven y se dejan de ver, conjeturó con todo acierto que ello era efecto de la rotación de este astro. Ahora tendríamos, en consecuencia, un Sol central con movimiento giratorio, que no respondería al esquema de perfección e inmutabilidad que se le había aplicado durante tantos siglos.

En resumen, entre los años 1609 y 1613 Galileo acumuló una serie de fundamentales observaciones telescópicas referidas a la Luna, las estrellas, los pla-

netas y el Sol. Sin embargo, aquí se suscita una dificultad radical que no se le planteó al gran astrónomo Tycho Brahe. No es lo mismo observar a ojo desnudo que por medio de un antejo. En este segundo caso es preciso servirse de un *dibujo* si se quiere contar a otros lo que se ha visto (al menos hasta la introducción de la fotografía astronómica). Pero dicho dibujo ha de reproducir lo que efectivamente se *ve* más lo que se *interpreta* (el caso de la orografía de la Luna es bien ilustrativo). Y la mencionada interpretación tiene dos tipos de soportes.

Por una parte, requiere una teoría de la visión como la que posee Kepler pero no Galileo. O en su defecto, un conocimiento de la *técnica de la perspectiva*, como el desarrollado por la pintura italiana del Renacimiento, que permite representar en un plano una figura de tres dimensiones (quizá lo obra más característica al respecto sea *Della pittura*, escrita en la época de Copérnico por Leon Battista Alberti). Se sabe que Galileo leyó dos libros sobre la técnica del claroscuro, *La pratica della prospettiva* de Daniel Barbaro y *La practica di prospettiva* de Lorenzo Sirigatti, lo que pone de manifiesto su interés por el tema de la distribución de la luz y de las sombras en la delineación de un objeto. Hay con todo un ineludible factor de subjetividad, puesto que a la *imagen observada* sólo tiene acceso quien se pone ante el telescopio; en cambio, la *imagen dibujada* puede ser contemplada por todos, pero no hay que olvidar que esta última expresa lo que interpreta quien mira (no hay sino que comparar los diferentes dibujos de Harriot y de Galileo sobre un mismo cuerpo, la Luna, para hacerse cargo de esta cuestión). Luego el primer problema consiste en fijar el tipo de objeto que se tiene ante la vista auxiliada por un antejo (siguiendo con el ejemplo de la Luna, ver luces y sombras no es ver montañas y valles).

Junto al arte de representar en una superficie los cuerpos celestes tal y como aparecen a la mirada telescópica, se plantea la necesidad de contar con una *teoría astronómica* que permita explicar esos nuevos objetos contemplados en los cielos y pintados en un papel (habrá así que justificar teóricamente el hecho de que la Luna tenga valles y montañas, lo cual por cierto se opone a la doctrina física imperante). Es precisamente esa teoría (ya sea ptolemaica, tychónica o copernicana) el pilar más fundamental en el que se apoya la interpretación de los datos obtenidos. En el caso de Galileo, hay que decir que el copernicanismo fue el gran sistema del mundo que dio sentido a sus descubrimientos en astronomía observacional. A su vez, dichos descubrimientos reforzaron su convicción de que se hallaba ante la doctrina *verdadera*, de modo que las de Ptolomeo y Brahe sólo podían ser falsas. De ahí que entre los años 1613 y 1616 (año del decreto condenatorio del heliocentrismo y de la amonestación de Bellarmino) dedicara todos sus esfuerzos a difundir esta buena nueva.

4.1.3. Las cosas celestes antes nunca vistas y el sistema copernicano

Según se dijo anteriormente, se desconoce la fecha exacta y el motivo por el que Galileo abandonó las enseñanzas ptolemaicas recibidas. En el año 1609, sin embargo, debía ya ser un copernicano puesto que desde sus primeras observaciones hizo intervenir la posición central del Sol y el carácter planetario de la Tierra para dar razón de ellas.

La descripción aristotélico-ptolemaica del mundo incluía como característica fundamental la división de éste en dos regiones delimitadas por la esfera de la Luna. Por encima de ella, se situaban los seres celestes, etéreos, imponderables, esféricos, incapaces de sufrir la menor variación y envueltos en su conjunto por la última esfera. Por debajo, en el centro, residía la oscura, pesada e inmóvil Tierra, escenario de todo tipo de cambios. Luego ningún tipo de similitud podía haber entre ésta y la Luna o los planetas. Se trataba de cuerpos distintos con propiedades bien diferenciadas.

Galileo, sin embargo, entiende que lo que observa con su telescopio de hasta treinta aumentos pone en cuestión este esquema no discutido durante siglos. En primer lugar, la orografía lunar (con pronunciados entrantes y salientes) arroja una duda razonable sobre su figura perfectamente esférica, haciendo más bien pensar en algo muy semejante a la propia Tierra. Su similitud se pone también de manifiesto en otra cuestión: ambas se hallan desprovistas de iluminación solar. El examen de la luz de esta última le lleva a tomar partido contra quienes defienden que brilla por sí misma de modo propio y natural. La Luna es un cuerpo opaco, áspero y rugoso, de figura desigual, que no invita a ser considerado como la puerta de entrada a un mundo excelso y celestial, opuesto al que habitamos.

Pero tampoco uno de los más importantes residentes de ese maravilloso Cielo, el Sol, parece cumplir con la exigencia de perfección e inmutabilidad que tradicionalmente se le había atribuido. Razones de peso conducen a Galileo a negar que las manchas que en él se aprecian puedan en realidad corresponder a fenómenos atmosféricos producidos en la región sublunar o a eclipses parciales debidos a la interposición, bien de Mercurio o Venus, bien de minúsculos planetas desconocidos. Pese a los problemas teóricos que ello suscita, concluye que hay que situarlas en la superficie misma del Sol y afrontar el hecho de que también este astro muestre una característica hasta ahora exclusiva de la Tierra, la mutabilidad.

Además atribuye la periodicidad con que se observan las manchas a un hipotético movimiento de rotación del Sol. Lo cual conviene a un tipo de hipó-

tesis dinámica que Galileo comparte con Kepler y que se refiere a la conveniencia de sustituir el primer motor aristotélico por este cuerpo como causa motriz de los movimientos planetarios. Habría así algún tipo de correlación entre la rotación solar y los desplazamientos de los planetas, lo cual implica que éstos giran alrededor suyo.

Con respecto a la cuestión de la posición central del Sol, Galileo cree disponer de una prueba irrefutable: las fases de Venus. Las diferencias de iluminación y de tamaño que se observan sólo son posibles si este cuerpo celeste brilla con luz reflejada y si se mueve en torno al Sol (de quien recibe dicha luz). En efecto, cuando Venus se halla en su posición más alejada de la Tierra, se muestra redondo y pequeño; en cambio, cuando la distancia se acorta, crece de tamaño y su figura se asemeja a la de una hoz. Si la órbita de este planeta estuviera contenida dentro de la del Sol, como creía Ptolomeo, entonces Venus se mostraría siempre menor de medio círculo. Pero de hecho sucede exactamente lo que predice la teoría copernicana (adviértase, sin embargo, que este fenómeno también sería compatible con el sistema de Tycho Brahe).

Los satélites de Júpiter, por su parte, hacen más verosímil la posibilidad de que la Luna sea un satélite de la Tierra en vez de la esfera que separa ésta de Mercurio. La observación pone de manifiesto que no se mueven alrededor del centro del mundo, de lo que deriva que no hay un único centro de rotación (coincidiendo así con lo que Copérnico había establecido). En definitiva, piensa Galileo, ello contribuye a aceptar sin escrúpulo que unos cuerpos (satélites) giren en torno a otros (planetas), y todos ellos alrededor del Sol.

Finalmente, la contemplación de un elevado número de estrellas nunca vistas con anterioridad proporciona cierto fundamento a las ensoñaciones de Giordano Bruno, el cual imaginó un mundo sin límites. Sin que Galileo llegue a afirmar la infinitud del universo, resulta difícil seguir defendiendo la esfera estelar y, consiguientemente, la forma esférica del mundo con su centro de gravedad situado en su punto medio, tal y como mantiene la concepción tradicional.

Se ha hecho notar por numerosos autores que la totalidad de los datos obtenidos gracias al uso sistemático del telescopio constituye indicios favorables al sistema copernicano, pero no *pruebas* en sentido estricto. Incluso el argumento más poderoso de todos, el de la incompatibilidad de las fases de Venus con el sistema ptolemaico, no permite decidir entre Copérnico y Tycho Brahe. Por eso, los contemporáneos de Galileo que eran partidarios de la concepción geocéntrica del mundo se escindieron entre aquellos que no supieron o no quisieron ver a través de los anteojos (no llegando a identificar las zonas

oscuras de la Luna como valles o los puntos luminosos que acompañan a Júpiter como satélites) y aquellos otros que, viendo lo mismo, no aceptaron su interpretación dentro de un marco copernicano. Ejemplo claro de esto último es el de los matemáticos y astrónomos pertenecientes a la orden de los jesuitas, quienes, tras la irrupción del telescopio para usos astronómicos, optaron en general por el sistema tychónico debido a su capacidad de conjugar el movimiento de los planetas alrededor del Sol con el reposo de la Tierra.

A pesar de todo, no cabe duda de que se había producido un cambio fundamental. Difícilmente podía seguir admitiéndose, sin amplia polémica, que la teoría heliocéntrica tenía un mero carácter instrumental desprovisto de implicaciones físicas y cosmológicas. La caja de los truenos había sido destapada. Roma tratará de zanjar la discusión poniendo límites a la difusión de una doctrina que en esa época se había convertido en un franco peligro para las posiciones aristotélicas amalgamadas con el dogma católico. De ahí la condena del copernicanismo del año 1616.

Durante los tres años transcurridos entre la publicación de su obra sobre las manchas solares y la prohibición de continuar manifestando sus opiniones (esto es, del año 1613 a 1616) la actitud de Galileo puede ser calificada como "apostólica", en el sentido de tratar de propagar las tesis heliocéntricas. Y ello lo hizo de una manera particularmente peligrosa, por cuanto osó adentrarse en el vedado camino de la argumentación teológica en un intento de mostrar la posibilidad de conciliar ciencia y religión. En concreto, éste es el contenido de la *Carta a Castelli* del 21 de diciembre de 1613 y de la *Carta a Cristina de Lorena* de mediados de 1615 (Galileo, 1987), a las que se aludirá en el epígrafe siguiente.

4.1.4. La Biblia, la ciencia y el movimiento de la Tierra

El problema de fondo que enfrentó a Galileo con la Iglesia es el siguiente. Puesto que en la Biblia hay pasajes en los que explícitamente se habla del movimiento del Sol alrededor de la Tierra, hay que elegir una de estas dos alternativas. O bien el movimiento de la Tierra es meramente *hipotético* de modo que se postula con la sola pretensión de sacar de ello consecuencias de valor práctico, o bien se sostiene que es *real*, es decir, que el mundo en verdad es así. Pero entonces se plantea la espinosa cuestión de la *interpretación de la Biblia*. Si la astronomía dice la verdad, y la Biblia *literalmente* dice lo contrario sin dejar por ello de decir también la verdad, habrá entonces que buscar el modo de interpretar *metafóricamente* esos pasajes a fin de garantizar la compatibilidad entre uno y otro tipo de afirmaciones.

Dicha compatibilización presenta a su vez dos dificultades no despreciables. En primer lugar, supone que son las aserciones bíblicas las que han de acomodarse a las astronómicas, lo cual implica la prioridad de los conocimientos humanos de origen natural sobre los revelados. No es necesario subrayar que este planteamiento no podía ser del agrado de los teólogos. En segundo lugar, si se admite explícitamente la interpretación metafórica de la Biblia, no cabe duda de que se profundizan las diferencias con los protestantes quedando expuestos los católicos a duras críticas. La prudencia vaticana desaconsejaba tal cosa. Luego lo más "razonable" es concluir que las proposiciones científicas que defiendan algo distinto a lo escrito en la Biblia son hipotéticas (*ex suppositione*), no describiendo la realidad de las cosas naturales creadas por Dios. Ello tiene la doble ventaja de subordinar la ciencia a la religión y de evitar un mayor conflicto con los díscolos protestantes.

Galileo, sin embargo, no sigue este camino. Muy al contrario, se manifiesta favorable a una consideración *realista* del sistema copernicano, criticando de modo expreso la posición instrumentalista defendida paradigmáticamente por Osiander en su famoso prólogo. En consecuencia, defiende también la interpretación metafórica de las Sagradas Escrituras y la independencia entre científicos y teólogos. Pero, tal como se acaba de indicar, si los teólogos han de buscar el sentido de los textos sagrados a partir de los hallazgos de los estudiosos de la Naturaleza, aunque no se pretenda, ello de hecho supone la supeditación de los primeros a los segundos.

Probablemente donde mejor se pone de manifiesto la concepción realista galileana de la astronomía sea en unas páginas redactadas durante el viaje a Roma del año 1615 (viaje que justamente emprendió desde Florencia con la intención de convencer a sirios y troyanos sobre las bondades de la nueva doctrina). Frente al consejo del cardenal Bellarmino para que se limite a hablar *ex suppositione* (consejo contenido en una carta al padre Foscarini), Galileo se propone refutar por escrito lo que considera dos errores: uno, dar por cierto el reposo de la Tierra y el movimiento del Sol; otro, difundir la idea de que Copérnico y otros astrónomos han establecido lo contrario únicamente para acomodarse mejor a las observaciones y cálculos astronómicos, a pesar de que tenían tal cosa por falsa.

Hay que reparar en el hecho, afirma Galileo, de que cuando tratamos del movimiento o de la inmovilidad de la Tierra o del Sol, nos hallamos frente a un dilema de proposiciones contradictorias, una de las cuales ha de ser necesariamente verdadera, de manera que no cabe en modo alguno decir que acaso no sea de una forma ni de la otra. Ahora bien, si la inmo-

vilidad de la Tierra y el movimiento del Sol se dan realmente en la naturaleza, resultando absurda la posición contraria, ¿cómo podrá sostenerse razonablemente que la hipótesis falsa se adecua mejor que la verdadera a las apariencias observadas en los movimientos y las posiciones de los astros? [...] Dado que una de ellas ha de ser necesariamente falsa y la otra verdadera, mantener que sea la falsa la que mejor se adecua a los efectos de la naturaleza es algo que realmente desborda mi imaginación (*Consideraciones sobre la opinión copernicana*. En: Copérnico, Digges, Galilei, 1983: 79-80).

En el mundo que habitamos y contemplamos, o la Tierra está en reposo y es el Sol el que gira, o lo contrario. Por tanto, las proposiciones que describen estos hechos, o son verdaderas (si dan cuenta de lo que realmente es), o son falsas. Se trata de una posición inequívocamente realista según la cual la ciencia es el conjunto de conocimientos verdaderos sobre los objetos de los que se ocupa. Ahora bien, ello de inmediato suscita el problema de conciliar la *verdad científica* con la *verdad religiosa*. Galileo trata de resolverlo de un modo que no puede gustar a los teólogos, esto es, desde su mutua independencia.

La autonomía y libertad de la investigación científica es el tema de la carta redactada el mismo año del opúsculo anteriormente mencionado y dirigida a la gran duquesa de Toscana, la señora Cristina de Lorena, carta que a su vez es ampliación de la remitida dos años antes a su discípulo y profesor de la Universidad de Pisa, Benedetto Castelli.

“Dos verdades no pueden contradecirse” afirma Galileo. En las cuestiones referidas a la fe, las Sagradas Escrituras tienen la última palabra. Donde se suscita el problema es en relación con el conocimiento de la Naturaleza obtenido por medio de la experiencia y de la razón, en el caso de que sus conclusiones no coincidan con la literalidad de lo allí escrito. Lejos de admitir la doctrina de la doble verdad de Averroes (según la cual, lo que es verdadero en teología puede no serlo en filosofía o al revés), Galileo defiende la existencia de *una sola verdad*. Y la pregunta que surge es: ¿La de los científicos o la de los teólogos?

Nuestro autor recurre a la existencia de dos niveles de lenguaje en la Biblia. Uno es el del pueblo llano, comprensible por todo el mundo y adecuado a las creencias populares que nos habla de la Tierra, del agua, del Sol o de otra criatura; *éste exige ser interpretado por los expertos*. El otro es el que se ocupa de los asuntos propiamente religiosos y éticos cuyo fin es conducir a los hombre a su eterna salvación; aquí las palabras deben ser tomadas en su *significado literal*

pues han sido reveladas por el Espíritu de Dios. Y es que “la intención del Espíritu Santo era enseñarnos cómo se va al cielo, no cómo va el cielo” (Galileo, 1987: 73). Ahora bien, esos “expertos”, capaces de desentrañar el sentido de las afirmaciones sobre las cosas de la Naturaleza, habrán de hacerlo de modo que sea compatible con los resultados de la ciencia.

Es función de los sabios intérpretes el esforzarse por encontrar los verdaderos sentidos de los pasajes sagrados, que indudablemente concorderán con aquellas conclusiones naturales de las que tuviésemos de antemano certeza y seguridad por la evidencia de los sentidos o por las demostraciones necesarias. [...] Creo que se obraría muy prudentemente si no se permitiese a ninguno comprometer los textos de la Escritura y, en cierto modo obligarles a tener que sostener como verdaderas estas o aquellas conclusiones naturales, de las que algunas vez los sentidos y las razones demostrativas y necesarias nos pudiesen demostrar lo contrario (Galileo, 1987: 73-74).

Puesto que no es posible hacer que las cosas del mundo natural no sucedan como suceden, Galileo recomienda extrema cautela para no exponer la Biblia al riesgo innecesario de errar si afirma que es lo que no es. No está en manos de los estudiosos de la Naturaleza modificar el curso de ésta para acomodarlo a las exigencias de los teólogos, con lo cual no debería olvidarse la diferencia existente entre dar órdenes a un matemático o a un filósofo (que no pueden cambiar sus resultados) y hacerlo a un mercader o a un jurista (que sí pueden comerciar o legislar de otra manera). Así, las proposiciones que son estrictamente naturales y no *de fide*, y que además han sido “realmente demostradas, no deben subordinarse a pasajes de la Escritura, pero sí se debe aclarar con exactitud cómo tales pasajes no se oponen a estas conclusiones” (Galileo, 1987: 80).

Sin embargo, no todas las proposiciones naturales se demuestran de modo tal que sobre ellas tengamos *conocimiento seguro y probado*; en algunos casos sólo cabe obtener *opinión probable y conjetura verosímil*. Pues bien, únicamente las primeras no se supeditan a la Biblia y sirven de guía para interpretar ésta; las segundas, en cambio, conviene que se atengan al sentido literal del Libro Sagrado. Resulta pues que no es legítimo esgrimir la Biblia como argumento de autoridad con respecto a aquellas cuestiones que cumplan las dos condiciones siguientes: no ser *de fide*, por un lado, y haber sido incuestionablemente demostradas o conocidas mediante experiencias sensibles, por otro. De hecho, esas proposiciones sobre las que exista *certeza* son precisamente las que han de servir como guía para una mejor comprensión del lenguaje adaptado al vulgo que la Biblia emplea para referirse a asuntos profanos.

Puestas así las cosas, la pregunta que a continuación surge es si la afirmación referida al movimiento o reposo de la Tierra y del Sol cumple los dos requisitos mencionados, en cuyo caso debiera quedar a salvo de cualquier condena. Desde luego Galileo no cree que sea *de fide*, a lo cual hay poco que objetar. Pero además entiende que de ella “se tiene, o se puede creer firmemente que pueda tenerse, con experiencias, con prolijas observaciones y con necesarias demostraciones, indudable certeza” (Galileo, 1987: 82).

Hay que reconocer que Galileo ha puesto las cosas muy difíciles a los defensores del movimiento de la Tierra, en su celo por reconocer hasta el límite posible la autoridad de las Sagradas Escrituras. Sin duda reivindica la libertad de investigación en cuestiones naturales, pero sólo concede autonomía a aquellos resultados que sea posible considerar *estrictamente probados*, bien por demostraciones necesarias, bien por la evidencia de los sentidos. Resulta así que únicamente en el caso de proposiciones absolutamente seguras y ciertas no cabe esgrimir incompatibilidad con la religión. Dicho brevemente, las proposiciones científicas que valen por derecho propio, con independencia de cualquier otro discurso ajeno a ellas mismas, son las que podemos calificar de *proposiciones verdaderas* en su sentido más fuerte y radical.

Cualquier conocedor de la filosofía de la ciencia del siglo XX sabe de las enormes dificultades que plantea el concepto de *verdad* en el contexto de las ciencias naturales. Cómo y cuándo puede admitirse que una afirmación sobre el mundo está estrictamente probada y por tanto es verdadera, constituye una espinosa cuestión sobre la que no es momento de entrar. Baste con plantearla exclusivamente a propósito del tema que nos ocupa, esto es, el movimiento o reposo de la Tierra. Galileo ha afirmado de modo explícito que sobre ella es posible alcanzar “*indudable certeza*”. Pertenece, por tanto al ámbito de las proposiciones acerca de las cuales hay conocimiento seguro, y no mera opinión probable.

Ahora bien, éste es justamente el problema. ¿Es demostrable el movimiento de la Tierra? Lo que está en juego es la posibilidad de afirmar su verdad o falsedad con independencia de todo discurso religioso, hasta el punto de que sean los propios pasajes bíblicos los que hayan de ser interpretados a partir de aquí. Ahora bien, si resultara que no cabe aducir pruebas concluyentes en su favor, entonces el compromiso contraído por Galileo es el de aceptar la prioridad de la religión sobre la ciencia. En ese caso habrá de plegarse a la literalidad de los textos bíblicos y aceptar que la Tierra no se mueve. Desde nuestra perspectiva actual, con premisas tan exigentes, es más que dudoso que se encuentre proposición alguna de cuya verdad definitiva podamos estar absolutamente ciertos.

Lo cual no invalida la exigencia de autonomía y libertad en la investigación. Pero, desde la posición galileana, es imprescindible poder probar el movimiento de la Tierra. De lo contrario, la debilidad frente a sus adversarios es manifiesta.

Los nuevos datos astronómicos obtenidos por Galileo con su telescopio no proporcionan la clase de prueba que él necesita. Según se ha visto, constituyen más bien indicios que refuerzan la verosimilitud del sistema copernicano. Pero ni siquiera la constatación empírica de las fases de Venus permite considerar demostrada la movilidad terrestre en la medida en que, si bien dichas fases no concuerdan con las predicciones del sistema ptolemaico, también es cierto que no permiten decidir entre el de Copérnico o el de Tycho Brahe.

Galileo no ignora esto; de ahí que busque los elementos probatorios que precisa en la física. En concreto, elige *la teoría de las mareas* como el mejor argumento en favor del movimiento terrestre. Así, en enero del año 1616 escribe su *Discurso del flujo e refluxo del mare* a pedido del cardenal Alessandro Orsini. No publica este discurso sino que incorpora un versión revisada a la “Cuarta Jornada” del *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*. El problema es que aquello que Galileo considera su arma más importante es en realidad el punto más vulnerable, pues en efecto se equivoca por completo al creer que hay relación alguna entre el fenómeno de movimiento periódico de ascenso y descenso de las aguas del mar y el movimiento de la Tierra. Si así fuera, habría identificado un hecho perceptible que no se produciría si ésta estuviera inmóvil, es decir, *habría logrado establecer mediante experiencias sensibles y razonamiento la movilidad de nuestro planeta*.

Pero éste no es el caso. Las mareas no proporcionan en modo alguno la prueba física que busca. Ahora bien, se da la paradoja de que la gran contribución de Galileo consiste precisamente en haber puesto de manifiesto que *ningún tipo de experiencia o experimento sobre la superficie terrestre permite decidir a sus habitantes sobre su estado de movimiento y de reposo*. Expresado esto con palabras modernas, podemos decir que las fundamentales nociones de *movimiento inercial, sistema inercial y principio mecánico de relatividad* van a excluir por principio la posibilidad de demostrar o refutar el movimiento de la Tierra en los términos en los que se venía pretendiendo desde la Antigüedad. De esto se ocupará en la “Segunda Jornada” del *Diálogo*.

4.1.5. El Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo

En el año 1615 Galileo había redactado el opúsculo que conocemos como *Consideraciones sobre la opinión copernicana* (en: Copérnico, Digges, Galileo, 1983: 71-

87) y la *Carta a Cristina de Lorena* (en: Galileo, 1987: 63-99). Según se ha visto, en el primero se presentaba sin tapujos como un convencido realista copernicano; en la segunda reivindicaba el derecho a pronunciarse sobre esta cuestión. Todavía en los primeros días del año 1616 escribe el discurso sobre las mareas que supuestamente contiene el argumento decisivo en el que se pone de manifiesto la imposibilidad del reposo terrestre. Faltan sólo algunas semanas para que el Santo Oficio dicte su famoso decreto del 24 de febrero de 1616 condenando las dos tesis que constituyen el eje del copernicanismo, a saber, la posición central del Sol y el movimiento de la Tierra, y también para que Galileo sea amonestado oficialmente por el cardenal Bellarmine a fin de que se abstenga de defender o enseñar las mencionadas tesis. La advertencia es lo suficientemente seria como para no osar desobedecerla.

El ilustre italiano interrumpe así su campaña pública en favor del sistema copernicano. Pero esta interrupción no es para siempre. Será necesario aguardar a que circunstancias más favorables permitan volver a referirse al tema. Siete años después se produce la llegada de un nuevo papa, Urbano VIII, amigo y hasta entonces simpatizante de las ideas de Galileo. Ello hace concebir a este último la esperanza de una nueva época en la que poco o nada haya de temer de Roma (craso error). Se decide así a iniciar una obra largo tiempo proyectada, en cuya redacción invertirá seis años, esto es, de 1624 a 1630 (con períodos de pausa). En el año 1632 se publica en Florencia, desatando las iras de más de uno de sus muchos enemigos. El final de la historia es bien conocido y ya se ha comentado: el proceso y la condena de Galileo del año 1633, que tanto y cuánto han dado que hablar.

La obra en cuestión es su famoso *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, ptolemaico e copernicano* (*Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano*). Tal y como reza su título, nos ofrece en efecto un diálogo entre tres personajes, quienes a lo largo de cuatro días o jornadas se proponen conversar sobre las dos grandes concepciones del mundo (como se ve, no toma en consideración el sistema mixto de Tycho Brahe). A cada uno de ellos corresponderá defender una opinión distinta. Así, Galileo elige como exponente de la suya propia a Salviati, que es el nombre de un florentino amigo suyo ya fallecido, Filippo Salviati (1583-1614). Como representante de los defensores del geocentrismo escoge a un aristotélico denominado Simplicio (en este caso no alude a ningún contemporáneo suyo, pero sí tal vez al filósofo neoplatónico y comentarista de Aristóteles del siglo VI d. C.). Por último, introduce un tercer interlocutor, culto e imparcial, cuya misión es dejarse convencer por los mejores argumentos de los dos anteriores (no hace falta decir que será Salviati quien lleve la "voz cantante"). Se trata de Sagredo, que de nuevo en este

caso debe su nombre a un antiguo amigo de Galileo, el patricio veneciano Giovanfrancesco Sagredo (1571-1620). En vida de éste no era infrecuente que se celebraran reuniones en su palacio de Venecia, en las cuales se discutían temas de la actualidad científica y filosófica. De ahí que el autor de la teatral obra sobre los grandes sistemas del mundo recree una situación imaginaria, tomando este palacio como lugar de encuentro entre sus tres protagonistas a lo largo de cuatro jornadas (que marcarán las cuatro partes en que se divide).

Situemos pues la acción en el mencionado palacio de Sagredo en Venecia. La *Primera Jornada* se abre con unas palabras de Salviati en las que recuerda a sus contertulios el compromiso contraído el día anterior en el sentido de reflexionar, tan clara y concretamente como sean capaces, "respecto a las razones naturales y su validez que, de una y otra parte, han formulado tanto los partidarios de la posición aristotélica y ptolemaica como los seguidores del sistema copernicano" (Galileo, 1994: 9).

El objetivo expreso es pues someter a examen, desde la sola razón natural y dejando aparte consideraciones teológicas, la validez de las demostraciones y pruebas que puedan aportar aristotélico-ptolemaicos y copernicanos en defensa de sus respectivos sistemas del mundo. Bajo esta aparente neutralidad se halla, por supuesto, la intención de persuadir, convencer y ganar el mayor número posible de lectores para la causa copernicana (en ese sentido es relevante que renuncie al latín en beneficio del italiano, que es comprendido por capas más amplias de población). No estamos, por tanto, ante una obra académica dirigida a eruditos. Pero ello no hace disminuir en nada su interés hasta el punto de ser considerada, con todo derecho, la otra gran obra de Galileo junto con los *Discorsi*.

En cada una de las cuatro jornadas se aborda un tema específico. Las tres primeras tratan de *eliminar obstáculos* que se oponen a la aceptación del movimiento de la Tierra y de la posición central del Sol. Estrictamente hablando no demuestran nada, pero dejan el camino libre a la *posibilidad* de ambas tesis. Es en la cuarta donde se acomete la famosa y desgraciada prueba de las mareas con la que pretendía establecer su *realidad*. Hasta tal punto le concede importancia Galileo, que su primera intención fue denominar al conjunto de la obra *Dialogo sulle maree*. Sin embargo, en el momento de su publicación los censores le exigieron que lo modificara, permitiéndole en cambio aquel otro con el que es conocida (por cierto, haciéndole con ello un favor sin pretenderlo).

El asunto del cambio de nombre pone de manifiesto la batalla ideológica que se libraba entre la Iglesia y los copernicanos en esta primera mitad del siglo XVII. En el mejor de los casos ésta aceptaba que se hablara de la cuestión astronómica si se hacía *ex suppositione*, o sea, de modo hipotético e instrumental. De

ahí que para conceder la licencia de publicación planteara como condición necesaria la inclusión de un prólogo en el que explícitamente se dejara claro este punto. En consecuencia, Galileo se ve obligado a decir lo siguiente:

He tomado en la argumentación el partido de la teoría copernicana, considerándola como pura hipótesis matemática, tratando por cualquier medio artificioso de presentarla como superior a la tesis de la quietud de la Tierra, no absolutamente sino según el modo en que es defendida por algunos que, peripatéticos de profesión, lo son sólo de nombre [...]. (Galileo, 1994: 5-6).

La doctrina copernicana, por tanto, había de presentarse “como pura hipótesis matemática”. Y si a lo largo del *Diálogo* pareciera resultar más verosímil, es sólo porque es superior a la doctrina de los malos filósofos escolásticos, pero no porque en sí misma contenga mayor verdad. Con tales premisas es perfectamente razonable que no se permitiera a Galileo subrayar desde el título mismo la única parte de la obra que pretendía erigirse en *prueba física* del doble movimiento terrestre; bastante es con que no se le forzara a suprimirla (probablemente debido a que más de uno estaba convencido de su falsedad).

Prescindamos de la *Cuarta Jornada*, en la medida en que el tratamiento galileano de las mareas carece de interés científico, y consideremos las tres restantes. Según se ha dicho, la finalidad es suprimir impedimentos, eliminar escollos, neutralizar cuantas objeciones solían oponerse a la posibilidad de un mundo concebido en términos copernicanos. Las dificultades que más frecuentemente se constatan entre aristotélicos y ptolemaicos serán así objeto de atención a lo largo de la obra.

La *Primera Jornada* se ocupa de un tema directamente relacionado con la física y la cosmología aristotélicas (epígrafes 1.6.2 y 1.6.3). En concreto se trata de la división del mundo en dos regiones, una sublunar, abajo, en el centro, y otra supralunar, arriba, entre la Luna y las estrellas. Puesto que el centro del mundo era el centro de gravedad, a la Tierra, cuerpo pesado por antonomasia, le correspondía esa posición central. En cambio, los planetas, el Sol, la Luna y las estrellas se distribuían por el Cielo. Aristóteles había ligado entre sí cuatro características en tanto que propias y exclusivas de los seres celestes: el movimiento circular natural, la ausencia de todo cambio o inmutabilidad, la carencia de pesantez o ligereza y la ingenerabilidad e incorruptibilidad.

Si Galileo aspira a mostrar la posibilidad física de que la Tierra ocupe un lugar en el mundo supralunar, entre Venus y Marte, ha de mostrar que esas características no van unidas. Tiene que ser posible predicar el movimiento

circular de todo cuerpo, incluida la Tierra, sin que ello implique inmutabilidad o imponderabilidad. Todo cambia, todo se genera y se destruye, porque la esfera que habitamos es de la misma naturaleza que el resto de los planetas y, en consecuencia, se ha de mover como ellos. Critica, por tanto, la idea de movimiento natural rectilíneo de las cosas terrestres en virtud del cual, si la Tierra pudiera hallarse desplazada del centro, de inmediato se precipitaría sobre él en línea recta en vez de trazar un círculo alrededor suyo.

En definitiva, la Tierra no es un cuerpo distinto de los demás. Para ello se apoya en argumentaciones que resultarían totalmente ajenas a un físico actual. Y también echa mano de algunas de las nuevas observaciones obtenidas gracias al telescopio, a las que se ha hecho referencia en páginas atrás. Las manchas solares o la superficie accidentada y rugosa de la Luna ponen de manifiesto, por ejemplo, la mutabilidad del Cielo y su afinidad con la Tierra.

En el caso de que los lectores de la obra hubieran sido finalmente convencidos por Salviati, y no por Simplicio (que es lo que le sucede a Sagredo), habrían finalizado la primera jornada del *Diálogo* aceptando *la posibilidad de que la Tierra no ocupe la posición central*. Es momento de razonar sobre el otro gran tema, su movimiento, o mejor sus movimientos, en plural. Con respecto al *diurno o de rotación* tanto Aristóteles como Ptolomeo habían formulado cierto número de importantes objeciones derivadas todas ellas del hecho de que no se percibe alteración alguna en los desplazamientos que se producen sobre la superficie terrestre; en cambio, no se había refutado del mismo modo el *anual o de traslación*. De ahí que Galileo aborde de manera distinta la defensa de uno y otro, dedicando la *Jornada Segunda* al de rotación y la *Tercera* al de traslación.

La *Tercera Jornada* aspira a poner de manifiesto la mayor concordancia de los datos telescópicos con una Tierra que se desplaza alrededor del centro ocupado por un Sol que ilumina desde esa posición. En la medida en que nuestra experiencia, como habitantes de la Tierra, no es incompatible con ese movimiento anual, si resultara que todo lo que vemos se explica mejor suponiendo éste en vez del anual del Sol a lo largo de la eclíptica, ¿por qué habríamos de negarnos a admitirlo? Se esforzará así en persuadir al lector de que es más conveniente situar a este astro en el centro de las revoluciones celestes que colocar a la Tierra; ciertas observaciones lo avalan tales como el aparente movimiento de retrogradación de los planetas, las fases de Venus, los satélites de Júpiter, etc. De forma mucho más extensa y pormenorizada que en escritos anteriores, mantiene, sin embargo, la misma posición que viene sosteniendo desde el año 1610 y que ha sido expuesta anteriormente (epígrafe 4.1.3): las

observaciones celestes no proporcionan una prueba irrefutable, pero sí hacen mucho más verosímil el sistema copernicano que el ptolemaico.

Ahora bien, donde hallamos la mayor novedad es en la *Segunda Jornada*. Allí ha de acometer una empresa que no puede tener un final feliz si no se modifican substancialmente los planteamientos físicos imperantes. En efecto, se trata de demostrar que los *fenómenos terrestres* (y no en este caso los *celestes*) son compatibles con la movilidad de la Tierra. Las argumentaciones de Aristóteles, Ptolomeo y el propio sentido común habían generado un amplio consenso en contra de esa compatibilidad. Copérnico, por su parte, se encontró en francos apuros al intentar neutralizar las objeciones de los antiguos, mientras que Tycho Brahe las suscribió sin reserva alguna. De hecho, ésta es una de las razones por las que muchos optaron por adherirse a este último sistema, único capaz de conciliar las observaciones celestes que parecen inclinar la balanza en favor del Sol como centro de las órbitas planetarias, con las observaciones terrestres que apuntan a una Tierra inmóvil.

Galileo hará frente a esas tradicionales objeciones transformando las nociones aristotélicas de *movimiento y reposo*. Surge, como consecuencia, un planteamiento nuevo en virtud del cual frecuentemente se le ha considerado el padre de la moderna física inercial. Como se verá, la atribución es algo exagerada, pero no cabe duda que esta "Segunda Jornada" marca un hito en el estudio de los sistemas móviles, hasta el punto de que Einstein entenderá que constituye un lugar de paso obligado a su teoría especial de la relatividad.

4.1.6. Hacia una nueva física compatible con la movilidad terrestre

La "Segunda Jornada" no tiene un carácter *cosmológico* sino *físico*. A diferencia de la "Tercera Jornada", no se ocupa de lo que observamos en el Cielo, del movimiento aparente de los astros y de su más razonable interpretación. Lo que aquí constituye objeto de reflexión y análisis es lo que percibimos *en la Tierra*, esto es, el modo como tienen lugar los movimientos de los cuerpos en ella, ya sean graves que caen desde una cierta altura, proyectiles lanzados en direcciones diferentes, pájaros, nubes, etc.

Los argumentos que se presentan en este tema [el movimiento de la Tierra], afirma Salviati [Galileo], son de dos clases: unos tienen que ver con los accidentes terrestres, sin relación alguna con las estrellas, y otros se sacan de las apariencias y observaciones de las cosas celestes. Los argumentos de

Aristóteles en su mayoría están sacados de las cosas que están en nuestro entorno, y deja los otros a los astrónomos. Por ello estaría bien, si os parece [le dice al aristotélico Simplicio], examinar los que están tomados de las experiencias de la Tierra, y después [en la "Tercera Jornada"] veremos los de la otra clase (Galileo, 1994: 112).

La opinión generalmente aceptada, y no sólo por los aristotélicos (como sería seguramente la nuestra si en la escuela no nos hubiesen enseñado otra cosa), era tan simple y sensata como la siguiente. Si la Tierra se mueve, habremos de *notarlo*. En efecto, todos tenemos experiencia de las peculiares sensaciones que experimentamos cuando nos hallamos sobre una plataforma que gira velozmente. Con igual razón, en tanto que habitantes de la Tierra podremos dar fe de su supuesta rotación, puesto que giraremos con una velocidad lineal en el ecuador de 460 metros por segundo. Si a ello unimos los 30.000 metros por segundo (o 30 kilómetros por segundo) con los que nos desplazaremos alrededor del Sol, resulta claramente improbable que nuestro planeta pueda moverse sin que aquí nadie lo advierta.

Quizá el lector, habituado a las ideas inerciales, pueda considerar algo infantil el planteamiento. Sin embargo, no resultó sencillo neutralizar tan aparentemente elemental objeción. De ahí que, durante más de veinte siglos, los geocentristas dispusieran de argumentos físicos superiores a los de sus adversarios. El propio Copérnico (según se vio en el epígrafe 2.3.3) ofreció respuestas muy poco convincentes sobre este punto. El caso es que en las primeras décadas del siglo XVII nos hallamos poco más o menos donde estábamos un siglo antes, cuando el famoso astrónomo polaco redactaba el Libro I de su *De Revolutionibus*. No es posible dirimir con argumentos astronómicos la rotación de la Tierra, ya que bien puede ser que los cielos den vueltas de este a oeste mientras nosotros, observadores terrestres, reposamos en el centro; o, por el contrario, que seamos nosotros quienes giremos hacia el este sin que en los cielos se produzca movimiento alguno. En ambos casos, si miramos por encima de nuestras cabezas, *veremos lo mismo*. A esta equivalencia de efectos visuales la denominamos *principio óptico de relatividad* (epígrafe 2.3.1).

En definitiva, según dicho principio (conocido desde la Antigüedad) no es posible deducir el estado de reposo o de movimiento de la Tierra a partir de la observación de lo que ocurre fuera de ella. Puesto que el mismo cambio de posición tiene lugar ya se desplace *lo observado* o *el observador*, idénticos *fenómenos celestes* se han de contemplar desde una Tierra tanto en movimiento como en reposo.

Pero la cuestión que aquí interesa es si esto puede también aplicarse al caso de los *fenómenos terrestres*. Es decir, si atendiendo al comportamiento de los