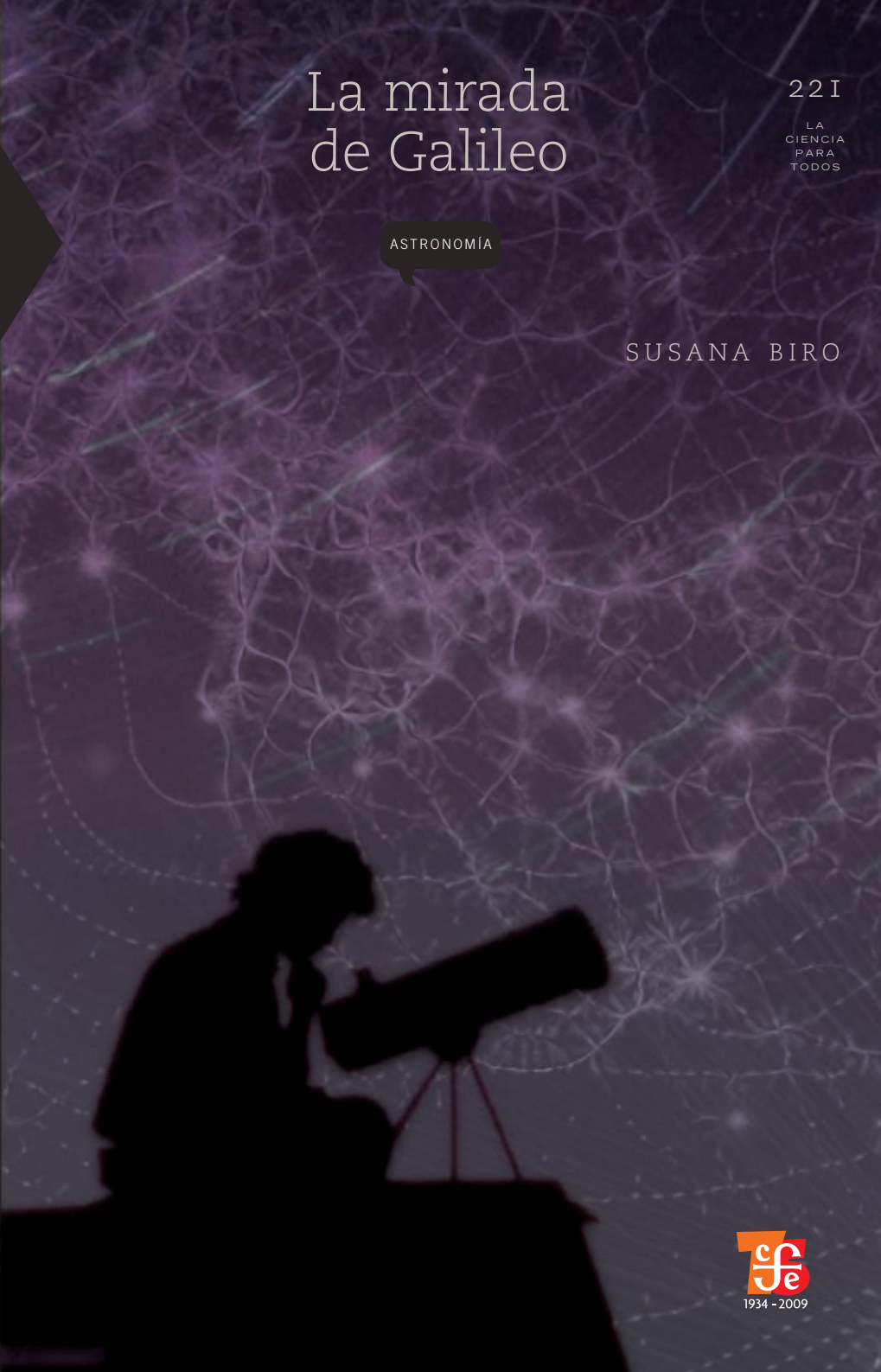
La mirada de Galileo

22 I

LA CIENCIA PARA TODOS

ASTRONOMÍA

SUSANA BIRO



1934 - 2009

LA MIRADA DE GALILEO

Comité de selección de obras

Dr. Antonio Alonso
Dr. Francisco Bolívar Zapata
Dr. Javier Bracho
Dr. Juan Luis Cifuentes
Dra. Rosalinda Contreras
Dra. Julieta Fierro
Dr. Jorge Flores Valdés
Dr. Juan Ramón de la Fuente
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer
Dr. Adolfo Guzmán Arenas
Dr. Gonzalo Halffter
Dr. Jaime Martuscelli
Dra. Isaura Meza
Dr. José Luis Morán López
Dr. Héctor Nava Jaimes
Dr. Manuel Peimbert
Dr. José Antonio de la Peña
Dr. Ruy Pérez Tamayo
Dr. Julio Rubio Oca
Dr. José Sarukhán
Dr. Guillermo Soberón
Dr. Elías Trabulse

La Ciencia
para Todos

Desde el nacimiento de la colección de divulgación científica del Fondo de Cultura Económica en 1986, ésta ha mantenido un ritmo siempre ascendente que ha superado las aspiraciones de las personas e instituciones que la hicieron posible. Los científicos siempre han aportado material, con lo que han sumado a su trabajo la incursión en un campo nuevo: escribir de modo que los temas más complejos y casi inaccesibles puedan ser entendidos por los estudiantes y los lectores sin formación científica.

A los diez años de este fructífero trabajo se dio un paso adelante, que consistió en abrir la colección a los creadores de la ciencia que se piensa y crea en todos los ámbitos de la lengua española —y ahora también de la portuguesa—, razón por la cual tomó el nombre de La Ciencia para Todos.

Del Río Bravo al Cabo de Hornos y, a través de la mar océano, a la Península Ibérica, está en marcha un ejército integrado por un vasto número de investigadores, científicos y técnicos, que extienden sus actividades por todos los campos de la ciencia moderna, la cual se encuentra en plena revolución y continuamente va cambiando nuestra forma de pensar y observar cuanto nos rodea.

La internacionalización de La Ciencia para Todos no es sólo en extensión sino en profundidad. Es necesario pensar una ciencia en nuestros idiomas que, de acuerdo con nuestra tradición humanista, crezca sin olvidar al hombre, que es, en última instancia, su fin. Y, en consecuencia, su propósito principal es poner el pensamiento científico en manos de nuestros jóvenes, quienes, al llegar su turno, crearán una ciencia que, sin desdeñar a ninguna otra, lleve la impronta de nuestros pueblos.

Susana Biro

LA MIRADA DE GALILEO

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

la
ciencia/221
para todos

Primera edición, 2009
Primera edición electrónica, 2010

Biro, Susana
La mirada de Galileo / Susana Biro. — México : FCE, SEP, CONACyT, 2009
113 p. : ilus. ; 21 × 14 cm — (Colec. La Ciencia para Todos ; 221)
Texto para nivel medio superior
ISBN 978-607-16-0073-8

1. Astronomía 2. Galilei, Galileo 3. Divulgación científica I. Ser. II. t.

LC QB855 Dewey 508.2 C569 V.221

Distribución mundial

D. R. © 2009, Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.
www.fondodeculturaeconomica.com
Empresa certificada ISO 9001:2008

Comentarios: laciencia@fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55) 5227-4672 Fax (55) 5227-4694

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio. Todos los contenidos que se incluyen tales como características tipográficas y de diagramación, textos, gráficos, logotipos, iconos, imágenes, etc. son propiedad exclusiva del Fondo de Cultura Económica y están protegidos por las leyes mexicana e internacionales del copyright o derecho de autor.

ISBN 978-607-16-0322-7 (electrónica)
978-607-16-0073-8 (impresa)

Hecho en México - *Made in Mexico*

ÍNDICE

Agradecimientos 11
Invitación 13

I. *Cambios* 17
La cosmología de Aristóteles 18
La astronomía de Tolomeo 22
Juntas pero no revueltas 26
El universo de Copérnico 29
Los copernicanos 34

II. *Descubrimientos* 42
Sobre Galileo 44
Los primeros telescopios 49
Las observaciones 51
Una Luna rugosa 56
Muchas más estrellas 61
Cuatro nuevos planetas 64

III. *Discusiones* 69
Los otros telescopios 70
Los cuernos de Venus 74

Las manchas del Sol 78
Las formas de Saturno 88

IV. *Reacciones* 91
En la corte 92
En la academia 94
En la sobremesa 98

V. *Consecuencias* 104
Para Galileo 104
Para la astronomía 105
Para nuestra imagen del universo 105

Recomendaciones 107

Se muestran grandes y muy admirables maravillas y se invita a contemplarlas a todos.

Galileo Galilei,
El mensajero de las estrellas (1610)

Sin duda la mejor manera de saber lo que implica la palabra *científico* es volverse un científico, pero ese camino no está abierto para todos.

Una alternativa bastante razonable es leer los escritos de un hombre que tuvo que averiguar por sí mismo, paso a paso, los procedimientos necesarios. Ese hombre es Galileo.

Stillman Drake,
Discoveries and Opinions of Galileo (1957)

AGRADECIMIENTOS

Este libro no hubiera pasado de ser una mera idea sin Laura Lecuona, quien, estando todavía en el Fondo de Cultura Económica, le dio tan buena acogida a mi propuesta inicial. Y sin el trabajo de todo el personal del FCE nunca se hubiera transformado el manuscrito que yo hice en el libro que ahora ves.

Durante el periodo de investigación sobre el tema fue indispensable el apoyo del personal de la Biblioteca Manuel Sandoval Vallarta de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) de la UNAM. Todos, pero especialmente Miriam Navarrete, atendieron con paciencia mis solicitudes y siempre encontraron el material que necesitaba.

De inicio a fin, mis colegas, familiares y amigos soportaron estoicamente mis innumerables anécdotas sobre Galileo y su mundo. Además, tuve riquísimas discusiones con los más interesados en el tema: Sergio de Régules, Leonardo Sánchez, Leonid Georgiev y Alejandro Mier.

Cuando la idea general del libro había cuajado, armé una conferencia que cuenta la historia de ello y la di en el curso Astronomía Razonada de la DGDC, en el seminario SePosgrado en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en la Escuela Moderna Americana y en el Instituto de Astronomía de la UNAM. Las

preguntas y los comentarios de los asistentes me ayudaron a mejorar el argumento general del libro.

Después de meses de trabajar sola sobre el manuscrito, se lo pasé a Leonardo Sánchez, Elisa T. Hernández y Esteban Ricalde. Sus miradas frescas encontraron cosas que yo no había visto y que no sólo aclararon el texto sino lo enriquecieron.

Y al final regresé con Laura Lecuona para que hiciera eso que no entiendo bien cómo hace: transformar mi texto para que fluya mejor.

INVITACIÓN

Como todos los libros, el que tienes ahora en tus manos pretende ser un viaje, y esta primera sección es el folleto publicitario en el que intentaré animarte a venir conmigo.

El viaje que propongo que hagamos será en el espacio y en el tiempo. Nuestro destino es lo que hoy se llama Italia y vamos a regresar a los inicios del siglo XVII. Nuestro objetivo es seguir los pasos de Galileo Galilei durante cinco o seis años a partir de 1609. Este breve periodo es bien interesante para la astronomía y la cosmología porque se acababa de inventar un nuevo instrumento, el telescopio, que aumentó nuestra capacidad de ver y por lo tanto cambió nuestra manera de pensar. Con él, Galileo descubrió muchas cosas inesperadas en el cielo y lo comunicó de inmediato a todos los que lo rodeaban. Todo esto sucedió en un momento en que muchos pensadores ya estaban replanteando sus ideas acerca de la forma y los movimientos del universo, y estos nuevos descubrimientos junto con sus interpretaciones se sumaron a una fuerte corriente de cambios en la manera de ver el mundo.

Para entender bien lo que hizo y pensó Galileo, conviene ponernos en sus zapatos, o mejor aún, en sus manos, sus ojos y su cerebro. Lo primero que necesitamos hacer es dejar de ser personas del siglo XXI, olvidar casi todo lo que sabemos hoy. Al

igual que nosotros ahora, en su momento Galileo sólo podía saber lo que ya había pasado, pero no tenía ninguna manera de saber todo lo que sucedería después. De modo que para pensar como él, debemos hacer un esfuerzo (temporal y reversible, lo prometo) por olvidar todo lo que sabemos, excepto aquello que había sucedido antes de 1609. Entonces la gente se desplazaba a pie, a caballo o en carreta; se comunicaba personalmente o a través de cartas, y escuchaba sólo música en vivo, si tenía la suerte de ser músico o conocer a uno. Y sus observaciones astronómicas eran a ojo pelón, o cuando mucho ayudados de instrumentos sencillos para determinar la posición de los astros.

Si quieres venir en este viaje, ahora es un buen momento para que escombres tu cerebro. Saca los automóviles, los teléfonos celulares y los reproductores de música y así estarás a tono con el estilo de vida de entonces. Y saca también cualquier telescopio que ande por ahí en tu memoria, junto con todos los conocimientos que éstos nos han aportado, y así sabrás lo mismo que Galileo. Deja todo esto aquí, que ya podrás regresar por ello al final de nuestro viaje:

Ahora sí, con una mente despejada, estamos listos para partir. En el primer capítulo encontraremos los enseres necesarios para llenar nuestros recién limpiados cerebros con lo que sabía Galileo sobre la astronomía y la cosmología en 1609. Esta parte del viaje la haremos a vuelo de pájaro. Sobrevolaremos los casi 2 000 años que separan a Aristóteles en Grecia de Copérnico en Polonia para ver lo que se observó y se pensó sobre el universo y nos quedaremos con la imagen que se tenía de él hacia el final del Renacimiento, que es la que tenía Galileo al inicio del periodo que revisaremos.

Así equipados, en el segundo capítulo avanzaremos a pie. Seguiremos muy de cerca el modo de pensar de Galileo desde el momento en que construyó su primer telescopio. Veremos cómo mejoró el diseño del instrumento y luego miró el cielo a través de uno de ellos. Presenciaremos cómo descubrió cosas nuevas sobre objetos conocidos y objetos completamente nuevos y difíciles de entender, cómo los interpretó y cómo se los explicó a los demás. Para esta parte del viaje, las obras mismas de Galileo —sus apuntes, dibujos, cartas y libros— servirán como nuestros mapas de navegación.

Sin movernos mucho, ni de lugar ni de momento, en el tercer capítulo daremos un par de pasos atrás para poder conocer también lo que pensaron y dijeron los demás astrónomos europeos de esa época. De este modo veremos cómo era la comunidad que se dedicaba a medir y entender el universo y cómo discutieron sobre las novedades que les comunicó Galileo.

En el cuarto capítulo no saldremos de Italia, y conoceremos las reacciones de otras personas en espacios sociales de reunión como la corte o incluso la sobremesa. Escucharemos lo que pensaron los príncipes y la gente común, los filósofos y los teólogos sobre las admirables maravillas que presentó Galileo.

Por último, en el capítulo cinco reflexionaremos brevemente acerca de las consecuencias que tuvieron estos pocos

años de descubrimientos y discusiones para Galileo, para la astronomía y para nuestra manera de entender el universo.

Al final del viaje, quienes se queden con ganas de más encontrarán algunas recomendaciones de otros viajes, tanto en papel como en la red.

Una advertencia antes de partir: aunque se conoce muchísimo acerca de la historia de Galileo, aquí sólo voy a contar una pequeña parte. Contar todo junto nos puede dar un panorama general, pero corremos el riesgo de perder un detalle que para mí es bien importante: el proceso. Ver con cuidado una parte específica de la historia de la ciencia nos permite entender no sólo los resultados obtenidos, sino también los procesos materiales, mentales y sociales a través de los cuales se llegó a esos resultados. Por lo tanto, nos centraremos en estos cinco años cruciales, y de este modo será casi como si hubiéramos estado ahí.

Éstos son, pues, los lugares, las épocas y las ideas que ofrezco que visitemos en este viaje. Si te animas, ahora mismo comenzamos.

I. Cambios

Durante casi 2 000 años, en la cultura europea se tuvo más o menos la misma imagen del universo: esférico, finito, inmutable y con la Tierra en el centro de todo. Pero para el inicio del siglo XVII (1600) ya estaba bien vivo el debate acerca de la forma, el tamaño y los movimientos de nuestro cosmos. Por un lado estaba una teoría de mucho abolengo, la del universo aristotélico-tolemaico, que se había originado en la cultura griega y llevaba de moda todo este tiempo. Esta teoría era geocéntrica, decía que la Tierra está en el centro de todo. Y por otro lado había una teoría heliocéntrica casi recién nacida, planteada por Nicolás Copérnico hacía apenas algunas décadas y que proponía que el Sol ocupaba el centro del universo. Para la época en que apareció Galileo en el escenario de la polémica había varios pensadores que estaban a favor de la segunda teoría, más sencilla y por lo tanto elegante, pero todavía no habían encontrado pruebas sólidas para apoyar su posición.

Para poder seguir este debate y ver el papel que representó el trabajo de Galileo con el telescopio en todo ello, necesitamos entender estas dos posiciones. Así que en este capítulo repasaremos lo que dijeron Aristóteles y Tolomeo y cómo sus ideas se juntaron en un solo modelo del universo que duró muchos siglos sin grandes cambios. Después veremos las transforma-

ciones que propuso Copérnico y lo que hicieron con estas ideas algunos de sus seguidores, los llamados copernicanos. De este modo, al terminar el capítulo habremos metido en nuestros recién despejados cerebros lo que sabía Galileo sobre el universo.

La cosmología de Aristóteles

Aristóteles vivió en Grecia entre los años 384 y 322 antes de Cristo (es decir, en el siglo IV a.C.). Gracias a las partes de su obra que se han rescatado, sabemos que estudió una gran variedad de temas, como el movimiento de los cuerpos, los seres vivos, y otros, como la lógica y la metafísica. También se dedicó a pensar acerca de cómo es el universo y creó una descripción general del cosmos, o cosmología. Para esto utilizó algunas ideas de otros pensadores, las observaciones del cielo que se habían hecho y también algunos conceptos teóricos, principalmente de geometría. A todo lo anterior le agregó varias ideas suyas y generó un modelo muy coherente sobre qué es, de qué está hecho y cómo se porta el mundo que nos rodea. La estructura principal de este universo se basa en dos esferas: la de la Tierra, que es convexa, sobre la cual estamos parados y que se encuentra inmóvil en el centro de todo, y la esfera que lleva pegadas todas las estrellas, que gira alrededor de la Tierra, que es cóncava y representa el límite del mundo.

Estas dos formas esféricas no sólo eran conceptos teóricos, sino que fueron imaginadas con base en varias pistas obtenidas de la experiencia diaria. Por ejemplo, cuando se daba un eclipse de Luna, el perfil que se le veía a la Tierra conforme iba tapando a la Luna era circular. Además, se había notado que cuando un barco se aleja en el mar no solamente se hace cada vez más pequeño, sino que su vela se va hundiendo o desapareciendo. Pistas como éstas hicieron que se pensara que la Tierra es una esfera. Por otra parte, la sensación que da el cielo de noche es de

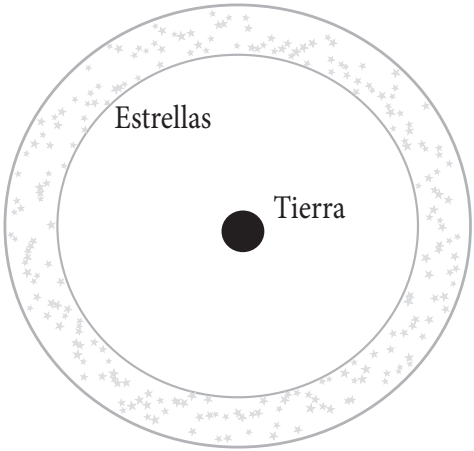


Figura I.1. *El universo de dos esferas: de la Tierra y de las estrellas.*

una bóveda cóncava. Esto, junto con el movimiento que comparten todas las estrellas, en efecto genera una imagen de una enorme esfera distante que rota con velocidad constante.

En este modelo, entre estas dos esferas límite se encuentran los planetas o estrellas errantes, que tienen movimientos irregulares diferentes del de las estrellas que están pegadas a la bóveda celeste. Los planetas que se conocían en esa época son los astros que se pueden ver a simple vista: la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Cada uno de los planetas estaba contenido dentro de una esfera transparente y de material rígido. El orden en que se acomodaban tales esferas estaba determinado por el tiempo que tarda cada planeta en cumplir un ciclo completo en su viaje por el cielo, y es justamente el orden en el que se nombran en la lista anterior. El resultado final era un conjunto de esferas concéntricas, como las capas de una cebolla, y adentro de cada una iba un planeta.

Para Aristóteles, el espacio y la materia eran lo mismo, es decir, pensaba que no puede haber espacio sin materia. Esto implica que no puede haber vacío en ningún lugar dentro de la

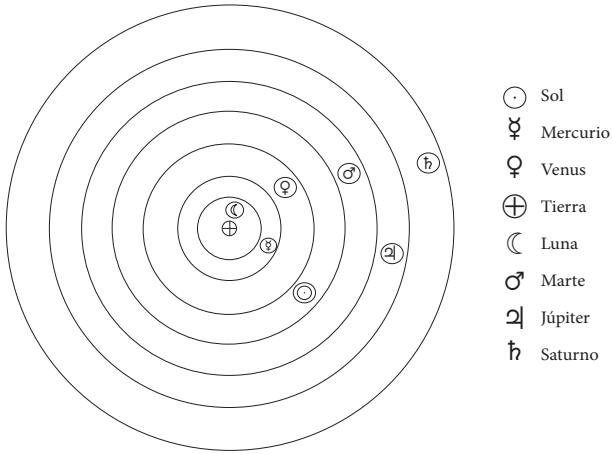


Figura 1.2. *El orden de los planetas y sus esferas en la cosmología de Aristóteles.*

esfera de las estrellas, y que no hay nada más allá de ésta. También implica que las esferas que sostienen y mueven a los planetas deben estar pegadas sin espacios entre una y otra. Esto, por un lado, explica cómo se dan sus movimientos, pues el movimiento de la esfera exterior se transmite por fricción o arrastre a la siguiente, y así sucesivamente, de tal forma que se muevan todas las demás. El hecho de que no haya huecos entre las esferas de los planetas significa que si se conocen los tamaños de los planetas y se supone que cada esfera tiene el mismo grueso que el tamaño de su planeta, entonces se puede calcular el tamaño del universo. El resultado era que el cosmos completo medía apenas un poco más que la órbita de Saturno.

En este modelo, el universo se divide en dos regiones bien diferentes. La región supralunar comprende todo lo que está desde la Luna (incluyendo a ésta) hasta la esfera de las estrellas. Ahí todo es perfecto, nunca cambia y está hecho de un material llamado éter. Los cuerpos tienen forma esférica, que es la más perfecta, y el movimiento de todos ellos también es perfecto. Para los griegos la forma más perfecta era el círculo y el movi-

miento ideal, el uniforme, es decir, siempre en el mismo sentido y con una velocidad constante.

En la región sublunar, en cambio, nada es perfecto ni constante, sino que hay cosas de todas las formas imaginables que todo el tiempo se están transformando. En esta región hay cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Si no hubiera cambios y perturbaciones, estos elementos se acomodarían en cuatro esferas concéntricas, con la tierra (que es la más pesada) en el centro formando un núcleo, luego una capa de agua, una de aire y hasta arriba una de fuego (que es el más ligero). Cada una de estas esferas, decía Aristóteles, es el lugar natural de cada elemento y es ahí donde prefiere estar. Pero la esfera de la Luna, que es la frontera de la región sublunar, colinda con ella; al girar perturba esta región y en consecuencia los cuatro elementos siempre se están moviendo, mezclando e intercambiando. Así que, aun cuando hay una separación muy clara entre las dos regiones, no son completamente independientes, pues el movimiento de la esfera de la Luna se transmite al mundo sublunar y genera cambios en él.

Además, claro, en la región sublunar existen seres vivos que también introducen cambios. Por ejemplo, cuando se lanza una porción de tierra (como una piedra) hacia arriba, ésta intentará regresar a su lugar natural. Los movimientos en la región sublunar siempre son en línea recta, así que la piedra que es lanzada para arriba caerá directo hacia su lugar natural: el centro de la Tierra.

Dentro de este modelo, y dados los lugares naturales de los cuatro elementos, es lógico que nuestra Tierra —que está hecha de tierra— esté en el centro del universo, pues ése es su lugar natural. Por la misma razón, tiene sentido que no se mueva de ahí. Y su forma esférica se explica porque la tierra, donde sea que se encuentre, se moverá de igual modo hacia el centro, formando así una bola absolutamente simétrica.

En resumen, el cosmos como lo entendía Aristóteles era de

un tamaño finito y estaba armado a partir de cuerpos esféricos. En el centro estaba la Tierra, y en el límite, la esfera de las estrellas. Se dividía en dos regiones: la supralunar, donde todo estaba hecho de éter, era perfecto e inmutable y tenía movimientos circulares y regulares, y la región sublunar, hecha de cuatro elementos, que siempre estaban cambiando y se movían en línea recta para regresar a su lugar natural.

La astronomía de Tolomeo

Por la misma época en que Aristóteles formulaba su explicación general del universo, algunos pensadores griegos estaban preocupados con un aspecto en particular: el de los planetas y sus curiosos movimientos. Los planetas no se mueven igual que la esfera de las estrellas, sino que cada uno presenta movimientos diferentes entre sí. Para estos pensadores era especialmente importante poder predecir las posiciones del Sol y la Luna, pues con ellas se determinaban los calendarios que regían las actividades de la sociedad. De modo que estos hombres, llamados astrónomos, tenían que resolver un problema de carácter más práctico.

Tenemos que imaginar que en Grecia en esa época, los hombres que habían recibido educación aprendieron que el universo era como lo veía Aristóteles y así les parecía muy bien. Así que en todo el trabajo que veremos a continuación, tengamos en mente que a la hora de abordar el problema de los planetas lo hacían con una imagen aristotélica del universo (como la que acabamos de repasar).

Al mirar el cielo de noche, lo que veían era que todos los cuerpos celestes tienen un movimiento que va de este a oeste y que toma un día. La esfera que contiene a las estrellas solamente tiene ese movimiento. La Luna, además, tiene un segundo movimiento, de oeste a este en 28 días, así que se va desfasando de

la esfera de las estrellas. El Sol también tiene un segundo movimiento de oeste a este que dura aproximadamente 365 días y también se ve como que se desplaza respecto del fondo de las estrellas fijas. Cada uno de los planetas restantes tiene movimientos de duración distinta: Saturno el más largo y Mercurio el más corto. Mientras que el Sol y la Luna solamente se van desfasando respecto de la esfera de las estrellas, estos otros planetas presentan además una retrogradación, es decir, que periódicamente se ve como que se frenan, se regresan por el camino por el que venían y luego siguen avanzando. Además tienen otra particularidad, y es que unas veces se ven más brillantes y otras menos.

En el modelo de Aristóteles se explican muchas otras cosas, pero estos movimientos de los planetas no cuadran para nada con él. Es por eso que Eudoxo de Cnido (408-355 a.C.) propuso que para cada planeta debe haber no una, sino varias esferas, que rotan con velocidades y sentidos diferentes, de tal modo que el movimiento final fuera más parecido al que presenta cada uno. De este modo, siguiendo con el esquema de las esferas, se podían explicar bastante mejor los movimientos del Sol y la Luna, pero no tanto los de los planetas restantes. Sin embargo, hubo que esperar a que Hiparco (190-120 a.C.) propusiera abando-

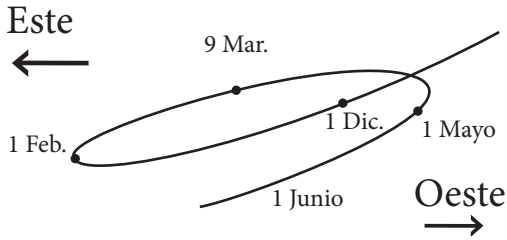


Figura 1.3. *Ejemplo de retrogradación (en este caso, de Marte). El planeta aparenta frenarse, regresar y luego seguir avanzando.*

nar las esferas y utilizar en su lugar círculos para los movimientos de los planetas para que se empezaran a dar verdaderos avances en esta tarea de describir y predecir los movimientos de los planetas.

La idea de Hiparco era que cada planeta gira sobre un círculo (llamado deferente) y que éste a su vez va montado sobre otro círculo (epiciclo) que gira alrededor de la Tierra. De este modo se siguen cumpliendo las condiciones teóricas de que los movimientos de los cuerpos en la región supralunar sean perfectos (circulares y uniformes), y el resultado de la combinación de estos dos movimientos es que los planetas pueden avanzar en trayectorias que tienen bucles como los que se encuentran en las observaciones. Además, de este modo se explica el hecho de que el brillo de los planetas aumente y disminuya, pues con este nuevo esquema en efecto se acercan y se alejan de un observador en la Tierra.

La combinación de epiciclos y deferentes fue la herramienta principal de los astrónomos durante siglos. A cada planeta se le podía asignar su juego de dos círculos con radios, velocidades y sentidos de rotación particulares, de tal modo que se reproducía bastante bien cada trayectoria particular. Esto, además de estar de acuerdo con la cosmología de Aristóteles, permitía predecir las posiciones futuras de los planetas, tarea especialmente importante en el caso del Sol y la Luna, como ya dijimos, pues con ellos se hacían los calendarios.

El astrónomo Claudio Tolomeo (83-161 d.C.), que vivió en Alejandría, recibió la tradición de esta práctica y la perfeccionó a tal grado que ahora la conocemos como astronomía tolemaica. Aunque con epiciclos y deferentes se pueden calcular con bastante aproximación las trayectorias de los planetas, Tolomeo muy pronto encontró que todavía quedaban pequeñas discrepancias entre las predicciones que se hacían con estos modelos y lo que de hecho se observaba en el cielo. Para resolver este problema, agregó dos círculos más a su colección de

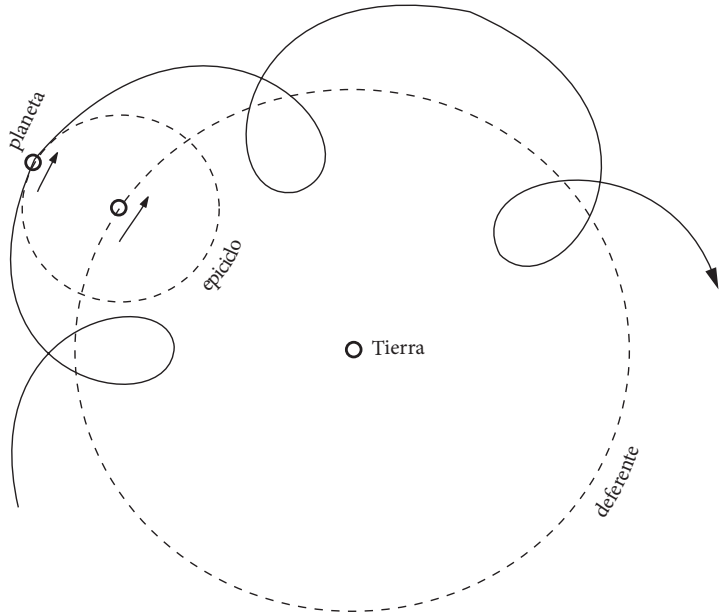


Figura 1.4. *Con epiciclos y deferentes se reproducían los bucles de la retrogradación de los planetas, y además se explicaban sus cambios de brillo.*

herramientas matemáticas: el excéntrico y el ecuante. El excéntrico es un círculo que no tiene su centro en la Tierra, y el ecuante es un punto diferente del centro del círculo, alrededor del cual la velocidad sí es constante. Con estos dos nuevos círculos se pudieron hacer aproximaciones más finas a las trayectorias de los planetas. Pero al usarlos se pasaban por alto dos de los principios básicos del cosmos aristotélico, pues ya no se tenía a la Tierra como el centro del universo y se permitían velocidades que no son uniformes. Lo que se decía entonces, y se siguió diciendo durante mucho tiempo, es que éstos eran solamente recursos matemáticos útiles que sin embargo no reflejaban la realidad del mundo.

Tolomeo marcó la pauta para la práctica de la astronomía en el mundo occidental desde el siglo II d.C. Hacer astronomía era reproducir o cuando mucho mejorar lo que ya había hecho él. Durante siglos se siguió mirando al cielo para medir las posiciones precisas de los astros. Con estos datos, que se guardaban en interminables tablas, se calculaba la mejor combinación de epiciclo, deferente, excéntrico y ecuante para así poder predecir las posiciones futuras de estos astros.

Juntas pero no revueltas

Para cuando llegan a la Edad Media, la cosmología de Aristóteles y la astronomía de Tolomeo se habían juntado en una sola explicación, que era conocida como el universo aristotélico-tolemaico. Esta explicación, con muy pocos cambios, subsistió durante la Edad Media, fue resguardada por la cultura árabe y recuperada en Europa en el Renacimiento. En esa época pocos reparaban en que se trataba de la unión de las ideas de dos pensadores con objetivos bien diferentes, que vivieron en épocas separadas por casi 500 años, y en regiones y culturas distintas.

A la luz de lo que vimos en las dos secciones anteriores, queda claro que estas dos maneras de acercarse al tema del universo no son del todo compatibles ni en su forma ni en sus objetivos. Sí, en ambos casos se considera que la Tierra es una esfera que está en el centro y que las estrellas van pegadas a otra esfera que marca el límite de todo, y además coinciden en que los cuerpos supralunares son perfectos y que sus movimientos también deberían serlo, pero aquí terminan las coincidencias. La cosmología de Aristóteles es una teoría que pretende ofrecer una explicación general (natural y elegante) de todo lo que existe en el universo. La astronomía de Tolomeo, por su parte, es una labor técnica que utiliza todos los recursos necesarios

Figura I.5. *Diagrama del cosmos de acuerdo con la concepción aristotélico-tolemaica.*

para tratar de describir con precisión los movimientos de los planetas.

Como ejemplo de estas discrepancias entre la cosmología y la astronomía, recordemos que Tolomeo utilizaba epiciclos, deferentes, ecuantes y excéntricas conforme las necesitaba. Así que para describir y predecir la trayectoria de algún planeta, lo tenía que montar en una colección de círculos con tamaños y rotaciones apropiadas, pero… ¿en qué parte de las esferas perfectas de Aristóteles iban a caber estos círculos?

A pesar de ser incompatibles, ambas se preservaron —juntas, pero no revueltas— y durante siglos vivieron en una especie de simbiosis o tolerancia mutua. Ninguna de las dos podía eliminar a la otra, pues cada una aportaba algo que la otra no tenía. Para los pensadores de entonces, el problema se resolvía diciendo que la cosmología describe la realidad tal y como es, mientras que la astronomía es una labor técnica que sirve para resolver un problema práctico pero no refleja la realidad.

Esta solución es un tanto paradójica e implica un problema. La cosmología es el lado teórico, que nos dice de una manera amplia y acorde con preceptos generales cómo deben ser las cosas; la astronomía, en cambio, es el lado práctico, que mide las cosas que se ven en el cielo y hace sus cálculos a partir de estas mediciones. Ambas deberían poder tener una retroalimentación. Idealmente la teoría podría guiar las observaciones, y los resultados de las observaciones a su vez podrían fortalecer la teoría. Es más, y aquí está el punto más importante, los fenómenos observados por la astronomía se deberían poder explicar con la teoría que aporta la cosmología. Estas explicaciones las daría la física, que funcionaría como un puente de doble sentido que las uniera, las relacionara y las fortaleciera. Podríamos decir que en todo este periodo, la astronomía y la cosmología decidieron vivir juntas, pero no se hablaban, pues faltaba ese puente de comunicación entre las dos áreas de trabajo.

Si los astrónomos daban resultados prácticos y útiles, es natural preguntarnos por qué no echaron fuera a la cosmología, que pintaba un panorama general pero no daba resultados aplicables. Pero pensemos por un momento cuán complicadas eran las combinaciones de círculos que tenían que armar los astrónomos para hacer su trabajo. Ésas no tienen nada que ver con la experiencia diaria, van en contra de la intuición y son imposibles de entender, salvo para los expertos. En cambio el modelo del universo de dos esferas es sencillo, y va de acuerdo con lo que cualquiera puede observar. Así que una daba resultados útiles mientras que la otra daba explicaciones acordes con el sentido común. De modo que no les quedó de otra más que vivir juntas.

El universo de Copérnico

Nicolás Copérnico (1473-1543) nació en Polonia. Estudió leyes, medicina y finalmente astronomía, tanto en su natal Polonia como en las universidades de Bolonia y Padua, en Italia. A partir de 1503 vivió en Warmia, una pequeña ciudad de Polonia, donde empezó su trabajo astronómico y donde permaneció hasta el final de sus días. Como muchos de los astrónomos de su época, Copérnico seguía batallando por encontrar una mejor solución al mismo problema en el que trabajó Tolomeo: describir con mayor precisión el movimiento de los planetas. Pero, a diferencia de muchos de sus predecesores y contemporáneos, buscaba una solución que fuera congruente, elegante. Quería plantear un modelo teórico para el cosmos dentro del cual además se pudiera resolver el problema práctico de los planetas. Para lograr este propósito, Copérnico tuvo que plantear una manera novedosa de pensar acerca del universo. Pero no fue el único ni el primero en plantear alternativas. En cierto modo fue afortunado que en la Edad Media se juntaran las ideas de Aristóteles y Tolomeo en una sola, pues

esto hizo que saltaran a la vista algunas inconsistencias y contradicciones que lentamente se fueron colando en las mentes de varios pensadores. De modo que cuando llegó Copérnico, unió las cavilaciones de varios de ellos sobre estas inconsistencias con sus propias ideas y experiencias para formar su novedosa propuesta.

Ni en la época de Copérnico ni en su trabajo mismo hubo descubrimientos novedosos en el cielo que impulsaran el cambio que se dio. Tampoco se dieron grandes transformaciones en las maneras de hacer astronomía, que seguían siendo muy parecidas a las de siglos antes. Detrás de su propuesta de una nueva manera de mirar el universo había tres razones diferentes. Si vamos de lo particular a lo general, la primera era un problema práctico muy específico: en esa época en Europa los calendarios estaban en crisis, ya que la suma de las imprecisiones de la astronomía de Tolomeo y el paso del tiempo hacían que las predicciones ya no coincidieran con lo que de hecho se veía en el cielo. Hacía falta reformar los calendarios y esta tarea era responsabilidad de los astrónomos. La segunda razón para el cambio era más bien estética. Recordemos que Tolomeo y todos sus seguidores fueron agregando combinaciones de círculos conforme los necesitaban para resolver los problemas relacionados con medir y predecir las trayectorias de los planetas. El resultado era, en palabras del mismo Copérnico, "como si un artista tomara de modelos diferentes las manos, los pies, la cabeza y los otros miembros para sus imágenes, con cada parte excelentemente dibujada, pero no relacionadas con un solo cuerpo, y ya que de ninguna manera van una con otra, el resultado sería más un monstruo que un hombre".

Y la tercera razón para el cambio era la más general y también la más difícil de resolver: después de casi 2 000 años de estar separadas, se trataba de conciliar la cosmología con la astronomía.

Se preguntarán cómo es que una sola persona pudo refinar

las descripciones de los movimientos de los planetas para corregir los calendarios, dar un esquema más coherente y estético y lograr que la cosmología y la astronomía se hablaran. Lo cierto es que Copérnico logró lo primero, planteó lo segundo y abrió el camino para lo tercero en su obra *Sobre las revoluciones de los orbes celestes,* que apareció en 1543, el mismo año de su muerte. Vale la pena repasar el contenido de esa obra, pues marcó la actividad de astrónomos y cosmólogos en el tiempo que siguió. Dividida en dos partes, por el modo en que está escrita la primera podemos pensar que tiene como destinatario al público no especializado de aquella época, pues contiene las ideas generales sobre el nuevo modelo, pero nada de la parte técnica. Ahí Copérnico explicó su planteamiento general acerca del universo y lo describió:

> El universo es esférico, ya sea porque esta forma es la más perfecta de todas, por ser un todo completo que no precisa uniones, ya sea porque constituye la forma que contiene mayor espacio, siendo así la más apropiada para contener y retener todas las cosas, o bien porque todas las partes discretas del mundo, me refiero al Sol, la Luna y los planetas, se presentan como esferas.

Hasta aquí, el universo parece igual al que se conocía desde hacía siglos, pero luego Copérnico propone lo más novedoso. Sabemos que en esa época el problema de describir el movimiento de los planetas no se había terminado de resolver con el esquema que se venía manejando. Pero, planteaba el autor, si permitimos que la Tierra se mueva se arreglan muchas cosas. Así, en su nuevo modelo le asignó dos movimientos a la Tierra: uno de rotación sobre su propio eje, y uno de traslación alrededor del Sol. Con el movimiento de rotación de la Tierra ya no hace falta que rote toda la esfera de las estrellas, y además se les quita a todos los planetas uno de los componentes de movimiento. Para el movimiento de traslación, antes que nada tenía

que cambiar de lugar al Sol y la Tierra, y lo justificó: "En el centro de todo reside el Sol. Situado en este trono magnífico, ¿quién habría de poner la luz en otro lugar mejor que éste, desde el que puede iluminarlo todo a la vez? Por tanto, no resulta impropio llamarlo, como hacen algunos, la lámpara del mundo; otros, su inteligencia, y otros, su director".

A continuación abordaba las objeciones que se habían dado para el movimiento de la Tierra y refutaba cada una mostrando que hay otras maneras de ver el asunto. Las objeciones al movimiento de la Tierra que se daban desde la Antigüedad eran de dos tipos: unas de carácter teórico y otras de sentido común. Según Aristóteles, el elemento tierra es el más pesado y por naturaleza irá al centro del universo. Como nuestro planeta está hecho de tierra, entonces debe permanecer en ese centro. Por otro lado, el sentido común nos hace pensar que si la Tierra se moviera lo notaríamos: habría movimientos violentos que tenderían a destruir el planeta. Además, al rotar dejaríamos nuestra atmósfera y veríamos cómo las nubes y los pájaros se van quedando atrás. Por último, una piedra que lanzáramos al aire no regresaría al mismo punto, pues ese lugar ya se habría desplazado por la rotación de la Tierra.

Las refutaciones de Copérnico a estas objeciones también fueron de varios tipos. Fue audaz al proponer que puede haber varios centros de gravedad y que por lo tanto la Tierra puede estar en otra parte sin que por eso deje de haber gravedad que la mantenga unida. Pero fue bastante conservador pensando muy parecido a Aristóteles al decir que no sentimos el movimiento de la Tierra porque este movimiento es "natural", término que en realidad no explica nada. Y utilizó argumentos con el mismo sentido común de las objeciones para decir que no habría desfase entre la Tierra y su atmósfera porque comparten el mismo movimiento.

La segunda parte del libro es la más extensa y estaba dirigida a los especialistas en el tema, es decir, a los astrónomos. En

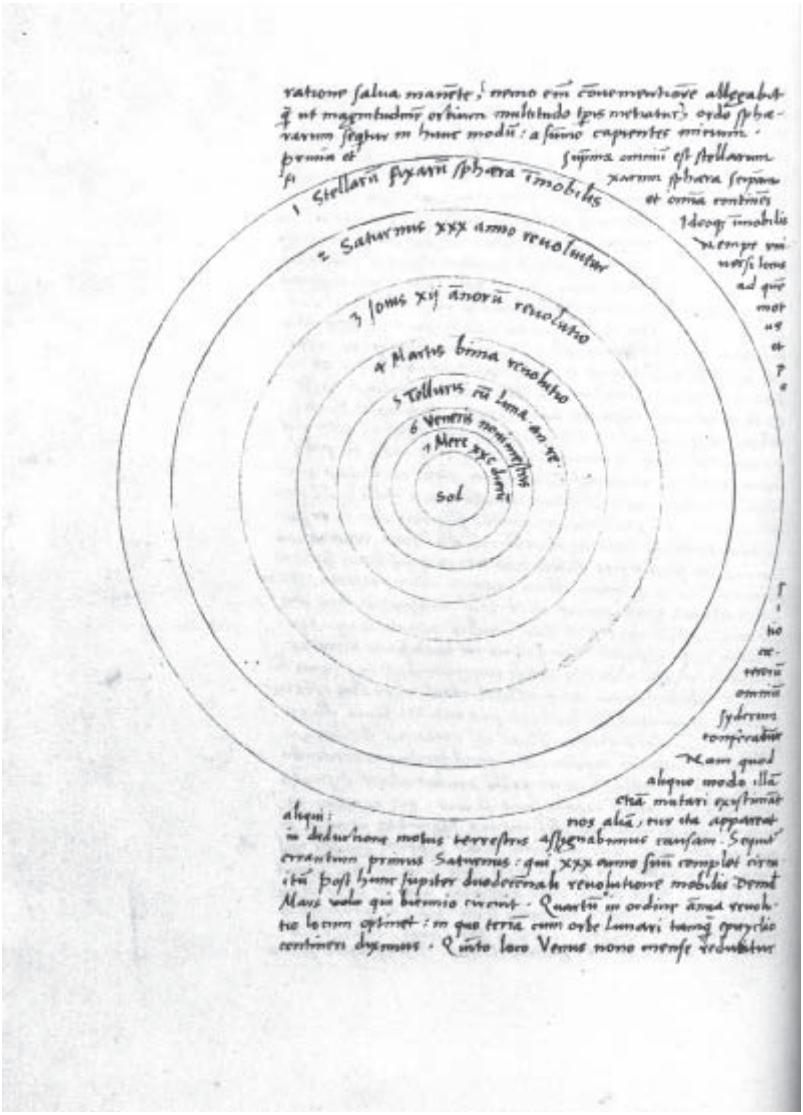


Figura 1.6. *El cosmos copernicano. Diagrama que aparece en el manuscrito de* Sobre las revoluciones de los orbes celestes.

esta parte Copérnico se dio a la tarea de demostrar que los datos observados de los planetas y las estrellas podían ser descritos por este nuevo sistema heliocéntrico por lo menos con la misma precisión que por el sistema de Tolomeo.

Como acabamos de ver, Copérnico hizo en su obra algunos cambios importantes: colocó al Sol en el centro del mundo y le dio movimiento a la Tierra, con lo cual la convirtió en un planeta más. Pero también insinuó otros cambios, que se quedaron para que los realizaran quienes le siguieron. Sus ideas fueron como esporas, que volaron por el aire de la Europa de finales del siglo XVI y entraron en las mentes de diversos pensadores, donde germinaron de maneras diversas e interesantes.

Los copernicanos

En las décadas que siguieron a su publicación, muchas personas leyeron el libro de Copérnico, no sólo los astrónomos. Algunos estuvieron completamente de acuerdo con lo que decía, otros completamente en contra, y otros más tomaron posiciones intermedias, utilizando sólo las partes que les convenían. En cualquier caso, sus ideas se fueron esparciendo y difundiendo entre diversos grupos de personas con una variedad de efectos. Aquélla fue una época de muchos cambios, tanto en la forma de hacer astronomía como en la manera de pensar acerca del cosmos.

Para los astrónomos, es decir, los especialistas en la técnica de medir y predecir las posiciones de los planetas, esta obra ofrecía un buen planteamiento alternativo, pero en muchos aspectos fue solamente el punto de partida para todo el trabajo que todavía quedaba por hacer. En 1551, poco después de la publicación de *Sobre las revoluciones de los orbes celestes,* el astrónomo alemán Erasmo Reinhold utilizó el nuevo sistema heliocéntrico para rehacer todos los cálculos de los movimientos

planetarios y publicó unas tablas con estos datos que pronto sustituyeron a las que se venían usando. También por esa época Michael Maestlin, otro astrónomo alemán, empezó a enseñar el sistema copernicano en la Universidad de Tubinga. Así, podemos ver que las novedosas ideas pronto se comenzaron a utilizar y a enseñar en la comunidad de los astrónomos. Pero no todos los astrónomos estaban a favor de este nuevo planteamiento; vale la pena ver un ejemplo.

Si Nicolás Copérnico fue el astrónomo más prestigiado en la primera mitad del siglo XVI, el danés Tycho Brahe lo fue en la segunda mitad. Con el apoyo del príncipe de Dinamarca construyó los mejores instrumentos de observación de su época. Utilizaba cuadrantes y astrolabios, como los demás, pero se mandó construir versiones enormes (de varios metros de alto) que le permitían hacer observaciones con gran precisión.

Tycho conocía la obra de Copérnico y no estaba de acuerdo con ella, pero esto no quiere decir que defendiera completamente el sistema de Aristóteles. Sus dos objeciones principales al nuevo sistema eran más bien de carácter teórico: que con este nuevo planteamiento la Tierra perdía su lugar en el centro de todo, y que además el universo tenía que ser mucho más grande. Claramente había pensado bastante sobre el problema, y propuso su propio sistema, que era un híbrido entre el antiguo y el nuevo. En el suyo, la Tierra seguía siendo el centro de todo y alrededor de ella giraban el Sol y la Luna, pero ahora todos los demás planetas giraban alrededor del Sol. A este sistema se le llamó tychónico o geo-heliocéntrico (porque combina los dos), y aunque preservaba muchas cosas del sistema aristotélico-tolemaico, también rompía con él en algunos aspectos. Por ejemplo (véase la figura I.7), ahora la trayectoria del planeta Marte se cruzaba con la del Sol, de modo que ya no era posible creer que los planetas están sujetos a esferas transparentes, pues estas dos chocarían y no podrían girar.

Podemos ver entonces que, aunque no era un copernicano,

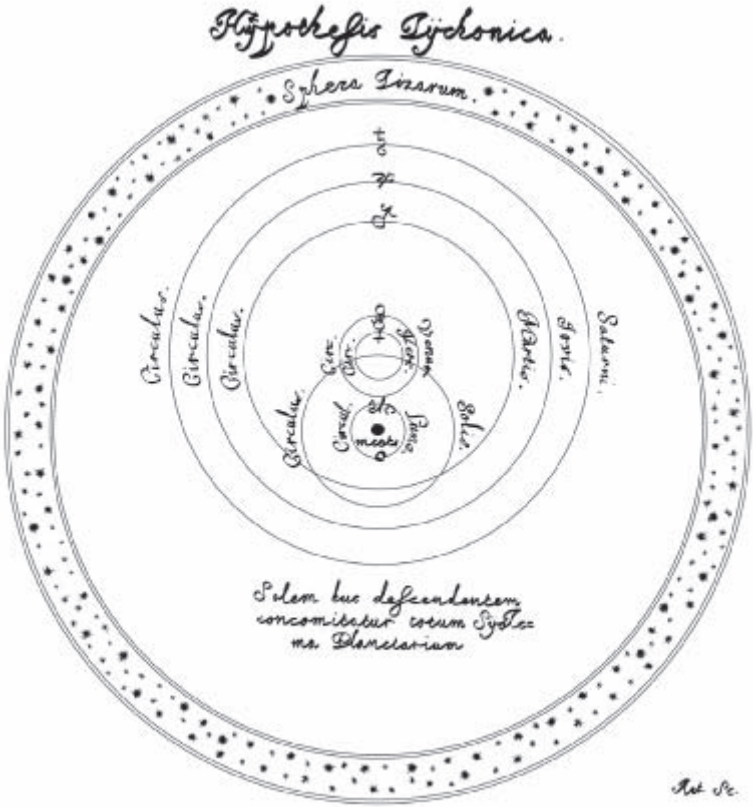


Figura 1.7. *Sistema geo-heliocéntrico de Tycho Brahe.*

Tycho también estaba buscando una mejor manera de medir y concebir el cosmos. Este hombre fue un gran observador, y en su tiempo le tocó presenciar y medir dos fenómenos que cambiaron su visión (y por lo tanto la de muchos otros) acerca del universo. En 1572 apareció en el cielo un astro casi tan brillante como Venus, que no se había visto antes. Se le llamó *stella nova* (estrella nueva) y Tycho de inmediato se dedicó a tratar de determinar dónde se encontraba. Según la cosmología de Aristóteles, en el mundo supralunar las cosas son perfectas e inmutables, por lo que un cuerpo que acababa de aparecer debía de estar en el mundo sublunar. Sin embargo, a partir de sus precisas mediciones Tycho tuvo que admitir que esta estrella nueva estaba más lejos que la Luna. Poco tiempo después se observaron algunos cometas, y para ellos también calculó sus distancias y encontró que debían estar en el mundo supralunar. La estrella nueva lo convenció de que sí se dan cambios en el universo, mientras que los cometas lo convencieron de que las esferas de cristal no pueden existir, pues impedirían su paso. Así que ni siquiera quienes no estaban a favor de Copérnico podían seguir a favor de Aristóteles.

Desde el principio hubo varios copernicanos completamente convencidos, y aquí veremos el caso del polaco Johannes Kepler (1571-1630), quien, entre otras cosas, fue alumno de Maestlin y por lo tanto estaba bien enterado del nuevo sistema del mundo desde que era estudiante. Ya en 1596, en su libro *Misterio cosmográfico,* este original pensador se declaró completamente a favor de poner al Sol en el centro del universo, de darle movimiento a la Tierra y de todo lo que esto implicaba para la teoría y la práctica relacionadas con la astronomía. Kepler fue más audaz y más estrictamente copernicano que Copérnico mismo, pues consideró que éste dejó a la mitad la transformación que hacía falta. Encontró que en el sistema copernicano todavía no se terminaba de convertir a la Tierra en un planeta como cualquier otro. Por ejemplo, el mundo de To-

lomeo estaba armado de tal modo que todas las órbitas de los planetas tenían su centro en la Tierra y Copérnico no la despojó del todo. Aunque ahora giraban alrededor del Sol, siguió refiriendo estas órbitas a nuestro planeta. Kepler no se tentó el corazón, despojó a la Tierra de cualquier privilegio, y de este modo logró hacer un sistema más congruente.

Al inicio de su carrera como astrónomo, Kepler fue ayudante de Tycho por algunos años; durante ese tiempo tuvo la tarea de calcular una mejor aproximación para la órbita de Marte. Aun con los excelentes datos del astrónomo danés, la órbita del planeta rojo era más difícil de calcular que la de sus compañeros. Utilizando las herramientas comunes, como los epiciclos y deferentes, probó todo tipo de combinaciones para tratar de resolver su problema, pero sin éxito. Finalmente abandonó este juego basado en puros círculos e intentó con otras formas geométricas. Es así como acabó dando con la elipse para describir la órbita de Marte, y luego vio que servía también para los demás planetas. En su libro *Astronomía nueva,* de 1609, explicó cómo todos los planetas giran alrededor del Sol en trayectorias elípticas, con el Sol en uno de los focos de la elipse. Además mostró que los planetas no se mueven con velocidad constante, sino más rápido cuando están cerca del Sol, y menos cuando están lejos de él.

Con este cambio en la forma de las órbitas se logró una mayor precisión al describir y predecir los movimientos de los planetas. Ahora sí empezaban a dar fruto las ideas de Copérnico. Para la cosmología también implicó cambios, pues no sólo se habían echado por la borda los perfectos círculos, sino que con ellos se fue también la velocidad uniforme. En esta época, aun para quienes no estaban a favor del sistema copernicano, se había hecho más que evidente que el sistema aristotélico-tolemaico dejaba mucho que desear.

Mientras que las nuevas ideas del sistema copernicano pusieron a los astrónomos a trabajar para terminar y refinar el

nuevo sistema, a los filósofos les hicieron replantearse cuestiones acerca de la cosmología, y a los ciudadanos educados pero no especializados les dispararon la imaginación acerca del tamaño, forma y constitución del cosmos. Como muestra dos botones.

Thomas Digges (1546-1595) fue un británico que sabía algo de astronomía, pero que destacó más bien por la divulgación que hizo de la ciencia de su tiempo. En 1576 trabajó como editor de un almanaque que se publicaba cada año, y ahí agregó una breve reseña de la introducción del libro de Copérnico. Como muchos de su época, hizo su propia interpretación de las implicaciones de esta nueva cosmología y planteó —en contraste con lo que dijo el mismo Copérnico— que "el orbe de las estrellas fijas se extiende en altitud hacia arriba infinitamente y esféricamente, siendo por ende inmóvil". Y mientras que esta idea tuvo algún impacto, mucho más lo tuvo la imagen que acompañaba el texto (figura 1.8), en la cual ya no existe la esfera celeste y ahora las estrellas están distribuidas por todas partes, sin fin.

Giordano Bruno (1548-1600) no dejó dibujos tan interesantes como el de la figura 1.8, pero con sus palabras creó imágenes que fueron aún más ricas y novedosas. Para él no sólo era infinito el universo, sino que el Sol no tenía por qué ser el centro de todo, y seguramente debía haber otros soles con sus respectivos planetas y habitantes. En varios libros planteó sus ideas, y en *Del universo infinito y los mundos* afirmó:

> A un cuerpo de tamaño infinito no se le puede atribuir ni un centro ni una frontera […] en este espacio hay innumerables cuerpos como nuestra Tierra y otras tierras, nuestro Sol y otros soles, todos los cuales giran dentro de este espacio infinito a través de espacios finitos y determinados o en torno a sus propios centros.

En apenas unas cuantas páginas hemos recorrido casi 2 000 años del pensamiento humano sobre el universo. Mi idea ha

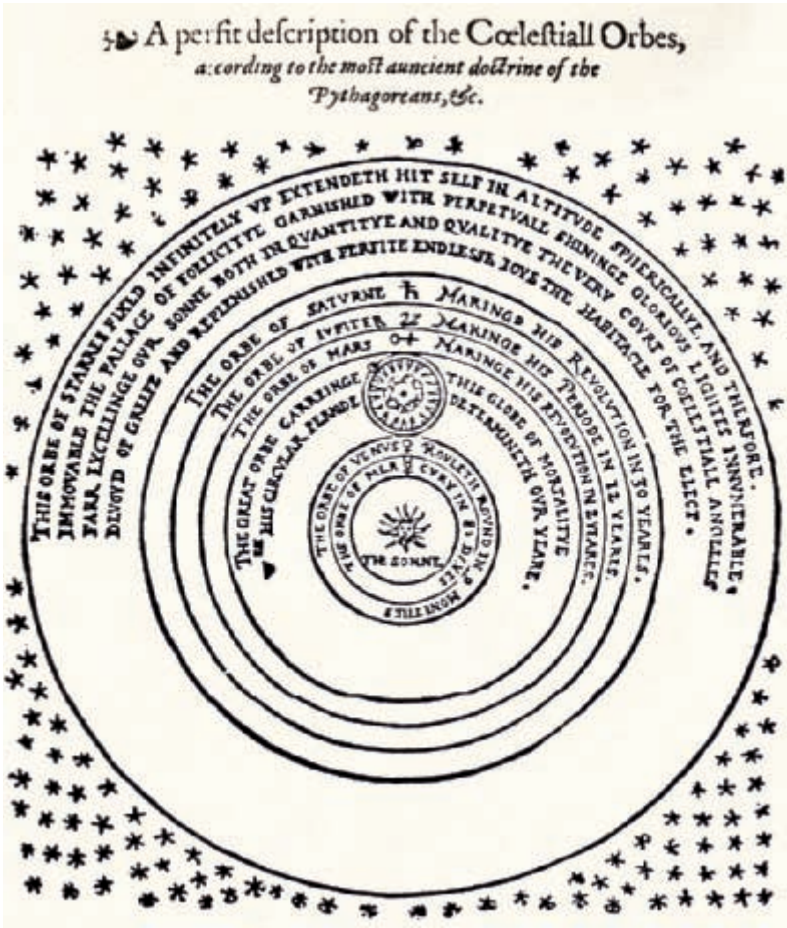


Figura 1.8. *El universo como lo imaginó Thomas Digges.*

sido esbozar un panorama de lo que se había pensado sobre este tema para que así podamos imaginar lo que se sabía a principios del siglo XVII. Vimos cómo, después de casi 2 000 años sin grandes cambios, al final del siglo XVI todo el conocimiento sobre el cosmos se estaba cuestionando y replanteando. Además de todas las ideas que había en el aire en esa época, tenemos que llevarnos también una sensación, uno de esos vértigos que son entre agradables y angustiantes porque todo lo que conocemos está en un proceso de cambio. Las originales ideas de Copérnico y las diversas interpretaciones de éstas que hicieron pensadores como Digges y Bruno llegaron a muchas otras partes de la sociedad. Esto sucedió a tal grado que incluso los poetas abordaron el tema. Por ejemplo, el inglés John Donne expresó así su intranquilidad ante tantos cambios:

> La nueva filosofía* lo pone todo en duda,
> el elemento fuego se extingue completamente;
> y el Sol se pierde, así como la Tierra, y no hay inteligencia
> humana
> capaz de indicar dónde buscarlo.

Éste es el panorama que tenemos que insertar en nuestros cerebros si queremos realmente ponernos en el lugar de Galileo y así entender lo que pensó y lo que hizo en el breve periodo en el que vamos a seguir sus pasos.

* Entonces se llamaba *filosofía natural* a lo que hoy conocemos como *ciencia*.

II. Descubrimientos

El Renacimiento fue un periodo de muchos cambios para Europa. Entonces se recuperó la cultura clásica (griega y romana) y con ello se aceleró el desarrollo de nuevas maneras de mirar el mundo. También por esa época se descubrió un nuevo continente, América, que en realidad era todo un mundo nuevo. Para muchos fueron años de renovación, en los que todo era posible, y esta sensación invadía diversos ámbitos. El conocimiento empezó a salir del encierro de los monasterios y las universidades y a repartirse también entre la nobleza y los mercaderes. Fue una emocionante época de transformación y cuestionamiento de todo.

En los inicios del siglo XVII y en menos de cinco años, la astronomía y la cosmología europeas sufrieron cambios importantes debido a la invención de un instrumento completamente nuevo. Con el telescopio, Galileo observó de nuevo los cuerpos celestes y fue como si atravesara una frontera, más allá de la cual encontró cosas sorprendentes. De esta manera transformó el modo de hacer astronomía y al mismo tiempo aportó datos visuales que fueron muy importantes para la discusión cosmológica de su época sobre la forma y funcionamiento del universo.

A diferencia del anterior, en este capítulo abarcaremos con mucho detalle muy pocos años. Iremos de 1564, cuando nació

Galileo Galilei, hasta 1615, fecha en que ya había hecho prácticamente todas sus observaciones con el recién inventado telescopio. Revisaremos su vida, y en particular su formación intelectual hasta el verano de 1609, para tratar de entender lo que había pensado y sabía hacer antes de conocer las posibilidades del telescopio. Confirmaremos que era un verdadero hombre del Renacimiento, que conocía de muchas disciplinas y se interesaba en todo lo que estaba pasando en su tiempo.

A partir de su encuentro con el telescopio, disminuiremos aún más la velocidad de nuestro recorrido para poder ver con mayor detalle todo lo que Galileo fue descubriendo y cómo lo fue interpretando. Lo seguiremos en el trabajo de perfeccionamiento de la construcción y de las técnicas para observación con el telescopio. Veremos cómo un matemático dedicado al estudio del movimiento de los cuerpos en la Tierra y enterado del sistema copernicano se fue volviendo astrónomo y copernicano a través de sus observaciones y sus reflexiones. Examinaremos, en fin, los recursos que utilizó para pasar de la información novedosa que iba encontrando y sus interpretaciones, a la producción de conocimiento nuevo.

Para nuestra fortuna, se conservan muchos documentos originales de Galileo y sobre él y su obra, y hoy en día tenemos acceso a algunos de ellos en libros y a otros por internet. Están las notas y los dibujos que hizo él mientras observaba, las cartas que intercambió con varios amigos sobre las ideas que iba procesando, y también los libros que publicó cuando ya estaba listo para presentar sus ideas a un público más amplio. Además se conservan cartas y libros de pensadores contemporáneos de Galileo donde expresan sus opiniones sobre estas novedades y sus implicaciones. Dentro de lo posible, en este capítulo y en el siguiente escucharemos la voz de Galileo gracias a estos documentos originales. A través de citas extraídas de ellos nos podremos meter mejor en su mente y seguir sus razonamientos en este momento tan interesante.

En 1562 Vincenzio Galilei, mercader de telas y reconocido músico florentino de familia de abolengo, se casó con Guilia Ammannati y dos años después nació en la ciudad de Pisa su primer hijo, Galileo. A éste le tocó nacer en una época que para los italianos fue rica en todos los aspectos: eran comerciantes y navegantes muy exitosos, pero además estaban muy interesados en las artes y todo tipo de conocimiento. En ese tiempo Italia estaba dividida en varios reinos pequeños, que frecuentemente entraban en pugna.

Poco tiempo después de que naciera su primer hijo, la familia Galilei se mudó a Florencia. Hasta los once años Galileo permaneció en casa, donde recibió de su padre una educación que seguramente abarcó música y probablemente también dibujo. Después, en un monasterio estudió lo usual en esa época: griego, latín, religión, música, pintura y literatura. En cuanto a la música, sabemos que tocaba varios instrumentos, entre los que prefería el laúd. Dominaba las técnicas de dibujo y perspectiva y conocía a los pintores italianos del periodo justo anterior al suyo, como Leonardo o Miguel Ángel. Tenía amigos pintores, como Cigoli, con quien discutía sobre estos temas. Y también le gustaba la literatura: conocía bien a los autores de su época así como a los anteriores. A través de sus cartas y sus libros se puede ver que dominaba, y disfrutaba, la escritura, tanto en latín como en italiano.

Por insistencia de su padre, en 1581 comenzó la carrera de medicina en la Universidad de Pisa. El tema no le interesaba mucho, y pronto consiguió un maestro particular para aprender lo que realmente le gustaba: las matemáticas. Los matemáticos en esa época eran técnicos que aplicaban su conocimiento a la astronomía, la mecánica, la óptica, la hidráulica o las fortificaciones militares. Cuatro años después de haber comenzado la carrera de medicina, la dejó y regresó a Florencia, donde se

dedicó a dar clases particulares de matemáticas. Por esa época se empezó a interesar en el estudio del movimiento de los cuerpos, es decir, la mecánica.

Finalmente, en 1589, a los 25 años, obtuvo un puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. Una de sus obligaciones ahí era impartir un curso de astronomía, de modo que seguramente para entonces ya había leído *De Caelo,* el libro que contenía la cosmología de Aristóteles, y el *Almagesto,* con la astronomía de Tolomeo. Además, siguió haciendo estudios sobre el movimiento de los cuerpos, como la caída libre, los péndulos y los movimientos sobre un plano inclinado. A través de este trabajo se dio cuenta de que las leyes del movimiento heredadas de tiempos de Aristóteles eran insuficientes para describir lo que se encuentra en la naturaleza. Aristóteles proponía que sólo podía haber dos tipos de movimiento: natural (como el movimiento circular de los cuerpos celestes) o forzado (como cuando arrojamos una piedra al aire sacándola de su lugar natural). Galileo tuvo que proponer otro movimiento más, que llamó neutral, para casos como el de la rotación de las esferas.

La Universidad de Pisa era muy conservadora: ahí sólo se enseñaban las obras de los clásicos griegos y latinos y no estaba bien visto estar en desacuerdo con ellos, y tampoco comentar obras más recientes. Mientras Galileo impartía los cursos que se le pedían, fue leyendo otras obras que, aunque no formaban parte del plan de estudios, ya se estaban comentando en toda Europa, como *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* de Copérnico. Pronto se hizo de enemigos por hablar con otros profesores sobre estas lecturas y decir claramente que no estaba de acuerdo con las concepciones de Aristóteles sobre el movimiento de los cuerpos, ya fueran terrestres o celestes.

En 1591 murió Vincenzio y dejó a su primogénito la enorme carga de cuidar de la madre y sus hermanos. A través de su correspondencia sabemos que a partir de ese momento el asunto

monetario se volvió muy importante para Galileo. Ahora tendría que pagar la dote de dos hermanas y durante mucho tiempo mantener a su hermano, un músico al que se le dificultaba mucho conseguir trabajo, pero que no tenía problema alguno en gastar dinero. Afortunadamente, un año después de la muerte de su padre consiguió un puesto en la Universidad de Padua (en el vecino estado de Venecia), con un mejor sueldo. Aun así, en el siguiente periodo siempre hospedó estudiantes en su casa, dio clases particulares y construyó y vendió instrumentos para poder cubrir todos sus gastos. Era bueno para diseñar y construir instrumentos, y en esa época ganó algo más de dinero con su compás geométrico y militar, el cual servía para hacer cálculos. Además, daba clases para saber utilizarlo y lo vendía acompañado de un instructivo.

Los siguientes años fueron buenos para Galileo en muchos aspectos. La Universidad de Padua era un ambiente mucho más liberal que Pisa y ahí se hizo de buenos amigos con los cuales conversar en torno a los temas sobre los que estaba leyendo y pensando. Ahí conoció a Marina Gamba, que fue su amante y la madre de sus tres hijos, dos mujeres y un varón. Además de dar clases de matemáticas, siguió estudiando el movimiento de los cuerpos; y de esa época es su manuscrito *De motu [Sobre el movimiento]*. En 1597 le escribió a Kepler para agradecerle el envío de un ejemplar de su nueva obra *Misterio cosmográfico,* donde el autor ya se manifestaba claramente a favor del sistema copernicano. En la carta de respuesta, también Galileo se declaró partidario de este sistema, aunque más adelante ya no respondió a la invitación del astrónomo polaco para defenderlo en público.

Al llegar a Padua observó las mareas, que eran mucho más intensas que las que conocía, y se preguntó qué podía ser lo que hacía que tanta agua se moviera. Por aquel entonces empezó a desarrollar la teoría de que las mareas podrían ser resultado del desplazamiento de la Tierra alrededor del Sol.

Figura ii.1. *Retrato de Galileo Galilei de la época que estamos revisando. Noten especialmente a los dos querubines arriba, uno con un compás y el otro con un telescopio.*

Además, con sus variadas lecturas y su experiencia sobre el movimiento, pronto se imaginó un sistema híbrido del universo, en el cual la Tierra permanecía en el centro, la Luna y el Sol rotaban alrededor de ella, y los demás planetas alrededor del Sol. Como se ve, sin conocer el trabajo de Tycho Brahe, Galileo también llegó a una propuesta geo-heliocéntrica, que sin embargo no publicó cuando se dio cuenta de que otros ya la habían propuesto.

En 1604, mientras estaba en Padua, apareció otra vez en el cielo una estrella nueva como la que le tocó ver a Tycho en 1572. Esto, en tiempos en que tantas ideas estaban siendo cuestionadas, dio mucho que pensar y decir a los profesores en las universidades y a los miembros de las cortes de Europa. Una vez más se tenían pruebas de que el mundo supralunar sí cambiaba, y muchos entraron en la discusión. Por un tiempo Galileo mismo dejó de lado su trabajo para participar en el debate. Dio varias pláticas sobre el tema en su universidad, con auditorios llenos, y más tarde escribió una obra de teatro en tono de farsa donde se burlaba de los filósofos dogmáticos que rehusaban aceptar el cambio en el cielo (y el cambio en las ideas). En este *Dialogo de Cecco di Ronchitti,* Matteo y Natale, dos campesinos de la región, se reúnen para comentar sobre la estrella nueva. Uno de ellos defiende la posición de los filósofos (que opinaban que la nova debía estar en nuestra atmósfera), y el otro está del lado de los matemáticos (que habían medido su distancia y decían que se encontraba más allá de la Luna). El tono de toda la obra es muy satírico, como podemos leer en este fragmento:

> —El filósofo dice que si esta estrella estuviera en el cielo, toda la filosofía natural sería una broma; que Aristóteles pensaba que si se agregaba una sola estrella al cielo, éste ya no se podría mover.
>
> —¡Qué plaga! Esta estrella ha cometido un gran error. Fue y les arruinó toda su filosofía.

En resumen, cuando se acercaba el año de 1609 Galileo estaba al tanto de las discusiones de su época sobre el divorcio entre la astronomía y la cosmología, sobre los viejos y nuevos sistemas. En su trabajo sobre el movimiento había cuestionado las ideas de Aristóteles. Incluso había cavilado sobre algunos fenómenos, como las mareas, utilizando los planteamientos del sistema copernicano. Pero ni había trabajado como astrónomo, ni había expresado claramente su posición respecto de los dos sistemas alternativos.

Los primeros telescopios

En octubre de 1608 un artesano del vidrio holandés, Hans Lipperhey, acudió con su príncipe a pedir una patente para un instrumento que acababa de inventar. Se trataba de un dispositivo —compuesto de dos lentes montadas en un tubo— con el cual las cosas se veían como si estuvieran más cerca y fueran más grandes. La patente no le fue otorgada porque al mismo tiempo otro artesano, Zacharias Janssen, dijo haber inventado el mismo dispositivo. Como solución, ambos recibieron trabajo como artesanos del reino. Es interesante que este instrumento se inventara al mismo tiempo en dos lugares distintos; parecería que estaban listas las condiciones materiales que permitirían que alguien tuviera esta idea.

En muy pocos meses la noticia de este interesante objeto corrió por toda Europa. Pronto había muchos similares en la misma Holanda, y poco tiempo después se podían comprar en París en las mismas tiendas donde se vendían anteojos. Estos nuevos anteojos eran objetos relativamente baratos que mucha gente compró por mera curiosidad y se volvieron algo así como el juguete de moda. Al cabo de un rato, también en los reinos italianos se supo de este invento y, como nos dice Galileo mismo: "Cerca de diez meses hace que llegó a nuestros oídos la noticia de que cierto belga había fabricado un anteojo me-

diante el que los objetos visibles muy alejados del ojo del observador se discernían claramente como si se hallasen próximos". Y, aunque estaba a la mitad de sus estudios sobre el movimiento, hizo una pausa para averiguar más acerca de este invento. Otra vez en sus palabras:

> [Esto] me indujo a aplicarme por entero a la búsqueda de las razones, no menos que a la elaboración de los medios por los que pudiera alcanzar la invención de un instrumento semejante, lo que conseguí poco después basándome en la doctrina de la refracción. Y, ante todo, me procuré un tubo de plomo a cuyos extremos adapté dos lentes de vidrio, ambas planas por una cara, mientras que por la otra eran convexa la una y cóncava la otra. Acercando luego el ojo a la [lente] cóncava vi los objetos bastante grandes y próximos, ya que aparecían tres veces más cercanos y nueve veces mayores.

Así que, en agosto de 1609, Galileo tenía un instrumento parecido al que estaba de moda en toda Europa. Siendo un hombre curioso y sagaz, enseguida se le ocurrió que este anteojo podía tener interesantes aplicaciones, de modo que se dedicó a tratar de perfeccionarlo y pronto tuvo un instrumento con un aumento de ocho, casi tres veces más potente que los que se habían hecho hasta entonces.

Como recordarán, en 1609 Galileo ya vivía en Padua, que era parte de la república de Venecia. Y como seguramente sabrán, por ese entonces Venecia era una república poderosa gracias a su armada y sus hábiles navegantes. Eran ricos, y por lo tanto poderosos, porque hacían extensas navegaciones y traían desde tierras lejanas materiales exóticos con los que comerciaban. No fue difícil entonces que se le ocurriera a Galileo ofrecer su instrumento a los dirigentes de Venecia. Y, como le contó a su cuñado en una carta fechada el 29 de agosto de ese año, lo mostró a los caballeros junto con todo el senado

> para el infinito asombro de todos; y hubo varios caballeros y senadores que, aunque viejos, subieron más de una vez las escaleras a los campanarios más altos de Venecia para observar en el mar a naves y velas tan lejanas que, aunque venían a toda vela hacia el puerto, tuvieron que pasar dos horas antes de que se pudieran ver sin mi anteojo.

Naturalmente, este instrumento le pareció muy útil al gobierno de Venecia, pues permitiría a los navegantes ver las embarcaciones enemigas dos horas antes de que a ellos los pudieran avistar. Los senadores recibieron el obsequio, de inmediato ordenaron que se le doblara el salario a Galileo e hicieron vitalicio su puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Padua.

Las observaciones

Pero Galileo no se contentó con el éxito que tuvo frente al gobierno de Venecia, y siguió perfeccionando el anteojo. Para noviembre, probablemente con la ayuda del artesano que tenía contratado para hacer otros instrumentos, había construido un anteojo que daba un aumento de 20 y, poco después, otro con aumento de 30. Entre noviembre y diciembre de 1609 apuntó por primera vez su telescopio hacia arriba, para mirar el cielo de noche, y lo siguió haciendo todas las noches que le fue posible hasta marzo del año siguiente. En este periodo hizo una serie de descubrimientos increíbles de los que dio cuenta en marzo en un pequeño libro llamado *Sidereus Nuncius [El mensajero de las estrellas]*. En su formato y su estilo, esta obra contiene algunas novedades que es importante revisar antes de empezar a repasar su contenido. Por lo menos dos son indispensables para entender lo que sigue: la primera es que, al interponer un instrumento entre el ojo y el cielo, Galileo cambió el modo de hacer astronomía; y la segunda está en la forma

misma en que informó sobre su hallazgo. Veamos cada una de ellas por separado.

La manera en que se había observado el cielo hasta entonces era con el instrumento natural que todos tenemos: el ojo. Cuando mucho, como vimos en el caso de Tycho, los astrónomos se apoyaban en el uso de instrumentos sencillos, como el cuadrante, que ayudaban a dirigir el ojo para medir con mayor precisión la posición de los cuerpos en el cielo. Pero el telescopio no era una versión mejorada de alguno de estos instrumentos: era algo completamente diferente. En consecuencia, hizo falta que Galileo aprendiera a hacerlo, a usarlo, y luego les explicara a otros lo que él había aprendido.

Veamos cómo eran estos telescopios. Probablemente Galileo hizo sus descubrimientos más importantes con el instrumento que tenía un aumento de 20. Un instrumento así era un tubo largo y delgado; los primeros se hicieron de plomo, luego de madera y finalmente de cartón. El más largo medía cerca de un metro, y el más grueso, un poco más de cinco centímetros de diámetro. Como él mismo nos lo dice, del lado que iba cerca del ojo llevaba una lente plano-convexa, es decir, plana por un lado y abombada por el otro. Del otro lado había una lente plano-cóncava, con un lado plano y el otro ahuecado. La lente ocular (la que va cerca del ojo) estaba montada en un pequeño tubo que se podía ajustar para enfocar la imagen. Con un instrumento como éste el campo de visión era de aproximadamente 15 minutos de arco. Esto quiere decir que, por ejemplo, sólo cabía la mitad de la Luna.

Acerca del modo de observar a través de uno de estos anteojos, Galileo escribió en una carta:

> Sólo me queda, para satisfacer su petición, decirle qué se debe hacer para utilizar el telescopio; se debe sostener con firmeza, y por lo tanto es bueno fijarlo a un lugar estable para evitar el temblor de la mano que resulta del movimiento de las arterias y de la

> respiración. Las lentes se deben mantener limpias con una tela, pues de otro modo se forma una nube por la respiración, el aire húmedo o el vapor que sale del ojo mismo, especialmente cuando hace calor […] Es bueno que la lente convexa, la que está más alejada del ojo, esté parcialmente cubierta […] pues así los objetos se ven mucho más claramente.

A partir de este breve texto nos damos cuenta de que aprender a observar a través del telescopio fue un proceso que requirió especial atención. Al mismo tiempo que tuvo que aprender la técnica de pulir mejores lentes y con mayor aumento, Galileo tuvo que aprender la mejor manera de mirar a través de este instrumento hasta entonces inexistente. En la carta menciona explícitamente la importancia de la estabilidad y la limpieza del instrumento, y nos podemos imaginar que sin ellas no se podía ver igual de bien. Pero también, y esto quizás no nos suene tan lógico, recomienda tapar una parte de la lente. Hay que tener en cuenta que, aun cuando las técnicas para pulir vidrio y darle la forma de lentes eran suficientes para hacer buenos anteojos para leer, las lentes que se requerían para los telescopios tenían que ser mucho más potentes (con mayor curvatura) y por ende eran más difíciles de hacer. La mejor parte de una lente siempre es el centro: ahí las aberraciones o distorsiones son menores. Así que lo que hizo Galileo al agregar un diafragma fue asegurarse de que estaba viendo por esta zona de la lente.

La segunda novedad en el libro de Galileo era la presencia de dibujos realistas. Hasta entonces ningún tratado sobre astronomía había contenido representaciones realistas del cielo. La cosmología, que era parte de la filosofía, se enseñaba principalmente con palabras y sólo de vez en cuando se agregaba un esquema de las esferas celestes (como los del capítulo anterior). Por su parte la astronomía, que era parte de las matemáticas, se explicaba utilizando una combinación de palabras, símbolos matemáticos, diagramas y una gran cantidad de tablas.

Por esa época, en los libros de otras disciplinas que estudiaban la naturaleza, como la botánica o la anatomía, ya se estaban utilizando ilustraciones cuidadosas que representaban de la manera más realista posible sus objetos de estudio. Por ejemplo, los libros de Vesalio, un famoso anatomista de esa época, combinaban descripciones verbales con dibujos detallados de las diversas partes del cuerpo (figura II.2). Con estos dibujos se podían hacer grabados y reproducir las imágenes sin distorsión. Así fue posible enseñar más y mejor esas disciplinas. Pero los especímenes de plantas o las partes del cuerpo humano eran objetos que se tenían muy a la mano. En cambio, los cuerpos celestes no sólo estaban muy lejos, sino que antes del telescopio casi todos se veían como meros puntos brillantes. Sólo había dos cuerpos que sí aparecían como discos en el cielo, el Sol y la Luna, y hasta ese momento ningún texto astronómico llevaba ilustraciones de ellos.

Con el telescopio, Galileo alcanzó a ver detalles impresionantes de los cuerpos celestes ya conocidos y también descubrió otros que hasta entonces eran completamente desconocidos. Afortunadamente, como vimos en su biografía, sabía dibujar bastante bien, y aplicó esta habilidad para registrar imágenes realistas de la Luna y el Sol. *El mensajero de las estrellas* contiene texto y diagramas, como los escritos astronómicos que le preceden, pero introduce además la novedad de ilustraciones realistas de la Luna.

Así, el nuevo instrumento requirió un proceso de aprendizaje para su mejor uso. El resultado de esta tarea aportó datos completamente nuevos, y ahora no sólo se podía informar con texto o diagramas, sino también con dibujos realistas. Pero no debemos olvidar que entre la acción de observar y la de informar hay otra más, tremendamente importante: la de interpretar. A lo largo de los siguientes ejemplos veremos de cerca los esfuerzos de Galileo por entender tantas novedades y acomodarlas dentro del esquema de lo que conocía o imaginaba.

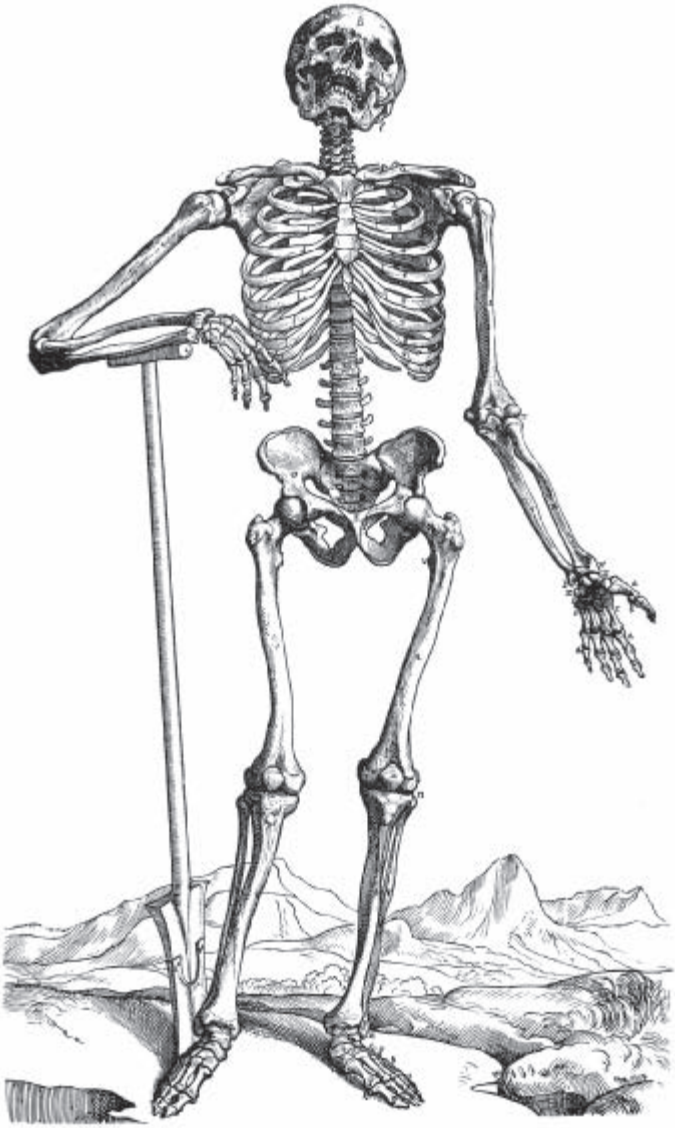


Figura ii.2. *Ilustración naturalista de Vesalio, aparecida en su obra* Humani Corporis Fabrica.

El mensajero de las estrellas es un libro pequeño que contiene tres grandes noticias. Observen que lo que Galileo reporta ahí eran cosas nunca antes vistas, ni por todos los astrónomos de la historia que le precedía, ni por persona alguna en la Europa de su tiempo. Es más, en el momento en que se publicó el libro él estaba completamente solo, porque nadie más tenía un telescopio tan potente como el suyo. Debió de ser un periodo verdaderamente emocionante, y en cierto modo el tono del libro lo refleja. Si nos imaginamos que somos un lector de su época, es como si Galileo fuera nuestro guía a través de un mundo desconocido hasta entonces. En una época repleta de relatos de los descubrimientos en América y Asia, éste debió de ser el que describía los mundos más exóticos e inimaginables. A través del texto nos hace voltear aquí y allá para notar detalles y nos hace sentir ansias por tener también uno de esos instrumentos que nos permiten viajar al universo.

El orden en que Galileo presentó sus descubrimientos va de lo más conocido a lo más novedoso. Primero hablaba de la Luna, luego de las estrellas y finalmente de los satélites de Júpiter. Acerca de las observaciones de la Luna es importante que recordemos que su imagen no cabía completa en el telescopio de Galileo. Tenemos que imaginar, pues, que observaba un pedacito, lo dibujaba, regresaba al telescopio y volvía una vez más al papel. Es decir, las imágenes de la Luna que nos dejó son en realidad mosaicos de varias imágenes. Además, todo el tiempo tenía que volver a apuntar su telescopio, pues la rotación de la Tierra hace que el objeto celeste que se está observando se vaya quedando atrás. Si comparamos los apuntes que tomó mientras hacía las observaciones con la versión final que presenta en el libro, podemos notar que en éste omitió ciertos detalles y ordenó el relato para ayudar a su lector a entender. Teniendo esto

en mente, sigamos la manera en que explicó y ubicó cada cosa nueva que documentó.

Sobre la Luna, pues, dijo que con su telescopio este cuerpo celeste aparentaba estar más cercano, se veía casi 30 veces mayor, y "no se halla cubierta por una superficie lisa y pulida, sino áspera y desigual", como la Tierra. La primera imagen que mostró fue realizada pocos días después de la Luna nueva, y se ve cómo apenas se empieza a iluminar un cuernito del lado derecho de la cara de la Luna. Utilizando la imagen, hizo notar varias cosas interesantes, como que "el límite que divide la parte oscura de la luminosa no se extiende uniformemente según una línea oval, tal y como debería ocurrir en un sólido perfectamente esférico, sino que se halla trazado por una línea desigual, áspera y notablemente sinuosa".

Galileo, como todos en su tiempo, sabía que en el cosmos de Aristóteles los cuerpos celestes debían ser esferas perfectas. Pero eso no era lo que él veía a través de su telescopio.

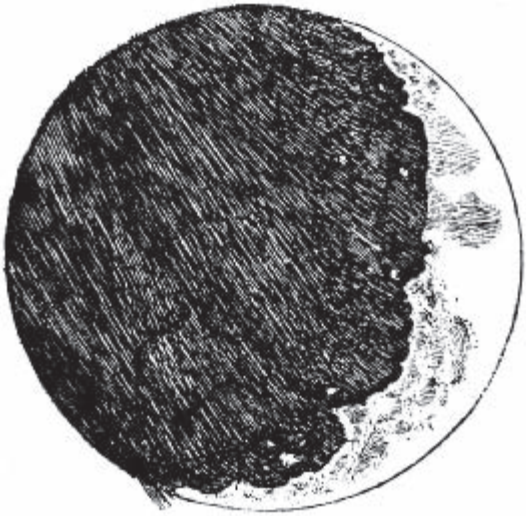


Figura II.3. *Dibujo de la Luna hecho por Galileo. Se observa que la frontera entre la parte oscura y la iluminada no es una curva sencilla porque la Luna es rugosa.*

"Además, lo que representa una mayor maravilla, en la parte tenebrosa de la Luna aparecen innumerables puntos luminosos completamente separados y desgajados de la región iluminada." Así lo expresó Galileo y a continuación, utilizando solamente palabras, describió cómo se quedaba mirando una zona durante bastante tiempo y así pudo ver que en la parte oscura, cerca de la frontera con la parte luminosa, aparecía un pequeño triángulo brillante (en la figura 11.3 lo vemos casi hasta abajo, en el centro); que este triángulo iba creciendo lentamente y que, al final, terminaba por integrarse a la parte luminosa. A partir de esto, interpretó que se trataba de una montaña y comparó con lo que se conocía en la Tierra:

> ¿Acaso no ocurre lo mismo en la Tierra, donde antes de la salida del Sol las más altas cimas de los montes se hallan iluminadas por los rayos solares, mientras que la sombra ocupa aún las llanuras? ¿Acaso al cabo de un tiempo no se va dilatando aquella luz a medida que se iluminan las partes medias y más amplias de esos mismos montes y, una vez que el Sol ha salido, no terminan por unirse las partes iluminadas de llanuras y colinas?

Seguramente lo que sucedió fue que al ver esto Galileo imaginó la explicación de la montaña y volvió a observar durante un tiempo buscando una comprobación a lo que había imaginado.

A continuación mostraba dos imágenes de la Luna, una en cuarto creciente, y la otra en cuarto menguante. Es decir que contrastaba la Luna iluminada desde la derecha en la primera imagen, y desde la izquierda en la segunda. Acerca de estas imágenes comentó cómo se podían ver manchas grandes, que eran las que ya se conocían pues se podían percibir a simple vista, y muchas más pequeñas y que sólo aparecían al observar a través del telescopio.

Para tratar de entender, Galileo todo el tiempo comparaba

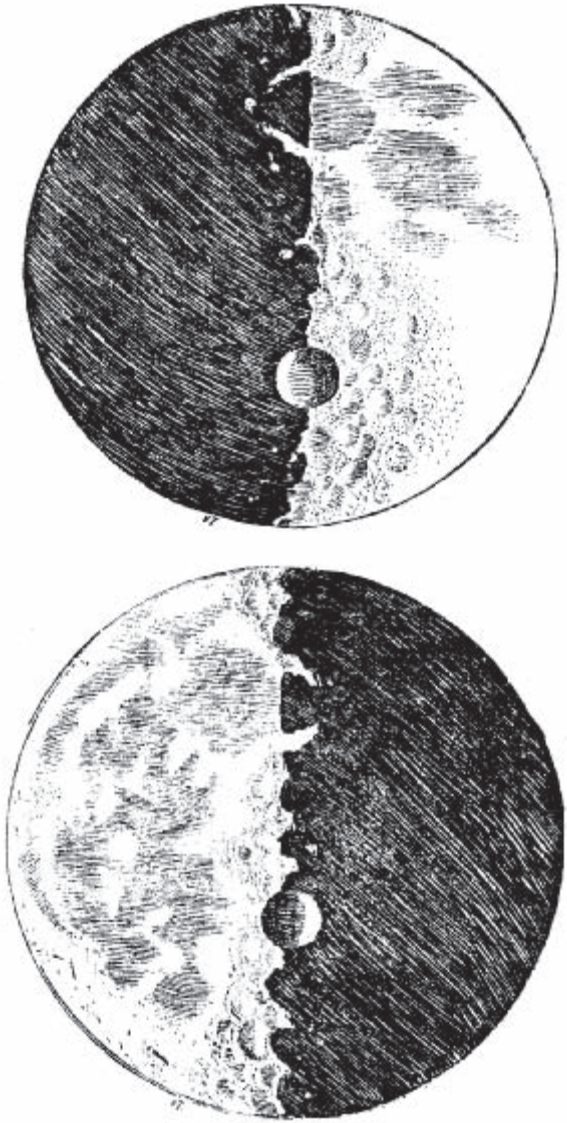


Figura II.4. *Dibujos de Galileo de la Luna en cuarto creciente (arriba) y cuarto menguante (abajo). La diferencia de iluminación ayuda a entender las irregularidades de la superficie.*

lo que veía a través del telescopio con lo que ya conocía. Así, de las manchas grandes dijo que seguramente se trataba de lagos u océanos, mientras que las partes blancas seguramente eran el equivalente de nuestros continentes. Para entender (y ayudar a sus lectores a entender) las manchas más pequeñas hizo la siguiente comparación: "Esta superficie lunar que se halla cubierta de manchas como una cola de pavo real de ojos cerúleos se asemeja a aquellos vasitos de vidrio que, inmersos aún calientes en agua fría, adquieren una superficie agrietada y ondulada".

Decía, pues, que las manchas oscuras de la Luna indicaban que está cubierta de chipotes y abolladuras, y utilizó la más grande, la que se veía justo en la frontera entre la parte iluminada y la oscura, para demostrarlo. Hizo notar que esta zona bien redonda, cuando estaba iluminada desde la izquierda, tenía su lado izquierdo oscuro, y el derecho, iluminado. Y cuando la luz venía de la derecha, sucedía justo lo contrario. Interpretó esto como que se trataba de un valle perfectamente redondo, rodeado de montañas. Seguramente para hacer esta interpretación le sirvió su formación como dibujante, pues conocía los efectos que tienen las diferentes iluminaciones sobre un mismo cuerpo. Además, sorprendido por las enormes sombras que arrojaban estas montañas, hizo un cálculo utilizando geometría para saber su tamaño, y encontró que debían de ser más grandes que las montañas que hay en la Tierra.

Finalmente, Galileo planteó una duda: si la Luna es toda rugosa, si tiene montañas así de grandes, ¿entonces por qué la orilla de afuera (digamos en Luna llena) se veía lisa? Otra vez llegó a su respuesta utilizando una comparación, y escribió:

> En la Tierra, las cumbres de muchos montes próximos aparecen dispuestas según una superficie plana si quien los contempla se halla alejado y situado a una altura igual. De modo semejante, las hirsutas crestas de las olas de un mar agitado parecen tendidas según un mismo plano, siendo así que entre ola y ola enorme

> es la abundancia de abismos y oquedades a tal punto profundas que pueden esconder en su seno no sólo el casco, sino también el puente, la arboladura y las velas de elevados navíos.

Consideraba, pues, que podía haber grandes irregularidades pero que eran tantas que el borde de la Luna se veía liso por una especie de promedio de todos los picos que tenía.

Muchas más estrellas

Lo siguiente que observó Galileo a través de su nuevo instrumento fueron las estrellas fijas, que así se llamaban pues se pensaba que estaban pegadas a la última esfera del universo. Y lo primero que informó en su libro sobre este tema fue que, mientras que los planetas aumentan mucho de tamaño al mirarlos a través del telescopio, estas estrellas fijas sólo se veían un poco más grandes. Su interpretación era que al verlas a simple vista las estrellas tienen un fulgor o una cabellera que hace que se vean más grandes de lo que son. Cuando se observan por el telescopio, aunque éste aumenta su tamaño, pierden la cabellera. El resultado final era que se veían bastante menos aumentadas que los planetas. Recordemos que el instrumento era nuevo y que todavía se conocía poco acerca de cómo funcionaba. Aquí Galileo estaba reflexionando acerca del trabajo que hacía el instrumento, y concluyó que los ojos distorsionan la imagen de las estrellas y que esto se corrige con el telescopio.

Al comparar la apariencia de estas estrellas con la de los planetas, comentó que las primeras se ven con picos, y los segundos como círculos. A partir de ello aseveró que las estrellas deben tener luz propia, y los planetas deben de ser cuerpos opacos que reflejan la luz de otro. En esa época se creía que todos los cuerpos celestes estaban hechos de éter, y lo único que los distinguía eran sus movimientos: las estrellas presentaban

un solo movimiento sencillo y los planetas tenían varios movimientos. Pero ahora empezaba a parecer que tenían diferencias importantes.

A continuación comentó que para donde apuntara su telescopio encontraba una gran cantidad de estrellas que no se percibían a simple vista. Explicaba que si las estrellas que vemos sin ayuda de un instrumento van de la magnitud 1 (las más brillantes) a la 6 (las menos), él ahora podía ver seis magnitudes más, de la 7 a la 12. Para mostrar esto agregó el diagrama de una parte de la constelación de Orión (véase figura II.5). En él dibujó las nueve estrellas que se conocían antes (puntos rodeados de una estrella de picos) y las 80 estrellas recién descubiertas (asteriscos). Imaginen la emoción que habrá experimentado al encontrar decenas de cuerpos celestes que nunca había visto nadie. Además, piensen en la perplejidad que habrá sentido al tratar de entender si se trataba simplemente de estrellas menos brillantes que también estaban sobre la esfera que marca el confín del universo, o quizás astros igual de brillantes, pero más lejanos que los que se conocían hasta entonces.

Para terminar con el tema de las estrellas, en su libro contaba que dirigió su telescopio hacia la Vía Láctea y descubrió que no se trataba de una larga nube difusa, sino de una vastísima colección de estrellas. Lo mismo le sucedía cuando apuntaba su instrumento hacia otras nebulosas que se observaban en el cielo. Tal es el caso de la Nebulosa del Pesebre, en la cual a simple vista apenas se distinguían dos estrellas rodeadas de una nube blanca. Mirando a través del telescopio, dejaba de parecer nube y se podían apreciar más de 40 estrellitas nunca antes observadas.

Después de cientos, incluso miles, de años de conocer el cielo estrellado de un modo, de ubicar perfectamente las constelaciones que lo caracterizaban, a partir de este momento los europeos pasaron a ver otro cielo, un cielo prácticamente nuevo. Fue como si les quitaran un velo de los ojos.

Figura II.5. *Constelación de Orión vista con el telescopio por Galileo. Las estrellas más grandes (con un punto en el centro) son las que se veían antes, y las más pequeñas, las recién descubiertas.*

Figura ii.6. *Nebulosa del Pesebre vista con el telescopio por Galileo. A simple vista sólo se veían las dos estrellas grandes, y lo demás parecía una nubecita.*

Cuatro nuevos planetas

"Resta lo que parece más notable de la presente empresa, cual es mostrar y dar a conocer cuatro planetas nunca vistos desde el comienzo del mundo hasta nuestros días." Así empieza la última sección del libro en que Galileo informaba al mundo entero sobre sus primeros descubrimientos del cielo a través de su telescopio. Y, en efecto, se guardó para el final la noticia más espectacular.

Como en los casos anteriores, relataba lo que encontró y lo que fue pensando conforme trataba de entender tanta novedad.

En este caso empezaba diciendo que el 7 de enero de 1610 observó al planeta Júpiter y lo encontró acompañado por tres estrellitas. Considerando, como era natural, que éstas formaban parte de las estrellas fijas, le llamó especialmente la atención que todas aparecían sobre una línea recta y alineadas con Júpiter. "Su disposición mutua y respecto de Júpiter era":

Ori. ✳ ✳ ○ ✳ Occ.

Todavía no se había interesado demasiado en el asunto y, en medio de otras observaciones, a la siguiente noche volvió a mirar hacia el mismo planeta y ahora encontró el siguiente acomodo:

Ori. ○ ✳ ✳ ✳ Occ.

Lo que le llamó la atención esta vez fue que el planeta aparentaba haberse movido bastante hacia el oriente respecto de las tres estrellitas, mientras que las tablas astronómicas indicaban que en ese momento debía de estarse moviendo hacia el occidente. Y ahora sí que se quedó muy interesado en ver lo que estaba pasando, pero a la siguiente noche estuvo nublado. Esto seguramente aumentó aún más su curiosidad, y el 10 de enero encontró a Júpiter acompañado por sólo dos estrellas, esta vez ubicadas de su lado oriental:

Ori. ✳ ✳ ○ Occ.

Prácticamente lo oímos exclamar en su texto: "Tornándose ya en admiración mi perplejidad, reparé en que el cambio aparente había de atribuirse no a Júpiter, sino a las estrellas, determinando por ello que tenía que observar en adelante con mayor escrupulosidad y clarividencia".

A partir de ese momento, y durante dos meses, observó a Júpiter y a estas curiosas estrellas todos los días que pudo para

tratar de entender qué estaba pasando. En el libro incluyó página tras página de diagramas, a veces incluso dos por noche, en los que ubicaba las posiciones del planeta y sus acompañantes. El 13 de enero encontró lo siguiente:

Es decir que en total eran cuatro las estrellas que acompañaban a Júpiter. Tal y como se lo había propuesto, ahora tuvo mucho más cuidado con los detalles e intentó medir las distancias que las separaban y comparar sus tamaños para poder identificar a cada una por separado.

Fue descubriendo, por ejemplo, que a veces algunas de estas estrellas se veían más chicas y que no siempre estaban exactamente alineadas. A través de su informe fue reconstruyendo para sus lectores el modo en que concibió una explicación para el fenómeno. Constató, por ejemplo, que efectivamente estas cuatro estrellitas nunca dejaban a su planeta. Esto lo comprobó comparando las posiciones del conjunto de los cinco cuerpos con las de las estrellas fijas, tal como se puede ver en los dos diagramas que siguen. Este primero corresponde al 28 de febrero:

y éste, al 2 de marzo:

A partir de toda la información anterior, llegó a varias conclusiones importantes. Empezó por decir que había encontrado cuatro nuevos planetas que acompañaban a Júpiter todo el tiempo; que unas veces lo seguían y otras lo precedían, pero se quedaban siempre con él, incluso en su movimiento de retrogradación. Los llamó *planetas,* pues, como recordarán, se pensaba que en el cielo había dos tipos de cuerpos, estrellas fijas o planetas errantes, y éstos recién descubiertos eran claramente del segundo tipo.

Concluyó, y esto no era tan evidente, que rotaban alrededor de Júpiter. Dijo que por falta de tiempo (antes de la publicación del libro) no había podido determinar sus periodos de rotación, pero que el más lento tardaba aproximadamente dos semanas en dar una vuelta completa alrededor de Júpiter, mientras que los demás tenían periodos aún más cortos. Aventuró una explicación acerca del cambio de tamaño que observaba en estos pequeños planetas, diciendo que podría ser que Júpiter, como la Tierra, tuviera una atmósfera, y que ésta en ocasiones se interpusiera a su visión, haciendo que los nuevos planetas se vieran más pequeños.

Además de estas conclusiones, que eran más bien de corte astronómico, llegó a otra que era de importancia cosmológica. Una de las cosas que resultaban extrañas en el sistema copernicano era la Luna, pues en este nuevo sistema todos los planetas giraban alrededor del Sol, pero quedaba un solo cuerpo que giraba alrededor de la Tierra. Dentro de un sistema que pretendía explicar el universo de un modo más coherente y elegante, esta anomalía era notable. Pues ahora, con este descubrimiento, Galileo propuso que la Luna no era una anomalía: que así como el planeta Tierra tiene su satélite, Júpiter tiene cuatro. No olvidemos que lo que estaba viendo era absolutamente inesperado, pues en ningún sistema del universo que se hubiera planteado hasta ese momento había cuerpos rotando alrededor de los otros planetas. Además, por lo menos en ese momento, él era el único que podía ver todo esto.

Desde que Galileo supo que existía un nuevo instrumento que permitía ver más cercanas las cosas distantes hasta que publicó un libro en el que relataba todo lo que había descubierto con él, solamente pasaron siete meses. Éste debió de ser un momento tremendamente emocionante para él en muchos aspectos. Primero se dedicó a entender y perfeccionar el instrumento, así como a buscar las maneras de lograr su funcionamiento óptimo. Con este novedoso anteojo pasó meses mirando al cielo y registrando —con palabras e imágenes— lo que veía y lo que pensaba. Combinó toda esta información nueva con lo que ya conocía —como la astronomía y la cosmología— y con lo que sabía hacer —como el dibujo y la escritura— para presentar sus ideas de una manera clara y sus argumentos de forma convincente. Finalmente, plasmó todo esto en una obra en la que utilizó una combinación de texto e imágenes para hacerse entender, y la publicó para que sus descubrimientos e interpretaciones llegaran a más personas.

Debió emocionarlo, sí, pero también pudo hacerle sentirse solo, pues en todo este tiempo nadie más en el mundo tenía un telescopio tan potente como el suyo. Nadie más podía ver lo que él estaba descubriendo, ni para comprobarlo ni para refutarlo. En esos siete meses, y en los años que siguieron, Galileo escribió muchas cartas a sus amigos, discípulos y colegas para contarles lo que veía y pensaba. Lentamente, las personas a su alrededor se fueron enterando de su trabajo, y este proceso se aceleró cuando apareció *El mensajero de las estrellas*. Pronto otros también tuvieron telescopios tan potentes como los suyos y los aprendieron a usar. Galileo dejó de tener la exclusiva del cielo a través del telescopio y se empezó a abrir la discusión. Esto es lo que veremos en el siguiente capítulo.

III. Discusiones

El capítulo anterior se trató casi exclusivamente de Galileo porque en esos primeros meses después de que perfeccionó su telescopio estuvo prácticamente solo mirando el cielo, mientras pocos habían oído sus noticias y nadie tenía un instrumento tan potente como el suyo. En los dos años que siguieron a la publicación de su libro *El mensajero de las estrellas* las cosas cambiaron mucho porque otros astrónomos construyeron telescopios iguales —y a veces hasta mejores— que los del italiano.

Aunque desde el inicio hubo comunicación sobre las novedades celestes, primero ésta era prácticamente unidireccional, pues Galileo tenía y repartía toda la información nueva. Podemos decir que durante esos primeros siete meses tuvo el monopolio sobre el tema. Sin embargo, en los años siguientes se abrió para muchos más la posibilidad de hacer observaciones similares, producir información nueva y con ello entrar como iguales a la discusión de los descubrimientos y sus implicaciones. Por lo tanto el periodo que siguió fue más ajetreado y aumentó el número de cartas sobre el tema que iban y venían por toda Europa. Mientras que durante siete meses prácticamente sólo podíamos oír una voz, pronto surgieron muchas más. Estas voces definitivamente no cantaban a coro: cada una tenía algo dife-

rente que decir y procuraba cantar antes y más fuerte que las demás para ser oída.

Al leer las siguientes páginas debemos tener en mente que en estos años estaban sucediendo muchas cosas al mismo tiempo: iban y venían cartas y libros por toda Europa, los astrónomos se reunían en sus poblaciones para discutir, y los que podían aprovechaban sus viajes para comparar ideas e interpretaciones con otros grupos. Contarlo todo es imposible, e intentar verlo todo al mismo tiempo resultaría verdaderamente desquiciante, así que he seleccionado algunos ejemplos de ese periodo que agrupé en cuatro temas que considero interesantes.

Los otros telescopios

> Mas hete aquí que el 15 de marzo llegan inesperadamente a Alemania noticias de que mi Galileo […] se ha ocupado de un tema por completo inusitado relativo a cuatro planetas anteriormente desconocidos […] descubiertos mediante una doble lente.

Así arrancó Kepler una carta que le escribió muy entusiasmado a Galileo cuando recibió y leyó asombrado el libro *El mensajero de las estrellas*. Y es que incluso antes de que saliera publicado, ya se sabía que hablaba de las sorprendentes maravillas del cosmos recién descubiertas, de las cuales la más impresionante era que hubiera cuatro nuevos planetas. En cuanto salió de la imprenta en marzo de 1610, su orgulloso autor cuidó de enviarlo a personas clave en países como Francia y Alemania, y por supuesto al astrónomo más reconocido de entonces, Kepler.

Gracias a sus descubrimientos obtuvo un puesto como filósofo en la corte de Florencia y se mudó allá en el verano de 1610. Una vez instalado, Galileo reanudó sus observaciones. Siguió mirando a Júpiter pues, como recordarán, tenía pendiente identificar cada satélite y medir con precisión sus perio-

dos de traslación. Además avanzó en otras direcciones, y a través de sus cartas sabemos que estaba observando varias cosas al mismo tiempo.

La carta de Kepler, que muy pronto fue conocida por todos los interesados, se llamó *Conversación con el mensajero sideral.* Y, en efecto, a pesar de estar distantes, lograba precisamente un diálogo entre los dos pensadores. En este manuscrito de ocho páginas que desbordaba entusiasmo, Kepler intercaló lo que afirmaba Galileo en su nuevo libro con lo que él ya había pensado del tema y lo que se le iba ocurriendo al conocer las novedades. El resultado, para cualquier lector, era el de estar escuchando una conversación. En resumen, aun sin haber mirado por un telescopio él mismo, el reconocidísimo astrónomo polaco dio su completo apoyo al italiano. Leamos un extracto de este diálogo, que bien vale la pena:

> Quizá pueda parecer temerario por mi parte aceptar con tanta alegría tus afirmaciones sin el apoyo de experiencias propias. Mas ¿por qué no habría de creer a tan docto matemático, cuya misma forma de escribir atestigua la rectitud de su juicio, que huye de la vanidad y de afirmar haber visto lo que no vio en busca del aplauso popular, no dudando en aras de la verdad en rechazar las ideas más tradicionales, soportando con indiferencia los vituperios del vulgo? ¿Acaso podría ocultar la realización de algo condenable quien públicamente escribe? ¿Acaso habría yo de negar credibilidad a un patricio florentino acerca de aquello que ha visto? ¿Yo, un miope, a una persona de vista penetrante? ¿A quien dispone de instrumentos ópticos, yo, desprovisto y carente de utensilios? ¿No habré de creer a quien a todos invita a ver las mismas maravillas y, lo que es más importante, a quien ofrece su propio instrumento para convencer los ojos?

Este texto es un testimonio valioso por varias razones. La primera es que nos permite tener una idea de la deliciosa y di-

vagante prosa de Kepler y al mismo tiempo compararla con los escritos de Galileo, que siempre son de un tono bastante más sobrio y directo. Aquí estaba diciendo, claramente, que le creía a Galileo simplemente por ser Galileo, pero también por la manera en que presentaba la información. No olvidemos que ambos habían afirmado estar a favor del sistema copernicano, y seguramente Kepler entendía que estos descubrimientos ayudarían para la aceptación del nuevo sistema. Pero además dejaba bien claro que le gustaría mucho tener su propio telescopio para así poder ver él también todas las maravillas que se contaban en el libro. En esto no estaba solo, muchos más conocían las noticias y querían ver esas maravillas. Aunque para muchos bastaba con que las noticias vinieran de Galileo, muchos otros querían comprobarlas.

Mientras en Praga Kepler daba su total apoyo a Galileo, en Roma el grupo de astrónomos jesuitas del Collegio Romano expresaban serias dudas. El matemático y astrónomo principal del Vaticano era el jesuita Christophorus Clavius, quien para esta época ya tenía más de 70 años. Famoso en toda Europa, fue uno de los principales arquitectos de la reforma que llevó al calendario gregoriano en 1582, además de que escribió y tradujo varios libros de texto de matemáticas. Clavius estaba completamente en contra de todo lo propuesto por el trabajo de Copérnico y sus implicaciones, tanto desde el punto de vista de la astronomía como en lo relativo a las discrepancias con las Sagradas Escrituras. Sin embargo, en su tiempo como astrónomo le tocó ver las estrellas nuevas de 1572 y 1604, y por lo tanto se había tenido que enfrentar a la posibilidad de que hubiera cambio en el universo y de que Aristóteles no lo supiera todo.

Dentro del grupo de Clavius había varios hombres más jóvenes que se enteraron del nuevo anteojo a mediados de 1609 y, del mismo modo que Galileo, se dedicaron a tratar de hacer el suyo propio. Pronto tuvieron uno y también lo apuntaron al cielo. Sin embargo, sus instrumentos no eran tan buenos como

los de Galileo, y aunque constataron las cosas más fáciles de ver como la rugosidad de la Luna y la presencia de muchas estrellas antes desconocidas, no pudieron comprobar la existencia de los cuatro nuevos planetas que giraban alrededor de Júpiter.

Galileo, quien conocía los libros de Clavius, lo había visitado cuando estuvo en Roma en 1587 y había intercambiado algunas cartas con él. Ahora le escribió para pedirle su opinión sobre sus descubrimientos. Clavius no le contestó y en cambio, por varios otros lados, Galileo tuvo noticias de que en Roma no creían que existieran los nuevos planetas. Cigoli, pintor y buen amigo de Galileo que estaba en Roma en esa época, le escribió: "Si pudieras venir no será inútil, pues los seguidores de Clavius no creen nada. Su líder Clavius le dijo a uno de mis amigos que las cuatro estrellas no se ven, y que haría falta hacer un anteojo que primero las creara y luego las mostrara; y que Galileo puede tener su opinión, pero que él se queda con la suya".

Al mismo tiempo, en Praga Kepler tuvo acceso a un telescopio y pronto logró ver los cuatro nuevos planetas que giraban en torno de Júpiter. Entusiasmado —como al parecer vivía— escribió ahora un tratado, titulado *Narración sobre la observación de los cuatro satélites de Júpiter,* en el que corroboraba las observaciones y acabó de dar su total apoyo a Galileo. Poco después publicó un libro, llamado *Dioptrice* [De las dioptrías], en el cual explicaba los principios de la óptica detrás del funcionamiento del telescopio y proponía un instrumento con otro tipo de lentes, que permitiría un mayor aumento.

Sin embargo, en Roma todavía tomó un poco más de tiempo antes de que pudieran confirmar la existencia de estos satélites, pero el problema no estaba en sus mentes, sino en sus manos: necesitaban un mejor telescopio. Impulsados por Grienberger, uno de los miembros jóvenes del grupo romano, siguieron intentando mejorar las lentes, y finalmente en noviembre de 1610 obtuvieron un instrumento lo suficientemente potente y pudieron ver los satélites. Asimismo, por ese tiempo recibieron otro

telescopio muy bueno de Antonio Santini, un mercader veneciano ya retirado que además era muy buen matemático y que pronto superó incluso a Galileo en su capacidad para hacer estos instrumentos. Poco tiempo después Galileo visitó Roma y tuvo un gran recibimiento como el descubridor de tantas maravillas.

En el último libro que publicó Clavius antes de su muerte, mencionó el telescopio, los descubrimientos y el libro de Galileo. Terminó esta parte diciendo: "Estando las cosas así, los astrónomos deben considerar cómo se han de acomodar los orbes celestes para salvar estos fenómenos". Sin tomar posición, podía ver que el viejo esquema para explicar el universo iba a tener que repensarse para incluir las novedades recién vistas en el cielo.

Así, antes de terminar el año los primeros descubrimientos de Galileo con el telescopio habían sido aceptados dentro y fuera de Italia, tanto por copernicanos como por jesuitas. Esto sólo se logró gracias a que empezaron a circular otros telescopios tan buenos como los de Galileo. Después de un año en que tuvo prácticamente un monopolio sobre los cielos, éstos se abrieron a todos.

Los cuernos de Venus

En diciembre de 1610, Galileo envió a Kepler una carta en la que decía: "Le envío el mensaje cifrado de otro particular por mí observado recientemente, el cual conlleva la decisión de grandísimas controversias en astronomía, conteniendo en concreto un poderoso argumento a favor de la constitución pitagórica y copernicana". Y agregó el anagrama: "*Haec immatura a me iam frustra leguntur o y*" [Estas prematuras de mí son al presente engañosamente reunidas].

Un anagrama es un juego de palabras que consiste en tomar las letras de una frase y revolverlas de tal modo que salga

otra frase. Cada letra de la frase original sólo se puede utilizar una vez y, de ser posible, la frase resultante debe tener alguna relación con la original. En esa época los anagramas eran una manera común de mandar mensajes codificados.

Desde octubre de 1610 Galileo había estado observando a Venus, y no sólo porque es el planeta más brillante. Como recordarán, en el modelo copernicano todos los planetas, incluyendo a la Tierra, giran alrededor del Sol. En el caso de Mercurio y Venus, como están más cerca del Sol que la Tierra, era de esperarse que presentaran fases como las que le vemos a la Luna. Es decir que, dependiendo de su posición respecto del Sol y la Tierra, reciben una iluminación diferente (a veces completa, a veces sólo de un lado) y en consecuencia deberían cambiar su aspecto. Pero a simple vista Venus siempre parece tener el mismo tamaño y la misma forma, e incluso se ve tan brillante que todos pensaban que emitía su propia luz.

Galileo conocía las dos cosas contradictorias, lo que se veía a simple vista y lo que se esperaba según el sistema heliocéntri-

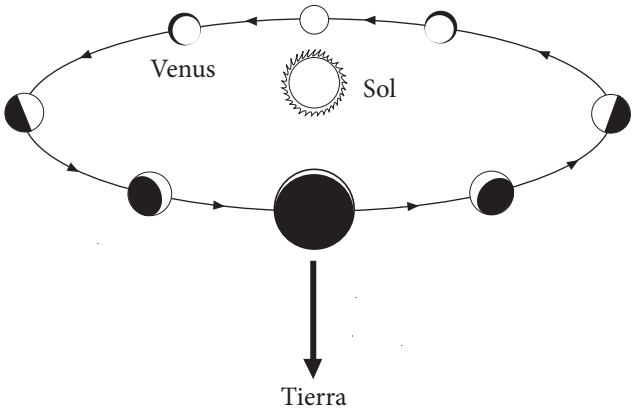


Figura III.1. *Fases de Venus como se esperaba que se vieran de acuerdo con el sistema heliocéntrico.*

co de Copérnico. Pero a diferencia del resto de los habitantes del planeta, él tenía un instrumento (y capacidad para usarlo) que le permitía resolver esta discrepancia. Quería saber cómo era en realidad Venus, y en diciembre, cuando le escribió a Kepler, creía que ya tenía suficiente documentación. Además, sabía que otros ya estaban haciendo las mismas observaciones, tanto en Roma como en Praga, y seguramente se sintió presionado. Para asegurar que el descubrimiento fuera suyo, y también para darse un poco más de tiempo, le envió a su colega polaco el mensaje cifrado.

El gran astrónomo polaco respondió con una carta que contenía ocho propuestas de solución para este anagrama, pero no adivinó de qué se trataba. De hecho, en ninguna de las soluciones incluyó a Venus. Como él mismo explicó más tarde, creía que Venus emitía su propia luz, de modo que nunca se imaginó que podría presentar fases.

En enero del siguiente año, cuando Galileo ya había observado a Venus durante cerca de noventa días (su periodo orbital es de un poco más de 224 días, así que observó casi la mitad del ciclo) y estaba seguro de su nuevo descubrimiento, le envió la solución a Kepler: *"Cynthiae figuras aemulatur mater amorum"* [Las formas de la Luna son imitadas por Venus]. Es decir, que comprobó que del mismo modo en que la Luna cambia de forma aparente a lo largo de una órbita alrededor de la Tierra, Venus va cambiando conforme se desplaza alrededor del Sol.

A partir de ese momento esparció la noticia por todos lados diciendo:

> Hace aproximadamente tres meses empecé a observar a Venus con el instrumento, y lo vi de forma redonda y muy pequeño; fue creciendo cada día en tamaño y conservando la misma redondez hasta que finalmente, cuando estaba a una gran distancia del Sol, comenzó a perder su redondez del lado este, y en unos cuantos

días se había reducido a medio círculo. Se quedó de esa forma por muchos días, pero siempre creciendo en tamaño; ahora empieza a tomar la forma de una hoz.

En este caso no hizo dibujos como los de la Luna, porque Venus no se veía con suficiente detalle. Tampoco hizo series de diagramas como los de los satélites de Júpiter, pues no tenía tanta información que organizar y comunicar. Sin embargo, dentro del texto de algunas de las cartas que envió en esa época incluyó un diagrama sencillo como éste: para ilustrar los dos aspectos notables del caso: el cambio de tamaño y de forma aparentes que observaba en Venus conforme éste hacía su órbita alrededor del Sol.

Con todo lo anterior anunciaba y hacía suya una novedad muy importante; en sus propias palabras:

> Mediante esta admirable experiencia tenemos una demostración sensible y cierta de dos grandes cuestiones hasta ahora dudosas para los más grandes intelectos del mundo. Una es que los planetas todos son oscuros por naturaleza propia (ocurriéndole a Mercurio lo mismo que a Venus); la otra, que Venus necesariamente gira en torno al Sol.

De esta cita se obtienen tres datos notables. En efecto, desde ese momento se establece que los planetas no tienen brillo propio, sino sólo reflejan la luz del Sol. Además se obtiene una demostración de que Venus gira alrededor del Sol. Pero también es de llamar la atención el uso por parte de Galileo de la palabra *sensible,* que quiere decir aquello que se percibe con los sentidos. Lo que está diciendo es que hasta entonces había que basarse en argumentos o pruebas indirectas, y que ahora por primera vez se tenía una prueba a favor del sistema copernicano que era visible para todos.

En enero de 1612, entre las muchas cartas que recibía, Galileo tuvo una de su buen amigo Mark Wesler, que vivía en Ingolstadt, Alemania. Wesler le enviaba además un breve tratado y le pedía su opinión acerca del tema que ahí se discutía. Era un libro que reunía tres cartas escritas bajo el seudónimo de *Apelles.* Este nombre venía de un pintor griego que permanecía escondido detrás de sus cuadros para escuchar las opiniones que la gente tuviera sobre ellos. El tema principal del tratado eran las manchas que se veían en el Sol si se miraba a través del telescopio. En resumen, este autor —que prefería permanecer desconocido y esperaba saber las opiniones de los demás— explicaba que había utilizado el telescopio para observar a través de un filtro y en los momentos de menor brillo como el amanecer, el atardecer o a través de las nubes. Informaba haber visto manchas sobre la cara del Sol e intentaba darles una explicación. Es claro que se trataba de un astrónomo, pues a lo largo del escrito demostraba que conocía tanto los temas como las técnicas de esta especialidad; pero también quedaba bien claro que era conservador en su manera de pensar, pues sólo podía imaginar al Sol como la esfera perfecta que Aristóteles había dicho que era. De hecho, hizo observaciones durante dos meses para llegar a la explicación que le parecía correcta, y antes de exponerla anunciaba: "ahora es posible liberar al Sol completamente del insulto de las manchas". Esto permite suponer que hizo todo lo posible por encontrarles a tales manchas una buena explicación que no implicara que el Sol fuera imperfecto. A continuación explicaba que él pensaba que no podían ser nubes ni manchas, de modo que debía de tratarse de planetas que giraban alrededor del Sol en órbitas muy pequeñas y parecían manchas al pasar delante de él.

Poco tiempo después de recibir este documento, en mayo de ese mismo año, Galileo le respondió al anónimo astrónomo

a través de su amigo alemán. En esta carta aclaraba, ante todo, que él ya había observado las manchas y se las había mostrado a otros, incluso en Roma. Declaraba estar de acuerdo en algunas de las afirmaciones de Apelles, como que las manchas se mueven y cambian de forma. Pero había otras que no le parecían, y lo dijo claramente. Lo primero que objetaba era su punto de vista tan conservador, que sólo podía ver al Sol a través del pensamiento aristotélico:

> Mientras los hombres estaban obligados a llamar al Sol "el más puro y el más lúcido" ninguna sombra ni impureza se habían detectado en él; pero ahora que se muestra a nosotros parcialmente impuro y manchado, ¿por qué no llamarlo impuro y manchado? Los nombres y los atributos se deben acomodar a la esencia de las cosas y no la esencia a los nombres, pues las cosas vienen primero y los nombres después.

Lo que estaba proponiendo era que se vieran las cosas como son y no como la tradición decía que deberían ser. Incluso llegó hasta el punto de decir que 2 000 años los separaban de Aristóteles, que ya mucho se había pensado y visto desde entonces, y que si el pensador griego hubiera tenido un telescopio a la mano seguramente hubiera pensado de otro modo acerca del universo.

Hacia el final de su carta, Galileo anunciaba que aún no estaba listo para defender su propia posición acerca de estas manchas porque no había hecho suficientes observaciones, pero aun así adelantaba que él pensaba que el Sol rota, que las manchas están pegadas a él y que por lo tanto rotan con él.

A lo largo de esta carta siempre mostró respeto por su interlocutor, como se observa en estas líneas: "Percibo en Apelles una mente libre y nada servil. Es capaz de entender las doctrinas verdaderas, pues llevado por la fuerza de tantas novedades ha empezado a parar el oído y el entendimiento a la buena y

verdadera filosofía". Tanto por el tono con el que le escribió como por el cuidado y detalle de la carta, se ve que apreciaba tener un interlocutor interesado y enterado para discutir las cosas que tanto le importaban.

Tres meses después, en agosto de 1612, Galileo le volvió a escribir a Wesler. Esta carta tardó mucho tiempo en llegar a su destino porque primero pasó por Venecia, donde se encontraba otro amigo de Galileo, Sagredo, y éste se la quedó un tiempo para copiarla y así poder mostrarla a otros. Esta segunda carta fue escrita después de dos meses de observaciones sistemáticas de las manchas solares, y ahora sí Galileo estaba dispuesto a exponer y defender su punto de vista. Comenzaba por explicar que pudo observar al Sol tanto tiempo gracias a un dispositivo ideado por un alumno suyo, Benedetto Castelli. En un cuarto con la menor iluminación posible, apuntaba su telescopio hacia el Sol y a cierta distancia del extremo donde debía ir el ojo colocaba una hoja de papel, donde aparecía aumentada la imagen de tal modo que podía dibujar tranquila y detalladamente las manchas que aparecían. Para asegurar que todas sus imágenes fueran iguales, hacía las observaciones a la misma hora del día, y además con un compás dibujaba círculos iguales en hojas de papel y siempre ajustaba la distancia y la inclinación de estas hojas del mismo modo. Al igual que la Luna, el Sol es más grande que el campo visual de los telescopios que tenía Galileo, de modo que seguramente lo fue dibujando por zonas. Además, recuerden que la posición que ocupa el Sol en el cielo va cambiando, así que constantemente tenía que estar reorientando el telescopio.

Tras definir la disposición y el uso del instrumento, Galileo tuvo cuidado de definir las zonas o partes del Sol, indicando que, si consideramos que rota, entonces los dos puntos que están siempre en reposo son sus dos polos y que —al igual que en la Tierra— se podía hablar de círculos de latitud y longitud. Respecto de las manchas definió como alto a la dimensión que

tienen en la dirección de los polos, y como ancho a la dimensión perpendicular a ésta. Esto resultaba muy útil para entender las noticias de sus observaciones. Con un buen dispositivo de observación y claras definiciones, ya estaba listo para empezar a informar y luego explicar lo que había descubierto sobre el Sol. A continuación anunciaba que hablaría de la forma, el tamaño, los movimientos, los cambios y la ubicación de estas manchas. En resumen, Galileo propuso que las manchas eran objetos grandes y densos que cambian de forma y de tamaño. Agregó que estas manchas debían de estar pegadas al Sol (o bien tan cerca de él que era imposible distinguirlo) y que se mueven porque el Sol gira sobre su eje. Aclaraba:

> Las diferentes densidades y grados de oscuridad de las manchas, sus cambios de forma y el modo en que se juntan y se separan son evidentes directamente a nuestra vista, sin ayuda del razonamiento, lo cual se puede ver con una mirada a los diagramas que anexo. Pero que las manchas son contiguas al Sol y que son arrastradas por la rotación de éste, sólo puede deducirse y concluirse mediante el razonamiento, usando los eventos particulares que aportan mis observaciones.

Es decir, que ciertas cosas eran visibles y todos las podían percibir, y otras más se tenían que deducir del conjunto de sus observaciones.

A lo largo de la carta demostró con cuidado lo que planteaba, y se apoyó en imágenes como las que vemos en las pp. 84 a 86 y en cálculos de la geometría de un cuerpo esférico. Respecto de las propiedades visibles, informaba que las manchas que veía se movían en dirección de oeste a este. Sus tamaños variaban: las había desde muy pequeñas hasta verdaderamente enormes. También hablaba del hecho de que se transformaban, y esto lo podemos ver en los seis dibujos que aquí se reproducen: basta con ubicar la mancha que aparece en la par-

te superior izquierda de la cara del Sol, que lleva como etiqueta la letra *M,* y seguirla a lo largo de los diez días que representa esta colección de dibujos. Inicialmente es pequeña y tenue y luego se vuelve más grande y oscura; cada vez que la vemos tiene una forma distinta, y al final parecería que se está deshaciendo. Además de las formas y tamaños, a Galileo le llamó la atención que todas las manchas aparecían siempre dentro de una misma zona entre el ecuador y los trópicos del Sol, es decir, en una franja acotada por los paralelos que se encuentran a 30 grados al norte y al sur del ecuador solar.

Aparte de los más de 30 dibujos correspondientes a sus observaciones de manchas solares en junio y julio, Galileo agregó dibujos de una mancha especialmente grande y comentó que una mancha así se podía detectar a simple vista (figura III.3, p. 87). Decía que seguramente hubo manchas como ésta antes, pero que se habían interpretado como el paso de Mercurio delante del Sol por la fuerza del pensamiento aristotélico, que decía que el Sol no podía presentar imperfecciones.

En esa época todas estas propiedades de las manchas solares las hubiera podido ver cualquiera que tuviera un telescopio y la disposición, y de hecho así fue. Las formas y tamaños de las manchas no requerían mucha interpretación. Lo realmente original por parte de Galileo fue lo referente a los movimientos de las manchas solares. Como ya adelantamos, él propuso que las manchas están pegadas al Sol, que éste rota, y que por lo tanto las manchas rotan con él. Para defender esta posición tenía que rebatir lo que había dicho Apelles, pero además debía ir contra la idea de que el Sol era perfecto. Para esto se apoyó, como él mismo lo dice en la última cita, en un buen número de observaciones sistemáticas y en el razonamiento. Apeló al conocimiento de la geometría por parte de sus lectores, y en particular a la proyección de un cuerpo sobre la superficie de una esfera. Apoyaba su hipótesis en tres argumentos. Primero, mostraba que las manchas se hacían más anchas cuando lle-

gaban al centro del Sol, y más angostas cuando alcanzaban una de sus orillas, como le pasa a la mancha *M* entre el 24 y el 28 de julio. Luego, mediante el uso de trigonometría, demostró que esto es justo lo que le pasa a una imagen sobre una esfera que rota. Segundo, mostró que "los espacios atravesados en tiempos iguales por la misma mancha aparecen siempre menores a medida que se hallan más próximos a la circunferencia del Sol". Es decir, que las manchas aparentemente iban más rápido por el centro de la cara del Sol, y más lento cuando se movían cerca de una de sus orillas. Esto también es algo que sucede con imágenes que están pintadas sobre la superficie de una esfera que rota a una velocidad constante. Y tercero, demostró que se acorta la distancia entre dos manchas cuando éstas van hacia la orilla, cosa que se debe a un efecto de proyección.

Esta discusión sobre las manchas solares no terminó aquí. Todavía Apelles escribió otro tratado, donde afinaba algunos de sus argumentos, y Galileo contestó con una carta más. Las tres misivas del astrónomo italiano también se reunieron y se publicaron en un libro, de modo que la discusión pudo llegar hasta muchos más pensadores de esa época. Aunque no de manera oficial, pronto se supo que el verdadero autor de las cartas firmadas con el seudónimo de Apelles era un astrónomo jesuita de nombre Christoph Scheiner.

Lo que hace realmente especiales a estas cartas de Galileo sobre las manchas solares es el hecho de que contienen las descripciones acerca del método para hacer las observaciones, con las explicaciones sobre la manera de usar la geometría para interpretarlas y las discusiones acerca de las implicaciones cosmológicas de los resultados obtenidos. Es decir, no sólo mostraban el uso de las matemáticas para entender a la naturaleza, sino también el modo en que la astronomía y la cosmología podían coexistir.

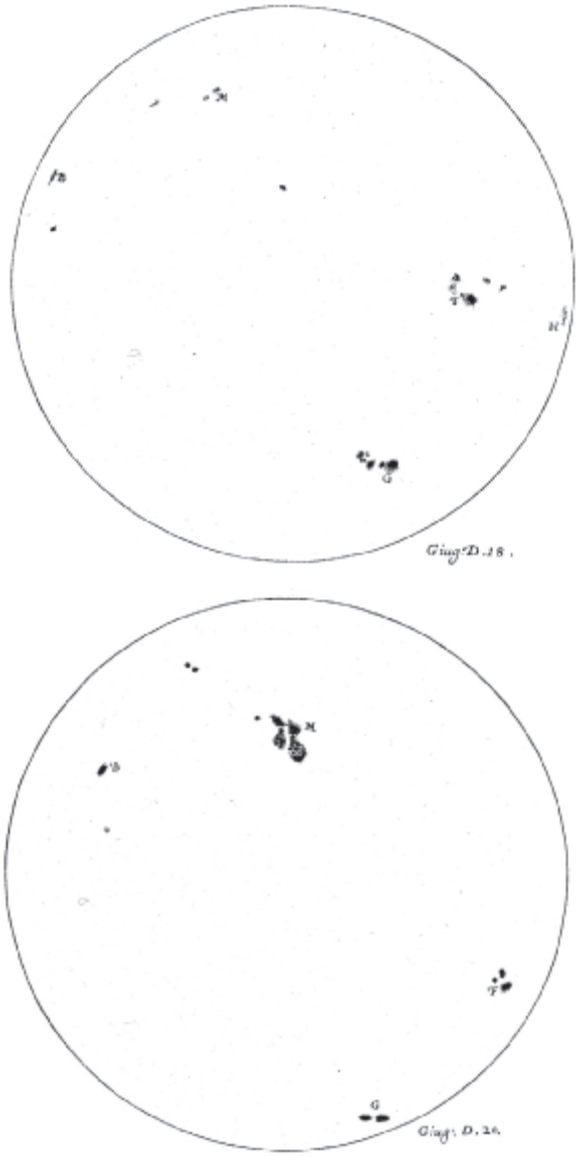


Figura III.2. *Seis dibujos de las manchas del Sol realizados por Galileo entre el 18 y el 28 de julio de 1612.*

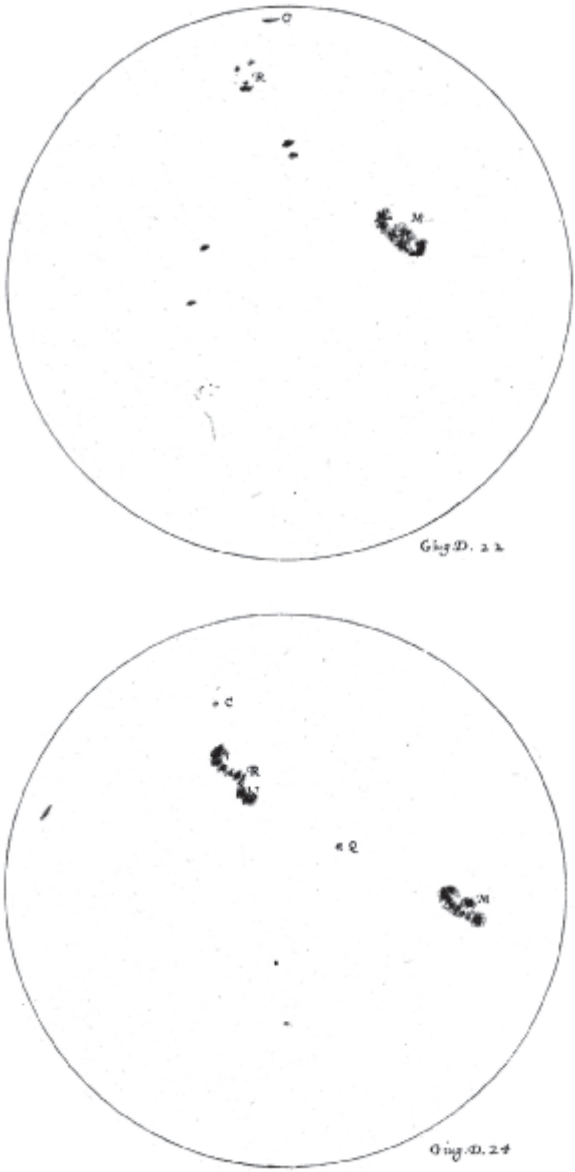


Figura III.2. *Seis dibujos de las manchas del Sol [continuación].*

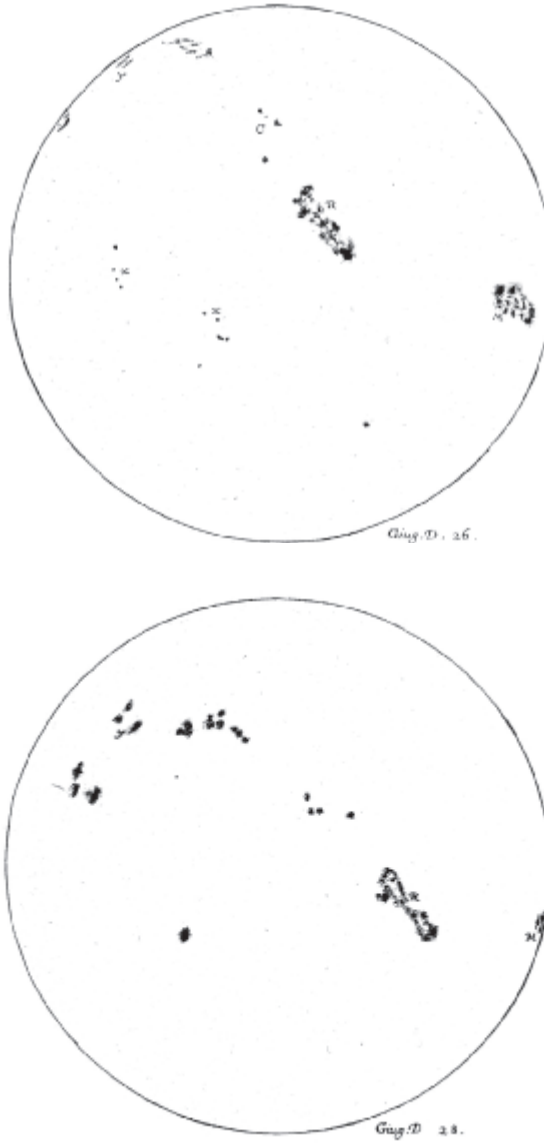


Figura III.2. *Seis dibujos de las manchas del Sol [conclusión].*

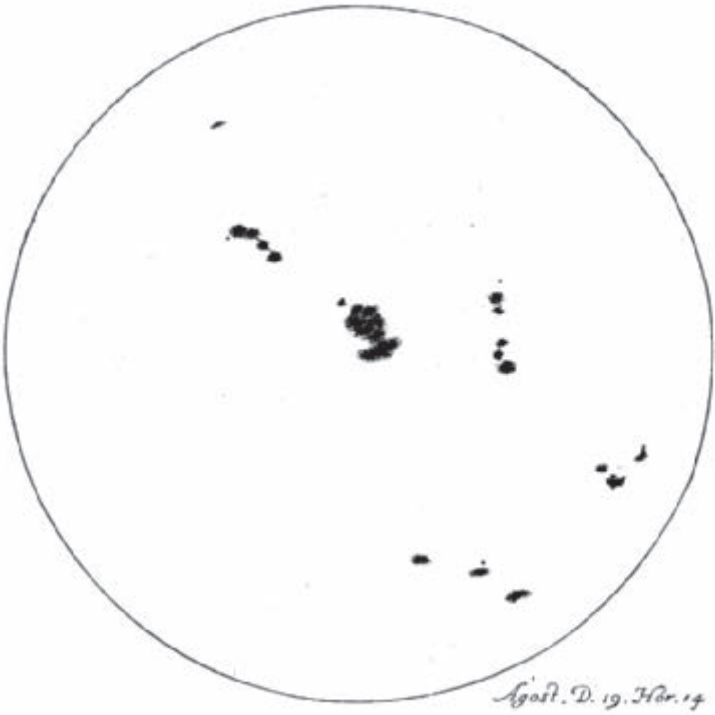


Figura III.3. *Mancha grande vista sin telescopio por Galileo el 19 de agosto de 1612.*

Emocionado pero precavido como siempre, en 1610 Galileo le escribió a Kepler una carta que llevaba el anagrama:

smaismrmilmepoetaleumibunenugttaurias

Kepler pensó que se trataba de algo relacionado con Marte, pero no pudo dar con la solución. Al poco tiempo, cuando Galileo se convenció de lo que estaba viendo a través del telescopio, resolvió el anagrama para que todos supieran que: *"Altissimum planetam tergeminum observavi"* [He observado al planeta más alto tricorpóreo]. Es decir, que al mirar a Saturno (el planeta más distante) lo veía acompañado de dos astros más, formando juntos un sistema de tres cuerpos. En una carta a Belisario Vinta, el secretario del gran duque de la Toscana, explicó lo que veía:

> La estrella de Saturno no es una estrella sola, sino que está compuesta de tres, que casi se tocan, nunca cambian o se mueven respecto de ellas, y están acomodadas en una fila a lo largo del Zodiaco, la de en medio es tres veces más grande que las dos laterales y están situadas así:

Y agregaba que, tras haberlo observado muchas veces sin encontrar cambio alguno, consideraba que esta configuración era permanente. Es decir que, a diferencia de lo que había observado en Júpiter, los satélites de Saturno eran más grandes y no se movían de su lugar. Kepler se mostró muy entusiasmado con esta idea, y en 1611, en su libro *Dioptrice,* escribió: "Galileo ha conquistado el más distante de los planetas, lo ha traído del lugar más apartado de la naturaleza, lo ha arrastrado hasta la Tierra, y lo ha expuesto a la mirada de todos nosotros".

Dos años después, en su primera carta de respuesta a Apel-

les sobre las manchas solares, Galileo insistió enfáticamente en que Saturno estaba acompañado por dos estrellas que no se movían. De hecho, llegó al punto de decir que si el otro astrónomo no podía verlo así era porque su telescopio no era lo suficientemente bueno. Pero sólo dos meses después de eso, al volver a mirarlo, encontró al planeta completamente solo y se declaró absolutamente perplejo:

> ¿Y qué se puede decir de tan extraña metamorfosis? ¿Quizás las dos estrellas pequeñas se han consumido como manchas solares? ¿Quizás han desaparecido o huido repentinamente? ¿Quizás Saturno se ha comido a sus propios hijos? ¿O bien fue una ilusión y un fraude que con los anteojos me han engañado y a muchos otros que lo han observado conmigo muchas veces?

Galileo pronosticó que pronto volverían a aparecer los compañeros de Saturno, pero no queda claro cuál era su explicación para este extraño fenómeno. Otros más también adelantaron sus interpretaciones, pero en el periodo que estamos revisando no hubo respuestas para todas estas preguntas, y el más distante de los planetas mantuvo perplejos a todos.

Obviamente, ser reconocido como el descubridor de algo es muy importante. Pero la única manera de comprobar que aquello que se descubrió existe es que otros más vean la misma cosa. Los años que hemos repasado en este capítulo muestran un periodo paradójico en el que Galileo quería retener el monopolio sobre el telescopio y sus observaciones, y al mismo tiempo necesitaba que otros hicieran las mismas observaciones para corroborar sus descubrimientos. Con los cuatro ejemplos que acabamos de revisar podemos ver justamente un periodo de transición que inicia cuando hay un solo hombre en todo el planeta capaz de observar el cielo a través de un telescopio, y termina con muchos que hacen lo mismo e intercambian infor-

mación. Naturalmente, no todos estos observadores opinaban igual, así que pronto se dieron todo tipo de discusiones dentro de la comunidad de aquellos interesados en la astronomía.

Además de ver las discusiones mismas, hemos podido presenciar el entorno en el cual se llevaron a cabo. Constatamos que ya había una comunidad europea de astrónomos que compartían el conocimiento de una técnica para la observación y la preocupación por mejorarla. Vimos que, aunque estaban desperdigados por un territorio vasto, se comunicaban frecuentemente a través del intercambio personal de cartas y la publicación de libros que podían llegar a más lectores. A través del ejemplo de los descubrimientos de Galileo, hemos podido seguir la manera en que apareció cierta información nueva, se comprobó y luego se discutió, y al final se llegó a un consenso dentro de la comunidad.

En el capítulo anterior observamos cómo se desarrolló un instrumento nuevo, se aplicó para extraer información y luego para producir o ampliar el conocimiento sobre la naturaleza. Aquí acabamos de ver la siguiente fase del proceso: la discusión y aceptación (o rechazo) de este conocimiento dentro de la comunidad de los astrónomos. En el siguiente capítulo veremos lo que pasó cuando esta información llegó a otros grupos, fuera de la comunidad especializada.

IV. Reacciones

El primer grupo que se enteró de los descubrimientos de Galileo fue el de los astrónomos, quienes, obviamente, eran los que estaban más interesados en este tema. En poco tiempo todos ellos supieron de las novedades, las discutieron, y pronto prácticamente todos estuvieron de acuerdo en que el telescopio mostraba las cosas tal y como habían sido descritas por Galileo. Desde el inicio muchos otros, fuera de este círculo especializado, tuvieron acceso a algún ejemplar del libro o a un telescopio y fueron sabiendo algo acerca del tema. Pero ni siquiera hacían falta el libro o el instrumento para enterarse de noticias tan extraordinarias, y en muchos espacios públicos se comentaron los temas de las imperfecciones en la Luna y el Sol, los nuevos satélites de Júpiter y las fases de Venus.

En el breve periodo que estamos estudiando podemos conocer las diversas formas en que reaccionaron ante las noticias astronómicas los grupos más notables de la sociedad italiana de ese momento. Incluso en esos pocos años aparecen todas las agrupaciones que desempeñaron algún papel en los años siguientes: la corte, los demás científicos, los teólogos y los filósofos. Las reacciones fueron desde total aceptación y apoyo, hasta una verdadera oposición y animadversión. En este capí-

tulo veremos tres lugares de la sociedad italiana adonde llegaron estos temas y las reacciones que ahí se dieron.

En la corte

En agosto de 1610, tan sólo un año después de que empezó a construir su primer telescopio, Galileo había cambiado su área de especialidad, su lugar de trabajo e incluso la ciudad en la que vivía. No es difícil entender por qué lo hizo. Consiguió un prestigioso puesto de mucho más estatus con el título de filósofo y matemático de la corte del gran duque Cósimo II de Médicis, quien había sido su discípulo durante cuatro años. Esta corte se encontraba en Florencia, ciudad donde creció y a la que extrañaba mucho. El nombramiento implicaba un sueldo mucho mayor que el que tenía en la Universidad de Padua y lo liberaba de la obligación de dar clases. Sumado a esto, los Médicis le dieron su apoyo total, empezando por repartir copias de su libro y su telescopio por todas las embajadas que tenían en Europa. Saltan a la vista las bondades de esta nueva posición.

Entender cómo logró este gran cambio es un poco menos sencillo y por lo tanto algo más interesante. Galileo siempre había querido regresar a Florencia; lo mencionaba una y otra vez en las cartas a sus amigos y parientes. Incluso cuando consiguió un puesto vitalicio en la Universidad de Padua tras ofrecerles el telescopio, siguió buscando la manera de introducirse en la corte de los Médicis, y con sus descubrimientos celestes creyó atisbar un camino. En realidad tuvo suerte y se dieron una serie de coincidencias que supo aprovechar para hacer una oferta que finalmente no le pudieron rechazar.

Como ya vimos antes, en esa época Italia estaba compuesta de un conjunto de pequeños reinos. En el caso de la Toscana —el reino donde se encontraba Florencia— reinaba la familia de los Médicis, quienes hasta hacía poco tiempo habían sido mercaderes, y llegaron a ser tan ricos y poderosos que se hicie-

ron nombrar duques. Como no podían contar la historia de sus antepasados nobles (porque no los tenían), inventaron una historia sobre el patriarca de la familia, Cósimo I. Ésta giraba en torno de Júpiter, el dios de la mitología griega que reinaba en la vasta extensión de los cielos y era conocido por su valor y su virtud. De este modo, los Médicis se hicieron de una historia que los ennoblecía, y con ella justificaban su dinastía y su dominio sobre la región.

Seguramente desde que Galileo hizo su descubrimiento acerca del planeta que lleva el nombre de Júpiter comenzó a pensar en el modo de utilizarlo a su favor. Y cuando finalmente estuvo seguro de que el planeta presentaba cuatro satélites su idea tomó forma, pues justamente cuatro eran las virtudes morales que se le atribuían al patriarca Cósimo I, y cuatro los hermanos de Cósimo II. Partiendo de esta coincidencia, Galileo escribió a Belisario Vinta, el secretario del gran duque, argumentando que el destino lo había enviado como mensajero para mostrar a todo el mundo estos astros que les pertenecían a los Médicis. En consecuencia, les pedía permiso para dedicar los cuatro satélites a los Médicis. Fácilmente concedido el permiso, su libro abrió con una larga dedicatoria donde el autor explica que sin duda el mejor de todos los posibles monumentos es uno en el cielo, pues permanecerá ahí por siempre. Lo expresó en la manera rebuscada que se acostumbraba en esos tiempos:

> Mas hete aquí, Serenísimo Príncipe, que podemos augurar algo mucho más verdadero y feliz a Vuestra Alteza, pues apenas han empezado a resplandecer en la Tierra tus magnificencias, aparecieron en el cielo unas estrellas brillantes que cual lenguas expresarán y celebrarán en todo tiempo tus nobilísimas virtudes. He aquí, pues, cuatro estrellas reservadas a tu ínclito nombre.

Luego agregó que entendía que él fue puesto en ese camino para descubrir los satélites: “El propio Artífice de las estrellas

parece advertirme con claros argumentos que destine al ínclito nombre de Vuestra Alteza, antes que a ningún otro, estos nuevos planetas". Y dijo que la aparición de los satélites en el preciso momento en que Cósimo II acababa de acceder al trono era una señal, y Galileo era el mensajero destinado a llevar las buenas nuevas.

Una vez que se publicó el libro, Galileo fue en persona a la corte florentina para hablar con Vinta, y ahora sí empezó la negociación. Galileo ofrecía crear más inventos como el telescopio, y seguir haciendo descubrimientos que llenaran de gloria el nombre de su príncipe. A cambio pedía un puesto en la corte, con un título de filósofo y un buen sueldo. Todavía tardó un poco más de tiempo, pero en julio de ese año las dos partes estuvieron de acuerdo y poco tiempo después Galileo regresó a su querida Florencia.

Los venecianos no quedaron muy contentos que digamos, pues hacía muy poco le habían dado un buen aumento de sueldo, junto con un puesto vitalicio en la Universidad de Padua. Pero Galileo estaba seguro de que el apoyo de la República de Venecia siempre iba a estar condicionado, y lo dijo en una carta: "Es imposible obtener un salario de una república, no importa cuán espléndida y generosa sea ésta, sin que venga con obligaciones anexadas".

Los Médicis recibieron muy bien a Galileo y su mensaje celeste. Ya antes existían fastuosas representaciones del patriarca Júpiter, y ahora, con sus cuatro nuevos astros, mandaron hacer obras de teatro, óperas, poemas, cuadros y hasta medallas que usaban como tema al majestuoso Júpiter con sus cuatro satélites.

En la academia

Aunque Galileo debió de estar muy contento de volver a su querida Florencia, echaba de menos ciertas cosas de Padua. La

SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS IN-
NVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeri
tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque
diem cognitos, nouissimè Author depræ-
hendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.

VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

Figura III.4. *Portada del libro* El mensajero de las estrellas, *en el que Galileo dedica los cuatro nuevos planetas al príncipe de la Toscana, Cósimo II de Médicis.*

corte de los Médicis era muy elegante y entretenida y estaba llena de personajes interesantes, pero le faltaban todos los buenos amigos con los cuales solía discutir acerca de lo que leía y lo que estaba investigando. Así que seguramente se alegró mucho cuando, en su visita a Roma en 1611, fue invitado por el príncipe Federico Cesi a formar parte de la Accademia dei Lincei [Academia de los Linceos].

Cesi era un joven de la nobleza romana que siempre estuvo muy interesado en estudiar la naturaleza. En 1603, cuando tenía 18 años, fundó esta academia junto con tres amigos. Escogieron el nombre no sólo por Lynceus, argonauta de la mitología griega que destacaba por su penetrante vista, sino también por el lince, cuya imagen usaron como el emblema de la academia. Los primeros miembros fueron Cesi mismo, el holandés Johannes Eck y los italianos Francesco Stelluti y Anastasio de Fillis. Cada uno de ellos tenía su especialidad: Cesi, la botánica; De Fillis, la historia; Eck, la filosofía y la metafísica, y Stelluti, la astronomía y las matemáticas. Creían en estudiar la naturaleza directamente y no a través de los dogmas heredados de la Antigüedad. Vivían juntos, salían al campo a recoger especímenes y discutían sobre las cosas que encontraban y las ideas que iban leyendo. Se hicieron de un gran laboratorio y una increíble biblioteca. Además era especialmente importante para ellos elaborar un registro visual de los especímenes que encontraban, de modo que encargaban dibujos de los animales, plantas y rocas que iban recolectando. En esa época no existían agrupaciones como ésta. Estaban la universidad y la corte con ciertas estructuras y reglas, pero no había ningún espacio de reflexión sobre la naturaleza así de libre e independiente.

Aunque el padre de Cesi se oponía a esta agrupación, e incluso logró expulsar a Eck de Italia, el pequeño grupo siguió en contacto a través de cartas, y pronto invitaron a un quinto miembro: Giovanni Battista della Porta, quien en esa época ya tenía alrededor de 70 años y era muy conocido en toda la re-

gión por sus amplios conocimientos acerca una variedad de temas de la naturaleza, como la óptica y el magnetismo.

También se preocuparon por que sus trabajos fueran conocidos por otros. Por ejemplo, cuando en 1604 apareció la estrella nueva que se discutió por toda Europa, Eck escribió un tratado sobre las implicaciones astronómicas y cosmológicas del cambio en el cielo, que supuestamente era inmutable. Desde su destierro en Praga, le envió su manuscrito a Cesi, y éste se encargó de editarlo y publicarlo, apareciendo así la primera publicación de la Academia.

Cesi conoció a Galileo en su visita al Collegio Romano en 1611, cuando los astrónomos jesuitas ya habían aceptado sus descubrimientos con el telescopio. Reconoció en el astrónomo y filósofo florentino a un hombre con las mismas aficiones que los de su grupo, e inmediatamente lo invitó a formar parte de la Academia. Evidentemente entusiasmado, le escribió a Stelluti —quien estaba fuera de Roma por un viaje de negocios— para decirle: "Si alguna vez hubo un buen momento para que estuvieras en Roma es ahora […]: cada noche despejada vemos cosas nuevas en el cielo; verdaderamente una tarea para Linceos".

Galileo aceptó la invitación gustoso, anotando el suyo como el sexto nombre en el libro de registro de los miembros de la Academia de los Linceos. Cesi y sus amigos siguieron invitando a notables y diversos estudiosos de la naturaleza, y en los siguientes años su grupo creció mucho. Algunos de ellos estaban en Roma, pero varios otros estaban desperdigados por toda Europa y se comunicaban por medio de cartas. De este modo Galileo quedó incluido dentro de una comunidad de reflexión con ideas afines a las suyas y con cuyos miembros podía tener discusiones (aunque fueran de papel) acerca de los temas que tanto le interesaban.

La Academia le dio a Galileo colegas y apoyo. Entre ellos, Mark Wesler, quien como vimos le envió las cartas de Apelles sobre las manchas solares. Y fue Federico Cesi quien le propu-

so a Galileo que publicara sus tres cartas sobre este tema, lo apoyó en el proceso de preparación del libro y aportó los recursos necesarios para su impresión. Éste fue otro de los libros de la Academia de los Linceos y en su portada podemos ver su emblema.

En la sobremesa

Es claro que Galileo estaba interesado en que todos conocieran sus descubrimientos y opiniones. Siempre que pudo dio conferencias, escribió cartas y libros y entró gustoso en muchas discusiones públicas con una variedad de personas. Es especialmente notable que después de *El Mensajero…,* escrito en latín, todo lo demás que publicó estaba en italiano. En una carta de esta época dijo: "Escribí en el lenguaje común porque quiero que todos puedan leerlo". Y agregó que le parecía una lástima que mientras unos jóvenes sí asistían a la universidad y quizás ni siquiera tenían muchas aptitudes ni interés, había muchos otros tal vez más aptos que se veían forzados a trabajar en el negocio familiar sin poder ir a la universidad. Sobre ellos dijo: "Quiero que sepan que, así como la naturaleza les ha dado ojos a ellos al igual que a los filósofos para que puedan ver sus obras, también les ha dado cerebros capaces de entenderlas".

La intención de Galileo de llegar a numerosos públicos se cumplió de sobra, y el hecho de que escribiera en italiano hizo que muchos pudieran seguir las discusiones acerca de las novedades, que eran impresionantes, pero también acerca de sus implicaciones, que en ocasiones eran bastante controversiales.

Entre los lugares donde se discutieron estos temas estuvo una comida en el palacio del gran duque de Médicis. En diciembre de 1613 almorzó en el palacio el padre Benedetto Castelli, quien fue discípulo de Galileo y que gracias a él consiguió un puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. En esa reunión estuvieron Cósimo II, su madre, su esposa

ISTORIA
E DIMOSTRAZIONI
INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI
E LORO ACCIDENTI
COMPRESE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL' ILLVSTRISSIMO SIGNOR
MARCO VELSERI LINCEO
DVVMVIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA
DAL SIGNOR
GALILEO GALILEI LINCEO
Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Serenifs.
D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.
Si aggiungono nel fine le Lettere, e Difquifizioni del finto Apelle.

IN ROMA, Appreffo Giacomo Mafcardi. MDCXIII.
CON LICENZA DE' SVPERIORI.

Figura III.5. *Portada de* Historia y demostraciones sobre las manchas solares, *publicada por la Academia de los Linceos.*

y el doctor Boscaglia, profesor de filosofía de la Universidad de Pisa. Entre muchos otros temas, en la sobremesa salieron a colación los descubrimientos de Galileo. El duque le preguntó a Castelli si tenía un telescopio, y éste, además de contestar afirmativamente, aprovechó la oportunidad para mostrar su admiración por los cuatro satélites de Júpiter y relatar las observaciones de ellos que justo había hecho la noche anterior. Siguió una discusión acerca de la existencia de estos cuerpos y todos estuvieron de acuerdo en que sí existían. El doctor Boscaglia aceptó como verdaderos todos los descubrimientos, pero declaró que lo del movimiento de la Tierra le parecía imposible, especialmente teniendo en cuenta que esto iba en contra de lo que se decía en las Sagradas Escrituras.

Al poco tiempo terminó la reunión y Castelli se dirigía a casa cuando fue llamado de vuelta al palacio. Ahí doña Cristina de Lorena, la madre de Cósimo II, le hizo varias preguntas de orden más bien teológico acerca de la relación entre lo que decía la Biblia y lo que planteaba el sistema copernicano. Les interesaba especialmente discutir un pasaje que decía que Dios detuvo al Sol para ayudar a los israelitas a ganar una batalla. Puesto que fue al Sol al que hizo detenerse, se entiende que es éste —y no la Tierra— el que se mueve, lo cual se opone claramente al heliocentrismo que lo colocaba, inmóvil, en el centro del universo.

Todo esto lo sabemos porque unos días después de ese almuerzo Castelli le escribió a su antiguo maestro para contarle todo, terminando con una descripción de cómo tuvo que representar el papel de teólogo para argumentar la compatibilidad de las Escrituras y el sistema copernicano. Relataba que todos quedaron satisfechos y le escribía a su antiguo maestro para que supiera del interés de los demás, especialmente la corte toscana, en estos controvertidos temas.

Pocos días después Galileo respondió con otra carta a su amigo en Pisa. Le explicaba lo que él consideraba los campos

de acción de la teología y de la ciencia y abogaba por la independencia entre ambas. Decía que, a su entender, en la Biblia fueron puestos los preceptos necesarios para ayudar a los seres humanos a vivir una vida más justa y lograr la salvación. En cambio, declaraba no creer que Dios "nos haya dotado de sentidos, de razonamiento y de inteligencia" con los cuales es posible aprehender la naturaleza, y que al mismo tiempo haya pretendido enseñar acerca de ella a través de escritos. Es más, sobre la Biblia decía que uno no podía creer que esta obra pretendiera explicar las cosas que se veían en la naturaleza, en particular las astronómicas: "Si los primeros escritores sagrados hubiesen tenido la intención de enseñar al pueblo las disposiciones y movimientos de los cuerpos celestes, no hubieran tratado tan poco de ellos, que es como nada en comparación con las infinitas, profundísimas y admirables enseñanzas que de tal ciencia se contienen". Lo que quería dejar bien claro era que la ciencia y la religión tenían cada una su campo de estudio y que no tenían por qué estorbarse; que la Biblia era un texto para guiar a las almas, y la ciencia era una disciplina para observar, medir y entender la naturaleza.

En la carta abordó directamente el asunto de la interpretación del pasaje en el que supuestamente el Sol se detuvo, aclarando primero:

> La Sagrada Escritura no puede jamás mentir o equivocarse, sino que sus decretos son de una verdad absoluta e inviolable. Tan sólo habría añadido que, si bien la Escritura no puede errar, sí podría equivocarse alguno de sus intérpretes o comentaristas, y eso de varios modos; entre los cuales uno gravísimo y muy frecuente consistiría en querer atenerse siempre al significado literal de las palabras.

Lo que planteaba era la discrepancia entre lo que se encontraba en las Escrituras y aquello que diversos intérpretes deri-

vaban de ellas. Habiendo dicho esto, pasó a hacer su propia interpretación del pasaje, y argumentaba que era completamente compatible con el heliocentrismo de Copérnico. Esta carta se copió y se leyó muchas veces, llegando así a muchos otros la propuesta de Galileo de que la ciencia y la religión eran independientes.

Esta sobremesa es sólo un ejemplo del modo en que los descubrimientos de Galileo y sus implicaciones se comentaron en los diversos espacios de la sociedad italiana de su tiempo. Es especialmente interesante que en la discusión inicial en el palacio de los Médicis estuvieron un filósofo aristotélico (Boscaglia), un astrónomo y teólogo (Castelli desempeñaba ambos papeles), cuyas posiciones se traslapaban y contradecían. También estuvo representado el público general, pues los Médicis no eran especialistas, pero se mostraban muy interesados en estos temas.

Con los tres ejemplos de este capítulo hemos visto algunas formas en que otros grupos distintos de los astrónomos se fueron enterando de los descubrimientos de Galileo y lo que opinaron acerca de ellos. En el primer caso vimos que gracias al descubrimiento de cuatro nuevos astros, una de las cortes más importantes de la Italia de ese tiempo, la de los Médicis, le ofreció un puesto. Esta posición en la corte le dio un buen sueldo, claro, pero sobre todo le permitió volverse filósofo y discutir así con los otros filósofos. Además, los Médicis le dieron un amplio apoyo, con lo cual fue reconocido tanto en Italia como en el resto de Europa. A cambio de todo esto, Galileo se comprometió a hacer nuevos descubrimientos, inventar nuevos instrumentos y entretener a la corte con discusiones sobre ciencia. El segundo ejemplo nos muestra cómo, dado su creciente prestigio y su manera de abordar el estudio de la naturaleza, una agrupación nueva e independiente como la Academia de los Linceos lo invitó a formar parte de su grupo, donde encontró

interlocutores interesantes. Además de contribuir con su presencia a extender la fama de la Academia, obtuvo apoyo, por ejemplo, para la publicación de su tratado sobre las manchas solares. Por último, vimos cómo un público más amplio se fue dando cuenta de las implicaciones que tenían los descubrimientos de Galileo tanto para la filosofía como para la teología. En resumen, Galileo buscó que todos conocieran lo que estaba haciendo, y lo logró. Esto tuvo tanto ventajas como desventajas, pues entraron a la discusión personas con formaciones e inclinaciones muy diferentes, y no siempre se entendieron bien entre ellas.

V. Consecuencias

Al inicio de este viaje prometí mostrarles cinco años de la vida de Galileo en los que cambiaron muchas cosas. Para terminar, repasemos cuáles fueron estas transformaciones.

Para Galileo

En estos pocos años, a Galileo literalmente le cambió la vida. Gracias al perfeccionamiento del telescopio y a los descubrimientos que hizo con éste, pasó de ser un matemático que trabajaba en una universidad a ser un filósofo independiente apoyado por una de las cortes más importantes de Europa en esa época. De ser relativamente desconocido, pasó a ser famoso y a obtener reconocimiento tanto de los científicos como de la sociedad en general. Esta nueva posición lo colocó en el centro de la atención, y en consecuencia tuvo que participar en muchos debates sobre sus descubrimientos y las implicaciones que éstos tenían en campos tan diversos como la astronomía o la religión.

Para la astronomía

Con el uso del telescopio, la astronomía fue la primera ciencia que interpuso un instrumento entre los sentidos (en este caso el ojo) y la naturaleza. Dada la novedad de esta manera de proceder, fue necesario que se dieran muchas discusiones acerca del instrumento y su funcionamiento, del modo en que se utilizaba y de los efectos que tenía sobre lo que se observaba. Una vez que el telescopio fue aceptado, los astrónomos tuvieron en sus manos una poderosa herramienta para seguir conociendo el cosmos. No sólo podían hacer observaciones de las posiciones de los astros con mayor precisión, sino que además podían hacer un nuevo tipo de observaciones, más cualitativas que cuantitativas, de objetos extendidos como los planetas y las nebulosas. Con el uso del telescopio se respondieron algunas preguntas muy viejas, pero también se abrieron otras nuevas, aumentando y enriqueciendo el trabajo para los astrónomos.

Junto con Galileo, la astronomía se convirtió en una disciplina matemática y filosófica, es decir, ahora se aceptaba que los cálculos de las posiciones de los planetas no eran meras técnicas, sino que formaban parte de una descripción más amplia de la realidad del cosmos.

Para nuestra imagen del universo

Desde finales del siglo XVI la vieja imagen del universo, aquella en que la Tierra estaba en el centro y todo se movía alrededor de ella, ya había sido seriamente cuestionada. La propuesta de Copérnico de buscar una explicación para el mundo que fuera más sencilla y coherente, junto con el trabajo de quienes le siguieron, le dieron al Sol el lugar del centro de todo y pusieron a la Tierra en movimiento. Muchos pensadores de esa época se dieron cuenta de que una vez que se replanteaba una parte del

cosmos, era posible hacerlo con muchas otras, y casi se podía oír cómo se empezaba a resquebrajar el viejo universo esférico y finito mientras muchos se lo imaginaban con nuevas formas, tamaños y movimientos. Podríamos decir que ésta fue la adolescencia de nuestra imagen del universo pues, al igual que la gente cuando pasa por esa etapa, se fue poniendo de diferentes formas y tamaños, le salieron chipotes y manchas, y al final quedó más grande y en verdad diferente.

Aunque ya muchos astrónomos estaban convencidos de que el planteamiento de Copérnico era mejor, sólo cuando pudieron mirar al cielo con el telescopio obtuvieron algunas pruebas de que el nuevo modelo reflejaba la realidad con mayor fidelidad que el anterior. Con las manchas en el Sol y las montañas en la Luna, la tesis aristotélica de que los cuerpos celestes eran perfectos quedó descartada. Con los satélites de Júpiter se mostró que el universo no tenía un solo centro, sino varios. Y el tiro de gracia fueron las fases de Venus, pues con ellas se demostraba que este planeta giraba alrededor del Sol, no de la Tierra.

Estas demostraciones visuales no sólo sirvieron para apoyar el sistema copernicano dentro de la comunidad de astrónomos. Como cualquiera que tuviera un telescopio podía ver la superficie de la Luna, las manchas del Sol, los satélites de Júpiter y las fases de Venus, aun quienes no conocían nada del tema pudieron discutir acerca de las novedades y de sus implicaciones para la manera de imaginar el cosmos.

Como lo expresa tan bien, terminemos con una cita del historiador y filósofo del siglo XX Alexandre Koyré, quien en su libro *Del mundo cerrado al universo infinito* explica que todos los cambios tienen su historia. De este momento de transformaciones dice: "Las esferas celestes que ceñían el mundo, manteniéndolo unido, no desaparecieron de un golpe con una poderosa explosión; la burbuja del mundo creció y se hinchó antes de estallar, confundiéndose con el espacio que la rodeaba".

Recomendaciones

En esta última sección señalo los libros y páginas en la red que tratan sobre los temas que vimos y que me parecen especialmente buenos. Cada uno, además, puede servir como punto de partida y tiene útiles bibliografías o ligas a otras páginas. Dentro de lo posible, el material que menciono está en español, pero si hay algo realmente especial que no se consiga en nuestro idioma, lo pongo de todas formas. Muchos de los libros que aquí recomiendo se pueden conseguir en librerías, y todos deberían encontrarse en cualquier buena biblioteca pública. Por ser muy distintas de los libros, menciono las páginas de internet juntas al final.

Sobre historia de la ciencia

Bowler, Peter, e Iwan Rhys Morus, *Panorama de la ciencia moderna*, Crítica, Madrid, 2007. – El breve episodio que revisamos es una pequeña parte de la historia de la ciencia. Si quieren consultar un buen libro general sobre el tema, éste es claro e interesante. Ayuda a entender cómo ha sido el estudio de la naturaleza —que ahora llamamos ciencia— a través del tiempo. Además, en los primeros capítulos se

ubica el periodo específico que vimos en este libro y nos muestra la importancia del contexto que lo rodeó.

Shapin, Steven, *La revolución científica*, Paidós, Barcelona, 2000. La serie de cambios en la manera de estudiar la naturaleza que vimos comenzar hacia el final del siglo XVI fue una parte de lo que se llama la Revolución científica. Se considera que Galileo fue uno de los actores importantes en esa revolución. En este entretenido libro, el autor hace un recuento de este periodo de transformaciones, explicando los sucesos dentro de un contexto amplio que nos permite entenderlo mejor.

Sobre astronomía y cosmología

Rioja, Ana, y Javier Ordóñez, *Teorías del universo. I. De los pitagóricos a Galileo*, Síntesis, Madrid, 1999. – Como pudimos ver, cuando se utilizó el telescopio para mirar el cielo, tanto la astronomía como la cosmología se vieron transformadas. Este libro es un buen punto de partida para entrar a los temas de la astronomía y la cosmología. Es especialmente útil para entender los detalles más técnicos de ambas disciplinas. Y si quieren conocer los episodios posteriores de la historia de la astronomía, estos mismos autores escribieron otros dos volúmenes que llegan hasta los inicios del siglo XX.

Kuhn, Thomas, *La revolución copernicana,* Ariel, Barcelona, 1996. – Para leer un relato muy coherente de las transformaciones del conocimiento sobre el cosmos desde la cultura griega hasta llegar a la época de Copérnico, éste es un excelente libro. Plantea muy claramente lo que se conocía antes de Copérnico, los cambios que éste propuso y las consecuencias de que estas nuevas ideas se fueran asimilando.

Koyré, Alexandre, *Del mundo cerrado al universo infinito*, Siglo XXI, México, 2005. – A diferencia del anterior, este libro es más evocativo que informativo, es decir, no da tantos datos,

sino que evoca muchas ideas y siembra en nuestros cerebros imágenes acerca de las diferentes concepciones del universo y de cómo fueron cambiando. Además es notable porque contiene muchas citas originales de todos los pensadores mencionados.

Koestler, Arthur, *Los sonámbulos. Origen y desarrollo de la cosmología*, Libraria / Conaculta, México, 2007. – Este libro cuenta una historia de la astronomía —desde los inicios hasta Newton— muy particular, pues el autor introduce su propia opinión por todos lados. Mientras que de Copérnico y Kepler ofrece biografías muy detalladas y positivas que incluyen cuestiones científicas y personales, queda bien claro que Galileo no es su personaje favorito. Esto, más que ser una desventaja, sirve para darnos otro punto de vista.

Sobre la vida de Galileo

Drake, Stillman, *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983. – Desde que su discípulo Viviani escribió la primera biografía de Galileo, se han escrito muchísimas otras. Cada una de éstas es interesante por el autor, el enfoque o la época en que fueron escritas. Para una buena biografía breve de Galileo, pueden revisar ésta, escrita por uno de los historiadores de la ciencia que más tiempo han dedicado al estudio de este personaje.

Allan-Olney, Mary, *The Private Life of Galileo*: *Compiled Principally from his Correspondence and that of his Daughter,* Nichols and Noyes, Boston, 1870. En internet: www.archive.org/details/privatelifeofgal00galirich – Esta otra biografía me gustó mucho por dos razones. La primera es la autora, una mujer estadunidense que al parecer hacia finales del siglo XIX viajó a Italia y tuvo acceso a las cartas y otros documentos originales sobre Galileo. La segunda, su tono personal y una gran cantidad de citas de cartas con las cua-

les oímos las voces de los personajes de quienes nos habla. Hábilmente recrea la época, la figura de Galileo y sus relaciones con quienes lo rodeaban.

Sobel, Dava, *La hija de Galileo: una nueva visión de la vida y obra de Galileo*, Debate, Madrid, 1999. – De un estilo muy parecido al anterior, este libro es un relato novelado alrededor de las cartas que su hija sor María Celeste le escribió a Galileo entre 1623 y 1633 desde el convento en el que vivía. Aunque no se conservan las respuestas de Galileo, la historia se cuenta bastante bien y alcanzamos a ver tanto la entrañable relación que tuvo con su hija, como muchos aspectos del mundo que los rodeaba.

Bertolt Brecht, *Vida de Galileo*, Alianza, Madrid, 2002. – La vida de Galileo ha inspirado no sólo a historiadores y biógrafos, sino también a artistas, entre ellos al dramaturgo alemán del siglo xx Bertolt Brecht. Esta obra de teatro es su interpretación sobre el personaje hacia el final de su vida y sus complicadas relaciones con otros.

Sobre la obra de Galileo

Galileo / Kepler, *La gaceta sideral / Conversación con el mensajero sideral*, Alianza, Madrid, 2007. – La obra sobre la cual más hablamos en este libro, *El mensajero de las estrellas*, se sigue editando hoy en día, de modo que se puede conseguir en librerías y en bibliotecas. Esta edición en particular contiene el texto original completo, la carta de respuesta de Kepler y parte de su correspondencia acerca de las manchas solares.

Drake, Stillman, *Telescopes, Tides, and Tactics: A Galilean Dialogue About the Starry Messenger and Systems of the World*, University of Chicago, Chicago, 1983. – En el siglo xx, uno de los más importantes estudiosos de Galileo y su obra fue

el canadiense Stillman Drake. Tradujo una buena parte de su obra al inglés, y escribió numerosos artículos y varios libros sobre el hombre y su ciencia. Todo lo que escribió es interesante, pero lamentablemente nada de su trabajo ha sido traducido al español. Les recomiendo en particular este libro, en el cual Drake creó su propio diálogo para explicar *El mensajero de las estrellas*.

Galilei, Galileo, *Carta a Cristina de Lorena y otros textos sobre política y religión,* Alianza, Madrid, 2006. – La carta de Galileo a Castelli acerca de la independencia entre ciencia y religión de la que hablamos en el capítulo IV, junto con un texto más extenso sobre el mismo tema que envió a la madre del gran duque de la Toscana, aparece en este libro que también se sigue reeditando. Estos textos, junto con la introducción, nos ayudan a entender el controvertido desarrollo que tuvo este tema en los años que siguieron.

Galilei, Galileo, *El ensayador*, RBA, Madrid, 1984. – A pesar de que en 1616 la Iglesia le recomendó que no hablara más del sistema copernicano, Galileo siguió publicando obras interesantes. En 1623, con ayuda de la Academia de los Linceos, presentó al público uno de sus libros más populares de entonces y ahora, *El ensayador*. Aunque aparentemente trata de un debate sobre la verdadera naturaleza de los cometas, es mucho más importante lo que Galileo dice sobre el uso de las matemáticas para estudiar la naturaleza. El tono polémico de este libro le generó aún más opositores entre los jesuitas. Al mismo tiempo, su calidad literaria y su ironía divirtieron a muchos, incluyendo al papa Urbano VIII.

Galilei, Galileo, *Diálogo sobre los dos grandes sistemas del mundo, tolemaico y copernicano*, Alianza, Madrid, 1994. – En 1632, dos décadas después del periodo que revisamos, Galileo publicó la síntesis de su defensa del sistema copernicano. Usó la forma de diálogo con tres personajes, uno a

favor de Copérnico, otro a favor de la vieja astronomía y uno neutro. Aunque pretendía darles igual voz a todos, es claro que Galileo estaba a favor del primero. Este libro fue, digamos, la gota que derramó el vaso. Con él se abrió y expuso tan claramente su posición que ocasionó se le llamara ante la Inquisición, que dispuso fuera recluido en su casa por el resto de sus días.

Galilei, Galileo, *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias,* Losada, Buenos Aires, 2004. – Desde el punto de vista de la física, la mayor aportación de Galileo fueron sus estudios sobre el movimiento de los cuerpos, que comenzó desde sus primeros años como matemático en la Universidad de Pisa y publicó hacia el final de su vida.

Favaro, Antonio, *Opere di Galileo,* Edizione Nazionale, Florencia, 1909. En internet, ir a www.imss.fi.it/index.html, seleccionar *Galileo Portal,* y ahí elegir *Work*s. – Todas las obras de Galileo que hemos mencionado, junto con sus apuntes, dibujos y cartas, así como las de algunos de sus contemporáneos, fueron editadas en 20 volúmenes entre 1890 y 1909 por el matemático e historiador italiano Antonio Favaro. Aunque esta obra es muy difícil de conseguir en papel, ahora existe una versión completa en línea. Prácticamente todo lo que escribió Galileo está en su dialecto toscano, que se entiende bastante bien. Hay además algunas cosas en latín.

Páginas en la red

Museo de Historia de la Ciencia, Florencia: www.imss.fi.it/index.html – Hay una gran cantidad de páginas con información acerca de Galileo, aunque no todas son igual de buenas o interesantes. Esta primera que les recomiendo es del museo donde se encuentran los telescopios de Galileo que aún se conservan, junto con otros de sus instrumentos y muchos de sus

manuscritos. Tiene una visita virtual al museo, un portal que reúne una gran variedad de recursos para conocer más sobre el tema y una sección con excelentes animaciones sobre los temas que rodean a los instrumentos y los experimentos que hizo Galileo.

The Galileo Project: galileo.rice.edu – Esta página existe desde hace mucho tiempo y siempre está mejorando. El responsable principal es un importante investigador del tema, Albert van Helden. La página contiene una biografía del personaje, una sección dedicada a la ciencia que se hacía en esa época, referencias a los contemporáneos de Galileo y una excelente bibliografía.

CCD Images From a Galilean Telescope: www.pacifier.com/~tpope/ – Esta última página es muy diferente de las anteriores. Se trata de un grupo de personas que tomaron imágenes con un telescopio similar al que utilizó Galileo, a fin de intentar entender los problemas que tuvo, lo que vio y lo que pudo haber pensado hace 400 años. Con la tecnología moderna, estas imágenes fueron guardadas en un CCD (dispositivo electrónico como el que tienen las cámaras digitales) y se muestran en la página. Vienen acompañadas por explicaciones e interpretaciones muy interesantes, y las ligas a otros sitios también son buenas.

La astronomía, como la conocemos hoy, tiene dos ingredientes principales: el empleo de telescopios para observar el "cielo de noche" y el uso de las matemáticas y la física para interpretar la información obtenida. Esto no siempre fue así: llegamos a ello después de un periodo de cambio, el Renacimiento, en el que muchos cuestionaron las formas acostumbradas de pensar y calcular el universo.
En este libro observaremos junto con Galileo Galilei el papel que desempeñó en esa transformación; lo seguiremos de cerca durante cinco años a partir de 1609 y veremos las maravillas que descubrió al mirar por el telescopio. Gracias a los apuntes, dibujos, cartas y libros que se conservan, reviviremos sus métodos de observación, razonamiento y discusión. Así, a través de la mirada de Galileo asistiremos a esa época de grandes cambios.

Susana Biro estudió la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y el doctorado en astronomía en la Universidad de Manchester en el Reino Unido. Desde 1996 trabaja como divulgadora de la ciencia en la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Es autora de los libros *Para calcular el universo*, *Caja de herramientas para hacer astronomía* y *Al otro lado del telescopio: Los descubrimientos de Galileo*. En internet mantiene el blog queridogalileo.blogspot.com

LA CIENCIA PARA TODOS

22 I

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

www.fondodeculturaeconomica.com

9 786071 600738