

# La astronomía en 100 preguntas

Vicent Martínez Badenes



**Colección:** 100 preguntas esenciales  
www.100Preguntas.com  
www.nowtilus.com

**Título:** *La astronomía en 100 preguntas*  
**Autor:** ©Vicent Martínez Badenes

**Copyright de la presente edición:** © 2021 Ediciones Nowtilus, S.L.  
Camino de los Vinateros, 40, local 90, 28030 Madrid  
www.nowtilus.com

**Elaboración de textos:** Santos Rodríguez

**Diseño de cubierta:** NEMO Edición y Comunicación

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra ([www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com); 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

**ISBN Papel:** 978-84-1305-134-5

**ISBN Impresión bajo demanda:** 978-84-1305-135-2

**ISBN Digital:** 978-84-1305-136-9

**Fecha de publicación:** marzo 2021

Impreso en España

**Imprime:** Calprint Digital

**Depósito legal:** M-1113-2021

Si los caldeos creían que el mundo terminaba en las próximas montañas, Enric Fuster, como todos los del Maestrazgo, creía que lo que estaba más allá de sus horizontes era la Vía Láctea.

*Los mares del sur*  
Manuel Vázquez Montalbán

*A Núria y Roser*

*Y a Javier Gorosabel*

# Índice

Prólogo.....	15
Introducción.....	19
I. Instrumentación y telescopios	
1. ¿Tenían observatorios los trogloditas?.....	23
2. ¿Realmente se podía hacer astronomía sin telescopios?.....	26
3. ¿El salto enorme para la humanidad de Armstrong fue también el mayor de la historia de la astronomía?.....	29
4. ¿Puede un telescopio refractor ser tan grande como queremos?.....	32
5. ¿Se podía mejorar el telescopio galileano?.....	35
6. ¿Podemos observar objetos celestes tan pequeños como queremos?.....	37
7. ¿Vamos a poder construir telescopios aún mayores?.....	40
8. Con lo caro que resulta, ¿vale la pena mandar telescopios al espacio?.....	44



9. ¿Realmente los resultados del Hubble fueron para tanto o es una típica maniobra de <i>marketing</i> de la NASA?.....	47
10. ¿Emite radio el universo?.....	50
11. ¿Existe un telescopio que distinga una moneda desde el otro lado del Atlántico?.....	53
12. ¿Los rayos X sirven para algo más que para hacer radiografías?.....	57
13. ¿Pinta algo España en la astronomía internacional?.....	60

## II. La exploración espacial

14. ¿Puede un bip-bip causar el pánico?.....	65
15. ¿Es lo mismo estar en órbita que dar un paseo espacial?.....	68
16. ¿Estaban los pioneros lunares convencidos de que su viaje iba a salir bien?.....	71
17. Entonces, ¿el ser humano ha llegado o no ha llegado a la luna?.....	75
18. ¿Se podría haber evitado la tragedia del Challenger?.....	78
19. ¿Es confortable la vida en una estación espacial?.....	81
20. ¿Van a ser viables los taxis espaciales?.....	84
21. ¿A cuántos planetas hemos mandado sondas espaciales?.....	88
22. ¿Hemos «aterrizado» en algo más pequeño que un planeta? .....	91
23. Entre todos los Discos de Oro, ¿cuál es el favorito de los astrónomos?.....	94
24. ¿Vamos a volver a la Luna?.....	98
25. ¿Se va a mandar una nave espacial a otra estrella?.....	100
26. ¿Lo que nos ha contado la ciencia ficción es cierto?.....	104
27. ¿Puedo poner una estrella a mi nombre o mi nombre a una estrella?.....	107

### III. El sistema solar

28. ¿Las leyes que rigen la física terrenal son las mismas que gobiernan los astros?.....	111
29. ¿Se formaron los planetas a partir del Sol o fue al revés?.....	114
30. ¿Cómo se encendió el Sol?.....	117
31. ¿Podría la Tierra ser un planeta gaseoso?.....	121
32. Pero ¿Plutón es un planeta o no lo es?.....	124
33. ¿Es la Tierra el único planeta con agua líquida o con mares?.....	127
34. ¿Solo hay anillos en Saturno?.....	130
35. ¿Seguimos descubriendo lunas en el sistema solar o las conocemos ya todas?.....	133
36. ¿Podrían los asteroides del cinturón acabar formando un superplaneta?.....	136
37. ¿Alguna vez luchará Aquiles contra Héctor en el sistema solar?.....	139
38. ¿Puede un asteroide transformarse en meteorito?.....	142
39. Si se acerca a la Tierra un asteroide peligroso, ¿nos salvaremos?.....	145
40. ¿Es cierto que la Luna tiene una cara oculta o es solo una licencia poética para álbumes de rock progresivo?.....	148
41. ¿Dónde se acaba el sistema solar?.....	151
42. ¿Explotará el Sol en algún momento?.....	154

### IV. Las estrellas

43. ¿Conocemos todas las estrellas del Universo?.....	159
44. ¿El zodíaco es lo mismo que el horóscopo?.....	162
45. ¿Existen estrellas verdes?.....	165
46. ¿Se puede conocer <i>a priori</i> la evolución de una estrella?.....	169
47. ¿Puede una estrella brillar más que toda una galaxia?.....	171



48.	¿Somos realmente polvo de estrellas?.....	175
49.	¿Hay bomberos de guardia en la astronomía?.....	178
50.	¿Las estrellas están a solo unos pocos miles de grados de temperatura?.....	181
51.	¿Se puede ver el interior de una estrella?.....	184
52.	¿Son las técnicas de medición de distancias interestelares parecidas a las que usamos en la Tierra?.....	187
53.	¿A qué se llamó «hombrecillos verdes» cuando se descubrieron?.....	190
54.	¿Cómo de cerca puede estar una estrella de otra?.....	193
55.	¿Existe algún límite para la masa de una estrella?.....	196
56.	¿Se reciclan las estrellas más viejas?.....	200

#### V. La Vía Láctea y los exoplanetas

57.	¿Qué es una galaxia?.....	205
58.	¿Entre estrella y estrella encontramos el vacío o algo que se puede medir y observar?.....	208
59.	¿Se puede saber cómo es nuestra galaxia estando dentro de ella?.....	211
60.	¿Puede haber una estrella fuera de una galaxia?.....	214
61.	¿Tiene centro la Vía Láctea?.....	217
62.	¿Están las estrellas atraídas hacia el centro de la galaxia, como los planetas hacia el Sol?.....	220
63.	¿Vamos a chocar con Andrómeda?.....	223
64.	¿Conocemos planetas fuera de nuestro sistema solar?.....	226
65.	¿Los exoplanetas se pueden ver desde la Tierra?.....	228
66.	¿Vamos a poder vivir en un exoplaneta?.....	232
67.	¿Un planeta habitable es un planeta habitado?.....	235
68.	¿Estamos solos en el universo?.....	238
69.	¿Hemos recibido señales de vida extraterrestre?.....	240
70.	¿Es realmente ‘Oumuamua una nave extraterrestre?.....	243



## VI. Astrofísica extragaláctica

71. ¿De qué discutieron Shapley y Curtis en el Gran Debate?.....	247
72. ¿Seguimos descubriendo galaxias tras casi 100 años?.....	250
73. ¿En qué momento de la historia del universo aparecieron las galaxias?.....	253
74. Entonces, con tantísimas galaxias que tienen a su vez tantísimas estrellas, ¿el cielo nocturno no debería ser tan brillante como el diurno?.....	257
75. ¿Tienen brazos todas las galaxias?.....	260
76. ¿Está claro el origen de las barras centrales de algunas galaxias?.....	263
77. ¿Están quietas las galaxias?.....	265
78. ¿Deberían haber desaparecido las galaxias debido a sus choques?.....	269
79. Lo que hay en el centro de nuestra galaxia, ¿es lo mismo que hay en el centro de todas?.....	272
80. Si cuásar es el acrónimo de objeto «cuasi-estelar», ¿es una estrella o no?.....	275
81. ¿Existen agrupaciones de varias galaxias? ¿Y de muchas?.....	278

## VII. Cosmología

82. ¿Pero la cosmología no es lo mismo que la astronomía?.....	283
83. ¿Tiene entonces partida de nacimiento la cosmología como ciencia moderna?.....	286
84. Más allá de su dimensión como icono pop, ¿lo de Einstein fue para tanto?.....	279
85. ¿El Universo todavía se está expandiendo?.....	292
86. ¿De dónde venimos?.....	295
87. ¿Tiene eco el Big Bang?.....	299
88. ¿A dónde vamos?.....	302
89. ¿Existe realmente la energía oscura?.....	305
90. ¿Cómo de oscura es la materia oscura?.....	309

91. ¿Se expande el universo de manera simétrica o tiene alguna preferencia?.....	312
92. ¿Es infinito el universo?.....	315
93. ¿Son las ondas gravitacionales parecidas a las electromagnéticas o a las sonoras?.....	318
94. ¿Es un agujero negro realmente un agujero?.....	321
95. ¿Tienen pelo los agujeros negros?.....	324
96. ¿Se detiene el tiempo en el horizonte de sucesos?....	327
97. Si nada escapa de un agujero negro, ¿cómo hemos obtenido una foto de uno de ellos en 2019?.....	330
98. ¿Por qué estamos hechos de materia y no de antimateria?.....	333
99. ¿Las mujeres han tenido el reconocimiento que se merecen dentro de la Astronomía?.....	336
100. ¿Qué preguntas siguen sin responder en Astronomía?.....	338
Bibliografía Citada.....	343
Bibliografía Recomendada.....	347
Bibliografía Adicional.....	351
Algunas referencias sin traducción conocida.....	352

## PRÓLOGO

Así como el siglo **xxi** se considera que será el siglo de la Biología, hecho que la actualidad de los últimos meses parece confirmar, el siglo **xx** ha sido ya definido como el de la Física debido al enorme avance que se experimentó durante esta centuria. Ya al principio del siglo, en 1905, Einstein había publicado tres de sus grandes contribuciones en el llamado año milagroso. Por un lado, fue capaz de explicar el denominado «efecto fotoeléctrico», para lo cual introdujo la idea revolucionaria de que la luz está compuesta tanto de energía (naturaleza ondulatoria) como de materia (naturaleza corpuscular), siendo la base para el desarrollo posterior de la Mecánica Cuántica, cuyo cuerpo teórico se desarrolló a partir de 1920. Por otro lado, explicó el «movimiento browniano», el movimiento aleatorio que realizan las partículas dentro de un fluido (líquido o gaseoso) como resultado de los choques contra las moléculas que lo forman. Este descubrimiento supuso la evidencia observacional de que la materia estaba formada por átomos y dio lugar al nacimiento de una nueva rama de la Física, denominada Física Estadística. Finalmente, concibió la teoría de la relatividad especial que establecía la constancia de la velocidad de la luz independientemente del movimiento del observador. Ello suponía que tanto el espacio como el tiempo eran relativos, y dependían del referencial del observador.

Siguiendo con su enorme legado, Einstein publicó en 1915 el principio de la relatividad general, en el que la gravitación pasaba de ser la atracción entre dos cuerpos situados a una cierta distancia, a una formulación mucho más general que consistía en la deformación del espacio-tiempo causada por la presencia de un objeto masivo. Ello traía asociado predicciones de fenómenos tan espectaculares como la existencia de los agujeros negros o de las ondas gravitacionales.

En muy pocos años había nacido la física relativista, la mecánica cuántica y la física estadística, que irían desarrollándose a lo largo del siglo, todas ellas íntimamente relacionados con la astrofísica. Pero echemos un paso atrás, y hablemos de esta disciplina.

La astrofísica utiliza la física para explicar los fenómenos del universo a través de sus leyes, sus expresiones matemáticas y las magnitudes que estudian. Se considera que la astrofísica nació en el siglo XIX cuando a través de observaciones espectroscópicas se logró averiguar la composición química de las estrellas y deducir que su composición es similar a la de la Tierra y que tanto las leyes físicas como químicas que gobiernan nuestra vida son igualmente válidas en todo el universo. Como la astronomía es un campo del conocimiento muy amplio, utiliza herramientas de muchos campos de las ciencias experimentales como la física, la química, las matemáticas, la ingeniería o la geología. A su vez, la astrofísica hace uso de muchas disciplinas de la física como la mecánica clásica, la física atómica y nuclear, la física molecular, la física de partículas, el electromagnetismo, la física estadística y la termodinámica, la física relativista, o la cosmología que pretende desvelar el origen del universo, para explicar la fenomenología tan diversa del mismo.

La astrofísica es, junto a la física de partículas, una de las áreas más apasionantes y actuales de la física. No en vano, ha habido varios Premios Nobel de Física dedicados a la astrofísica, entre ellos el más reciente es del año 2019, donde se premió a James Peebles, «por sus descubrimientos teóricos en cosmología física», y a los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz, «por el descubrimiento de un exoplaneta orbitando una estrella semejante al Sol fuera del sistema solar». Descubrimientos de verdad únicos, por las *avenidas* de investigación que abrieron.

Pese a todo el avance de la Física del siglo XX, hemos tenido que esperar a los años 2016 y 2019 para dos de los grandes descubrimientos observacionales que han cambiado el panorama de la astrofísica, y que han confirmado las predicciones de Einstein en su teoría de la relatividad general:

- Por un lado, en 2016 se publicó la primera detección de ondas gravitacionales con el instrumento LIGO, tras unas observaciones realizadas en el año 2015. Las ondas estaban asociadas al proceso de fusión de dos agujeros negros estelares. La energía perdida en el proceso de fusión se emitió en forma de ondas gravitacionales. Así, estas ondas se han convertido en un nuevo mensajero cósmico que se originan allí donde las masas están sometidas a una gran aceleración.
- Por otro lado, en 2019 se publicó la primera imagen de las inmediaciones de un agujero negro gracias a observaciones realizadas con un radiointerferómetro conocido como el Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT), trabajando a una longitud de onda de 1,3 mm. La imagen de M87\*, el agujero negro del centro de la galaxia M87, mostraba un anillo de emisión, más brillante en la región sur del anillo, que envolvía a una región central más oscura, que corresponde a la sombra del agujero negro producida por la captura de fotones en el horizonte de sucesos. Debido a la enorme curvatura del espacio-tiempo en la proximidad del horizonte de sucesos, los fotones giran alrededor del objeto supermasivo produciendo el anillo de luz, y además se produce un efecto de lente que curva las trayectorias de las ondas lumínicas. Este resultado es perfectamente consistente con la teoría de la relatividad general.

Así que, en pleno siglo de la Biología, se han obtenido dos resultados únicos, mostrando que la astrofísica sigue estando viva y jugando un papel fundamental en la Física Moderna. Este es el escenario tan atractivo científicamente en el que se mueve el libro que tengo el honor de prologar. Versa sobre el universo y sus interrogantes, en un formato entretenido y atractivo: cien preguntas de formulación divertida y directa, con respuestas rigurosas y atractivas de leer. Todos los escenarios que se han explicado en este prólogo están contemplados en este libro, y son explicados de manera clara y concisa, en un formato ameno. Permiten además una lectura selectiva, pudiendo hacerse de tirón en cada uno de los capítulos, o como un elemento de respuesta para los interrogantes que surjan a los potenciales lectores cada vez que aparezca una nueva noticia del mundo de la astrofísica, que será recogida sin duda en los grandes medios de comunicación. Y abordados desde la personalidad del autor, una persona cautivada por la ciencia y la astrofísica, original



## PRÓLOGO

en la forma de abordar los interrogantes que plantea, con una visión propia que se traduce en todas y cada una de las respuestas del libro. Merece, sin ninguna duda, darse la oportunidad de su lectura.

Antxon Alberdi

Abril 2020

# INTRODUCCIÓN

Escribir un libro de divulgación sobre astronomía, como este, cuenta con una gran ventaja frente a obras similares en otros campos de la ciencia básica: el lector entra a pie plano. Antes de entrar a fondo en otras disciplinas, muchas veces es necesario hacer un esfuerzo de contextualización, presentando toda una serie de conceptos previos para que la persona interesada en el tema pueda seguir lo que se va a contar sin andar demasiado perdida. Lo bonito de la astronomía es que todo el mundo sabe qué es una estrella, un satélite, un planeta o un cometa.

Eso, que ayuda mucho al *plumilla* cuando afronta su labor, no es de extrañar. Para introducirnos en la astronomía, basta levantar la vista al cielo de noche. Es precisamente por eso por lo que la astronomía compite por el título honorífico de disciplina científica más antigua: desde que existe algo llamado ser humano, o seguramente desde antes, la contemplación de los cielos y el intento de entender y explicar sus claves (bien sea desde la ciencia, bien desde la mitología) ha sido una constante.

Esta tradición de milenios en el estudio y análisis de los cielos es algo que he intentado reflejar en este libro. Mi intención ha sido poner en valor el trabajo que, a lo largo de los siglos, hemos llevado a cabo para descifrar la dinámica de los astros. Más allá de simplemente presentar el estado del arte actual en los distintos campos de estudio de la astronomía, creo que es relevante explicar cuáles han sido los paradigmas y modelos que se han ido sucediendo a la hora de intentar explicar el cosmos y, sobre todo, cuál ha sido el papel

que han desempeñado todos los sabios que han ido aportando su trabajo para comprender mejor todo lo que sucede ahí arriba.

A la hora de estructurar esta obra he seguido un esquema clásico, abro con un bloque dedicado a los instrumentos y técnicas que tenemos y hemos tenido a lo largo de la historia, y sigo por otro en el que se relata la carrera por la exploración espacial desde los años 50 del siglo pasado. El resto de los bloques siguen una estructura de dentro hacia afuera: empezamos con nuestro vecindario, el sistema solar, y de ahí saltamos a otras estrellas que no sean nuestro Sol. Del estudio de las estrellas pasamos a cubrir en el siguiente bloque su casa común, la Vía Láctea, junto con los planetas que orbitan esas otras estrellas, un campo frenético de la investigación actual. Seguiremos en el siguiente bloque con el estudio de las propiedades del resto de galaxias, para ocuparnos finalmente en la última parte del libro del estudio del universo como un todo. De la Luna y el Sol a los confines del universo, ese es el nada modesto planteamiento de este libro.

Si esta obra ha visto finalmente la luz como lo ha hecho ha sido gracias al empeño de muchas y diversas personas. En primer lugar, de la editorial Nowtilus, empeñada en los tiempos que corren en construir una biblioteca científica, pero también de mucha otra gente que ha ido dejando su contribución, empezando por los compañeros José Miguel Corberá y Joan Manuel Oleaque, involucrados antes incluso de que arrancara la escritura. Desde ese día, los colegas astrónomos de la Universidad Internacional de Valencia, Pere Blay, Lorena Nieves y Néstor Sánchez, han tenido que aguantar reflexiones, dudas y peroratas durante más cafés de los que marca la estricta cordialidad. Y, una vez metidos en la redacción propiamente dicha, han sido muchos los expertos y expertas en su campo que han soportado estoicamente mis llamadas a destiempo para trasladarles consultas o simplemente exorcizar mis dudas. Aun asumiendo el riesgo de olvidar a alguien, resulta pues imprescindible agradecer su colaboración a Emilio J. García, Víctor Muñoz, Josep Maria Trigo, Alba Fernández, Carlos Barceló, Dani Guirado, Diego Bermejo, Pepe Sabater, Paco López o Carles Badenes y, por supuesto, a Antxon Alberdi, prologuista de lujo. El maestro Antonio Cruzans, Joan M. Oleaque de nuevo, Marta González, Antonio García, Pedro Almeida y Bernabé Cedrés fueron un paso más allá y aceptaron leer capítulos enteros del libro, aportando comentarios, correcciones y reflexiones de gran valor. Mucho de lo que el lector o lectora pueda apreciar de esta obra está en deuda con ellos y

ellas; las erratas, incorrecciones o imprecisiones que pudieran haber sobrevivido son, en exclusiva, responsabilidad del autor. Amigos y amigas, mil gracias.

Y gracias, por encima de todo, a Núria y Roser, que excusaron la incomparecencia del *pare* durante demasiados meses, y a Matilde que consiguió empañar la ausencia. *Gràcies*.

Raval de la Trinitat, Castelló de la Plana  
Cuarentena de la COVID-19, 2020

# I

## INSTRUMENTACIÓN Y TELESCOPIOS

### 1

#### ¿TENÍAN OBSERVATORIOS LOS TROGLODITAS?

La bóveda celeste estaba ya ahí cuando el primer antecesor del ser humano pudo alzar la vista hacia ella. El Sol, la Luna y el resto de los astros han iluminado, vigilado y condicionado todo el tiempo que ha pasado desde que nuestro primer antecesor se irguió hasta que, mediante dibujos primero y la escritura después, empezamos a dejar constancia de nuestro interés por su contemplación y observación. No es de extrañar pues que la mayoría de los mitos creacionales de la humanidad pasen en algún momento por el cielo, y solo hay que pensar en la cosmogonía clásica que ha influenciado en mayor medida la historia de Occidente, la judeocristiana, que abre la Biblia con el versículo: «Al principio creó Dios el cielo y la tierra».

De este modo, la astronomía, entendida de manera general como el estudio de los objetos que se encuentran en el cielo, viene haciéndose desde el Paleolítico. Se ha postulado incluso, aunque es difícilmente demostrable, que ciertos puntos pintados en una

escena de animales en las cuevas de Lascaux (datadas hace 17.000 años) representan las Pléyades, el cúmulo de estrellas más visible del cielo, que también aparecen de alguna u otra manera en numerosas culturas y textos antiguos.

Más allá de los mitos creacionales y los cultos a los astros, la astronomía jugó un papel fundamental en el nacimiento de la civilización humana: para que pudiera darse la transición a la agricultura sedentaria de hace unos 10.000 años, los cazadores-recolectores se vieron en la necesidad de medir los ciclos anuales de los que dependía la cosecha. Es ahí cuando los calendarios solares o lunares, de los que hay muestras talladas en piedra o hueso varios milenios más antiguos, cobraron una relevancia fundamental. Y es también en ese período, el Neolítico, cuando empiezan a aparecer muchos más artefactos con símbolos o números que se pueden asociar a la luna, como el 29 (el número aproximado de días de un ciclo lunar, de luna llena a luna llena) o el 19 (el ciclo metónico o número de años que tarda una fase de la luna en caer en el mismo día del año).

Con el desarrollo de tecnologías primitivas empiezan a proliferar también monumentos megalíticos, como dólmenes o menhires, con evidentes implicaciones astronómicas. Se calcula, por ejemplo, que de la importante colección de megalitos que se extiende por Andalucía, desde Granada hasta el Algarve portugués, el 90 % de ellos están orientados hacia los puntos por donde el Sol sale en los solsticios, las fechas del calendario en los cuales el día empieza a crecer (en el solsticio de invierno) o a menguar (en el de verano), cuya capital importancia en las culturas antiguas se trasladó a los ritos que profesamos en la actualidad (como la Navidad o la fiesta de San Juan). Y si hablamos de megalitos y solsticios, es inevitable reparar en Stonehenge, muchas veces etiquetado como un observatorio primitivo, ya que está construido y orientado de tal manera que, en el solsticio de verano, la primera luz del sol naciente atraviesa el eje de la construcción. La precisa orientación cardinal de las pirámides de Giza, o las 365 escaleras de la pirámide maya de Kukulcán, son solo algunos de los hitos más populares entre los cientos de ejemplos que demuestran que hace milenios que somos conscientes de que los ciclos que marca el cielo tienen que ver con nuestra vida, y que su mejor conocimiento redundará en mejores condiciones para nosotros. De algún modo, estos fueron los primeros observatorios astronómicos.



La primera luz del solsticio de verano de 2005 sobre Stonehenge  
(Andrew Dunn, CC BY-SA 2.0).

La capacidad humana para crear, a partir de las observaciones un modelo que permita hacer predicciones (y, así convertir la astronomía en algo parecido a lo que hoy entendemos como ciencia), vendría de la mano de la herramienta por excelencia de los científicos: las matemáticas. Su desarrollo, primero en Mesopotamia y después por parte de los griegos que recogieron ese legado, se entrelazó con el conocimiento previo que teníamos de la dinámica de los astros mediante su observación, potenciándolo enormemente y permitiendo hacer cálculos más complejos.

Sirva como ejemplo el trabajo de Eratóstenes quien, además de calcular la circunferencia de la Tierra con una precisión enorme para los instrumentos de la época, fue también capaz de establecer la oblicuidad de la eclíptica, es decir, el ángulo que forma el eje de rotación de la Tierra con el plano de su órbita alrededor del Sol. Parte de su obra; no obstante, fue sometida a crítica por otro astrónomo nacido poco después de su muerte, Hiparco, cuyo trabajo fue fundamental hasta el punto de que la clasificación de unas 850 estrellas en su catálogo está detrás de las llamadas «magnitudes estelares» que todavía hoy utilizamos como medida del brillo aparente de una estrella. Obra también de Hiparco fue el descubrimiento de la precesión de los equinoccios (el cambio en la orientación respecto a las estrellas del eje de rotación de la Tierra), el establecimiento de la diferencia entre el año trópico (medido respecto al Sol) y el año sidéreo (medido respecto a las estrellas) o

la medida del radio de la Luna mediante el estudio de los eclipses. Todas estas medidas fueron, como la de Eratóstenes, sorprendentemente ajustadas a los valores que podemos calcular hoy en día. No fue igual de acertada la medida de Aristarco de la distancia entre el Sol y la Tierra (nos dejó 20 veces demasiado cerca), pero le sirvió para postular un modelo heliocéntrico. Este modelo se topó, no obstante, con la imposibilidad de medir la variación que, entre los extremos de la órbita de la Tierra, debería advertirse en la posición de las estrellas de fondo —lo que ahora llamamos paralaje—, ya que los instrumentos necesarios para medir un cambio tan pequeño no estarían disponibles hasta el siglo XIX de nuestra era. Fue así como se impuso el modelo geocéntrico de Eudoxo (corregido y ajustado por Ptolomeo, de quien finalmente tomaría el nombre), que colocaba la Tierra en el centro de la creación. El hecho de que este modelo estuviera de acuerdo con la visión aristotélica del universo (que, a su vez, era empleada por la Escolástica y por lo tanto bendecida por la Iglesia), abonó el terreno para que se mantuviera en pie durante casi dos milenios, que abarcaron singularmente la Edad Media en Europa. Tras las luces clásicas, se cernieron los años oscuros en gran parte de Europa. Pero la curiosidad humana no entendiendo de fronteras: en otras latitudes el estudio de los astros continuaba.

## 2

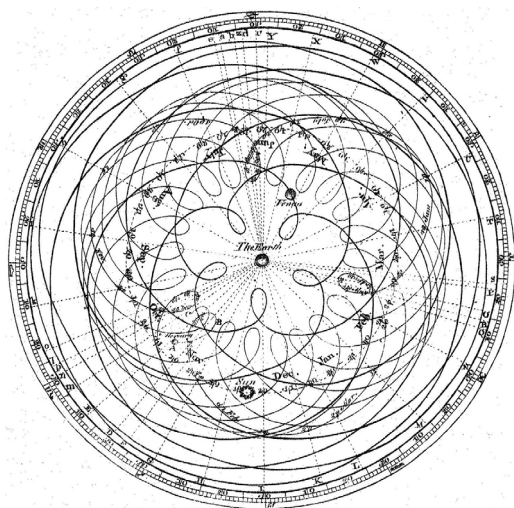
### ¿REALMENTE SE PODÍA HACER ASTRONOMÍA SIN TELESCOPIOS?

Hemos visto ya los tremendos logros que aportó al conocimiento humano el estudio sistemático de los astros con la ayuda de herramientas matemáticas y tecnológicas, aunque estas últimas fueran bastante rudimentarias. La mayoría de los trabajos originales de los astrónomos griegos; sin embargo, se perdieron, y trabajos como el catálogo de Hiparco han llegado hasta nuestros días a través de la compilación que, se supone, hizo de ellos Claudio Ptolomeo en su *Almagesto*. *Almagesto*, no obstante, suena sospechosamente árabe, y es debido a que es su traducción a esta lengua la que ha llegado hasta nuestros días. Este es un buen ejemplo de la relevancia que durante la Edad Media tuvo la astronomía árabe.



Entre las motivaciones de estos astrónomos estuvo la navegación. Para determinar la posición de un barco en el mar era imprescindible conocer con precisión la posición de las estrellas y saber orientarse a partir de ellas. De hecho, todavía hoy se establece el llamado crepúsculo náutico en la posición del sol  $12^\circ$  por debajo del horizonte, cuando son ya visibles las estrellas más brillantes, a partir de las cuales puede establecerse nuestra posición. Así pues, para poder navegar con seguridad se requería tener tablas que dieran la posición de los astros en el cielo en un momento dado, las llamadas efemérides, que fueron perfeccionadas por los astrónomos árabes hasta el punto de no ser mejoradas hasta la confección de las tablas prusianas del siglo XVII. Pero también eran necesarios instrumentos como el astrolabio, que permitieran medir dicha posición para, al compararla con las efemérides, determinar nuestra posición. Este instrumento, citado ya en el *Almagesto*, permitía establecer la posición del observador siempre que este estuviera a una latitud determinada, y fue mejorado por Azarquiel (un astrónomo de Al-Ándalus nacido en Toledo) para construir la azafea. Mediante distintas sofisticaciones, este instrumento permitía establecer la posición del observador en cualquier latitud en que este se encontrara, y hubo que esperar varios siglos hasta que el sextante y otros instrumentos ópticos la dejaron obsoleta como instrumento de navegación.

Esto, en lo referente a la técnica. En la parte teórica, el sistema geocéntrico seguía asumido de manera general también en el mundo árabe, y eso a pesar de que el modelo ptolomeico era terriblemente complejo, porque no es sencillo explicar las trayectorias del resto de los planetas desde la Tierra: las órbitas circulares, platónicamente perfectas de los planetas alrededor de la Tierra no cuadraban con las observaciones, que mostraban que los planetas describían lazos en su camino celeste. Para cuadrar observaciones y modelos, se suponía que los planetas describían una órbita circular (el epiciclo) centrada en realidad en la esfera deferente, que era la que estaba centrada a su vez en la Tierra. Ptolomeo tuvo que introducir incluso una sofisticación añadida, con la idea del punto ecuante, para forzar el encaje de las órbitas (que ahora sabemos en realidad elípticas) en su marco de movimientos circulares. No hay que ser científico para saber que, cuando nos empeñamos en imponer un modelo erróneo, somos capaces hacer malabarismos para conseguir que la realidad encaje en él, aunque sea con calzador.



Representación del movimiento del Sol, Mercurio y Venus observado desde la Tierra, en la que se observan los epísculos, las enrevesadas trayectorias observadas desde la Tierra, que requerían de sofisticados artificios geométricos para poder ser descritas en el modelo geocéntrico (El diagrama está basado en un trabajo similar de Giovanni Cassini).

Entonces, lentamente, parte de Europa despertó del letargo medieval y, justo antes de su muerte en 1543, un astrónomo polaco permitió que se imprimiera su monumental tratado *De revolutionibus orbium coelestium*. Nicolás Copérnico, casi dos milenios después de Aristarco, postulaba un modelo heliocéntrico. Aunque rompedor en su concepción, seguía adoleciendo del defecto de asumir órbitas circulares, por lo que tampoco era un modelo conforme con las observaciones. Ello, junto con la escasa difusión del libro y la controversia que suponía sacudir el modelo vigente (y que lo hizo merecedor de críticas por parte de importantes miembros de la Iglesia católica y la reformada), hizo que no fuera inmediatamente aceptado.

Su modelo tampoco fue asumido por defecto por los astrónomos de la época, como Tycho Brahe, el más importante astrónomo observacional del siglo XVI, nacido pocos años después de la muerte de Copérnico. Su trabajo, de una exhaustividad inédita, consistió en observar el cielo de manera sistemática noche tras noche, para lo que mandó construir Uraniborg, el que en su tiempo fue el más avanzado observatorio astronómico. Uraniborg, por supuesto, no disponía todavía de telescopios, evidenciando

que, al menos entonces, no eran imprescindibles para hacer buena astronomía. Brahe observó también, de manera simultánea a otros estudiosos (como el valenciano Jeroni Muñoz), la supernova de 1572 que lleva su nombre. Tycho conocía perfectamente el cielo, y sabía que esa estrella no estaba ahí antes, por lo que la observó a diario durante más de un año hasta que la disminución de su brillo la hizo invisible. No observando movimiento alguno en ella, concluyó que no era un objeto cercano a la Tierra, sino que estaba situado en el mismo plano que las estrellas, campo que se suponía inmutable. Aunque esto suponía una tremenda sacudida al paradigma en boga, Brahe no asumió el modelo heliocéntrico, sino que postuló un esquema que podríamos calificar de transición entre el ptolomeico y el copernicano, en el cual la Luna y el Sol giraban alrededor de la Tierra, con el resto de los planetas girando a su vez alrededor del Sol.

El titánico trabajo observacional de Brahe fue analizado tras su muerte por uno de sus discípulos, Johannes Kepler, que finalmente cedió a la evidencia: los planetas giraban en torno al Sol y, aún más, sus órbitas no eran perfectamente circulares, sino elípticas. Así lo dejó expresado en las que conocemos como sus tres leyes. Las dos primeras fueron publicadas, con 9 años de anterioridad respecto a la tercera, en 1609. En agosto de ese mismo año, el Senado de Venecia asistía a la demostración por parte de Galileo Galilei de un extraño instrumento que hacía aparecer los objetos mucho más cercanos cuando se observaban a través de él.

### 3

#### **¿EL SALTO ENORME PARA LA HUMANIDAD DE ARMSTRONG FUE TAMBIÉN EL MAYOR DE LA HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA?**

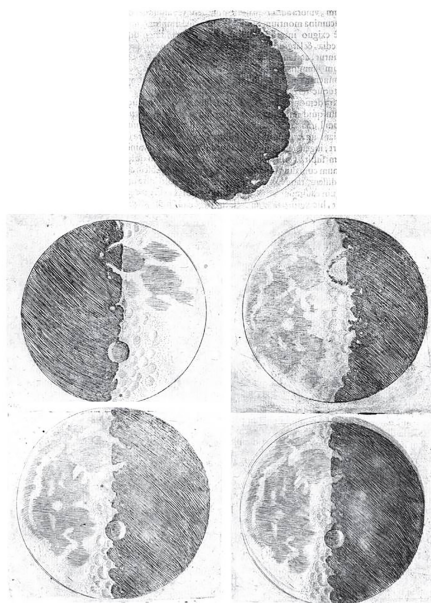
La llegada del ser humano a la Luna se enmarca en las grandes epopeyas de la humanidad. El nombre de Armstrong (y todo el equipo que había detrás, desde Buzz Aldrin hasta el último ingeniero de vuelo, pasando por Von Braun), pasó a formar parte del ilustre panteón que abrió el primer *Homo sapiens* que cruzó

de África a Europa, y en el que se encuentran Herodoto, Colón, Magallanes o Amundsen.

Sin embargo, y sin ánimo de relativizar un logro mayúsculo, seguramente el cambio que supuso en la manera de hacer ciencia, en la manera en la que concebimos la investigación en astronomía, no alcanza al que implicó el uso del telescopio por parte de Galileo.

Cuidado: hablamos del uso del telescopio, no de su invención. Porque, en contra de la idea fuertemente anclada en la cultura popular, Galileo no inventó el telescopio. El uso de lentes tiene su origen en la antigüedad clásica, con ejemplos como la lente de Nimrod, de la cultura asiria (1000 años a. C.) y el invento de las gafas es medieval (pensemos en las que el siempre bien documentado Umberto Eco hacía usar a su Guillermo de Baskerville en *El nombre de la rosa*). Tampoco fue del genio de Pisa la primera observación documentada, honor que corresponde al que suele identificarse como el constructor del primer telescopio documentado (de 3 aumentos), el holandés Hans Lippershey, que solicitó su patente en 1608.

Quizá sería pues más correcto referirnos a Galileo como el pionero en los estudios con telescopio, es decir, en transformar un juguete óptico en un instrumento científico. En esto no tuvo



Dibujos de la Luna en la obra de Galileo *Sidereus nuncius* (noticiero sidereal) de 1610. La irregularidad observada en la frontera de la sombra sobre su superficie fue la que llevó a Galileo a postular que la Luna era «desigual, arrugada, y llena de huecos y protuberancias, absolutamente como la faz de la Tierra, en la que se distinguen aquí y allá las cumbres de los montes y las profundidades de los valles».

rival: descubrió que cuatro aparentes estrellas alrededor de Júpiter, no visibles a simple vista, eran en realidad los satélites de este planeta que acabaron llamándose galileanos (Ío, Europa, Ganímedes y Calisto); observó las fases de Venus, imposibles de explicar en el modelo copernicano; postuló la irregularidad de la superficie lunar, y halló dos extraños apéndices en Saturno, que finalmente Christiaan Huygens (con mejor instrumentación) identificó como sus anillos. Observó también, de manera prácticamente simultánea a otros científicos, pero independientemente de ellos, las manchas solares, regiones de nuestra estrella que ahora sabemos más frías que el resto de su superficie. Cualquiera de estos descubrimientos le hubiera garantizado un lugar en la historia. Al dar primero, dio no solo dos veces, sino muchas más.

Pensemos en las implicaciones que tuvieron estos descubrimientos. Por una parte, Júpiter constituía una especie de sistema solar en miniatura, ya que constaba de un cuerpo central alrededor del cual orbitaban otros más pequeños: la consecuencia de esto no solo invalidaba el modelo heliocéntrico, sino que sobrepasaba el copernicano, en el cual todos los cuerpos giraban alrededor del Sol. Pero es que, además, estos postulados golpeaban el modelo más general de Aristóteles, en el cual las imperfecciones se limitaban al mundo sublunar, en el que estaba la Tierra. En dicho modelo, más allá de la Luna se encontraba el mundo supralunar, inmutable y perfecto. Las manchas del Sol o las estructuras de la Luna eran un clavo más en la tapa del ataúd de la visión del universo que había imperado durante tantos siglos.

En tiempos tecnológicos como los que vivimos, es pues imprescindible un ejercicio de perspectiva para entender la trascendencia del descubrimiento (y la explotación científica) del telescopio: tras milenios observando el firmamento a simple vista, la humanidad pasaba a contar con una ayuda, con un instrumento que abrió nuevas puertas. Objetos que por tamaño aparente o brillo eran invisibles pudieron observarse por primera vez, en la salida de una carrera que sigue aún hoy. No ha habido otro salto igual en la historia de la astronomía. O quizá deberíamos decir que no lo hubo hasta 2017, cuando se detectaron ciertas señales no electromagnéticas procedentes del firmamento: las ondas gravitacionales.

La importancia de Galileo en la ciencia no se limita a la astronomía. En la física en general asestó un nuevo golpe a las teorías aristotélicas, que suele expresarse de manera muy gráfica con el experimento de la piedra lanzada desde lo alto del mástil de un

barco en movimiento. Para Aristóteles, si el mástil era lo suficientemente alto, la piedra caería en línea recta vista por un observador en tierra mientras el barco avanza, cayendo finalmente al agua. El estudio de Galileo de la inercia y el movimiento rectilíneo postuló correctamente que la piedra, en realidad, caería a los pies del mástil. Pero, más allá incluso de eso, sentó con sus experimentos las bases de lo que sería y es la ciencia moderna: nada puede aceptarse hasta que no se comprueba experimentalmente. Un año después de su muerte nacería el titán que, aupado a los hombros de los resultados de Galileo y otros genios, construiría la obra magna de la física y fundaría la ciencia moderna: Isaac Newton.

Por cierto, parece que la invención del telescopio no es el único hito de la cultura popular atribuido erróneamente a Galileo. También se pone en duda que en efecto pronunciara *epur si muove* ante el tribunal de la Inquisición que le juzgaba. Sin embargo, resulta tan poético que podemos decir, echando mano del italiano de nuevo, aquello de *se non è vero, è ben trovato*.

## 4

### ¿PUEDE UN TELESCOPIO REFRACTOR SER TAN GRANDE COMO QUERAMOS?

Antes que nada, debemos quizá afinar la pregunta: ¿grande en qué dimensión? Por cuestiones básicas de simetría, la lente de un telescopio refractor (es decir, que funciona basado en la refracción, o desvío, de la luz por lentes), es circular. Por lo tanto, si queremos hacer un telescopio más grande, tenemos *a priori* dos opciones: hacerlo más ancho o más largo. O aumentamos el diámetro de la lente o bien la longitud del tubo que contiene la lente. Y decimos *a priori* porque en la práctica ambas acaban yendo de la mano.

Veamos por qué. Y empecemos recordando lo que parece obvio: la finalidad de un telescopio es ampliar la imagen que, de un objeto distante, se forma en la retina humana (o en un instrumento de detección, en el caso de los telescopios modernos). Esta capacidad para ampliar la imagen es lo que se mide en forma de

aumentos, un nombre que tiene truco: si observamos un objeto con un telescopio de 3 aumentos, no lo veremos 3 veces más grande, sino que lo veremos como si estuviera 3 veces más cerca. Con truco o sin él, lo que queda claro es que cuantos más aumentos tenga un telescopio, obtendremos a la salida de este una imagen más grande y con más detalle.

Estos aumentos de un telescopio refractor vienen determinados por las características de sus lentes, en concreto por la relación entre las distancias focales de ambas lentes. La distancia focal de una lente tiene que ver con su curvatura (que a su vez nos indica su capacidad para desviar la luz), y cuanto mayor sea la distancia focal del objetivo (la lente que capta la luz) y menor la del ocular (la lente por la que la luz sale del telescopio a nuestro ojo), más aumentos tendrá el telescopio. Lo que ocurre, por cuestiones básicas de óptica geométrica, es que la distancia entre lentes debe ser la suma de las distancias focales de estas. Si, como hemos dicho, a mayor distancia focal del objetivo tenemos más aumentos, nos encontramos ya con un condicionante para el tamaño del telescopio: un telescopio con muchos aumentos tendrá mucha distancia entre lentes o, dicho de otra manera, será muy largo. Esto llevó a los larguísimos tubos (que superaron los 10, y hasta los 20 metros) en los que se montaban las lentes de los grandes telescopios refractores, e incluso a ingeniosas y complejas de manejar soluciones como los telescopios aéreos, en los que no había tubo, sino dos lentes unidas por una cuerda o listón.

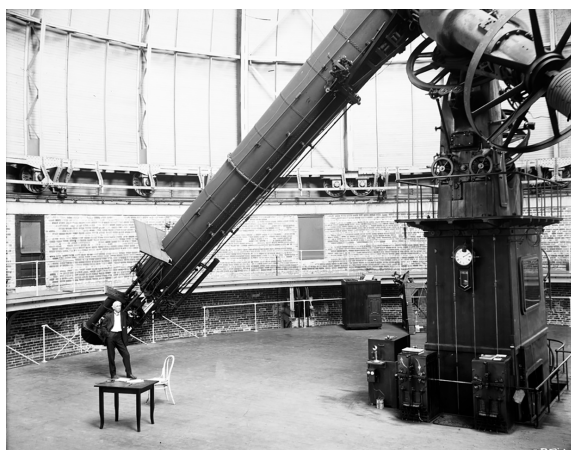
Sin embargo, el problema técnico que a la postre resultaría insalvable vendría dado por el diámetro de las lentes. Pero ¿por qué necesitábamos hacer lentes cada vez de mayor diámetro, si este parámetro no iba a influir en los aumentos de nuestro telescopio?

Para entenderlo, imaginemos un proyector de diapositivas. Si lo vamos alejando de la pantalla a la que dispara su cañón de luz, iremos viendo la imagen proyectada cada vez más grande. Y, a la vez que la vemos más grande, la iremos viendo cada vez más tenue, más difuminada. Esto tiene una explicación sencilla e intuitiva: la luz que sale del proyector es siempre la misma, y si aumentamos la superficie sobre la que se proyecta, la densidad de luz disminuye. Podemos recurrir a la interpretación corpuscular de la naturaleza de la luz (muy útil para visualizar según qué conceptos) para decir simplemente que tocamos a menos fotones por unidad de área. A los astrónomos aficionados esto les resultará familiar: muchas veces



se prefiere tener una imagen más pequeña del objeto a observar, pero con un alto grado de nitidez.

La capacidad para magnificar una imagen, la gran virtud del telescopio, se vuelve ahora en nuestra contra, ¡necesitamos más fotones! La manera de conseguirlos es, simplemente, aumentar el área de captura de estos, que es la lente que los concentra y forma nuestra imagen: estamos obligados a aumentar el diámetro del objetivo para que, así, más rayos de luz procedentes del objeto a estudiar caigan dentro de él y consigamos una imagen más intensa. Y aquí es donde empiezan los problemas técnicos. Quizá no somos del todo conscientes porque estamos acostumbrados a trabajar con láminas de vidrio finas, como los cristales de unas gafas o el de una ventana, pero el vidrio pesa. Pesa bastante. Su densidad está entre 2 y 3 veces la del agua, quintuplicando la de la madera. Y para que la superficie de una lente tenga la curvatura que queremos y sea lo suficientemente robusta para no deformarse, esta lente tiene que ser gruesa. El objetivo del telescopio de 40 pulgadas (aproximadamente 1 metro) de diámetro de Yerkes pesa más de 200 kilos. Este telescopio, que todavía existe, aunque sin uso científico, es el mayor refractor plenamente funcional que llegó a construirse. Si se aumentaba el tamaño de las lentes, estas empezaban a deformarse



El astrónomo Edward Drake Roe en el telescopio refractor de Yerkes. Su lente principal tenía 40 pulgadas de diámetro y el tubo que la contenía alcanzaba los 18 metros de largo. Fue el canto del cisne de los grandes refractores, que empezaron a ser sustituidos por telescopios reflectores, con espejos en lugar de lentes (Special Collections Research Center, University of Chicago Library).



debido a su propio peso, y su enorme volumen además las llevaba a reflejar más luz (el vidrio, recordemos, no es completamente transparente), con lo cual no se conseguía mejorar sus prestaciones.

Aunque no estén limitados teóricamente, en la práctica los telescopios de lentes no podían crecer más. La aberración cromática (resultado del diferente índice de refracción para cada color, como en la portada de Pink Floyd) se había conseguido superar mediante el uso de lentes dobles, los llamados dobletes acromáticos y, de hecho, este logro técnico había sido el que había puesto a los refractores en cabeza, pero su reinado llegaba a su fin. Por suerte, había otro modelo de telescopio, el de espejos o reflector, que a lo largo del siglo XIX había alcanzado las prestaciones de los mejores refractores y se apostaba a relevarlo a la vanguardia de la investigación. Aunque también tuvo que ir salvando condicionantes técnicos, el reflector sí podía hacerse más y más grande. El refractor, sin embargo, no.

## 5

### ¿SE PODÍA MEJORAR EL TELESCOPIO GALILEANO?

Aunque, como ya hemos comentado anteriormente, Galileo no inventó el telescopio, sí introdujo mejoras clave respecto a los modelos anteriores. Hemos visto también cómo los avances técnicos en los años y siglos siguientes permitieron que el telescopio refractor o de lentes creciera, haciéndose más grandes y potentes, a la vez que crecían los inconvenientes técnicos asociados a ellos.

Entonces, como en tantas otras áreas de la ciencia, es cuando aparece el nombre de Newton.

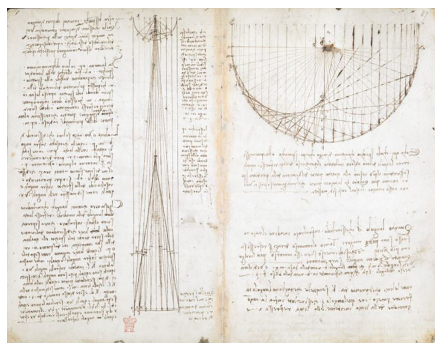
Es difícil intentar explicar la talla de Isaac Newton sin parecer exagerados. Por ello, quizá la mejor síntesis la hizo su tocayo Asimov. Para el inmortal divulgador sería injusto otorgar el título de «segundo científico más importante de la Historia», porque habría que discernir entre demasiados genios, desde Arquímedes hasta Einstein. Sin embargo, no hay duda respecto al primero: Newton. En sus *Principia Mathematica* fundó la ciencia moderna y, para hacerlo, desarrolló (simultáneamente a Leibniz, pero de manera independiente) el cálculo diferencial. En esa misma obra aparecía también su ley de la gravitación universal.

El trabajo de Newton en el campo de la óptica, que hubiera consagrado a cualquier otro autor, parece palidecer al lado de sus trabajos fundacionales en mecánica y análisis matemático. Sin embargo, a la vez que fundó de algún modo esta disciplina hizo la que sería su gran aportación a las técnicas de observación astronómica: el telescopio reflector que lleva su nombre.

Este instrumento se basa en una premisa teórica sencilla y conocida: en lugar de desviar la luz y hacer converger los rayos mediante una lente, hagámoslo mediante un espejo curvado. En el *Thesaurus Óptico* de Alhazen, un astrónomo árabe a caballo entre el primer y el segundo milenio considerado el padre de la óptica moderna, aparece ya consignada esta capacidad de los espejos y el propio Leonardo da Vinci propuso también observar la superficie de los planetas reflejando su luz mediante un espejo cóncavo, con el fin de magnificar su imagen. Ya en el siglo XVI, Mersenne construyó un telescopio reflector antes del nacimiento de Newton.

Queda claro, pues, que Newton no inventó el telescopio reflector. ¿Por qué se le asocia de tal modo a su invención? Quizá porque se considera su modelo de reflector de 1668 como el primero plenamente funcional. Eligió una aleación de cobre y estaño para el espejo y colocó un pequeño espejo plano dentro del tubo. Este espejo secundario refleja la luz en un ángulo de  $90^\circ$ , la que es la

Diagramas de  
Leonardo da Vinci  
en su Codex  
Arundel donde se  
estudia la reflexión  
de la luz.



gran innovación técnica de Newton, y la proyecta hacia el tubo del telescopio, del que sale a través de un orificio por el que se puede observar.

El telescopio reflector, sin embargo, no tuvo una aceptación inmediata. Pese a hitos en los reflectores como el telescopio de 40 pies de longitud de Herschel de 1789 (con un espejo primario de 1,2 m de diámetro) o el telescopio de 6 pies (1,8 m) de diámetro del conde de Rosse (también llamado Leviatán de Parsonstown),

de 1845, los grandes refractores siguieron liderando la carrera de tamaño y prestaciones. La razón principal para ello era la cantidad de luz que reflejaban o, más bien, que no reflejaban los espejos de la época. Además, las aleaciones (similares en composición a las de Newton, aunque variables en proporción) eran difíciles de moldear, y padecían un problema que ya vimos en las lentes: eran bloques monolíticos que debían tener bastante grosor para evitar que se deformaran bajo su propio peso. Recordemos que dar la forma exacta al espejo era y es fundamental a la hora de construir un telescopio operativo y útil, por lo que este punto era crítico también.

No fue hasta mediados del siglo XIX cuando se inventaron procesos que optimizaron las prestaciones de los espejos, de los que el más destacado fue el sistema de plateado desarrollado por von Steinheil y Foucault (sí, el del péndulo), que se basaba en depositar una fina capa de plata sobre la superficie de un vidrio previamente pulido. La capa metálica así depositada resultaba mucho más reflectante y duradera. Además, la forma del espejo venía dada por el vidrio posterior, cuya forma era relativamente sencilla de lograr, comprobar y corregir. Ahora sí, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los telescopios reflectores iniciaban definitivamente su reinado, que dura —con brillantes avances tecnológicos por el camino— hasta hoy día.

En cierto modo, pues no se trataba de mejorar el telescopio de Galileo, sino de cambiar el tipo de telescopio. De reflector a refractor, de lentes a espejos.

## 6

### ¿PODEMOS OBSERVAR OBJETOS CELESTES TAN PEQUEÑOS COMO QUERAMOS?

Al hablar de observar objetos pequeños en astronomía, quizá es necesario hacer una puntualización previa. Tiene sentido hablar de objetos pequeños cuando observamos los cuerpos de nuestro sistema solar, pero no cuando nos referimos a las estrellas. Excepto un número muy pequeño de ellas, que son relativamente cercanas, las estrellas siempre aparecen en nuestros telescopios como un punto: están demasiado lejos para que podamos ver nada más. Por ello, cuando queremos observar objetos que en el cielo aparecen

muy pequeños, preferimos hablar de resolución. Y lo relevante de la resolución de un telescopio, como hemos apuntado, no será que consigamos medir lo ancha que es una estrella en el cielo, sino que nos permita separar (o resolver, en jerga) una estrella de otra que en el cielo aparezca muy cercana. La resolución será también crucial para el estudio de objetos que no son puntuales, como las nebulosas o las galaxias: a mayor resolución, mayor capacidad para discernir las distintas estructuras que presentan estos objetos.

La resolución se mide en unidades angulares, es decir, en grados y sus submúltiplos (minutos y segundos de arco), lo cual nos evita problemas con la proyección de los objetos en el cielo. Veamos un ejemplo con un par de objetos bien conocidos del cielo nocturno. La nebulosa de Orión, una nube de gas y polvo situada en la espada de la constelación que lleva el mismo nombre, tiene un tamaño de unos 24 años luz y, al estar cerca de la Tierra (en términos cósmicos), ocupa bastante espacio en el cielo nocturno, aproximadamente un grado (el doble que la Luna). La galaxia de Andrómeda, la más cercana a la Vía Láctea, tiene un radio casi 5.000 veces mayor, pero ocupa en el cielo apenas 3 veces la extensión aparente de la nebulosa de Orión. No se trata solo del tamaño de los objetos, sino de la combinación de este y de la distancia a la que lo observamos, por eso nos resulta tan útil medir esos tamaños aparentes (que así les llamamos) como ángulos, que no dejan de ser una relación entre ambas distancias.

De este modo, podríamos reformular la pregunta inicial y preguntarnos si podemos alcanzar la resolución que queremos con nuestros telescopios. Sabemos ya que a finales del XIX el telescopio reflector empezó a liderar la carrera de tamaños y resoluciones frente al refractor. El Leviatán de Parsonstown fue hasta 1917 el telescopio de mayor diámetro del mundo, cuando le relevó el telescopio Hooker del observatorio del monte Wilson, en EE. UU., que tenía un espejo primario de 100 pulgadas (2,54 metros) de diámetro. Este telescopio, además, incorporaba avances técnicos en construcción de espejos que mejoraban enormemente sus prestaciones. El enorme salto cualitativo en las imágenes que obtenía permitió, por ejemplo, que Edwin Hubble identificara con él fuentes extragalácticas y, midiendo sus velocidades, postulara que el universo se hallaba en expansión.

Si estos descubrimientos (y la inmensa mayoría de los que vinieron después) fueron posibles fue porque el principal detector de fuentes al otro lado del ocular del telescopio había dejado de ser



Aunque en los años 20 ya se trabajaba con placas fotográficas, en esa época todavía podían darse estampas como esta, en la que Edwin Hubble fuma su icónica pipa con el ojo pegado al telescopio de 48 pulgadas de Monte Palomar. A los aficionados al cómic quizá les resulte familiar, porque Hergé prácticamente calcó esa imagen en el álbum de Tintín: “Objetivo: la Luna” al dibujar al astrónomo que sigue la trayectoria del cohete una vez ha salido de la atmósfera (reproduciendo minuciosamente el telescopio hasta incluir detalles como la forma del ocular, los tornillos de la montura o el gancho del mando) (National Portrait Gallery, Smithsonian Institution; acquired through the generosity of Laura Peebles and Ellen Fingerma).

el ojo humano para dar paso a las placas fotográficas. Y es que era normal que una de las primeras cosas que se intentase fotografiar fuera el cielo: el propio inventor del daguerrotipo, Louis Daguerre, ya intentó fotografiar la Luna en 1839. Sin embargo, los largos tiempos de exposición requeridos por el sistema y la inexistencia

de un guiado automático de los telescopios impidieron obtener una imagen clara hasta el año siguiente. En 1850 se pudo obtener una imagen de Vega (la 5ª estrella más brillante de nuestro cielo, sin contar el Sol), en 1863 el primer espectro y en 1880 se registró la primera imagen (tras 51 minutos de exposición) de una nebulosa, la de Orión. Todavía en el siglo XIX, en 1887, arrancó lo que se convertiría en el primer catálogo fotográfico del cielo, el *Astrographic Catalogue* y la *Carte du Ciel* que, promovidos por el Observatorio de París, involucró a 20 observatorios de todo el mundo para registrar el cielo en más de 22.000 placas fotográficas.

Fue así, con instrumentos para el registro de imágenes acoplados a los telescopios, como se construyó la astrofísica del siglo XX. El telescopio Hooker fue el más grande del mundo hasta ser destronado en 1949 por el mítico telescopio Hale del observatorio de Monte Palomar, en California, que lo doblaba en diámetro. En estos telescopios, la resolución viene ya limitada por la física microscópica y el llamado límite de difracción de Rayleigh, que nos indica que cuanto mayor sea la apertura de un telescopio (que, para el caso que nos ocupa, se puede asimilar al diámetro del espejo principal), mayor resolución tendremos. Como siempre queremos obtener detalles más finos de los objetos del cielo, necesitamos espejos cada vez mayores, los cuales nos facilitan el trabajo por partida doble, ya que también tienen una mayor área colectora de luz y son a su vez más sensibles. En esa carrera, los 6 metros de diámetro del soviético BTA-6, en el Cáucaso, tomaron el relevo al Hale en 1976, aunque problemas técnicos de diversa índole le impidieron alcanzar su máximo teórico de resolución.

## 7

### ¿VAMOS A PODER CONSTRUIR TELESCOPIOS AÚN MAYORES?

A finales de los años setenta del siglo pasado parecía que de nuevo se había agotado la capacidad de la tecnología para agrandar los telescopios. Construir un espejo monolítico, de una pieza, de más de 8 metros de diámetro que fuera plenamente funcional se antojaba poco viable por múltiples razones: por una parte, la extraordinaria complejidad técnica que requiere su construcción

(que permite desviaciones de apenas unas micras), por otra, el gran peso que tendría el espejo y su estructura de soporte, que generaría deformaciones debidas al propio peso del espejo al moverse para cambiar el apuntado en el cielo. Y, una vez más, el ingenio humano salió al rescate.

La solución pasó por los llamados espejos segmentados. En esta técnica, lo que hacemos es construir un espejo grande a base de juntar espejos (típicamente hexagonales) más pequeños. Los telescopios gemelos Keck, situados en la cima del Mauna Kea, en Hawaii (una de las mecas observacionales del mundo, junto con la isla de La Palma) fueron pioneros en la implementación de esta tecnología, viendo la primera luz el Keck I en 1993 (su gemelo lo hizo en 1996, a 50 metros de distancia). Su espejo segmentado de 10 metros de diámetro fue en su momento el mayor del mundo, hasta que en 2007 arrancó sus operaciones el Gran Telescopio de Canarias, o GTC, que con su espejo de 10,4 metros de diámetro encabeza desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, el ranking de mayores telescopios del mundo.

El GTC también tiene un espejo primario segmentado, como lo tienen todos los telescopios con espejo de más de 8 metros en funcionamiento y los que están planeados para el futuro cercano. Los segmentos de estos telescopios son mucho más livianos y finos que los grandes espejos de telescopios como el Hale por lo que, pese a ser más pequeños, sufren deformaciones debido a tensiones mecánicas o inclemencias atmosféricas como el viento o los cambios de temperatura. Para corregirlo, el GTC (como ya lo tenía el Keck), tiene implantados sistemas de óptica activa, que mediante sistema de presión en la parte trasera de los espejos corrigen las deformaciones en tiempo real.

Con todos estos avances, la resolución teórica de estos grandes telescopios llegaba ya, observando en la parte alta de sus rangos de frecuencias, a la centésima de segundo de arco, suficiente para distinguir un coche en la superficie de la Luna. Sin embargo, en la práctica, su resolución es cerca de 100 veces peor por culpa de la atmósfera. Pensémoslo: en ella tenemos vientos, turbulencias, contenidos de vapor de agua variables y cambiantes, capas de aire a diferente temperatura... En la práctica, es como mirar al fondo de una piscina llena de agua, limitando la resolución de los telescopios en cuanto estos superan unos pocos decímetros de diámetro. Por esta razón, de hecho, titilan (o «tiritan», como diría un poeta) los astros. La primera medida que se tomó para paliar



estos inconvenientes fue llevar los observatorios lo más alto posible, ahorrándonos algún kilómetro de capas de aire y también las nubes bajas, e intentando que fueran sitios con la atmósfera más estable posible (de ahí la querencia por las islas como Hawaii o La Palma, ya que el océano actúa como un regulador gigante de temperatura). La siguiente medida fue implementar una tecnología verdaderamente alucinante: la óptica adaptativa. A diferencia de la óptica activa, ya comentada, esta nueva tecnología mide la distorsión que, sobre la luz que nos llega, ha introducido la atmósfera y deforma microscópicamente los espejos para corregirla con una frecuencia mucho mayor que puede llegar a las 1.000 veces por segundo. De esta manera, ahora sí, nos podemos ir a resoluciones con GTC del orden de la décima de segundo de arco.

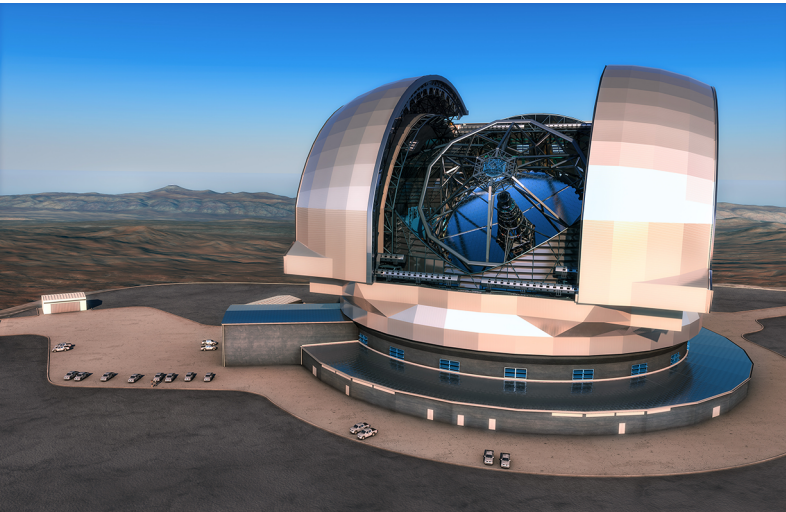
Tenemos, pues, tecnología para hacer frente a los condicionantes más importantes, por lo que tras este viaje cronológico podemos imaginarnos por dónde van los tiros: queremos telescopios más grandes todavía. Y, de hecho, los estamos construyendo ya. La próxima generación de telescopios será de aperturas de 25 metros o más. Y no hablamos de quimeras que solo existen en la mente de los visionarios, sino que hay tres proyectos que ya se han puesto en marcha. Todos ellos, por supuesto, con su espejo principal segmentado, como el Keck y el GTC.

Con 24,5 metros de diámetro en su espejo principal tenemos el Telescopio Gigante de Magallanes (o GMT, por sus siglas en inglés) en el observatorio de Las Campanas, a 2.400 metros de altura en los Andes chilenos (que, con varios complejos a lo largo de la cordillera, completan el triplete de grandes sitios observacionales del mundo con Hawaii y Canarias). Su puesta en funcionamiento está prevista de manera progresiva entre 2021 y 2025, y las obras arrancaron de manera oficial en 2019. Su particularidad reside en que, los segmentos del espejo principal no serán hexágonos relativamente pequeños, sino 7 grandes espejos circulares de 8,4 metros de diámetro. Es decir, cada uno de los segmentos monolíticos del GMT serán, por sí solos, los más grandes del mundo, igualando los del Large Binocular Telescope y superando los 8,2 metros de espejo del telescopio Subaru de Mauna Kea o los 4 Very Large Telescopes de Paranal.

Por encima del GMT está proyectado el Thirty Meter Telescope (Telescopio de Treinta Metros, TMT), cuyo nombre ya es en sí una descripción. Su localización definitiva ha sido motivo de polémica ya que estaba previsto construirlo, como tantos otros monstruos



de la observación, en la cima del Mauna Kea. Este volcán apagado, sin embargo, es una cima sagrada para los nativos hawaianos, que se oponen a que se construyan allí más instalaciones, por lo que la isla canaria de La Palma está preparada para albergarlo si fuera el caso. En todo caso, el TMT está llamado a ser el segundo de la lista, ya que, en el desierto de Atacama, en Chile, se puso en 2017 la primera piedra del Extremely Large Telescope (ELT), con un espejo primario de 39,3 metros segmentado en 798 espejos hexagonales de unos 1,4 metros cada uno. Por hacernos una idea de sus dimensiones, su espejo secundario (es decir, el que toma la luz reflejada por el primario y, a su vez, la redirige a los instrumentos de detección) tendrá 4,2 metros de diámetro: si se tratara del espejo primario, entraría directamente al top-25 histórico de mayores telescopios. Su primera luz está prevista para 2025. Captará 15 veces más luz que los mayores telescopios que funcionan en el momento de su construcción y llegará a resoluciones que jamás se han alcanzado en observaciones en el óptico. Tendrá que seguir lidiando, sin embargo, con las complicaciones que genera observar a través de la atmósfera terrestre.



Recreación artística basada en los planos del aspecto que tendrá el Extremely Large Telescope. Para hacernos una idea de sus dimensiones, basta contemplar los coches aparcados en su base (ESO).