



# Galileo Galilei: en busca de la evidencia

Santiago Pérez Hoyos

Hace algo más de 450 años, el 15 de febrero de 1564, nació en la ciudad de Pisa Galileo Galilei, el que habría de ser precursor de la observación telescópica, paladín del sistema copernicano y finalmente mártir de la injerencia religiosa en el mundo de la evidencia científica. Nacido a caballo del Renacimiento y la Edad Media, fue también en muchos sentidos símbolo de ambas épocas.

Contradictorio, por tanto, apasionado, orgulloso pero también pragmático hasta la negación de sus principios. Cobarde o cauto, y al mismo tiempo audaz en su discurso. Siempre pendiente de la financiación necesaria para la independencia de sus estudios y a la búsqueda continua de la libertad para abordar los temas que realmente le interesaban; pero al mismo tiempo consciente de la necesidad de conectar la ciencia básica, la investigación pura, con la ciencia aplicada y la tecnología que habría de conseguir el bienestar de sus conciudadanos y la satisfacción de sus benefactores. Más allá del apócrifo "Eppur si muove" con el que tan a menudo se le simplifica, sigue siendo Galileo una figura de referencia para los científicos, docentes e investigadores actuales. Más humano quizá que los Newton o Einstein fue en todo caso un auténtico genio intuitivo, cuya figura merece ser revisada continuamente, tanto por lo influyente como por lo inspiradora.

## El telescopio

Para todos los astrónomos y para aquellos que disfrutamos de la observación del cielo nocturno, Galileo merecería haber pasado a la historia sólo por el uso que dio a un invención reciente que cayó en sus manos. Hablamos desde luego del telescopio, que no recibiría esa denominación hasta años más tarde por la sugerencia del matemático griego Giovanni Demisiani.

Aunque la controversia persiste, posiblemente a finales del siglo XVI había en Europa diversos artesanos que estaban modificando y combinando lentes con el fin de producir imágenes ampliadas de objetos lejanos. Hans Lippershey en Alemania, Zacharias Janssen en Holanda o Joan Roget en Cataluña podrían dis-

putarse el honor de haber sido los auténticos inventores del instrumento, pero fue sin duda Galileo quien le aportó una dimensión revolucionaria cuando en el año 1609 lo utilizó para escrutar los cielos.

**"Galileo era consciente de la necesidad de conectar la ciencia básica, la investigación pura, con la ciencia aplicada y la tecnología"**

Podríamos decir que el papel de Galileo con respecto al nuevo aparato fue triple. Por un lado, desde el punto de vista tecnológico, fue capaz de dotar al instrumento de una capacidad ampliadora inédita y de una perfección óptica indiscutible para la época. Esta innovación tecnológica fue durante décadas la carta de presentación del científico, el regalo que utilizaba para agradar a los poderosos cuya protección y apoyo económico precisaba. Esto incluye al obispo Barberini, quien habría de convertirse en Urbano VIII y fuera artífice final de la desgracia de nuestro astrónomo.

En segundo lugar, supo también Galileo hallar una utilidad militar aplicada al telescopio. Un uso del agrado de sus benefactores de quienes obtendría admiración sí, pero también el apoyo económico que precisaba. Capaz gracias a sus contactos de presentarse ante la república de Venecia como el inventor original de un aparato que ya circulaba por las ciudades italianas, nadie puede negarle el mérito de ser capaz de hallarle un uso práctico y convencer del mismo a las autoridades.



Finalmente, nadie excepto Galileo tuvo la genialidad de apuntar su vista a los cielos con ese nuevo artilugio y supo interpretar y extraer las consecuencias lógicas de sus observaciones. Gracias a ellas descubrió los cuatro grandes satélites de Júpiter, que ahora llamamos galileanos pero que él quiso bautizar como mediceos, en busca, una vez más, de la protección de la dinastía Médicis en Florencia, cuyo apoyo anhelaba. El movimiento orbital ponía de relieve la inconsistencia del modelo ptolemaico para explicar la constitución del Sistema Solar. Esto, como recoge Thomas Khun en su famoso "Estructura de las Revoluciones Científicas", hacía trizas una astronomía cada vez más difícil de explicar y sostener ante la avalancha de nuevas observaciones y explicaciones de las mismas, como por ejemplo las realizadas por Johannes Kepler, coetáneo de Galileo. Unido a esto a la constatación de las fases de Venus, se ponía en entredicho el conocimiento sancionado por las autoridades eclesiásticas, lo que supondría al cabo la condena de Galileo.

La imperfección de los objetos celestes supuso también un duro golpe filosófico al mundo medieval. Empezando por la Luna, cuyos montes y mares implicaban una constitución mucho más terrenal de lo que se pretendía. Y siguiendo por el Sol, cuyas manchas sostuvo Galileo que eran un fenómeno superficial en el astro, acertando una vez más.

Pero no pararon ahí las observaciones astronómicas de Galileo. Con un sencillo movimiento pudo terminar finalmente con la polémica acerca del origen de la franja brillante en el cielo nocturno, la llamada Vía Láctea. Descubrió así que ésta estaba formada por multitud de estrellas más pequeñas, imposibles de discernir a simple vista. También las Pléyades o constelaciones como la de Orión, contaban con muchas más estrellas, más débiles, de las que los clásicos habían consignado. Barruntó acertadamente que con mayores telescopios sería posible por tanto incrementar ad infinitum el número de astros en el cielo. Todas estas ideas quedaron convenientemente recogidas en su Sidereus Nuncius (Gaceta Sideral) un año más tarde.

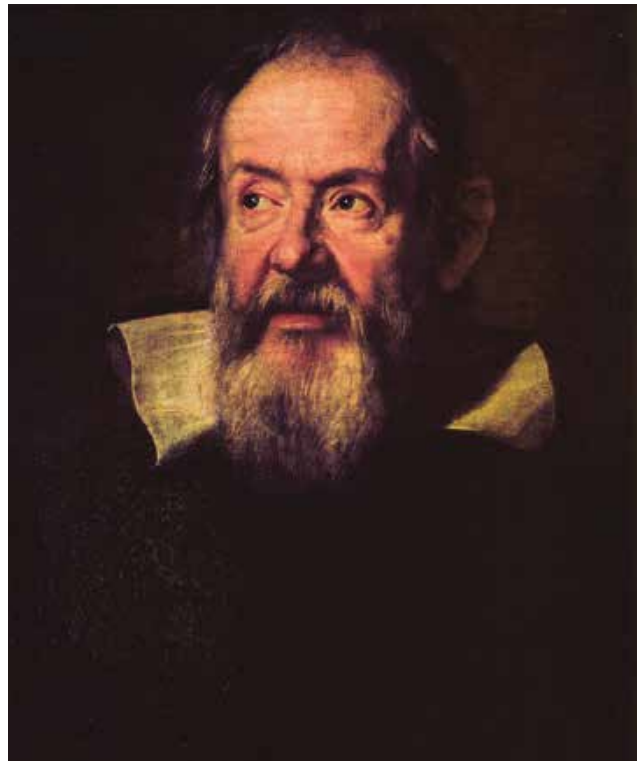
Si, orgulloso como era, Galileo hubiera podido conocer los límites de la ciencia que acababa de inaugurar se habría sentido tremendamente satisfecho. Fue realmente el padre de la astronomía observacional tal y como la entendemos en la actualidad. Todos los astrónomos actuales tenemos una profunda deuda con él. Habría sido posible devolverle ese favor mostrándole la verdadera naturaleza de Saturno, cuyos anillos y su cambiante aspecto le resultaron siempre un misterio que lo intrigaba profundamente. Nuestro pequeño homenaje se realizó cuatrocientos años más tarde, cuando en 2009 celebramos el Año Internacional de la Astronomía en honor a sus observaciones.

### **“El movimiento orbital ponía de relieve la inconsistencia del modelo ptolemaico para explicar la constitución del Sistema Solar”**

Qué investigador actual no admirará la capacidad de Galileo para innovar tecnológicamente, encontrar usos prácticos para vender su invento y aún hacer ciencia con él. Conviene recordar la admiración del pisano por los artesanos y su trabajo manual, del cual siempre estuvo pendiente y supo rodearse de los más hábiles para inspirarse en su trabajo y tratar de encontrar soluciones prácticas a los problemas que les acechaban. Consciente de ello, Bertolt Brecht personalizó al artesano, pulidor de lentes, en el personaje de Federzoni en su monumental "Vida de Galileo".

### **La polémica**

Resulta irónico que Galileo estuviera a punto de convertirse en monje en el convento de Vallombrosa de Florencia. Según cuenta Reston en su biografía del genio italiano, fue su padre Vincenzo quien, disgustado ante el cariz que estaba tomando la educación de su hijo, decidió llevárselo mediante argucias y darle una educación acorde a su capacidad intelectual. La figura de Vincenzo fue básica para Galileo, tanto por el carácter analítico de su padre, aunque orientado al

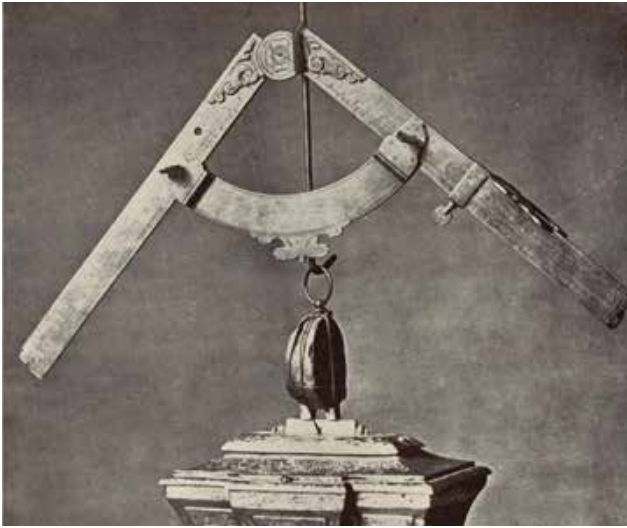


**Retrato de Galileo Galilei realizado por Justus Sustermans en 1636 durante el arresto de Galileo.** Esta es una imagen de importante carga simbólica que muestra el respeto que aún se tenía por el científico condenado. Aunque ya en un estado físico deplorable, Galileo preserva la intensidad e inteligencia de su mirada, magníficamente capturada por el pintor de los Medici. [Galeria degli Uffizzi. commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org)

estudio musical, como por su escepticismo. Galileo fue de hecho un consumado tañedor de laúd hasta el final de sus días y las teorías musicales de su padre se reflejaron múltiples veces en sus escritos, así como su estilo clásico en forma de diálogos a la hora de exponer sus ideas.

Hoy hace aproximadamente 400 años, allá por 1615, tenía lugar el primer proceso de la Iglesia Católica contra el científico. Una vez más, resulta complicado encontrar una sola causa para esta inquina. Desde luego, la primera y fundamental era el inmovilismo de una iglesia acantonada en la Contrarreforma tras el cisma luterano, que la condujo a unas posiciones de intransigencia históricas. Pero existen también otras causas, como el carácter expansivo y polemista del propio Galileo que nunca desaprovechó la ocasión de humillar con su brillante retórica a todos aquellos que le disputaban la primacía en las observaciones o su interpretación. También podemos destacar el ocaso de las ciudades estado italianas, arrastradas por el lastre que supuso precisamente el despótico ejercicio de la autoridad por parte de Roma y la progresiva pérdida de influencia de la liberal Venecia, que habría podido ser un puerto seguro y refugio permanente para un ambicioso Galileo quien prefirió la incierta protección de la familia Médicis en Florencia cuando comenzó a destacar en el mundo científico de la época.

Realmente, la cantidad de evidencias que Galileo venía acumulando contra el sistema ptolemaico hacía muy difícil seguir sosteniéndolo. El pisano se mostraba tan cauto frente a la iglesia oficial como avasallador contra sus mensajeros individuales, personificados en Ludovico delle Colombe o el jesuita Christoph Scheiner. Estos fueron alimentando un poso de envidia y odio hacia el científico que a lo largo de décadas iría madurando para terminar con la condena



Entre los muchos inventos de Galileo podría destacarse el compás militar, inventado alrededor de 1597 y popularizado con la publicación de su manual en 1606. Este aparentemente sencillo aparato permitía realizar con facilidad complicadas operaciones aritméticas como calcular raíces cuadradas y cúbicas, entre otras. *Studies in the History and Method of Science*, vol II, Clarendon Press 1921, Charles Singer.

expresa por parte de quien Galileo menos habría esperado. Muchas evidencias históricas nos muestran a Galileo incapaz en ocasiones de percibir el riesgo y la reprobación, a pesar de que los hechos, vistos con nuestra perspectiva, resultaban claramente alarmantes.

La primera refriega se cerró en 1616 con una amonestación verbal y escrita por parte del cardenal Bellarmino, el mismo que condenó a Giordano Bruno al fuego de los herejes en 1600. Parece realmente que Galileo despertaba mucha admiración y respeto entre las autoridades eclesiásticas, quienes, en muchos casos, apoyaban activamente las tesis de Galileo y lo defendían. El propio Maffeo Barberini habría de escribir su adulador poema *Laudatio Perniciosa* en honor del astrónomo. Así pues, Bellarmino indicó finalmente a Galileo que la tesis copernicana no debía enseñarse y tenía que ser tratada desde un punto de vista puramente hipotético. Los términos no fueron realmente claros y nuestro héroe prefirió sentirse apoyado por las autoridades que reflexionar severamente sobre los condicionantes que se le venían imponiendo.

### **“El cardenal Bellarmino indicó finalmente a Galileo que la tesis copernicana no debía enseñarse y tenía que ser tratada desde un punto de vista puramente hipotético”**

Una serie de señales externas, como el apoyo recibido por múltiples estudiosos de los países protestantes, habrían de inducir a Galileo hacia posiciones más audaces. Las señales parecían óptimas: Barberini, amante de las ciencias, se había convertido en Urbano VIII. Pero Barberini no fue el papa que uno podía esperar del obispo que fue. Autoritario, cruel, inseguro hasta la paranoia y con una fe en la astrología que le llevaba a tomar decisiones de enorme calado político bajo los auspicios más peregrinos, Galileo fue siempre incapaz de ver en Urbano VIII más allá de su antiguo amigo Barberini.

El inicio del proceso inquisitorial a comienzos de la década de 1630 era imparable. Fue acogido con escepticismo inicialmente por Galileo. Acaba de construir el microscopio y sigue agasajando a los príncipes de la Iglesia con sus mejores telescopios, quienes hipócritamente reciben en privado y disfrutan de seme-

jantes presentes mientras que en público condenan las teorías del científico. La salud de Galileo empieza a resentirse y en plena vejez, aquejado de problemas oculares y enormes dolores por la artritis, aumentados por su hipocondría, se encuentra de pronto inmerso en un proceso en el que la amenaza de la muerte y la tortura es patente.

Las difíciles relaciones de Galileo con los jesuitas, en aquel momento en la cúspide de su poder político en la ciudad de Roma, ayudan a germinar las semillas que se plantaron dos décadas antes. En su “Diálogo sobre los principales sistemas del mundo”, Galileo se atreve a ir más lejos que nunca e incluso busca explicaciones teológicas para sus posiciones científicas, en un intento sincero de compaginar su fe, auténtica por lo que sabemos, con lo que la evidencia empírica demuestra. Este fue probablemente su mayor error. En los diálogos, los personajes Salviati y Sagredo abruma al pobre Simplicio con evidencias y argumentos irrefutables acerca del sistema copernicano. Intrigantes profesionales hacen creer a Urbano VIII que el personaje de Simplicio se inspira en él mismo, lo que dispara su paranoia hasta la crueldad hacia su hasta entonces amigo. De nada sirve la sanción de los censores eclesiásticos a la publicación, ni la introducción y epílogo que las propias autoridades redactan para abrir y cerrar el tratado. El peso de los argumentos y las evidencias es tan impresionante, que convierten esas modificaciones en una auténtica burla para cualquier persona inteligente. Y eso no pasa desapercibido a ojos de los jesuitas.

### **“Busca explicaciones teológicas para sus posiciones científicas, en un intento sincero de compaginar su fe con lo que la evidencia empírica demuestra”**

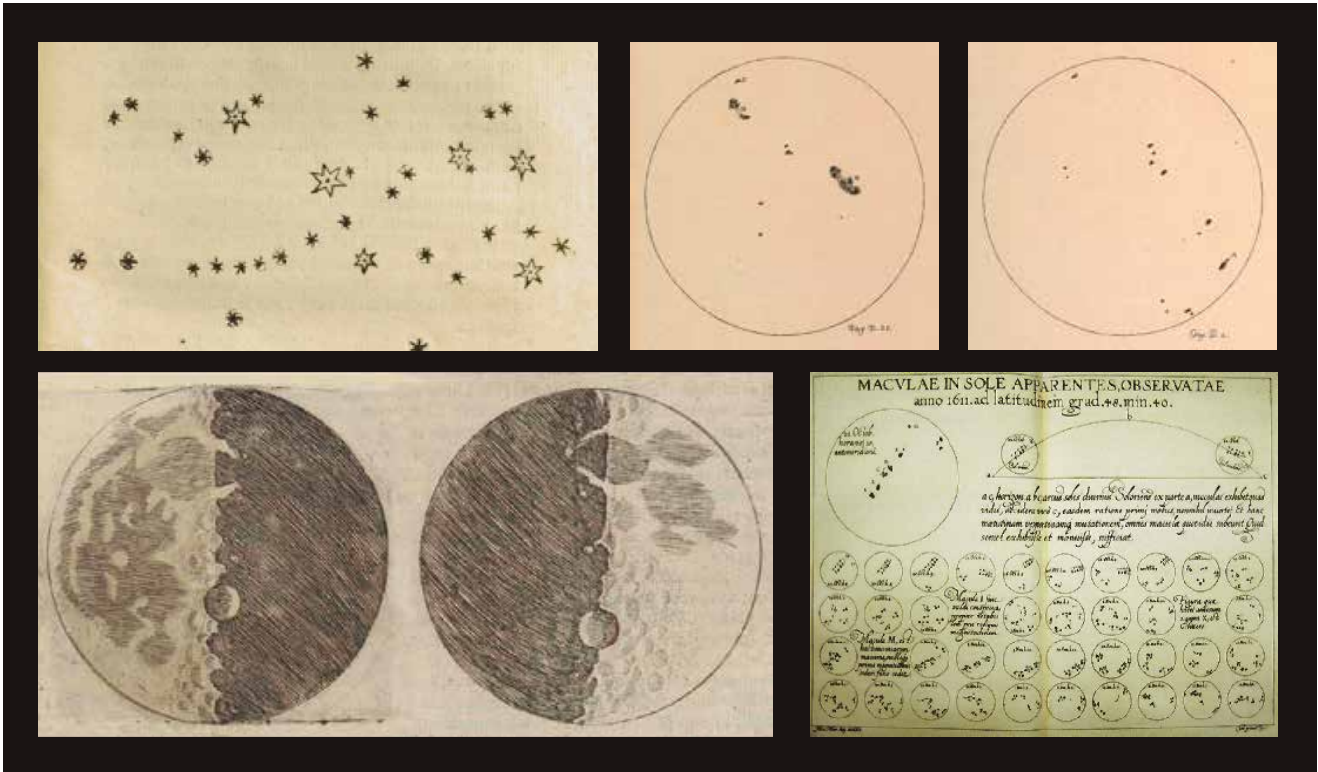
Galileo es procesado y amenazado con la tortura física. Era Galileo una persona de carácter fuertemente hedonista, muy inclinado hacia los placeres carnales y con gran miedo al sufrimiento físico y la enfermedad. Se debate al principio entre mantenerse fiel a sus principios o renegar de ellos públicamente para poder mantener su vida y continuar estudiando el mundo que le rodea. No tarda en optar por la segunda opción y se desdice en 1633 ante la incredulidad de algunos de sus admiradores como Giuseppe Baretta, quien añadió el apócrifo “Eppur si muove” que casi con completa seguridad no fue pronunciado públicamente por Galileo. La figura más preclara e inteligente de comienzos del siglo XVII acababa de ser humillada por la Iglesia Católica en un ejercicio de despotismo que no sería reparado hasta mediados del siglo XX, cuando el proceso a Galileo fue revisado por orden del papa Juan Pablo II. Para muchos científicos, ni siquiera esto fue suficiente reparación del tremendo daño contra la razón y el conocimiento que supuso la condena.

La siguiente década ve a un Galileo derrotado, en un claro declive físico. Pero aún es una mente brillante y, a espaldas de la Iglesia oficial, incluso a veces protegido por algunos obispos y nobles cristianos, va explorando tierras más seguras de la ciencia hasta formular su “Discursos sobre dos nuevas ciencias” poco antes de su muerte. Estos serían en buena medida los hombros de los gigantes sobre los que Newton diría haberse subido años más tarde. Galileo fallece en 1642 a los 77 años de edad visto a los ojos tanto de los católicos como de los protestantes como un mártir de la razón frente al oscurantismo religioso.

## **El científico experimental**

Con todo lo expuesto anteriormente resulta fácil perder la perspectiva sobre la figura de Galileo. Más allá de astrónomo y mártir de la ciencia, él fue matemático en primer lugar y después un gran científico experimental, para el que la prueba de los sentidos resultaba la comprobación definitiva, más allá de lo que los dogmas establecidos enseñaran.

Antes de su descubrimiento de los cielos a través del antejo astronómico, Galileo destacó por su habilidad en las matemáticas. A pesar de que su padre habría querido hacer de él un médico de bien, la inclinación de Galileo le condujo a las aparentemente poco prácticas matemáticas. Sin embargo, su genio quedó



Diversos dibujos de Galileo mostrando la Luna con sus accidentes orográficos, las manchas solares o las estrellas que escaparon de la aguda vista de los astrónomos anteriores. Imágenes tomadas de Sidereus Nuncius y de las cartas de Galileo Galilei. [Wikimedia Commons](#)

patente ya en los primeros años de estudiante, cuando inventa un artilugio para medir el pulso de los pacientes empleando un péndulo. Este invento le permite encontrar algo de comodidad y, una vez más, le da el margen suficiente para poder dedicarse a las matemáticas de lleno, llegando a ocupar la cátedra de la universidad de Pisa, no sin antes haber terminado un tratado sobre el cálculo de los centros de gravedad de los sólidos.

### “Galileo afirma que el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas, sin las cuales es como girar vanamente en un laberinto”

De aquellos tiempos es también la anécdota relacionada con la caída libre de los cuerpos, supuestamente realizada desde la torre de Pisa. Lo cierto es que Galileo sostuvo acertadamente que la aceleración de los cuerpos en caída es universal en ausencia de otras fuerzas. De hecho, al final de sus días, continuó estudiando el movimiento de los cuerpos dando lugar a la ley del movimiento, actualmente conocida como primera ley de Newton.

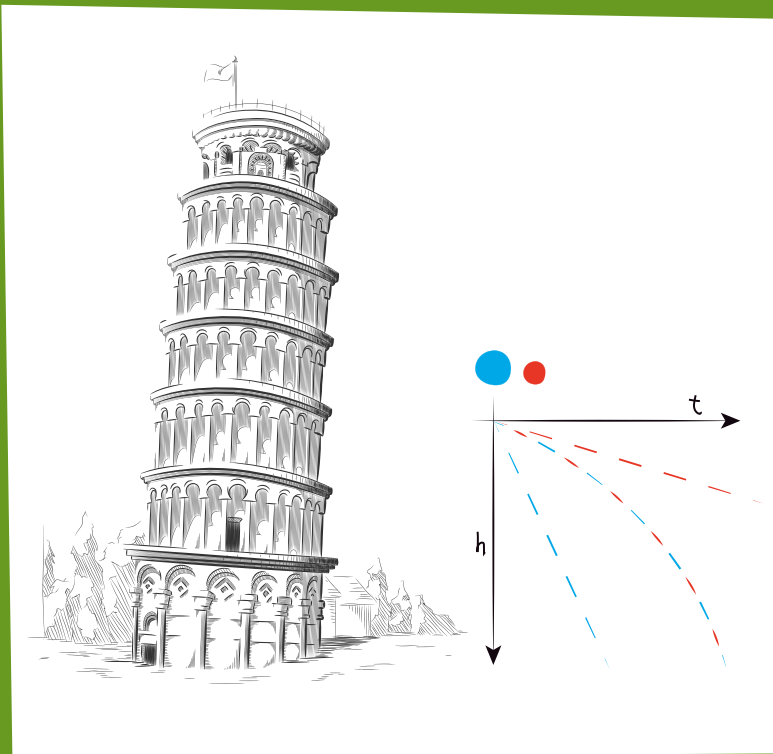
Dentro de ese triángulo científico que forman en Galileo las matemáticas, la física y la ciencia experimental supo ver una profunda relación. En una de sus citas más recordadas, afirma que el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas, sin las cuales “es como girar vanamente en un laberinto”. Lo cierto es que Galileo proporcionaba a la geometría el lugar superior dentro de las matemáticas, en lugar del cálculo que usamos comúnmente en el mundo científico actual. Este mensaje de Galileo, que la ciencia debe estar apoyada en la experiencia y expresada en la matemática, es perfectamente universal y válida en los tiempos que corren.

Hemos visto que el genial Galileo es por tanto una buena fuente de inspiración para los científicos del siglo XXI. Más allá de por sus descubrimientos, merece ser recordado por la insistencia con la que buscó la aplicación práctica, sin amar menos por ello los fundamentos teóricos del universo que con tanta dedicación estudiaba. Consciente por tanto de la sociedad que le rodeaba y de sus dificultades, no percibía como un menosprecio relacionarse con artesanos y trabajadores manuales, ni una rebaja buscar la financiación y seguridad que los poderosos podían darle. Galileo comenzó una avalancha de pensamiento crítico y de libertad de razonamiento que continuó por el Renacimiento y la Ilustración para llegar a la auténtica revolución científica que se desencadenó en el siglo XX y de la cual aún estamos recogiendo sus frutos.

### Bibliografía

- Noticiero Sideral, Galileo Galilei. Traducción del latín a partir de la edición de 1610. MUNCYT, Madrid, 2010.
- Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano, Galileo Galilei. Alianza editorial, Madrid, 1995.
- Diálogos acerca de dos nuevas ciencias, Galileo Galilei. Editorial Losada, Buenos Aires, 2004.
- La vida de Galileo, Bertolt Brecht. Ediciones Losange. Buenos Aires, 1956
- Galileo. El genio y el hombre, James Reston Jr. Ediciones B, Madrid, 1999.
- La estructura de las revoluciones científicas, Thomas Khun. Editorial Fondo de Cultura Económica de España, Madrid, 2006.

# La física de Galileo



En el experimento apócrifo de la Torre de Pisa, se arrojan dos objetos: uno pesado (azul) y otro ligero (rojo). Aristóteles habría predicho una velocidad constante y dependiente de su masa (líneas rectas azul y roja), mientras que la teoría de Galileo mostraría una dependencia con el cuadrado del tiempo e igual para ambos objetos, al menos en ausencia de otras fuerzas.

se preguntaba, si uniéramos dos cuerpos de distinta masa con una cuerda? ¿Caerían a la velocidad del más pesado? ¿O más rápido? ¿No frenaría el objeto más ligero al más pesado por su menor velocidad? Aplicando un sentido común apabullante, Galileo era capaz de poner de manifiesto las debilidades lógicas del planteamiento clásico, llegando a la conclusión de que, en el vacío, y en ausencia de otras fuerzas, la lana y el plomo caerían exactamente a la misma velocidad.

Dejando a un lado el experimento de la torre de Pisa, lo que sí hizo Galileo fue experimentar sobre un plano inclinado y tomar cuidadosas medidas sobre el movimiento de objetos que deslizaban sobre él. Comienza midiendo el tiempo cantando canciones de pulso conocido y pronto desarrolla un reloj de agua más preciso que le permita determinar el paso del tiempo. Con todo ello, encuentra que la distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo. Esta idea, al igual que su ley de la inercia, la concibe como universal y es capaz de vislumbrar la presencia de fuerzas desconocidas tales como rozamientos entre superficies sólidas, viscosidad para el movimiento en fluidos, etcétera, que pueden apartar las observaciones de los resultados esperados cuando no son tenidas en cuenta.

Este tipo de estudios puramente académicos tienen en Galileo una continuación natural en el mundo práctico de las aplicaciones militares. Para el estudio del tiro parabólico, decide descomponer el movimiento en dos componentes individuales. Mientras que la componente horizontal del movimiento se sujeta a su ley de la inercia, la componente vertical es la caída libre de un cuerpo. Con esa idea aparentemente sencilla, mejora notablemente las tablas militares de la época.

Enfocando el Universo de manera mecanicista, Galileo habilitó la experimentación para la filosofía natural, permitiendo la creación, no sólo de la física, sino de todas las demás ciencias experimentales. De esta manera, en lugar de un filósofo alejado de la realidad, el físico se convierte en un científico con las manos puestas sobre la naturaleza, tal y como lo seguimos viendo hoy en día.

Galileo ha sido llamado en ocasiones "el primer físico". ¿Por qué? Esencialmente porque el pisanó confió siempre en sus sentidos antes que en las argumentaciones, especialmente si éstas no eran suyas y debían aceptarse como dogmas. Su capacidad de observación, unida a una mentalidad profundamente analítica y, posiblemente, a su personalidad orgullosa e iconoclasta, le permitió plantar cara a la ciencia de Aristóteles, que permanecía como la referencia fundamental para los académicos de la época.

Para Aristóteles, era la naturaleza de las cosas la propiedad fundamental que gobernaba su movimiento. Galileo no ve esa conexión y refiere en sus escritos ejemplos de cuerpos de naturaleza (o composición) distinta pero que se ven sometidas a las mismas leyes. Esta ruptura se manifiesta tanto en la ley de la inercia, como en las diversas aplicaciones del empuje de Arquímedes que le enfrentaron a científicos de la época. Sin embargo, es la metodología de la observación la que proporciona a Galileo el golpe definitivo a todas las teorías anteriores.

Pongamos por caso el análisis de la caída de los cuerpos. Galileo sostuvo que la velocidad de caída de objetos que parten del reposo no depende de la masa o forma de los mismos, sino que depende exclusivamente del tiempo transcurrido desde el comienzo de la caída. La tradición popular sostiene que, para confrontar su teoría con la realidad, Galileo arrojó diferentes objetos desde la torre de Pisa. Esta historia es probablemente una fábula basada en las experiencias de Simon Stevin, un experimentador anterior, pero recoge bien la forma de trabajar de Galileo. Sin embargo, en uno de sus ensayos sobre el movimiento sostuvo la siguiente paradoja acerca del movimiento aristotélico. ¿Qué ocurriría,