

Galileo Galilei

y los orígenes de la ciencia moderna

Por Julio Angel Fernández*

El año 1609 aparece en la historia de la ciencia como aquél en que Galileo Galilei (1564-1642) realizó sus famosos descubrimientos astronómicos con el telescopio que lo inmortalizaron. Paradojalmente, Galileo no fue el inventor del telescopio, ni fue tampoco el primero en hacer observaciones telescópicas de astros, incluso el crédito de varios de sus descubrimientos astronómicos, como las manchas solares y las cuatro lunas de Júpiter, fue disputado por otros autores. Sin embargo, su excepcional talento, capacidad de comunicación y de debate, y su comprensión del método científico, hicieron que el telescopio en sus manos se convirtiera en la gran herramienta que revolucionó la ciencia y que el año 1609 marcara un hito, un antes y un después en la historia de la ciencia. Este año se cumple el 400 aniversario de ese notable acontecimiento con un gran despliegue de actividades, tanto a nivel internacional como nacional, dentro del marco del Año Internacional de la Astronomía.

A Galileo le tocó vivir en un momento y un lugar excepcionales: la Europa de los siglos XV y XVI. Fue una época de grandes transformaciones que dejaba atrás el largo letargo de la Edad Media. La navegación transoceánica -que llevó al descubrimiento de América por parte de los europeos- la invención de la imprenta, el florecimiento del arte y la arquitectura, caracterizaron un período histórico que se denominó el Renacimiento. En este marco histórico comenzó el joven Galileo su carrera como profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa.

Galileo se interesó por el movimiento de los cuerpos siendo muy joven, y ya entonces entendió perfectamente que sólo por medio de la experimentación podría desentrañar sus leyes. Así, por ejemplo, estudió las leyes que regían la caída de los cuerpos, observándolos, midiendo distancias recorridas y tiempos. Contra la idea dominante en ese entonces, demostró que la velocidad de caída no dependía del peso del cuerpo, sino que, por el contrario, era esencialmente independiente del mismo.

Estudió también el movimiento de cuerpos rodando en planos inclinados, hallando que las distancias recorridas a partir de una posición inicial en reposo eran proporcionales a los cuadrados de los tiempos que demoraban en

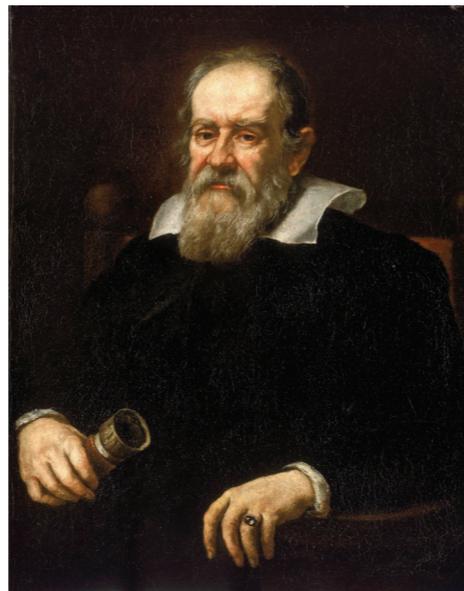
recorrerlas. En la notación moderna esta ley se podría escribir como:

$$d_1/d_2 = (t_1/t_2)^2,$$

donde d_1 y d_2 son las distancias recorridas en los tiempos t_1 y t_2 respectivamente. En ese momento no existían los elementos de cálculo que crearon posteriormente Newton y Leibniz, por lo que para Galileo el manejo de las leyes era geométrico y hablaba en términos de proporciones. Hoy se sabe que la ley empírica que encontró Galileo para la caída de los cuerpos corresponde a la de un cuerpo sometido a una aceleración constante (en este caso la aceleración de la gravedad g) que se traduce en la clásica fórmula:

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

Galileo también estudió el movimiento de la bala de un cañón y se dio cuenta de que estaba gobernada por un movimiento vertical con una aceleración constante (la aceleración de la gravedad) que frenaba al cuerpo en su movimiento hacia arriba y lo aceleraba cuando descendía, y un movimiento horizontal uniforme, lo cual daba



como resultado una trayectoria parabólica. Introdujo de esta manera el concepto de descomposición de un movimiento en dos componentes perpendiculares entre sí, más simples de entender.

También, en forma indirecta, llegó naturalmente al principio de inercia ya que concluyó, a partir de sus experiencias, que un objeto que se moviera sin la acción de ninguna fuerza externa (sin que nada lo empuje ni nada lo frene, ni siquiera el rozamiento con la superficie de contacto) mantendría la velocidad uniforme sin llegar al estado de reposo, es decir nunca se detendría, como se pensaba previamente. Dicho de otra manera, llegó a la conclusión de que no se precisaba ninguna fuerza para mantener a un objeto moviéndose con velocidad uniforme.

Telescopio

Galileo realizó la mayor parte de sus experiencias físicas en la Universidad de Padua en donde ocupaba el cargo de profesor de matemáticas desde 1592. Después de varios años de trabajo ya había adquirido cierto prestigio entre sus colegas; sin embargo, no se sentía aún satisfecho ni por su salario, ni por su proyección académica.

En 1609, en forma totalmente accidental, se le presenta finalmente la gran oportunidad de dar un salto en su carrera cuando se entera de la existencia de un instrumento óptico, denominado 'anteojo', que permitía ver objetos lejanos con un tamaño aumentado, y que había sido desarrollado en Holanda un año antes.

Como en el caso del movimiento de una bala de cañón, cuyo estudio podía servir para mejorar la puntería de los disparos, este instrumento podría servir para divisar los movimientos de tropas o de naves enemigas cuando aún estuvieran lejos, de modo de dar tiempo para planificar una buena defensa. No obstante, para beneficio de la ciencia, Galileo prefirió emplear el anteojo para la exploración del cosmos.

Habiéndose enterado del principio óptico que permitía ver a los objetos observado a través de los lentes de un tamaño mayor, Galileo comenzó a experimentar con diferentes juegos de lentes, que él mismo pulía, obteniendo instrumentos con diferente magnificación: el mayor de

ellos alcanzó 21 aumentos. Al poco tiempo este instrumento fue bautizado con el nombre de telescopio (1) con el que se lo conoce hoy en día.

Los descubrimientos

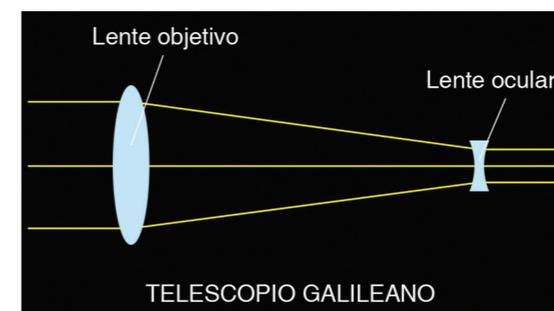
Con estos telescopios artesanales Galileo pudo observar que la Luna, lejos de tener una superficie lisa e impoluta, como se imaginaba para los cuerpos celestes, presenta accidentes como montañas, cráteres y lo que, erróneamente, identificó como "mares" (hoy se sabe que son depósitos de lava). Llegó incluso a determinar la altura de los picos montañosos por la sombra que proyectan.

También el Sol resultó no ser un astro inmaculado según sus observaciones, sino que, por el contrario, presenta manchas que se desplazan sobre su disco, lo cual le sugería que rotaba alrededor de un eje.

Observó que alrededor de Júpiter giran cuatro lunas, o "planetas" como Galileo los denominó, cuya existencia era una prueba de que la Tierra no podía ser el centro de todo el universo como sostenían los partidarios del sistema geocéntrico.

Descubrió que Venus presenta un disco aparente (es decir el disco que se observa a través del telescopio) cuya porción iluminada varía con el tiempo -tal como se observa con las fases lunares- lo cual indica que brilla por la luz solar reflejada en su superficie. También comprobó que el tamaño del disco aparente de Venus varía con el tiempo, lo que refleja las distintas distancias de Venus a la Tierra.

El descubrimiento de las fases que muestra Venus, en conjunción con los distintos diámetros aparentes que exhibe al ser observado desde la Tierra, fue particularmente relevante, pues apoyaba la idea del sistema heliocéntrico. Efectivamente, cuando Venus aparece en fase llena se encuentra más lejos de la Tierra y su disco aparente es más pequeño (ver figura en página 7). En cambio la fase nueva corresponde a la mayor cercanía a la Tierra y, por ende, es cuando se ve con el mayor disco aparente. Por el contrario, si la Tierra estuviera en el centro y el Sol en lugar de la Tierra, Venus presentaría siempre el mismo diámetro aparente en sus diferentes fases.



Esquema del funcionamiento óptico del telescopio refractor galileano con una lente objetivo biconvexa y una lente ocular biconcava que da una imagen ampliada y derecha (panel izquierdo), y varios de los telescopios rudimentarios construidos por Galileo (panel derecho).

Además, mirando a través de su telescopio, Galileo veía muchas más estrellas en el cielo que las observadas a simple vista, y veía a la propia Vía Láctea descompuesta en una infinidad de estrellas que la distancia transformaba en una mancha brumosa.

Galileo reunió rápidamente este conjunto de descubrimientos en un librito que se llamó *Sidereus Nuncius* (El Mensajero Sideral), obra que alcanzó una enorme difusión tanto en Italia como en el resto de Europa, y que lo catapultó a la fama.

No fue el primero

Galileo no fue un pionero solitario en la exploración del cielo con telescopio; se sabe, por ejemplo, que el inglés Thomas Harriot hizo observaciones varios meses antes que Galileo, pero nunca publicó sus estudios.

Con otros, que también hicieron observaciones en la misma época, Galileo se trenzó en disputas por el crédito de los descubrimientos.

El caso más notorio fue el de las lunas de Júpiter, descubrimiento disputado por el alemán Simon Marius quién alegó que las había visto varios meses antes que Galileo. Inicialmente Galileo propuso para las lunas el nombre de Mediceas, en honor de su futuro mecenas, Cosimo II de Medici, Gran Duque de Toscana, y sus tres hermanos, y las llamó individualmente I, II, III y IV. Su rival Marius propuso en cambio los nombres de lo, Europa, Ganímedes, y Calisto, personajes extraídos de la mitología griega, los cuales le fueron sugeridos por Johannes Kepler. Es curioso que mientras el descubrimiento de las lunas de Júpiter se sigue asociando a Galileo, los nombres que finalmente se adoptaron fueron los propuestos por Marius. Una controversia similar se dio con el descubrimiento de las manchas solares, cuyo crédito fue reclamado por el Jesuita alemán Christoph Scheiner.

La condena

Los años siguientes a la publicación del *Sidereus Nuncius* fueron los más gloriosos y reconfortantes para Galileo. En 1610 Cosimo II de Medici lo nombra filósofo y matemático del Gran Ducado de Toscana con un salario mucho mayor al que tenía en esos momentos en Padua. Con el nuevo cargo, Galileo decide establecerse en Florencia, en esa época un gran centro cultural. Al poco tiempo se convierte en miembro de la Academia de los Linceos (1). Con algunos altibajos por problemas de salud, siguió trabajando y discutiendo varios problemas científicos, incluso más allá de la astronomía y la física.

Con el prestigio alcanzado, Galileo expone, en forma cada vez más audaz, las ventajas del sistema copernicano con respecto al de Tolomeo, llegando casi al límite permitido por la Iglesia Católica de insinuar su realidad física. En 1616 la Iglesia reacciona colocando al *De Revolutionibus* de Copérnico en el Index de libros prohibidos. Este es un claro mensaje al propio Galileo para que actuara con mayor cautela, al cual no responde, o lo hace sólo a medias. Galileo sigue adelante con sus proyectos, entre los cuales sobresale una ambiciosa obra que confronta los sistemas tolemeico y copernicano.

La elección del Cardenal Maffeo Barberini, su amigo personal, como Papa Urbano VIII en 1623, le da confianza en que seguirá gozando de la protección de la Iglesia, con lo cual sigue adelante con su proyectada obra. Finalmente ésta aparece en 1632 con el nombre de "Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo, tolemeico y copernicano".

En dicha obra debaten tres personajes ficticios: Salviati, el copernicano de mente aguda (que representa al propio Galileo), Simplicio, el aristotélico ortodoxo de pocas luces, y Sagredo, el árbitro imparcial, profano en el tema pero abierto a escuchar los argumentos en pro y en contra de ambos sistemas. En este debate, Salviati triunfará demoliendo al ingenuo Simplicio con argumentos contundentes.

La Iglesia reacciona enseguida y Galileo es conducido ante un tribunal de la Inquisición en 1633 donde se lo obliga a abjurar del sistema copernicano. Lo hace y de esa manera salva su vida, no obstante lo cual es condenado a prisión perpetua. En realidad, sus últimos años no los pasó en prisión, sino recluido en lugares apartados, primero en el Palacio del Arzobispo de Siena, y luego en una villa cerca de Arcetri. Allí continuó trabajando, a pesar de estar casi ciego, llegando a publicar su última gran

obra, "Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias", en 1638 en la liberal Holanda, a salvo de los tribunales inquisidores italianos.

Eppur si muove³

La condena de Galileo fue una defensa desesperada de un pensamiento medieval que se derrumbaba ante el avance de las nuevas ideas. A lo largo del siglo XVII el sistema copernicano fue generalizándose hasta convertirse en el nuevo paradigma. Isaac Newton desarrolló la mecánica que permitía explicar el movimiento de los cuerpos celestes bajo la acción de una fuerza de atracción mutua.

Todavía quedaba una gran incógnita: ¿por qué, si la Tierra se mueve alrededor del Sol, las estrellas más cercanas no muestran paralaje (es decir un corrimiento aparente con respecto a las más lejanas) cuando se observan desde dos posiciones distintas de la Tierra en su órbita? Si el sistema heliocéntrico reflejaba la realidad, no detectar la paralaje significaba que las distancias a las estrellas, incluso a las más cercanas, eran enormes, lo cual hacía que las paralajes fueran extremadamente pequeñas para poder medirse.

Finalmente, en 1838, luego de muchos infructuosos intentos, Friedrich Wilhelm Bessel pudo medir la primera paralaje, correspondiente a la estrella 61 Cygni, que resultó ser de apenas 0",31. Esto corresponde a una distancia de 660.000 Unidades Astronómicas (UA) (2), o sea aproximadamente 10^{13} km, ¡y 61 Cygni es una de las estrellas más cercanas a la Tierra!

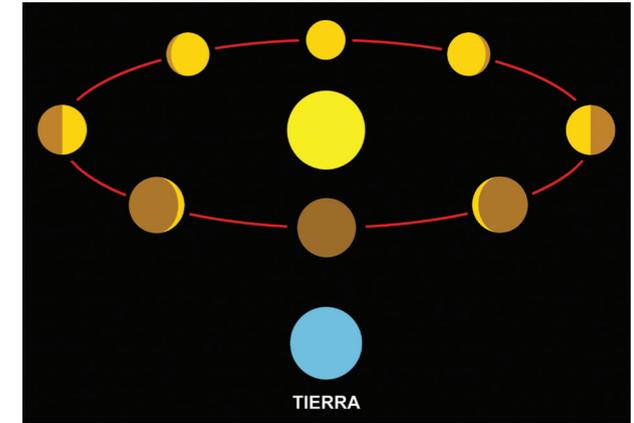
Las distancias son realmente enormes, con lo cual las paralajes son tan pequeñas que explican que los rudimentarios antiguos telescopios fueran incapaces de medir tan minúsculos desplazamientos aparentes.

En resumen

Galileo tenía la formación teórica y conceptual para que el telescopio se convirtiera en sus manos en un elemento revolucionario del pensamiento científico. Esa fue su gran ventaja con respecto a sus competidores contemporáneos quienes no tuvieron sin embargo la capacidad intelectual para comprender en su cabalidad la enorme trascendencia de lo que observaban.

Es en esa época que Galileo se declara copernicano, posición que muy presumiblemente sostenía en lo más íntimo desde su juventud. Visto desde el presente, Galileo puede ser considerado como el primer científico moderno. Su trabajo fue riguroso y sus conclusiones se basaban en datos observacionales o experimentales, utilizando como herramienta a las matemáticas.

Sin el telescopio, Galileo muy probablemente no se habría convertido en el gigante de la ciencia que fue. También podemos sostener lo recíproco, el telescopio en manos de otros hombres no produjo la revolución científica que sí lo hizo en sus manos.



Las fases que presenta Venus desde la Tierra con el Sol en el centro del sistema: más cerca de la Tierra se ve en fase nueva, mientras que cuando está más lejos se ve en fase llena.

En una visión retrospectiva, 1609 fue un *anno mirabilis* de la ciencia. Los "descubrimientos telescópicos" de Galileo no deberían opacar otro gran acontecimiento en ese mismo año como lo fue la publicación de la *Astronomía Nova* por Johannes Kepler, donde éste expuso sus dos primeras leyes del movimiento planetario. Una de ellas sostenía precisamente que las órbitas de los planetas no eran circulares sino elípticas, derrumbándose así otro de los dogmas de los antiguos, que afirmaba que el único movimiento permitido para los cuerpos celestes era el circular, símbolo de la perfección. Tenemos pues sobrados motivos como para celebrar este 400º aniversario como el Año Internacional de la Astronomía.

Deseo expresar mi agradecimiento a Gabriel Santoro de la División Relaciones y Actividades Culturales (DIRAC) de la Facultad de Ciencias, por su colaboración en el diseño de algunas figuras.

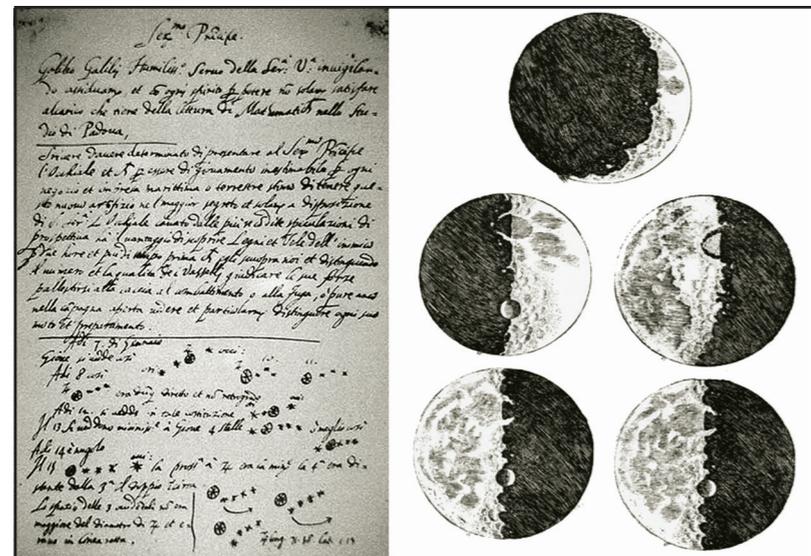
Notas

(1) En 1611, el Príncipe Federico Cesi, fundador y líder de la Accademia dei Lincei (Academia de los Linceos), una sociedad dedicada al estudio de la naturaleza, propuso para el nuevo instrumento un nombre sugerido a él por el matemático Giovanni Demisiani. El nombre sugerido fue el de telescopio, el cual resultaba de la conjunción de dos palabras griegas: tele, que significa "distante", y skopéo, que significa "mirar".

(2) La Unidad Astronómica es la distancia media Sol-Tierra y equivale aproximadamente a 150 millones de km.

(3) "Eppur si muove" se traduce del italiano como "Y sin embargo se mueve". La leyenda cuenta que Galileo Galilei murmuró estas palabras tras abjurar de la visión heliocéntrica del mundo ante el tribunal de la Santa Inquisición.

*Julio Ángel Fernández es Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República y Director del Departamento de Astronomía del Instituto de Física de la misma Facultad.



Manuscrito de Galileo donde se muestran las observaciones de las cuatro lunas de Júpiter (izquierda) y dibujos de la superficie de la Luna (derecha)