

1.8. GALILEO GALILEI

1.8.1 Introducción:

Galileo Galilei y Johannes Kepler son las dos grandes figuras que conectan la obra iniciada por Copérnico al publicar su sistema heliocéntrico en 1543, y que lleva a la gran síntesis de la mecánica celeste y terrestre en manos del genial Isaac Newton en 1687 la publicación de los *“Principios Matemáticos de Filosofía Natural”*. Pese a ser Galileo casi 8 años mayor que Kepler, resulta tradicional discutir, como lo hemos hecho en este curso, primero la obra de Kepler para luego hablar de Galileo. Siendo Kepler y Galileo dos figuras prominentes cuyas vidas transcurrieron en forma casi simultánea, hubo un buen contacto epistolar entre ambos sabios. Sin embargo, dado el carácter algo esotérico de parte de las obras de Kepler, Galileo no lo menciona en ninguna de sus grandes obras, haciendo caso omiso de las leyes del movimiento planetario encontradas por Kepler a lo menos 10 años antes de que Galileo escribiera su defensa del sistema copernicano.

1.8.2 Boceto biográfico:

Galileo Galilei nació en Pisa, Italia, el 15 de febrero de 1564. Descendiente de una familia de origen florentino, su padre Vincenzo Galilei (1520-1591) fue un florentino dotado de una amplia cultura humanista y matemática; fue además un músico renombrado como ejecutante y como teórico. A los cuarenta y dos años, en 1562, contrajo matrimonio con Julia degli Ammannati, hija de una familia aristocrática.

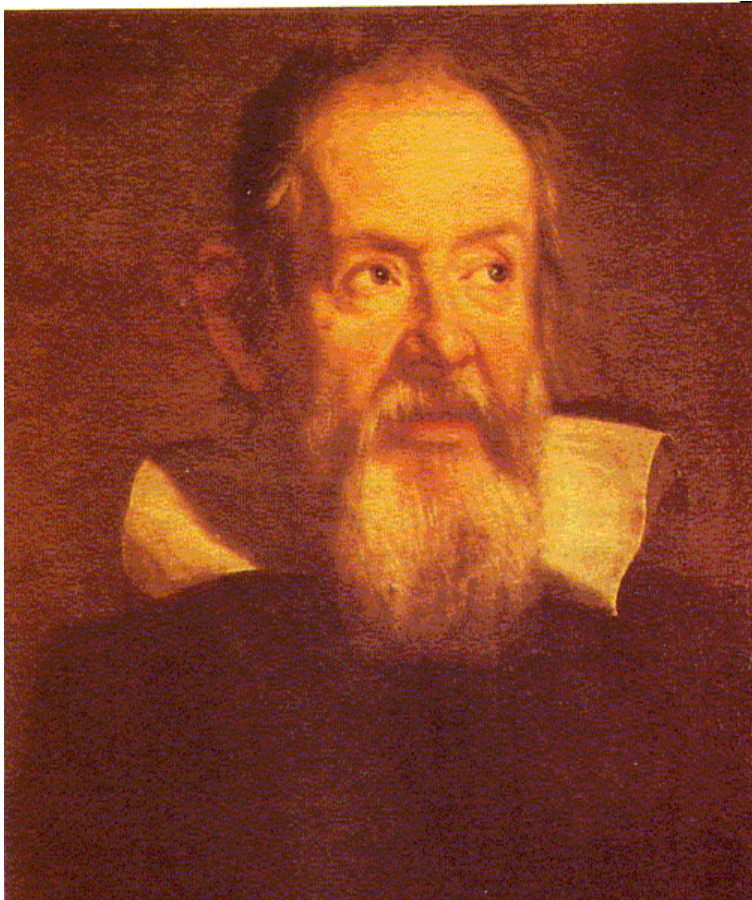
En 1574, cuando Galileo tenía 10 años, su familia se traslada de Pisa a Florencia y al año siguiente el niño ingresa en el monasterio de Vallombrosa para estudiar humanidades. Sin embargo, en 1578 abandona sus estudios para continuarlos en la casa paterna en un ambiente artístico, especialmente musical. Viviani en su biografía de Galileo comenta que en esa época éste hubiese escogido la carrera de pintor. Su padre, sin embargo, quería que Galileo fuese médico. En 1581 se inscribe en la escuela de artes de la Universidad de Pisa. Allá aprendió la filosofía Aristotélica, base del estudio de Galeno, fundamento de la medicina de la época.

Siendo estudiante de medicina en Pisa realiza las observaciones que lo llevan a descubrir el isocronismo del movimiento pendular. Se cuenta que este descubrimiento lo realizó observando la oscilación de una lámpara en la catedral de Pisa.

En 1584 se inicia en el estudio de las matemáticas. Lee con cuidado a Euclides y en especial a Arquímedes. Recurre a Ostilio Ricci, profesor de los hijos del Gran Duque, solicitándole su ayuda para entender a Euclides. Ricci explicó el libro primero de Euclides a Galileo. Abandona entonces los estudios de medicina para dedicarse a las matemáticas. En 1585 deja la Universidad de Pisa, sin título académico, regresando a Florencia donde continúa sus estudios matemáticos y escribe sus primeros trabajos. Se dedica a la enseñanza privada y trata, sin éxito, de conseguir una cátedra.

En 1589, a los veinticinco años de edad, gracias al apoyo de Guidobaldo del Monte, consigue la cátedra de matemáticas de la Universidad de Pisa. En este período comienza su discusión crítica de la mecánica de Aristóteles, como lo revela su libro *"De Motu"*.

En 1592 abandona la Universidad de Pisa para ocupar una cátedra en la Universidad de Padua, en la república de Venecia, donde transcurre uno de los períodos más fértiles de su carrera.



Los retratos de la época muestran a Galileo como un hombre más bien alto, corpulento, tipo sanguíneo, ojos de mirar profundo, expresión de hombre decidido y seguro de si mismo. Realizaba paseos campestres con sus amigos. Una tarde muy calurosa de 1594, estando con dos amigos en una casa cercana Padua, para capear el calor se pusieron a dormir ligeros de ropa. Un criado inadvertidamente habría abierto una ventana y a raíz de desencadenarse una tormenta se produjo un descenso brusco de la temperatura. Los tres amigos, profundamente dormidos, no lo advirtieron, despertando afiebrados y presa de agudos dolores.

Uno murió pocos días después y el otro perdió el oído no sobreviviendo mucho tiempo. Galileo habría adquirido ahí un severo reumatismo que lo persiguió el resto de su vida.

En esa época conoce a una bella veneciana, Marina Gamboa, con quien mantiene una relación íntima por más de una década, naciendo de esta unión sus tres hijos: Virginia (1600), Livia (1601), Vincenzo (1606). Galileo se separa de ella al regresar a Florencia en 1610. Ambas hijas entraron a monjas. Una de ellas murió joven y la otra cuidó de su padre cuando éste fue condenado por la Inquisición.

Galileo frecuentaba los ambientes culturales de Padua y Venecia. En esta última entabla amistad con el gentilhomme Giovanfrancesco Sagredo (1571-1620), a quien luego Galileo inmortalizara como el inteligente interlocutor de sus Diálogos.

Regresa a Toscana, Florencia, en 1610, ya famoso, como primer matemático del Gran Duque de Toscana, Cósimo II. Al poco tiempo de llegar a Florencia tuvo lugar el primer conflicto de Galileo con la Iglesia.

Galileo era un copernicano convencido y utilizaba sus descubrimientos astronómicos para la causa heliocéntrica. Esto desató las iras de los teólogos y aristotélicos. En 1615 se presenta una acusación concreta en contra de Galileo ante la Inquisición. Galileo se presenta para defender sus ideas. En una célebre carta, dirigida a Cristina de Lorena, en 1615, defiende los principios de la libertad de pensamiento científico, sosteniendo que los teólogos no deberían inmiscuirse en cuestiones científicas que ignoran, pues hacerlo sería como *“si un príncipe absoluto, sabiendo que puede mandar libremente y hacerse obedecer quisiera, sin ser médico o arquitecto, que se recetara o se construyera según su opinión, con grave riesgo de la vida de los mismos enfermos y manifiesta ruina de los edificios”*. Con grandes esperanzas de convencer a los teólogos se dirige a Roma a defender sus puntos de vista.

Desgraciadamente sus argumentos resultan inútiles. En 1616 la Inquisición decide condenar la teoría de Copérnico, colocando su obra en el *Index* de los libros prohibidos. Se declara que la teoría heliocéntrica es contraria a las Sagradas Escrituras y que por tanto "no puede tenerse ni enseñarse". Galileo regresa a Florencia eximido de toda pena personal, pero derrotado en sus convicciones.

En 1623 sube al trono pontificio el cardenal Barberini, con el nombre de Urbano VIII, que siempre había demostrado gran afecto por Galileo. Le parece entonces oportuno a Galileo defender el sistema copernicano en un libro, e inicia su libro los "Diálogos". Lo termina de escribir en 1629 y logra publicarlo en 1632.

La acogida del libro fue muy distinta a lo que Galileo esperaba. El problema principal fue el cambio de actitud del papa Urbano VIII hacia Galileo. Según algunos, debido a que los enemigos de Galileo habrían convencido al Papa que *Simplicio*, uno de los personajes del *“Diálogos”*, lo encarnaba a él. Vuelve a ser

acusado ante la Inquisición, ahora por violar la disposición del Santo Oficio de 1616. Se le obliga comparecer ante la Inquisición en Roma y ahora los resultados fueron mucho más desfavorables para Galileo. Es condenado finalmente, en abril de 1633, "a formal prisión...por un periodo determinable" a satisfacción del Santo Oficio, se le impone además penitencia saludable y se prohíbe su libro.

La condena "relativamente" suave que Galileo obtuvo de la Inquisición estaba condicionada a la retractación pública que Galileo debía de hacer de lo dicho en su obra: "*... abjuro, maldigo y detesto dichos errores y herejías ... y juro que nunca más en el futuro diré o afirmaré algo, verbalmente o por escrito, que pueda dar nacimiento a una semejante sospecha en mí; y si conozco algún hereje o que sea sospechoso de herejía, lo denunciaré a este Santo Oficio ...*".

Galileo no fue torturado ni estuvo jamás en las cárceles de la Inquisición. Igualmente parece falsa la muy difundida leyenda del "*Eppur si muove*", que empezó a circular en tiempo de los enciclopedistas franceses. Después de ser condenado Galileo, cercano a los 70 años de edad y con una salud un tanto deteriorada, permaneció en Roma y luego en Siena en casa de unos amigos, para trasladarse posteriormente a Florencia al obtener permiso en tal sentido de la Inquisición. Residió hasta su muerte en su villa en Arcetri, cerca de Florencia. Al principio no podía recibir visitas, ni discutir sus ideas, ni hacer reuniones, ni salir.

En Arcetri redacta su último gran libro, sobre dinámica, "*Discorsi e Dimostrazioni*" que aparece en Leiden en 1638.

Al final de su vida se le permitió que vinieran con él dos discípulos: Viviani desde 1639 y Torricelli desde 1641. Estos últimos años fueron difíciles para Galileo pues se encontraba completamente ciego. Murió casi a los 78 años de edad, el 8 de enero de 1642.

1.8.3. Primeros trabajos de Galileo:

Cuando Galileo abandona la Universidad de Pisa en 1585, dedica todo su tiempo a comprender a Euclides y posteriormente a Arquímedes. Este último absorbe la atención de Galileo por su elegante método matemático y por su tendencia a recurrir a la experiencia para verificar las ideas. Recordemos que Arquímedes es el creador de la estática y la hidrostática.

Frutos de este primer período de Galileo son las determinaciones de los centros de gravedad de la pirámide, del cono y otros cuerpos sólidos. Estos resultados se los comunica Galileo al padre jesuita Clavio, autor de la reforma gregoriana al calendario, y al marqués Guidobaldo del Monte.

La balanza hidrostática, la "*bilancetta*", construida en 1586, revela su fuerte influencia arquimedea. Con ella resuelve el famoso problema del rey Herón.

Estos primeros éxitos estimulan a Galileo. Durante el resto de su vida declarará que Arquímedes fue su gran maestro.

El método de Arquímedes difiere fuertemente del de Aristóteles. Su admiración por el siracusano lo llevará a analizar críticamente la ciencia oficial de la época basada en Aristóteles. "Entre el confuso razonar escolástico, pleno de disquisiciones incomprensibles, y la sencillez de la idea experimental, la elección queda decidida" (Cortés Plá, p.27).

La escolástica, ciencia oficial de la época, se basaba en principio en Aristóteles, pero en la práctica se había transformado en conocimiento fosilizado. Para entender la naturaleza había que entender los clásicos, en particular al estagirita, y procurar entender sus escritos. Se puede afirmar que el estudio de la filosofía natural no era en verdad un fin en sí, es decir, no interesaba tanto en entender a la naturaleza sino interpretar lo que Aristóteles había dicho acerca de ella. Como caso extremo de la fe ciega en Aristóteles, que dominaba a los escolásticos, se cuenta de una discusión anatómica en la cual, a través de una autopsia, se le había demostrado a un escolástico, doctor en medicina, que los nervios parten de la cabeza y no del corazón. Este contestó: "Esto me lo habéis mostrado de un modo tan claro y palpable que, si ello no contradijera al texto de Aristóteles que francamente dice: los nervios parten del corazón, sería preciso reconocer que tenéis razón".

Galileo entra en franca contradicción con los escolásticos. Más que anti-aristotélico Galileo es anti-escolástico. Admira a Aristóteles a quien ha estudiado en pleno detalle, pero no está de acuerdo con el estagirita en muchos pasajes. Galileo desprecia a los peripatéticos por aferrarse desesperadamente a la palabra de Aristóteles más que al método que planteó.

Como lector en Pisa, y en un trabajo relacionado con su cátedra, Galileo escribe un comentario sobre el *"Almagesto"*. Sus primeras reflexiones sobre dinámica se encuentran contenidas en su libro *"De Motu"*, aún cuando la mecánica no la enseñaba él en su cátedra de Pisa, pues tenía la cátedra de Matemáticas y la mecánica correspondía a la cátedra de Filosofía.

La mecánica aristotélica admitía dos clases de movimientos: *el natural y el violento*. Los movimientos naturales se origina por sí mismo, sin necesidad de que "fuerzas" extrañas actúen sobre el cuerpo. En estos movimientos los cuerpos se dirigen hacia su lugar natural. Los cuerpos pesados (agua y tierra) caen. Los cuerpos livianos (aire y fuego) ascienden. El movimiento natural de las esferas celestes es la rotación uniforme.

Los demás movimientos de los cuerpos terrestres son violentos. Estos se producen bajo la acción de otros cuerpos sobre ellos. Al cesar la fuerza aplicada cesa el movimiento. Si una piedra arrojada al aire sigue su curso es porque el aire la impulsa. El aire se apresura a llenar el vacío que tendería a formarse en la parte posterior de la piedra. En la caída de los cuerpos, Aristóteles afirmaba que los

cuerpos más pesados caen en un tiempo menor. Si el peso es el doble el tiempo será la mitad.

Pese a lo erróneo de algunos de sus planteamientos, cabe a Aristóteles el mérito de haber sido el primero en clasificar los movimientos y además de identificar la fuerza como la causa de los movimientos. Desgraciadamente a los escolásticos no les interesaba tratar de comprobar las conclusiones del estagirita; sólo las aprendían para después recitarlas.

Galileo en su libro "Sobre el Movimiento" (De Motu), plantea el problema del movimiento "natural" y "violento". Galileo utiliza en ese libro la terminología y el método aristotélico.

Al negar la influencia del peso sobre la caída de los cuerpos recurre al siguiente argumento: dos caballos no pueden correr juntos con más rapidez que cada uno por separado. Del mismo modo dos masas atadas tampoco pueden caer con más rapidez que una cualquiera de ellas. En presencia de sus adversarios parece haber arrojado desde lo alto de la torre de Pisa varias esferas de hierro de distintos pesos, bolas de mármol, de plomo y de madera. Todas las esferas llegaron al suelo en forma casi simultánea. En atención a sus diferencias de peso la teoría aristotélica predecía tiempos muy distintos.

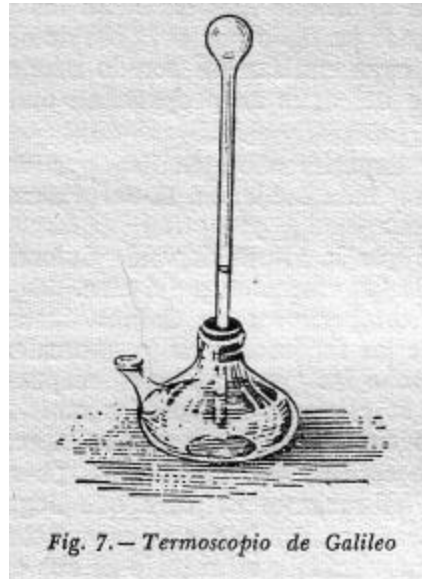
Pese a los resultados del experimento los peripatéticos no se convencieron. Argumentaron que la resistencia del aire había falseado el experimento y si se hubiesen arrojado las esferas desde mayor altura se hubiera obtenido una diferencia de tiempo considerable, compatible con las enseñanzas de Aristóteles. Galileo por el contrario hace la importante deducción que los cuerpos caen con igual velocidad sólo en el vacío. El tiempo le daría la razón.

A fin de hacer más accesible su obra la presentó como un diálogo entre dos personajes: el autor, encarnado por Alejandro, y un aristotélico, Domingo, que defiende los puntos de vistas sostenidos por los escolásticos.

A fines de 1592 Galileo se vio obligado a abandonar la Universidad de Pisa, aceptado una cátedra en la Universidad de Padua, en la república de Venecia. El clima cultural en Padua era mucho mas liberal que en Pisa. En su primera época en Padua Galileo dedica esfuerzos a desarrollar aspectos de ingeniería. Escribió entre 1592 y 1593 dos tratados sobre la construcción de fortalezas. Fue consultado por el gobierno veneciano sobre erección de edificios y otras obras. Inventó un elevador de agua y una prensa hidráulica.

En 1597 idea y construye un compás de proporciones que más adelante perfecciona, agregando un cuadrante y que da a conocer en un manual para la utilización del compás escrito en italiano en 1606, titulado "*Le operazioni del compasso geometrico e militare*", publicado en Padua. Este instrumento permitía, entre otras cosas dividir una recta en segmentos, agrandar y reducir figuras en el plano, extraer raíces cuadradas y cúbicas. La publicación del Manual para el uso

de su compás le trajo una disputa por la prioridad del invento con Baldassare Capra, pues este tradujo al latín el libro de Galileo y lo hizo pasar por suyo. Galileo acusa a Capra de plagio. Un tribunal veneciano encontró culpable a Capra de plagio y ordenó destruir su pretendido libro. Galileo escribió un panfleto para desenmascarar a Capra: *“Difesa de Galileo Galilei contro alle calumnie et imposture di Baldassar Capra”*, publicado en Venecia en 1607.



Según Viviani, Galileo construyó en 1597 por primera vez su termómetro, o mejor dicho su termoscopio. En su primera versión este instrumento consistía en un tubo de vidrio, de pequeña sección, abierto en un extremo y con una gran protuberancia en el otro. Se coloca en posición vertical con la parte abierta sumergida en agua. El cambio de volumen del aire encerrado en la pesa superior hacía variar el nivel del líquido en el tubo. Después lo perfeccionó colocando una gota de agua en el tubo, puesto horizontal; la gota se desplaza con el cambio de temperatura. En este instrumento influye la presión atmosférica aparte de la temperatura. Por eso es un termoscopio y no un termómetro.

1.8.4. Los grandes descubrimientos astronómicos de Galileo:

En el año 1604 aparece una estrella nueva en la constelación de Sagitario. Hoy se conoce a esta estrella como la supernova de Kepler. El fenómeno era un duro golpe a la inmutabilidad de los cielos sostenida por los peripatéticos. Galileo aprovecha la ocasión para dar tres conferencias públicas, que contaron con una audiencia notable, donde explica lo relativo a la nueva estrella. Sostuvo que había tenido lugar en el cielo, por ende no puede ser inalterable y acusa a los peripatéticos de sostener ideas equivocadas. Además se declara públicamente partidario del sistema copernicano, atacando a Aristóteles y a Ptolomeo. La liberalidad de la República Veneciana le permitía estas posiciones.

Sin embargo, será 5 años más tarde cuando Galileo ingrese definitivamente, al grupo de los grandes científicos de la Historia. En efecto, el año de 1609 marca un hito fundamental en la Historia, por ser el año en que Galileo construyó su primer telescopio.

No se sabe con certeza quien inventó el telescopio, pero parece que fueron holandeses. Los nombres más probables son: Hans Lippershey y Jacobo Métius (cuyo verdadero apellido era Adriaanszoon). Parece que el honor corresponde a Lippershey por los siguientes motivos: i) el 2 de octubre de 1608 las autoridades holandesas rechazan el pedido de adopción del instrumento hasta que "completara su invento de tal modo que pueda verse con los dos ojos" y ii) el propio Métius, en una instancia presentada ante el gobierno holandés el 17 de octubre de 1608, aun cuando dice haber estado trabajando en el anteojo desde hacia dos años, recalca que su aparato es más potente que el ideado por un "burgués y vidriero de Middelbourg", que no puede ser otro que el propio Lippershey.

En junio de 1609 llega a Venecia la noticia del instrumento que "aproxima los objetos". Fray Paolo Sarpi - se dice - puso en conocimiento de Galileo la extraordinaria novedad. Galileo regresa a Padua y reflexiona sobre la idea y en un día logró concretarla. No satisfecho construyó un anteojo más perfecto, empresa que le tomó varios días. Su anteojo consiste en un objetivo plano convexo y un ocular plano cóncavo. Produce imágenes derechas. Debido a la mala calidad de los cristales se utilizaba cuarzo para las lentes. El actual telescopio astronómico, con un objetivo positivo y un ocular positivo, se debe a Kepler. El "anteojo de Galileo" se utiliza en lentes para la ópera, de muy poco aumento (2x) y de gran simpleza. Galileo llevó, en unos pocos meses, al máximo desarrollo su telescopio, desde sólo 3 aumentos hasta 8 y luego 20 y por último 30.

Galileo, el 21 de agosto de 1609, le presentó su anteojo al duque de Venecia y altos dignatarios de la corte. Subieron al campanario de San Marcos, desde donde pudieron apreciar cosas imposibles de ver a simple vista. Tres días después Galileo le ofrece su anteojo que hace ver "los objetos distantes nueve millas como si estuvieran alejados sólo una milla".

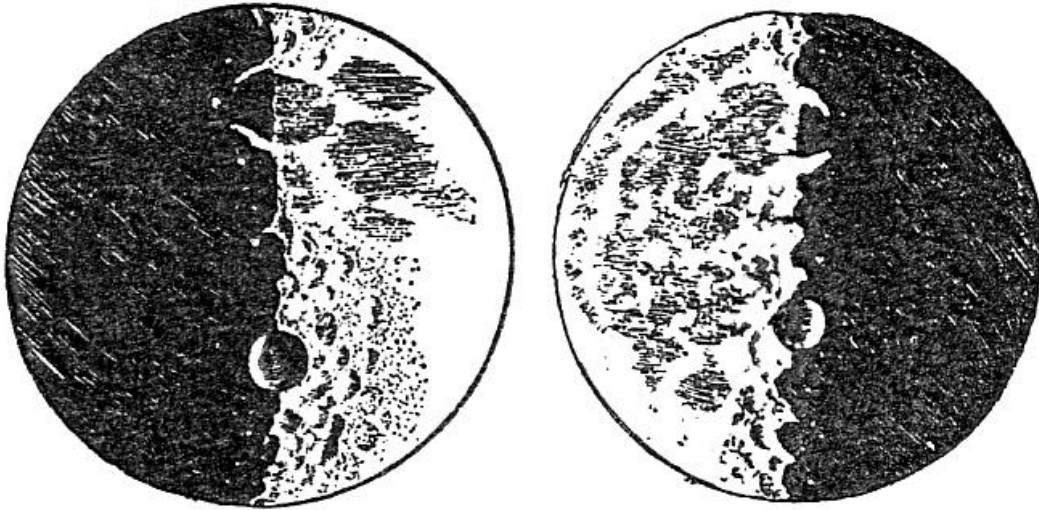
La admiración causada en Venecia por el anteojo y su posterior donación al duque, hacen que le renueven a Galileo "*ad vitam*" su designación de catedrático en Padua, con un sueldo anual de 1000 florines, jamás alcanzado, ni soñado, por ningún profesor.

La construcción de un telescopio hecha por Galileo es muy interesante en sí, pero lo verdaderamente notable que elevó para siempre la fama de Galileo es el haber dirigido su instrumento a los cielos, para desentrañar los misterios de las profundidades cósmicas.

Dirige su anteojo a las Pléyades, ese bello cúmulo estelar situado al oeste de Tauro. Cuenta hasta 40 estrellas donde a simple vista se observan sólo 7 (las 7

cabritas es llamado este cúmulo estelar en el lenguaje popular). Lo mismo ocurre en Orión y en otras constelaciones.

Observa la Vía Láctea, esa franja blanquecina que cruza el cielo, dividiéndolo en dos hemisferios. Se da cuenta que no se trata de un "vapor uniforme" como se creía desde Aristóteles, sino que está constituida por miles de estrellas invisibles a simple vista. Esta idea había sido anticipada casi 2.000 años antes por Demócrito en Grecia.



Al apuntar su telescopio a la Luna Galileo descubre en ella cráteres, montañas y zonas más oscuras, los "*mares*". Estimó la altura de las montañas lunares midiendo hasta que distancia del terminador (línea que separa la luz y la sombra en la Luna) podía encontrarse un cerro en la zona de sombra y su cima estar aún iluminada por el Sol. Estimó que las montañas más altas alcanzaban los 6.400 metros. Siendo la Luna de un tamaño equivalente a la tercera parte de la Tierra, proporcionalmente las montañas lunares son más grandes que el Everest.

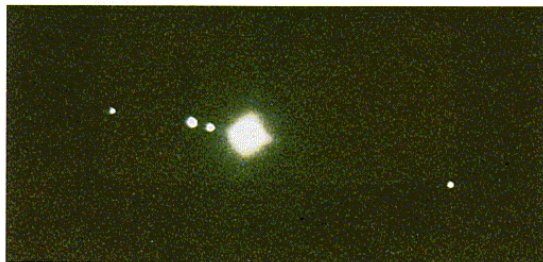


Figure 4-11 R I V U X G

Jupiter and Its Largest Moons This photograph, taken by an amateur astronomer with a small telescope, shows the four Galilean satellites alongside an overexposed image of Jupiter. Each satellite is bright enough to be seen with the unaided eye, were it not overwhelmed by the glare of Jupiter. (Courtesy of C. Holmes)

La noche del 7 de enero de 1610 dirige su telescopio a Júpiter, descubriendo tres satélites. El 11 de enero descubre el cuarto. Observando noche a noche descubre que giran entorno a Júpiter. El 30 de enero le escribe a Belisario Vinta, secretario del Gran Duque de Toscana, comunicándole el descubrimiento. El 13 de febrero le escribe nuevamente y le propone bautizar los satélites como "*Medicea Sidera*" (astros mediceos).

Los cuatro satélites galileanos de Júpiter fueron posteriormente designados **Io, Europa, Ganímedes y Calixto**, de acuerdo con la mitología (ver Apéndice al final de estos apuntes). Estudios posteriores de Júpiter, incluyendo los recientes vuelos de las naves Voyager, han revelado la existencia de muchos otros satélites menores de este hermoso planeta, el más grande del Sistema Solar. El número total de satélites de Júpiter se eleva ahora a 62.

El 12 de marzo de 1610 publica su libro "*Siderus Nuncis*" (Mensajero Celeste) donde comunica sus resultados. El libro causó una gran conmoción en el ambiente científico de su época. Se trata de un pequeño libro de divulgación que fue leído por mucha gente.

Magini y el jesuita Clavio niegan la existencia de los descubrimientos de Galileo. Sin embargo, más tarde reconocerán hidalgamente que Galileo tenía razón. Otros como Francisco Sizzi, Martín Horky y Papazzone, entre otros, denuncian como falsos los descubrimientos de Galileo. Cremonio se niega a mirar a través del antejo.

Posteriormente Galileo hace un interesante descubrimiento relacionado con Saturno. Su imagen le revela que Saturno no es igual que los otros planetas. Envía un anagrama al respecto a una serie de personas entendidas, Kepler y Clavio, entre otros. Les comunica Smaismrmilmepoetalevmibvnenvgttaviras. Nadie logra resolver el anagrama, que decía: *Altissimum Planetam Tergetimum Observavi* ("He observado que el planeta más alto tiene forma triple"). Lo dibuja de este modo: oOo. En 1616 le escribe a Juan Saber comunicándole que las estrellas laterales de Saturno no son redondas sino semielípticas. Esto muestra lo cerca que Galileo estuvo de desentrañar el misterioso aspecto de Saturno. Recién en 1659, 17 años después de la muerte de Galileo, el físico holandés Christian Huygens, con un antejo muy superior al del gran italiano, logra descubrir el anillo que rodea a Saturno.

En septiembre de 1610 descubre las fases de Venus. Nuevamente, y con el fin de establecer la prioridad del descubrimiento, envía un anagrama al respecto: HAEC IMMATURA A ME IAM FRUSTRA LEGUNTUR O Y, advirtiendo que esas letras se refieren a "*otro particular observado por mí nuevamente, que va directamente a la decisión de la grandísima controversia en Astronomía y, en particular, contiene en sí un formidable argumento para la constitución pitagórica y copernicana*". Inútiles resultaron nuevamente los esfuerzos de Kepler y otros por descifrar el anagrama. El 1° de enero de 1611 Galileo le envía a Julián de Médicis, embajador de Toscana en Praga, La solución al anagrama: "CYNTHIE FIGURAS

AEMULATUR MATER AMORUM" que se traduciría como "la forma de la madre de los amores rivaliza con las de Diana", esto es "Venus imita las figuras de la Luna".

Las fases de Venus le confirman a Galileo que Venus gira alrededor del Sol. En el sistema de Ptolomeo Venus se encuentra siempre ubicado más cercano a la Tierra que el Sol y por lo tanto sólo debería, de ser correcto ese sistema del mundo, presentar fases entre cuarto y nueva. En el sistema de Copérnico, Venus debe pasar a través de todas las fases características de la Luna. El descubrimiento galileano confirma la predicción de Copérnico.

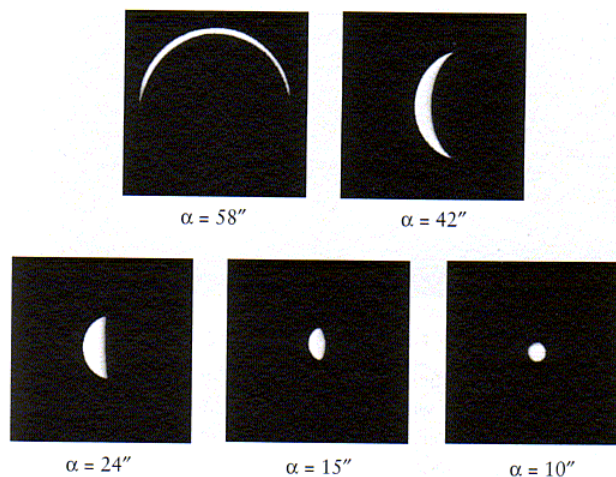


Figure 4-8 R I **V** U X G

The Phases of Venus This series of photographs shows how the appearance of Venus changes as it moves along its orbit. The number below each view is the angular diameter α of the planet in arcseconds. Venus has the largest angular diameter when it is a crescent, and the smallest angular diameter when it is gibbous (nearly full). (New Mexico State University Observatory)

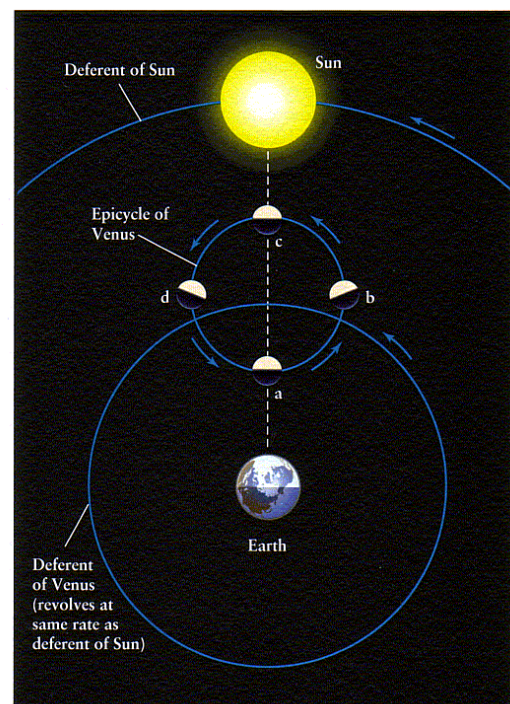


Figure 4-10

The Appearance of Venus in the Ptolemaic Model In the geocentric Ptolemaic model, the deferents of Venus and the Sun rotate together, with the epicyle of Venus centered on a line (shown dashed) that connects the Sun and the Earth. In this model an Earth observer would never see Venus as more than half illuminated. (At positions *a* and *c*, Venus appears in a "new" phase; at positions *b* and *d*, it appears as a crescent. Compare with [Figure 3-2](#), which shows the phases of the Moon.) Because Galileo saw Venus in nearly fully illuminated phases, he concluded that the Ptolemaic model must be incorrect.

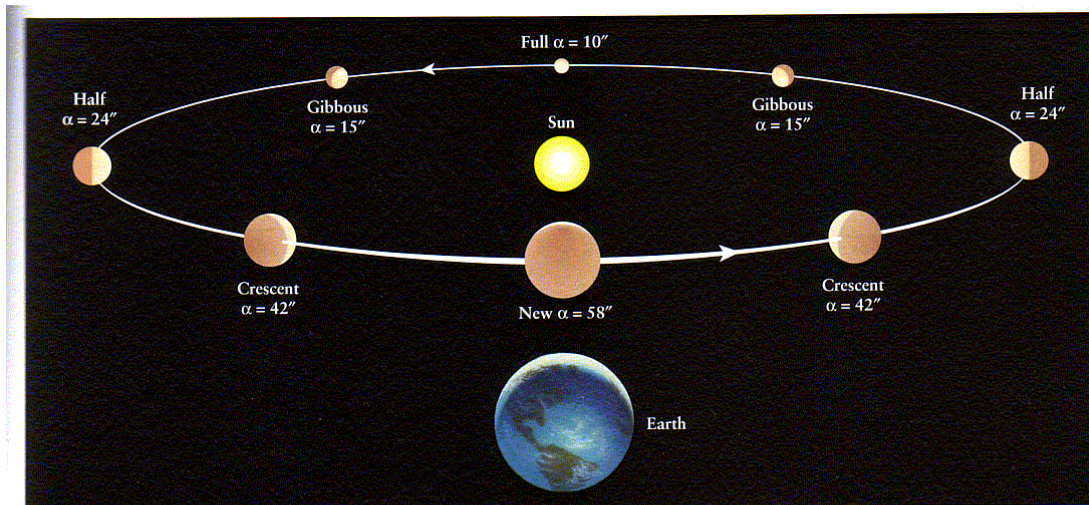


Figure 4-9

The Changing Appearance of Venus Explained in a Heliocentric Model A heliocentric model, in which the Earth and Venus both orbit the Sun, provides a natural explanation for the changing appearance of Venus shown in Figure 4-8. When Venus is on the opposite side of the Sun from the Earth, it appears full and has a small angular size. When Venus is on the same side of the Sun as the Earth, we see it in a "new" phase and with a larger angular size. When Venus is at the greatest angle to either side of the Sun (at greatest eastern or western elongation), it appears half illuminated and has an intermediate angular size.

En octubre de 1610 Galileo comienza sus observaciones del Sol, las que le llevan a descubrir las manchas solares. Observa por primera vez las fáculas y descubre el movimiento de rotación del Sol siguiendo el curso diario de las manchas. Juan Fabricius y el padre jesuita Cristóbal Scheiner parece que, en forma independiente de Galileo, las observaron en 1611. En todo caso Galileo fue el primero en interpretarlas correctamente como zonas oscuras de la fotosfera solar. Las manchas solares ponen en tela de juicio la perfección ígnea del astro-rey. Los escolásticos tuvieron problemas con este descubrimiento galileano, "culpando" a Galileo por ésta "supuestas" manchas solares. Las manchas aparecen y desaparecen en intervalos de semanas lo cual muestra claramente la mutabilidad solar. Esto era totalmente contrario a las enseñanzas de Aristóteles.

Sólo en el siglo XIX, el médico alemán Schwabe, después de estudiar las manchas solares entre 1826 y 1869 descubrió el ciclo undecenal de las manchas solares.

Los descubrimientos astronómicos de Galileo causaron gran revuelo en su época y pusieron a la teoría heliocéntrica de Copérnico en un primer plano de discusión. En diciembre de 1613, en la carta a su discípulo Castelli, Galileo reclama la necesidad de limitar el campo de la ciencia y la fe. Acto seguido invade el campo de la teología, sosteniendo que no deben interpretarse literalmente las Sagradas Escrituras, sino que yendo al fondo de su significado que no puede estar en contradicción con lo que se observa. Copias de esta carta circularon por toda Italia. El dominicano Tomás Caccini le declara la guerra a Galileo en un sermón que pronuncia en la Iglesia de Santa María Nueva de Florencia, en diciembre de 1614.

En febrero de 1615 el padre Nicolás Lorini se dirige a la Inquisición denunciando a los galileístas por sostener el movimiento de la Tierra y por interpretar las Sagradas Escrituras en forma antojadiza. De esa época es la carta ya mencionada a Cristina de Lorena. Como ya explicáramos en 1616 el Santo Oficio en Roma condena la obra de Copérnico.

La aparición de varios cometas en 1618 provocó una serie de observaciones y discusiones acerca de la naturaleza de esos astros. El jesuita Orazio Grassi (1582-1654) publicó al año siguiente un escrito sobre el tema, siguiendo la interpretación aristotélica, al que respondió contradiciéndolo, un discípulo de Galileo. Grassi replica atacando directamente a Galileo. Para responder al ataque Galileo publica en 1623, editado por la Academia de Lincei, su libro *"Il Saggiatore"*, escrito polémico donde su mérito no reside tanto en las consideraciones científicas, pues a Galileo escapó la verdadera naturaleza de los cometas, sino por su valor literario y por las consideraciones generales que en él se expresan.

En ese libro aparece la tan citada frase de Galileo sobre el rol de la matemática en la ciencia *"... además me parece advertir que Sarsi (pseudónimo de Grassi) cree firmemente que para filosofar es necesario apoyarse en la opinión de algún autor célebre, como si nuestra mente se mantuviera totalmente estéril e infecunda si no se encuadra en un razonamiento ajeno; y quizás estime que la filosofía es un libro y una fantasía de un autor como lo es La Iliada o el Orlando Furioso, libros en los que lo menos importante es si lo que está escrito en ellos es verdadero. La fisiología está escrita en ese grandísimo libro constantemente abierto ante nuestros ojos (me refiero al Universo), pero no se le puede comprender si antes no se comprende su idioma y se conocen los caracteres con que está escrito. Está escrito en idioma matemático, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin cuyo recurso no es posible a los humanos entender cosa alguna; sin ellos no es sino un vano deambular a través de un oscuro laberinto"*.

En 1623, al subir al trono pontificio el Cardenal Barberini, con el nombre de Urbano VIII, Galileo decide escribir un libro en defensa de Copérnico.

1.8.5. Los "Diálogos":

El libro exponiendo los dos sistemas del mundo, el tolemaico y el copernicano, fue publicado, después de una laboriosa gestión ante la Iglesia para obtener el permiso de impresión, en 1632, y lleva por título: *"Dialogo dove nei congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano, proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche tanto per l'una quanto per l'altra parte"*. En esta obra se finge una acción que se desarrolla en Venecia en el palacio de Sagredo, que es uno de los tres interlocutores que intervienen en ella. Los otros dos eran Salviati y Simplicio.

Sagredo y Salviati fueron personajes reales, amigos de Galileo. Giovanfrancesco di Nicolò Sagredo (1571-1620) era un gentilhombre veneciano; Filippo d'Averardo Salviati (1528-1614) era de noble familia florentina en casa de quién Galileo se alojó muchas veces.

Sagredo en el "*Diálogos*" representa la persona culta, de mente clara, que en cierto modo actúa de moderador entre los contendientes: Salviati y Simplicio. Salviati en el diálogo personifica los pensamientos del autor. Simplicio, que con toda intención lleva el nombre del conocido comentarista de Aristóteles, es el portavoz de los argumentos de los escolásticos en defensa del sistema de Ptolomeo.

Esta obra de Galileo es más de divulgación que un trabajo meramente científico. Además, por estar escrita en italiano tuvo difusión rápida y muy amplia en círculos no estrictamente científicos. Comprende cuatro partes o jornadas. En la primera se exponen las razones favorables a uno y otro sistema, refutándose algunos de los principios fundamentales de la física aristotélica; en la segunda se habla del movimiento diurno de la Tierra; en la tercera, de su movimiento anual, y en la cuarta se discuten las mareas en que Galileo atribuye erróneamente a la rotación de la Tierra.

La cuarta jornada se cierra con la promesa de reanudarlas para conocer "los elementos de la nueva ciencia de nuestro académico, respecto de los movimientos local, natural y violento". Esta promesa la cumple Galileo al publicar en 1638 sus "Discorsi..."

Los Diálogos de Galileo, junto al libro de Copérnico, los libros de Kepler y el de Newton constituyen las más grandes obras de la Astronomía Moderna. De ellas el Diálogo de Galileo es el de más fácil lectura, el más directo y el que más contribuyó a la difusión de la causa heliocéntrica.

Después de ser condenado en 1633 por la Inquisición, Galileo reside en su villa de Arcetri, cerca de Florencia. Allí escribe su máxima obra, publicada en 1638 bajo el título "*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove Scienze attenenti alla Meccanica e i movimenti Locali*". En esta obra Galileo presenta todas sus investigaciones sobre mecánica. Está igualmente escrita en forma de diálogo entre Salviati, Simplicio y Sagredo. La obra está compuesta de cuatro jornadas y en un apéndice presenta un estudio sobre el centro de gravedad de algunos sólidos. En las primeras dos jornadas se discute resistencia de materiales. También discute el problema de la velocidad de la luz.

Galileo rechaza la opinión sostenida por la mayoría de sus antecesores acerca de la propagación instantánea de la luz. Esa idea en el *Discorsi* la sostiene Simplicio. Galileo propone medir la velocidad de la luz situado dos observadores a una gran distancia, un par de kilómetros, con dos lámpara que puedan ser interceptadas por una pantalla. El primer observador quita rápidamente la pantalla de su linterna y el segundo hace lo propio cuando ve la luz de la primera. El lapso

medido por el primer observador entre los instantes en que él descubrió la pantalla y vio la luz de la segunda linterna es el tiempo que emplea la luz en recorrer dos veces la distancia que separa a los observadores. El experimento es impecable en teoría pero imposible de llevar a la práctica, dado lo breve del intervalo a medir, pues la velocidad de la luz es mucho mayor que lo que Galileo pensó. En el siglo XIX el francés Fizeau modernizó la idea galileana para medir en el laboratorio la velocidad de la luz.

La tercera y cuarta jornada son las que le dan al libro su gran jerarquía. Allí discute Galileo problemas de dinámica, caída de los cuerpos, lanzamiento de proyectiles y establece en forma clara y definitiva el principio de inercia.

Si bien el *"Diálogos..."* fue tal vez su libro más famoso el *"Discorsi"* nos revela en toda su profundidad el genio de Galileo.

Apéndice Mitológico:

Io: Doncella de Argos, sacerdotisa de Hera, que fue amada por Júpiter. Hera sorprendió a su marido, Júpiter, con Io. El dios, para salvarla, la convirtió en una ternera blanca. Hera le exigió a Zeus (Júpiter) que se la entregara y la encargó a Argos para que la vigilara. Zeus le pidió a Hermes que la rescatara; así lo hizo. Hera furiosa ató un tábano a los cuernos de la ternera; el tábano la picaba sin cesar lo que obligó a Io a huir corriendo sin rumbo por el mundo. El final del viaje fue Egipto donde encontró descanso y fue vuelta a la condición humana por las caricias de Zeus. De ambos nació Epato. Io fue confundida con la Isis egipcia y con la Astarté fenicia.

Europa: Hija de Fénix o del rey fenicio Agenor. Zeus se unió a ella en forma de toro y engendró a Minos, Radamanto y Sarpedón. Zeus la cedió a Asterio, rey de Creta, el cual dio a Europa la soberanía sobre la isla. Disfrutó de los honores de diosa bajo el nombre de Hellotis o Hellotia. Mientras estaba con sus compañeras de juego se le acercó el toro divino. Ella montó encima y el animal emprendió rápida huída hasta el territorio que había de ser Europa.

Ganímedes: Príncipe troyano, hijo de troyanos, rey de Frigia y de la ninfa Calírroe. Zeus le arrebató y transportó al Olimpo para sustituir a Hebe y servir de copero, por su singular belleza. Otra leyenda dice que fue raptado por Zeus y transformado en águila.

Calisto: Hija del rey de Arcadia Lición. Compañera de Diana y amante de Júpiter. Al descubrir su embarazo fue abandonada por Diana y Juno (Hera), vengativa, la transformó en osa y a su hijo en oso. Júpiter los colocó entre las constelaciones con los nombres de Osa Mayor y Osa menor.

BIBLIOGRAFÍA:

- G. Abetti *"Historia de la Astronomía"*, Fondo de Cultura Económica, México, 1956.
- F.D. Bubleinikov: *"Galileo Galilei, su vida y obra científica"*, Ed. Tecniciencia, Montevideo, 1964.
- Galileo Galilei *"El mensajero de los astros"*, EUDEBA, Buenos Aires, 1964.
- D. Papp y J. Babini *"Panorama General de la Historia de la Ciencia"* Vol. VIII, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1954, p.p.53-100.
- Cortés Plá *"Galileo Galilei"*, Espasa-Calpe, Colección Austral N°315, Buenos Aires, 1952.