

Año galileano en Mérida

*La Universidad de Los Andes
en el 450 aniversario
del natalicio de Galileo Galilei
(1564 - 1642)*

[Conferencias - Parte II]

*Galileo Galilei,
el método científico
y la matematización
de la naturaleza*

| Estrella Abecassis de Laredo |

*La música de las esferas
y el infinito matemático
en la obra de Galileo*

| Francisco Rivero |

*Las manchas solares
en tiempos de Galileo:
la polémica de hace 400 años*

| Marcos A. Peñaloza-Murillo |



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

Mario Bonucci Rossini
Rector

Patricia Rosenzweig Levy
Vicerrectora Académica

Manuel Aranguren
Vicerrector Administrativo

José María Andérez
Secretario

ISBN: 978-980-11-1763-6



9 789801 117636

PA

PUBLICACIONES
VICERECTORADO ACADÉMICO

La Universidad de Los Andes
en el 450 aniversario
del natalicio de Galileo Galilei
(1564 - 1642)

[Conferencias - Parte II]

Galileo Galilei,

el método científico

y la matematización

de la naturaleza

| Estrella Abecassis de Laredo |



La música de las esferas

y el infinito matemático

en la obra de Galileo

| Francisco Rivero |



Las manchas solares

en tiempos de Galileo:

la polémica de hace 400 años

| Marcos A. Peñaloza-Murillo |

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Autoridades Universitarias

- **Rector**
Mario Bonucci Rossini
- **Vicerrectora Académica**
Patricia Rosenzweig Levy
- **Vicerrector Administrativo**
Manuel Aranguren Rincón
- **Secretario**
José María Andérez

PUBLICACIONES VICERRECTORADO ACADÉMICO

- **Presidenta**
Patricia Rosenzweig Levy
- **Coordinador**
Ricardo R. Contreras
- **Consejo editorial**
Ricardo R. Contreras
María Teresa Celis
Jesús Alfonso Osuna Ceballos
Hernán Galindo
Rafael Solórzano
Marlene Bauste

Unidad operativa

- **Supervisora de procesos técnicos**
Yelliza García
- **Asesor editorial**
Freddy Parra Jahn
- **Asistente**
Yoly Torres
- **Asistente técnico**
Ricardo Huggines

La Universidad de Los Andes en el 450 aniversario del natalicio de Galileo Galilei (1564 - 1642). Conferencias parte II
Primera edición, 2015

- © **Universidad de Los Andes**
Vicerrectorado Académico
- © **Estrella Abecassis de Laredo**
- © **Francisco Rivero**
- © **Marcos A. Peñalosa-Murillo**

Hecho el depósito de ley
Depósito Legal: If2372015900703
ISBN: 978-980-11-1763-6

- **Corrección de texto**
Julio César González
- **Concepto de colección**
Yaneth Calderón
Mary Isabel Ruiz
- **Diseño y diagramación**
Freddy Parra Cepeda

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización escrita de los autores y el editor.

Universidad de Los Andes
Av. 3 Independencia
Edificio Central del Rectorado
Mérida, Venezuela
publicacionesva@ula.ve
publicacionesva@gmail.com
<http://www2.ula.ve/publicacionesacademicas>

Impreso en la República Bolivariana de Venezuela
Printed in the Bolivarian Republic of Venezuela

La Universidad de Los Andes
en el 450 aniversario
del natalicio de Galileo Galilei
(1564 - 1642)

[Conferencias - Parte II]

Galileo Galilei,
el método científico
y la matematización
de la naturaleza

| Estrella Abecassis de Laredo |



La música de las esferas
y el infinito matemático
en la obra de Galileo

| Francisco Rivero |



Las manchas solares
en tiempos de Galileo:
la polémica de hace 400 años

| Marcos A. Peñaloza-Murillo |



PUBLICACIONES
VICERRECTORADO ACADÉMICO



Galileo Galilei

el método científico

y la matematización

de la naturaleza

| Estrella Abecassis de Laredo |

*Conferencia dictada en el
Paraninfo de la Universidad de Los Andes
el 8 de octubre de 2014,
en ocasión del 450 aniversario del nacimiento
de Galileo Galilei*

Introducción

Buenas tardes a todos y permítanme agradecer a la Vice-Rectora Académica, la Dra. Patricia Rozensweig Levy, el haberme dado la oportunidad de dirigirme a Uds. en ocasión de los actos conmemorativos del 450avo aniversario del natalicio de Galileo Galilei, el que se aferró a sus ideas sin medir las consecuencias que eso le iba a acarrear; el innovador, el investigador de toda una variedad de circunstancias que iban de la mecánica a la astronomía, pero sobre todo el instaurador del método científico y de la matematización de la naturaleza. Anteriormente el Dr. Rondon Nucete nos introdujo magistralmente a la época de Galileo, un momento de efervescencia espiritual, que fomentó en él el afán de contribuir e innovar sin importarle las consecuencias personales. Los aspectos de Galileo relativos a sus creencias, su filosofía -ya que fue inicialmente discípulo de las ideas aristotélicas sobre nuestro universo y su evolución hacia la descripción de la naturaleza de los platónicos-, fue discutida por el Dr. Ricardo Contreras, quien se destaca en esos conocimientos además de ser especialista en Química. Esta mañana vamos a conversar sobre la obra que a mi parecer ha sobrevivido a través de los siglos y fue la verdadera revolución del Renacimiento: la introducción del método científico y una nueva lectura de la naturaleza, así como la aplicación de los descubrimientos científicos, que hasta entonces permanecían en el campo de la filosofía, a desarrollos tecnológicos, lo que hace que a Galileo se le pueda nombrar como el primer ingeniero moderno. De todo esto daremos ejemplos ilustrativos extraídos de una abundantísima bibliografía disponible. En la primera parte recordaremos el método que regía el trabajo científico en la Edad Media, dando algunos ejemplos concretos, y cómo Galileo gradualmente a través de sus escritos y sus investigaciones se fue separando de estos principios para proponer otra visión de la naturaleza. Daremos también varios ejemplos del Galileo científico e ingeniero. La introducción de la aritmética y la geometría, que eran las herramientas matemáticas de las cuales se disponía, será igualmente discutida y ejemplarizada.

La Física de la escuela aristotélica

La revolución que ocurrió en el Renacimiento se caracterizó por ser una rebelión espiritual en la cual hubo un cambio hacia la vida activa desde la vida contemplativa que hasta entonces era la más elevada. No se buscaba entre los antiguos o los medievales el dominio de la naturaleza sino que lo primordial era su contemplación. La ciencia se va a volver activa, operativa, y el hombre será el maestro y dueño de la naturaleza, es la ciencia que los artesanos y los ingenieros podrán aplicar. La experimentación es una interrogación a la naturaleza que implica la existencia de un lenguaje que para esa época era la geometría euclidiana principalmente.

La ciencia aristotélica, la que el joven Galileo aprendió de sus maestros en la Universidad de Pisa, veía el Cosmos como una estructura finita, jerárquica, armónica y ordenada que se va a convertir en una estructura abierta, imperfecta e infinita. Si revisamos brevemente la física Aristotélica es una ciencia muy elaborada con total ausencia de geometría, cuyos datos de partida son de sentido común y se aceptan sin discusión. Un cuerpo pesado cae y esto es “natural”, la ciencia tratará de explicar lo que parece “natural”. En contraposición a estos movimientos “naturales” existen los movimientos llamados violentos cuando el cuerpo está sometido a una cierta “violencia”. Cada cosa tiene su sitio natural en el Universo que está perfectamente ordenado. El estado de reposo es eterno y no necesita estudio ni explicación, así la tierra está inmóvil en el centro del universo. El objeto de allí no se moverá y opondrá resistencia a la violencia que trata de mudarlo. El cuerpo tenderá a volver a su sitio en ausencia de la violencia causada por un movilizador. Es un universo estático donde sólo las violencias causan movimiento o también el cese de violencia que permite a los cuerpos recuperar su posición inicial en un movimiento calificado de natural que tiene el reposo como objetivo. Este movimiento natural necesita del contacto con el movilizador, no existe acción a distancia. Esta teoría tiene grandes defectos, por ejemplo: ¿qué pasa cuando lanzamos un cuerpo? El movilizador no empuja ni hala; esto se explica por la acción del medio en el cual se desplaza el cuerpo. Si el vacío existiese este retorno

al reposo se haría con velocidad infinita, es decir, en forma instantánea, y además no existirían sitios o direcciones y el cuerpo no sabría hacia dónde moverse y se quedaría en reposo. Como se puede observar, el vacío no tiene cabida en este Universo.

Esta dinámica aristotélica era inaceptable para alguien con sentido común, ya que contradecía la experiencia de la vida diaria de objetos moviéndose sin movilizador en contacto, como es el caso de una flecha o una piedra lanzada desde alguna altura. Los parisinos Buridan y Nicole Oresme, antecesores de Galileo, ya habían anotado estos defectos. No se entendía como cuerpos pesados, podían volver a su sitio bajo efecto del aire. Además, el aire actuaba de dos maneras, como resistencia al movimiento y como movilizador. De ese análisis sale la idea de la existencia de los ímpetus, que son una especie de fuerza o de poder que pasa del movilizador al móvil y lo desplaza. Esta es una idea que por lo menos no contradice lo que se observa en la vida diaria. Incluso explicaba porque el proyectil ve su velocidad crecer desde el reposo y vence la resistencia al movimiento porque son “cualidades inmortales”.

Y aquí interviene Galileo, en 1590, ya que escribe en *De Motu* que los ímpetus son pasajeros y no eternos y aunque explican los movimientos en el vacío, son incompatibles con el principio de inercia. Las objeciones de Galileo conllevaron al abandono del addendum de los ímpetus. Galileo entonces empezó a razonar tal como lo hizo Arquímedes para la hidrostática, y a tratar de usar la matemática que tenía a su alcance. Esta actitud ha sido interpretada como una reacción platónica a la tradición aristotélica vigente en las universidades de su tiempo. El énfasis de Galileo en las matemáticas proviene de la doctrina de Platón que establece que el único mundo que merece ser estudiado por los filósofos es inaccesible por los sentidos y sólo puede ser entendido, captado, a través de las matemáticas. Algunos autores (Alexandre Koyré) piensan que los experimentos descritos por Galileo en *De Motu* fueron experimentos pensados, totalmente imaginarios y las conclusiones fueron el resultado de razonamientos matemáticos en el más puro estilo de Arquímedes. Estudios recientes por Stillman Drake de notas y manuscritos originales relacionados a sus estudios del movimiento arrojan suficientes evidencias de la realización de experimentos reales y del rol que estos experimentos jugaron en el desarrollo de una nueva ciencia. Un ejemplo de esto es cómo llegó a la ley de caída libre, es decir, la dependencia del espacio recorrido, s , es función de t^2 y no meramente

función de t . Existen notas manuscritas de resultados obtenidos por Galileo, al dejar caer objetos desde diferentes alturas o rodar a lo largo de planos inclinados seguidos de planos horizontales. Después de estos experimentos realizó cálculos donde supuso primero que la rapidez v era proporcional a $s^{1/2}$ y no a s como se creía, y segundo, la conservación del movimiento a lo largo de la trayectoria horizontal, es decir, el principio de inercia horizontal. De allí también dedujo que si v^2 era proporcional a s y t^2 también a s entonces v era proporcional a t . En estos estudios de hidrostática y mecánica, Galileo quería utilizar principios racionales que fuesen evidentes tanto en la razón como en la experiencia. En *De Motu*, obra temprana, podemos decir que Galileo empieza sus demostraciones con principios claros y trata de derivar conclusiones rigurosas usando las matemáticas. Así escribe:

Yo, con métodos diferentes y por otros medios trataré de demostrar los mismos (teoremas), reduciendo las causas de tales Efectos a Principios más intrínsecos e inmediatos en los cuales también se descubren las Causas de algunos admirables y a veces increíbles Accidentes.

La ebullición de ideas y los progresos tecnológicos iban a dirigir la mente de Galileo hacia otros campos.

Galileo, el científico moderno

A mediados de 1608 en Holanda Hans Lippershey inventó el primer telescopio por refracción que permitía acercar, y por consiguiente visualizar, mejor los objetos lejanos. En 1609 Paolo Sarpi le escribe comentándole del dispositivo “espía” que un holandés había traído en demostración a Venecia y que estaba aún sin patente. Una carta del francés Jacques Badovère, alumno de Sarpi, le incitó a tratar de reproducir este aparato, que podía ser una buena fuente de ingresos, basándose en los rumores e informaciones que había recibido y a sus conocimientos de la refracción. Así decidió que uno de los lentes debía ser convexo y el otro cóncavo y al alinearlos en un tubo vio que su montaje funcionaba. El primero que realizó tenía un aumento de 4 y los siguien-

tes fueron mejorando al usar lentes pulidos por el propio Galileo hasta llegar a un diámetro de 5cm y un aumento de 32. A finales de 1609, después de haber sacado provecho personal de las aplicaciones bélicas de este dispositivo que ya había alcanzado un aumento de 20, Galileo empezó a usarlo para observaciones astronómicas. Queriendo disponer de más tiempo para sus observaciones y reportes, a pesar de haber tenido un nombramiento de por vida en Padua, después de 18 años de docencia, sus raíces toscanas le empujaron a mudarse a Pisa donde el Gran Duque Cosimo de Médici, le tomó bajo su protección y le nombró matemático y filósofo (físico) de la corte.

En aproximadamente dos meses (estamos en Marzo de 1610) los descubrimientos astronómicos que hizo fueron el objeto de una publicación titulada *Sidereus Nuncius*, el Mensajero Estelar, que mostraba los cráteres y montañas de la luna, las cuatro lunas más brillantes de Júpiter y el gran número de nuevas estrellas que se apercebían en la Vía Láctea. Las descripciones vigentes del universo derivadas de las ideas de orden y perfección del cosmos aristotélico se veían contradichas, la imperfecta esfericidad de los cuerpos celestes y el movimiento de los satélites alrededor de Júpiter contradecían las creencias de los filósofos naturales de que la Tierra era el centro de todos los movimientos celestiales. Se atribuyeron sus observaciones inéditas a ilusiones ópticas, o peor aún, a algún fraude. El padre Clavius de Roma decía que sus hallazgos estaban en los lentes curvos y no en el cielo ya que desaparecían en ausencia de ellos. Kepler, el astrónomo y matemático alemán, creyó en los resultados publicados y más tarde los confirmó con sus propias observaciones realizadas con un telescopio fabricado por Galileo. Hubo un intercambio de cartas y exposiciones para refutar la ausencia de esfericidad absoluta de la luna hechas por filósofos naturales que sólo se apoyaban en argumentos filosóficos y que deseaban mantener el statu quo. Estas ideas venían a perturbar el carácter incorruptible, inalterable, invariante y eterno que implica la perfección de todo lo que nos rodea. En contra de las observaciones novedosas, preferían apoyar los principios dogmáticos que hasta entonces eran ley.

Siguiendo con sus investigaciones, a su llegada a Florencia en 1610 inició un programa de observaciones de Venus que no se habían podido hacer antes por su cercanía con el sol y descubrió la existencia de fases similares a las de la luna, acumulando así otra prueba en contra del arreglo geocéntrico de Toloméo pero que estaba de acuerdo con Ty-

cho Brahe que ponía a Venus y a los otros planetas, exceptuando la tierra, girando alrededor del sol que a su vez giraba alrededor de la tierra. También se dedicó a medir las órbitas y períodos de los satélites de Júpiter, tarea ardua que finalizó en 1611. Al resultar electo en la Academia *Linceana de Roma* sus ideas y los resultados de sus observaciones fueron más expuestos al escrutinio y la envidia de los guardianes de la fe, *i.e.* el papa y toda la curia romana. Si bien sus observaciones apuntaban a un acuerdo con el modelo heliocéntrico de Nicolás Copérnico publicado en 1543, ni Galileo, ni la Iglesia parecían percatarse de su ataque a la idea central de los filósofos de la época sobre la eternidad del universo. Otros argumentos en contra de estos dogmas de inamovilidad, fueron expuestos en la evolución de las manchas solares publicadas en el *Discurso sobre cuerpos flotantes* (1612) y en las *Cartas sobre manchas solares* (1613) que recogen la correspondencia intercambiada con Scheiner sobre este tema. Galileo insistía en que los fenómenos solares observados debían interpretarse con analogías terrestres, lo que de nuevo contradecía el postulado básico aristotélico sobre la existencia de diferencias esenciales. También se afirmaba que la ciencia se ocupa solamente de las propiedades de los objetos y de los eventos observables. Por escrito por primera vez Galileo defiende el sistema Copernicano al cual se inclina finalmente debido a los resultados de sus observaciones de las eclipses de los satélites de Júpiter y de la facilidad con la que se pueden predecir en ese marco. Bastaba introducir una corrección debida a la rotación de la tierra. Otros que le siguieron habían sentido la necesidad de corregir sus datos pero la habían pensado como una corrección empírica atribuible al movimiento solar:

En 1616, en su *Carta a la Gran Duquesa*, Galileo ataca a los seguidores de Aristóteles que no refutan sus conclusiones como malas previsiones o interpretaciones erróneas, sino que se basan en una interpretación literal de las sagradas escrituras aunque estas contradigan evidencia experimental probada por las matemáticas. Allí defiende por primera vez al Universo Copernicano como una realidad física.

Mantengo que el Sol está situado en el centro de las revoluciones de las órbitas celestiales y no cambia de sitio, y que la tierra rota sobre sí misma y se mueve alrededor de él. Además confirmo esta visión no solamente refutando los argumentos de Tolomeo y Aristóteles pero también produciendo muchos a favor del otro lado, especialmente algu-

nos pertenecientes a efectos físicos cuyas causas no pueden tal vez ser determinadas de otra manera y otros descubrimientos astronómicos que coinciden admirablemente con la nueva posición y la confirman.

Todas estas evidencias recolectadas por Galileo no eran aún pruebas irrefutables del Universo Copernicano y tampoco Galileo lo pretendió. Habría que esperar el siglo XVIII y la ley de gravitación universal de Isaac Newton que relacionó innumerables experimentos ligados entre sí, como la explicación de las mareas y el movimiento de la tierra. El mérito de Galileo con sus instrumentos rudimentarios de lentes de 5 cm comparado con el de Llano del Hato de 65 cm y el de La Palma de cerca de 100cm, es el haber llegado a pronunciarse correctamente entre dos posibilidades: una muy cómoda que era conforme a la corriente de pensamiento vigente y la otra revolucionaria que sacudía los cimientos mismos de las creencias de la clase dominante y que contradecía cosas tan absolutas como las afirmaciones contenidas en las sagradas escrituras (Salmos 93:1, y 96:10 y 104:5) en las cuales el Rey David afirma que la Tierra fue creada y está firme en su lugar:

El Señor reinó, se vistió de majestad, se vistió y se ciñó de fortaleza: también el mundo está afirmado, no será movido. Decid entre las naciones: también el mundo será establecido; no será movido... Él fundó la tierra sobre sus bases; no será jamás removida.

Su contribución fue la de haber acumulado datos sobre muchos y diversos fenómenos astronómicos y explicarlos dentro de un marco de referencia novedoso sin temor a las consecuencias, fenómenos estos incomprensibles para los filósofos naturales y astrónomos de la época.

En 1616 escribe una carta privada al Cardenal Orsini sobre las mareas, *Discurso sobre el flujo y reflujo de los mares*, en la cual explica (erróneamente) que la doble rotación de la tierra sobre sí misma y alrededor del sol explicaría una marea alta diaria. Este fue uno de los argumentos fuertes de Galileo para adoptar el universo heliocéntrico. Newton corregiría este error al considerar la interacción Tierra-luna como la responsable del movimiento de los mares, mas es el efecto de rotación de la tierra lo que da cuenta de las dos mareas altas diarias. Lo mismo sucedió con los cometas que fueron fenómenos que al incluir cambios debían ocurrir en el espacio sub lunar. Ellos aparecían durante

un tiempo corto (3 de ellos en 1618) y desaparecían. Sin embargo se los calificaba de objetos celestes en la estructura de Tycho Brahe. En *El Ensayista* publicado en 1623 Galileo argumentó que los cometas eran un fenómeno óptico de refracción, una ilusión óptica que se producía cerca de la tierra. En esta obra inició sus diferencias con los jesuitas ya que uno de ellos, Orazio Grassi, había escrito en forma anónima en 1619 un tratado sobre los cometas (*Una discusión astronómica sobre los 3 cometas de 1618*) y sus conclusiones eran que se los podía asemejar a cuasi-planetras creados y destruidos en orbitas planetarias; como se mueven en el cielo más lentamente que la luna deben estar más allá que ésta. Galileo en el *Discurso sobre cometas* en 1619, lo criticó fuertemente ya que a simple vista la trayectoria de los cometas es casi una línea recta y no un arco de círculo. Propuso la idea de que los cometas eran fenómenos cercanos a la tierra causados por la refracción óptica, en breve una ilusión óptica. También contradujo ferozmente la posición de Grassi con respecto a algunas propiedades del telescopio. Esto inició ciertamente su pelea y discrepancias con el *Collegio Romano* ya que ofendió a los jesuitas que tanta influencia tendrían en los últimos años de su vida. La polémica siguió ya que Grassi con un seudónimo respondió con un trabajo titulado *Balance Astronómico y filosófico*.

El Ensayista también fue un éxito, aplaudido por muchos incluyendo al Papa Urbano VIII a quien Galileo se lo había dedicado. Apartando la crítica a los escritos de Grassi, que se dice que fue un ejemplo de literatura polémica, en *El Ensayista* Galileo manifiesta vehementemente sus ideas sobre la ciencia y cómo se debía proceder a cultivarla:

La Filosofía (*i.e.* la física) está escrita en este gran libro —quiero decir el Universo— abierto a nuestra mirada, pero no puede ser comprendido a menos que uno aprenda el lenguaje e interprete los caracteres en los cuales está escrito. Está escrito en el lenguaje de las matemáticas, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin las cuales es humanamente imposible de comprender una sola palabra de ella; sin estos, uno está vagando alrededor de un oscuro laberinto.

Estas ideas revolucionarias estaban en el aire en la corte de Venecia y ya se habían extendido a campos distintos de la física, como por ejemplo, el médico Santorio Santorio catedrático de medicina teórica en la universidad de Padua, quien en su práctica diaria aplicaba los prin-

cipios de Galeno e Hipócrates basados en el balance armónico entre los fluidos o humores, difería de ellos en la metodología aplicada a sus investigaciones. Santorio argüía que la autoridad de los clásicos no debía ser hegemónica, y que primero iba la experimentación, luego el razonamiento y por último la autoridad.

En los años siguientes, aparte de algunas escaramuzas con la Iglesia de las cuales creyó salir victorioso prometiendo no abogar por el sistema heliocéntrico, Galileo se dedicó a perfeccionar su microscopio y a estudiar la estructura de los imanes (1626).

En esos años estuvo muy enfermo (1628) y se consagró a escribir su obra magistral titulada *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo Tolemaico y Copernicano* que fue publicada en 1632 con la autorización formal del Censor del Tribunal de la Inquisición y el permiso de su amigo el Cardenal Barberini ascendido a Papa como Urbano VIII. Éste había solicitado a Galileo una argumentación a favor y en contra del sistema copernicano pero le pidió cuidarse mucho de no defenderlo ya que también quería que sus propias ideas sobre este tema fueran expuestas. Galileo escogió para la presentación de sus ideas una estructura de diálogo entre tres personajes: Simplicio, que es quien trata de defender el mundo Tolemaico, y como su nombre lo indica es bastante inadecuado para hacerlo; aunque fue nombrado por un comentarista de Aristóteles en la antigua Grecia, Giovanni Sagredo es el hombre ecuaníme y cultivado, el amigo que murió en 1620 y cuyas ideas y estilo fueron bien rendidos aquí; y Filippo Salviati a quien le toca atacar el geocentrismo y por consiguiente defender al mundo Copernicano. El mal desempeño de Simplicio, sus enredadas argumentaciones que se atribuían a la visión papal, fueron los que iniciaron la ruptura con la Iglesia ya que allí perdió al más importante de sus defensores.

En las cuatro jornadas con las que cuenta la obra se discute en la primera la visión aristotélica y los nuevos descubrimientos como el relieve de la luna y la variación continua de la iluminación de sus montes y cráteres. En la segunda se discute la ausencia de argumentos en contra de la rotación de la tierra alrededor de su eje en un día, con argumentos matemáticos. La rotación de la tierra alrededor del sol sería tratada en el tercer día. Como evidencia experimental se presentó la evolución cíclica anual del patrón de las manchas solares cuya explicación se basaba suponiendo el sistema copernicano. Sin éste se volvía un hecho

dinámicamente imposible si todos los movimientos hubiesen estado localizados en el sol. Galileo realizó algunas simplificaciones que fueron bastante criticadas como por ejemplo el ignorar las órbitas elípticas de los planetas que ya habían sido propuestas por Johannes Kepler en 1605 para explicar la órbita de Marte. Esta omisión no se sabe si fue en pro de una simplificación que él profesaba cuando el problema lo permitía, para hacerse comprensible al hombre culto pero no necesariamente experto, o porqué Kepler era un luterano que había rechazado convertirse al catolicismo en diferentes oportunidades, resistiendo las presiones de la corte de Praga, o porque las obras de Kepler figuraban en el *Índice de libros prohibidos* establecido por Roma

En el cuarto día Galileo incluyó sus ideas sobre las mareas que no podían explicarse si la tierra estuviese firme desde su creación como lo proclaman varios salmos del Rey David en el Antiguo Testamento. Aunque su explicación era incorrecta, tenía basamentos científicos, se atribuían a dos movimientos circulares, la revolución anual alrededor del sol y la rotación de la tierra: la causa primera provocaba la continua agitación de los mares, la segunda era para explicar la periodicidad de las mareas en el Mediterráneo que no podía ser resultado del periodo de la agitación.

La publicación de esta obra fue bastante accidentada. Completada en 1630 y aprobada por la Iglesia su publicación, se retrasó por la muerte del Príncipe Cesi que desordenó el funcionamiento de la Academia Nacional de los Linceos, a la cual pertenecía Galileo desde 1611, y que era la encargada de la publicación. Se obtuvo una segunda licencia y el libro fue publicado finalmente en Florencia en Marzo de 1632. Un inicio de epidemia dilató el envío de copias a Roma. En Agosto la Inquisición ordenó detener las ventas del libro y lo conminó a acudir a Roma para ser juzgado por hereje. Las protestas del Gran Duque Ferdinando no sirvieron de mucho. A pesar de su mala salud, del estado de las carreteras, de la cuarentena existente, cosas que a decir de los mismos médicos de la Inquisición Florentina ponían en peligro la vida de un enfermo de 70 años en caso de emprender cualquier desplazamiento, Galileo acudió al tribunal. La otra alternativa era venir encadenado con unos oficiales de arresto que él debería pagar.

En sus últimos nueve años pasados en su villa de Arcetri, cerca de su hija Sor María Celeste, Galileo vivió enfermo y recluido pero su

obra empezó a difundirse allende las fronteras italianas. Su *Mecánica* fue traducida al francés bastante antes de que fuese publicada en italiano. En 1635 Matthias Bernegger en Estrasburgo, tradujo los *Diálogos* al latín, lo que los hizo mucho más accesibles a una amplia audiencia. Y en 1636 la *Carta a Christina* que había circulado en forma manuscrita fue impresa con su traducción al latín. Con esto toda Europa conoció la posición de Galileo sobre la negación de las Sagradas Escrituras en materias de la física, es decir “las que pueden ser aclaradas por experimentos sensibles y necesitan demostraciones”. Hacía así una definición precisa del tipo de ciencia que no debía someterse a la censura teológica. Los ataques a su obra de los peripatéticos no se hicieron esperar, pero Galileo tenía prohibido contestar públicamente, lo hizo sin embargo en su correspondencia con Fulgenzio Micanzio que era el consejero teológico del gobierno de Venecia.

Además de estas anotaciones, Galileo trabajó en su última obra *Discursos y demostraciones matemáticas concernientes a las dos nuevas ciencias* publicada en 1638. Una de ellas consistía en algo ciertamente novedoso como era el tratamiento matemático de la estructura de la materia o el desarrollo de una teoría sobre la resistencia a la ruptura de los materiales que no fuese lo acumulado por ingenieros y arquitectos a través de una vasta experiencia.

Como ejemplo se puede citar cómo partiendo de la ley de la palanca y de la suposición de una distribución uniforme de la cohesión de las partes, Galileo dedujo una serie de teoremas que permitieron ordenar lo que ya se sabía y que serviría de fuente para desarrollos futuros. También se reportan muchos de los resultados acumulados durante sus estudios de movimiento sobre planos inclinados donde concluye que la velocidad final que adquiere un mismo cuerpo con diferentes inclinaciones del plano es igual si las alturas de estos planos son iguales.

A continuación describe sus resultados sobre el movimiento pendular y verifica así sus resultados anteriores sobre el movimiento de caída libre sobre un plano inclinado y termina enunciando un teorema sobre la aceleración de los cuerpos en caída libre:

El tiempo que tarda un objeto que está uniformemente acelerado a partir del reposo en recorrer una cierta distancia, es igual al tiempo en el cual la misma distancia sería reco-

rrida por el mismo móvil moviéndose a velocidad constante igual a la mitad de la velocidad máxima final del movimiento uniformemente acelerado.

También enunció la ley que relaciona la distancia que un cuerpo uniformemente acelerado a partir del reposo recorre que es proporcional al cuadrado del tiempo que dura el movimiento.

La segunda ciencia de la que trataban los dos últimos diálogos de su última obra era la ciencia que concierne a los movimientos naturales, pues a pesar de que el movimiento y los cambios fueron la base de la ciencia aristotélica, no existía la ley que gobernase la aceleración de los cuerpos en caída, o la descripción precisa de la trayectoria de proyectiles después de su lanzamiento. Tal vez los teoremas deducidos por Galileo en ambas ciencias tuvieron sólo un interés formal, pero fueron la base de cómo se realiza el tratamiento matemático de muchos problemas de la naturaleza.

Una vez finalizada la escritura de los *Discursos*, el manuscrito fue sacado secretamente de Italia y publicado en Leyden, Holanda, teniendo un gran éxito.

Su última obra data de 1640 cuando escribió una larga carta al Príncipe de Medici donde refuta los ataques del peripatético Fortunio Liceti, un profesor de filosofía de Padua que explicaba una variedad de fenómenos tales como cometas, nuevas estrellas, piedras fosforescentes con argumentos distintos a los usados por él. En ella Galileo pretendía ser mejor cultor de Aristóteles que los que se decían sus seguidores, ya que estos caían en falacias en sus razonamientos, lo que no hacía él, pues tenía la seguridad de las demostraciones realizadas en los innumerables adelantos hechos por matemáticos puros.

En 1642 se apagó el genio de Galileo. Galileo, el científico que tanto aportó a la ciencia nunca renegó de su fe. Más bien llegó a decir que preferiría quemar todo su trabajo científico antes de renegar de su religión. Uno de los comentarios más citados después de su muerte es el de Luke Holste que era miembro de la casa del Cardenal Barberini, uno de los jueces que firmó su condena, decía así:

Hoy nos hemos enterado de la pérdida del Señor Galilei que afecta no sólo a Florencia si no al mundo entero y a todo nuestro siglo que de este hombre divino ha recibido más esplendor que de casi todos los otros filósofos ordinarios. Ahora, cesando la envidia, la sublimidad de este intelecto se empezará a conocer y servirá a la posteridad de guía para la búsqueda de la verdad.

La visión de Galileo del rol que debían jugar las matemáticas en la física es original ya que difiere tanto de la de Aristóteles como de la de Platón. Este último veía al mundo de puras ideas matemáticas como el único que merecía estudiarse, y si los objetos físicos no se podían describir era porque estos eran defectuosos e imperfectos. Aristóteles por su cuenta no consideraba los procedimientos matemáticos acordes con la física ya que los matemáticos ignoraban la materia. Ambos filósofos separaban el mundo abstracto de las matemáticas a contrastar con lo concreto del mundo material. Galileo en el *Diálogo* y los *Discursos* nos cuenta la historia del descubrimiento del lenguaje con el cual se lee la naturaleza. Nos explica la manera de hacerle preguntas, es decir, el método de la experimentación científica en la cual la formulación de postulados y la deducción de sus consecuencias precede y guía el recurso de la observación. Podríamos decir que la nueva ciencia es para él la prueba experimental del platonismo.

Galileo **y la estructura de la materia**

A finales del siglo XVI, ocurrió una renovación del interés por el atomismo estimulado por el *De rerum* de Lucretius y varios atomistas relegaron las ideas del plenum de Aristóteles, aunque aún se conservaban las ideas de formas substanciales y cualidades reales. Las teorías tenían una seria omisión que era como relacionar las propiedades de un cuerpo con las características de las partículas que lo componen. La contribución de Galileo a este tema ha sido en general poco recordada. Esta se encuentra expuesta en el primer día de los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* aunque desde 1612 estuvo interesado en los fenómenos de rarefacción y de condensación. ¿Cómo en el esquema de Demócrito

se puede concebir que un cuerpo formado por partículas contiguas y de tamaño finito pueda contraerse sin violar la impenetrabilidad de la materia? Si suponemos la existencia de espacios vacíos entre átomos, la dilatación implicaría el aumento de éstos ya sean en número o en tamaño, entonces ¿qué impide la disociación completa en sus partes constituyentes? Volviendo a los *Discursos*, Galileo expone una teoría de la materia que es novedosa comparada con el atomismo clásico, en la forma matemática que él delineó.

El punto importante para Galileo es la cohesión que Salviati atribuye a dos causas: la primera es la repugnancia que la naturaleza tiene no a la formación del vacío sino que la existencia del vacío entre las partículas que forman el sólido es la que explica la cohesión; y la segunda, si la primera fuese insuficiente (lo que no ocurrirá), es la existencia de una sustancia viscosa y pegajosa que mantiene tenazmente conectadas las partículas que conforman el cuerpo. Un fluido como un sólido se resiste a la formación del vacío, pero el líquido no tiene cohesión porque no hay vacío interparticular. Además, el número de estas partículas indivisibles era incuantificable. En el sólido existen además un número de vacíos que es también incuantificable. Esta es su solución a los problemas de contracción y dilatación en términos corpusculares, un número infinito de partículas dentro de un cuerpo de dimensiones finitas. En su explicación geométrica los átomos son tratados como puntos matemáticos, las líneas son las superficies de los cuerpos.

A pesar de todas las incertidumbres, ambigüedades y omisiones que presenta esta teoría, él consigue reducir la variedad de la naturaleza a un conjunto de partículas y de vacíos o huecos llegando a una propuesta apoyada en la geometría que era original y provocativa.

Galileo, el ingeniero moderno

Los adelantos tecnológicos del siglo XVII no eran motorizados por aplicaciones de la ciencia que hasta Galileo fue una actividad especulativa. Sin embargo ya se conocían algunos ingenios, por ejemplo el que se usaba para clavar pilotes que empleaba martillos-

pilones y martinetes propulsados por norias mediante engranajes y levas. Muy temprano, en 1594, obtuvo una patente sobre una máquina de pequeñas dimensiones para elevar agua con una potencia remarkable.

Durante su estadía en la Universidad de Padua (1592-1610) Galileo escribe sus deseos de entretrejer la ciencia y la tecnología:

Para poder no solamente satisfacer el cargo que tengo de las enseñanzas de las matemáticas en la Universidad de Padua, sino también aportar un extraordinario beneficio con algún invento útil.

Y cumplió esta promesa juvenil con creces. Hay que decir que en su vida siempre anduvo con muchas responsabilidades domésticas y antes como ahora la dedicación exclusiva a la enseñanza y a la investigación en física pura no ha sido la mejor forma de generar recursos que cubran los gastos de una familia. La contribución a la tecnología de nuestro hombre renacentista es muy diversa sobre todo en óptica, hidrostática y mecánica.

Su primer invento, la balanza hidrostática, fue presentado en 1586 y permitía determinar el peso específico de los cuerpos, lo que era importante para determinar las mejores piezas de artillería y cuyo cálculo fue una de las posibilidades de su compás. Este dispositivo fue presentado en 1598 y llamado *el compás geométrico y militar*, estaba concebido para resolver problemas de artillería ya que permitía a los operadores de cañones y otros objetos bélicos el calcular rápidamente la carga de pólvora y el tamaño y material de los obuses. Este compás extendió las aplicaciones del diseño previo de Niccoló Tartaglia y Guidobaldo del Monte que permitía ajustar la elevación de un cañón. Más tarde fue perfeccionado para determinar la distancia y altura de los blancos. Estos intentos de desarrollar instrumentos versátiles, capaces de dar una respuesta rápida a problemas matemáticos prácticos, son los antecesores de las calculadoras. Galileo ofrecía cada año en Padua un curso sobre el uso del compás. En 1606 publicó un libro en italiano sobre los procedimientos para realizar cálculos con el instrumento. Esta obra fue plagiada por Baldessar Capra a principios de 1607 en latín, sugiriendo que los que antes que él escribieron sobre el compás le habían robado sus ideas y diseño. Esto causó algunos contratiempos a Galileo aunque

se supo defender y demostró ante las autoridades de la Universidad de Padua que llevaba fabricando y vendiendo el instrumento desde 1597, mientras que Capra había empezado a estudiar matemáticas a partir de 1602. El libro de Capra fue confiscado. Sin embargo este desagradable episodio marcó la personalidad de Galileo y causó su desconfianza para dar información o revelar sus descubrimientos. Su contribución a la automatización del cálculo en las postrimerías del siglo XVI es absolutamente relevante como para contarle entre los pioneros de esta materia, ya que su compás permitía realizar con la ayuda de sus siete escalas las siguientes operaciones: a) pesos proporcionales de metales y transformación de un cuerpo en otro de distinto material, b) reducción proporcional de sólidos, extracción de raíces cúbicas, transformación de paralelepípedos en cubos, c) deducción proporcional de figuras superficiales, extracción de raíces cuadradas, cálculo de la media proporcional, d) división de líneas, reglas de tres, equalización del dinero y cálculo de interés, e) descripción de polígonos regulares y su circunscripción a un círculo, f) reducción de una figura irregular rectilínea a una regular, g) realización de la cuadratura de las varias proporciones del círculo. El compás de Galileo fue sin duda una innovación con sus escalas esteométrica, aritmética, geométrica y se siguió utilizando y es el indiscutible precursor de la regla de cálculo introducida por Edmund Gunter que fue el primero en usar escalas logarítmicas.

Otro ejemplo bien conocido es el diseño del telescopio, que si bien no fue el primero en proponerlo, si fue el primero en mejorar su diseño desde un aumento de 5 a uno de 32 gracias a los lentes cuidadosamente pulidos por él e inicialmente denominado cristal espía y después antejo, cuyo uso práctico enfatizó ante el Rey de España en 1617 como dispositivo para visualizar barcos enemigos o amigos, con varias horas de antelación a lo que se acostumbraba a conseguir a simple vista; así como para la navegación si se les daba a los marineros una instrucción previa de 10 a 15 días a lo sumo. También propuso varios sistemas telescópicos para usar en barcos en movimiento como es una plataforma estabilizadora para aislar el telescopio de los vaivenes del barco y otro que era un casco con telescopio incorporado, también precursor de los cascos de piloto.

En 1603 ya Castelli reportaba haber visto en manos de Galileo un termoscopio que permitía cuantificar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a la altura alcanzada por el agua en su ascenso por un capilar al subir la temperatura de un fluido, en este caso el agua contenida en un

reservorio. Más adelante se propusieron variantes de este esquema con diferentes fluidos y sus correspondientes escalas.

Desde 1602 el movimiento pendular atrajo su interés, descubrió el isocronismo del péndulo, es decir, que su período es independiente de su amplitud de oscilación (lo que es cierto sólo si ésta no es muy grande). La influencia del largo del hilo o del peso del cuerpo sobre el período también fueron investigados por él. El péndulo fue usado para medir pulsaciones o como metrónomo. Sin embargo, no fue hasta 1641 que Galileo, ya ciego y agotado por las enfermedades y por su lucha con la Iglesia, retornó a buscar mejorar los relojes medievales usando un péndulo adaptado con pesos o resortes, e incluso con la ayuda de su hijo hizo un posible esquema del dispositivo que tenía en mente. Pensaba que al ser basado en un movimiento natural no tendría los inconvenientes que presentaban otros dispositivos.

Todo lo anterior muestra en forma indiscutible por qué muchos consideran a Galileo el padre de la ingeniería moderna, ya que elevó la tecnología de un simple empirismo de los artesanos a la compañera de la ciencia pura, a la que debe seguir y justificar así los esfuerzos y recursos invertidos en ésta como se ha demostrado a través de los siglos.

Conclusiones

Hemos llegado al final del ciclo de charlas organizado por el Vicerrectorado Académico de esta casa para conmemorar los 450 años del nacimiento de Galileo. Nos hemos paseado por el Galileo del reclamo permanente, originalmente presentado por el Dr. Rondón Nucete; luego por la visión del Galileo filósofo y religioso que aquí mismo presentó brillantemente el Dr. Ricardo Contreras; hoy me tocó a mí hablarles del Galileo científico y espero haberles mostrado quién fue Galileo y cuáles fueron sus principales aportes.

Lo que más me impresionó de su personalidad fueron sus múltiples facetas, ¿con cuál nos quedamos?

¿Con el Galileo aristotélico de sus primeros años, y como el mismo decía que sabía más sobre el tema que los peripatéticos que le atacaban?

¿Con el Galileo platónico debido a su amor por las matemáticas?

¿Con el Galileo innovador sobre cuál debía ser el camino para llegar a nuevos descubrimientos?

¿Con el Galileo responsable que siempre se ocupó de sus hermanas y sus hijos proveyendo recursos para dotes y pensiones?

¿Con el Galileo experimentador metódico que diseñaba cuidadosamente los procedimientos y equipos necesarios para el estudio de la naturaleza?

¿Con el Galileo astrónomo que descubrió y midió el relieve de la luna, las manchas solares, observó las fases de Venus, descubrió los satélites de Júpiter, observó los anillos de Saturno y el planeta Neptuno. Detectó los millones de estrellas en la Vía Láctea?

¿Con el Galileo físico que estudió el movimiento de cuerpos en caída libre o con movimiento pendular descubriendo su isocronía, que introdujo una manera de medir el centro de gravedad de los cuerpos, que enunció el principio de relatividad Galileana, de conservación de la energía, de la trayectoria parabólica de los proyectiles, que trató de establecer un modelo de la materia?

¿Con el Galileo ingeniero que constantemente buscaba las aplicaciones prácticas que sus conocimientos podrían tener, que construyó el compás geométrico y militar pues ayudaba al lanzamiento preciso de proyectiles pero también permitía realizar automáticamente cálculos en forma rápida y precisa, que diseñó un telescopio, un microscopio, una balanza hidrostática, un termoscopio?

¿Con el Galileo que se rebeló contra las creencias profundamente ancladas durante siglos y luchó por demostrar la superioridad de la nueva ciencia?

¿Con el Galileo que se atrevió a divulgar resultados que según la poderosa Iglesia de esa época contradecían las escrituras y eran considerados heréticos?

¿Con el Galileo que a pesar de los tormentos que sufrió pero no olvidó su fe católica ni en su pensamiento abjuró su ciencia?

¿Con cuál de ellos?

Newton refiriéndose a Kepler y Galileo dijo la bien conocida frase: “Si vi más lejos [que otros hombres] es porque estuve montado sobre los hombros de gigantes”.

Y para terminar algo de lo que dijo Einstein:

El pensamiento puramente lógico no nos puede traer conocimientos sobre el mundo empírico; todo conocimiento de la realidad empieza y termina en la experiencia. Las proposiciones a las que se llega por medios puramente lógicos están completamente vacías en lo que concierne la realidad. Porque Galileo vio esto y particularmente porque lo introdujo y lo impulsó en el mundo científico, él es el padre de la física moderna- más bien de la ciencia moderna entera.

Bibliografía

- Alexandre Koyré, *Galileo and Plato*, J. History Ideas, 4, 400-428 (1943).
- Stillman Drake, *Galileo: A Very Short Introduction*, Oxford University Press (1980).
- Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific biography*, University of Chicago Press, Chicago, USA (1978).
- Winifred Lovell Wisan , *New Perspectives on Galileo*, 1-58, R. E. Butts and J. C. Pitt Editors, D. Reidel Pub. Co, Dordrecht, Holland (1978).
- H. E. Le Grand, *Galileo's Matter Theory*, *New Perspectives on Galileo*, 197-208, R. E. Butts and J. C. Pitt Editors, D. Reidel Pub. Co, Dordrecht, Holland (1978).
- Michael Segré, *In the Wake of Galileo*, Rutgers University Press, New Brunswick , NJ USA (1991).
- Paolo Palmieri, *Stud. Hist. Phil. Sci.* 34, 229-264 (2003).
- Alfredo Vallota, *Galileo: Su Tiempo y el Nuestro*, *Il Veltro*, 1-2, 49-60 (1994).
- Pedro Lluberés, *Galileo y la Matematización de la Naturaleza*, *Il Veltro*, 1-2, 69-83 (1994).
- Francisco García Sánchez, *Galileo en la automatización del Cálculo*, *Il Veltro*, 1-2, 85-98 (1994).
- Dava Sobel, *Galileo's Daughter*, Fourth Estate, London (1988).



La música de las esferas

y el infinito matemático

en la obra de Galileo

| Francisco Rivero |

*Conferencia dictada en el
Paraninfo de la Universidad de Los Andes
el 7 de octubre de 2014,
en ocasión del 450 aniversario del nacimiento
de Galileo Galilei*

P

Prehudio

Vicenzo Galileo experimentando con las longitudes y fuerzas de tensión de cuerdas, descubre una ley matemática que contradice el viejo sistema de notas usados en la teoría. Posiblemente Galileo fue testigo de estos experimentos y los tuvo en mente cuando, más tarde, emprendió la búsqueda de leyes para los cambios de velocidad de los cuerpos en caída libre. Los escritos de su padre también se asemejan a los de Galileo en sus controversias sobre la ciencia.

Stillman Drake

Es placentero escuchar la composición musical *El Clavecín bien temperado* (en alemán *Das wohltemperite Klavier*) de Juan Sebastián Bach (1685-1750), obra fundamental del período barroco o quizás de toda la música clásica occidental. Sus notas son agradables al oído pues forman patrones musicales que esconden relaciones matemáticas. La obra de Juan Sebastián Bach no tiene parangón en la historia de la música, por su capacidad para combinar ideas y conceptos abstractos como el contrapunto, las fugas y los cánones, con un sentido sofisticado de la belleza.

Esta obra monumental está compuesta por dos ciclos o colecciones de preludios y fugas. Cada ciclo o libro consta de 24 preludios con su correspondiente fuga en las 12 tonalidades de la escala musical cromática. Así pues, el primer par comienza en do mayor, luego el siguiente en do menor, a este le sigue otro en do sostenido mayor y así sucesivamente hasta haber pasado por toda la gama cromática de mayor a menor.

La primera parte del *Clavecín bien temperado* fue compuesta en 1722, tenía la finalidad de entrenar a sus hijos, que también fueron grandes compositores. En 1744 escribe un segundo juego con nuevos recursos técnicos, para un instrumento nuevo. Son pues 48 piezas en total, conformando una obra didáctica “para la práctica y el provecho de los jóvenes músicos deseosos de aprender y para el entretenimiento de aquello que ya conocen este arte”.

Sobre el título de esta obra debemos decir que el **Temperamento** es un tipo de afinación de los instrumentos musicales. Y es en este punto donde se junta la música con la matemática.

La física del sonido

Afinar un instrumento como el teclado, es tensar sus cuerdas de manera que al pulsarlas o golpearlas, vibren a unas **Frecuencias** determinadas. Dichas frecuencias producen sonidos agradables al oído que son las notas musicales. El conjunto de las siete notas musicales do, re, mi, fa, sol, la, si es lo que llamamos la **Escala Musical Pitagórica**. La elección de estas notas está justificada por el grado de consonancia entre ellas.

Esta primera escala, fue bastante usada desde la antigüedad hasta el renacimiento. En ella se dividían los sonidos en siete frecuencias desiguales. Los radios de las frecuencias eran fracciones exactas de números enteros. Así pues la relación entre la nota do y la nota sol era de $3/2$. Por tal razón a esta quinta nota se le denomina la **Quinta Perfecta**. En la Escuela de Pitágoras, los números naturales tenían el rango de divinidades, con lo cual esta sustancia mística pasaba a la música.

La construcción de la Escala Pitagórica se hace con un instrumento de una sola cuerda tensada llamado **El Monocordio**, en el cual podemos hacer variar la longitud de la cuerda. Si la frecuencia de vibración es t , entonces convenimos que esta es la primera nota do. Al reducir la cuerda a la mitad, la frecuencia de vibración se duplica a $2t$, y este sonido es casi igual al primero (un poco más agudo), es la octava nota o el do de la escala siguiente. Entre estas dos frecuencias t y $2t$ iremos agregando otras frecuencias usando fracciones enteras. Así pues $3/2 t$ es la nota sol. Si dividimos la frecuencia $2t$ entre $3/2 t$, tendremos la frecuencia $4/3 t$ que corresponde a la nota fa. El **Intervalo de Frecuencia** entre fa y sol es el cociente de ambas frecuencias y esto nos da $9/8$. Este intervalo de frecuencia será llamado un **Tono**.

La distribución de las notas musicales, su frecuencia y sus intervalos de frecuencia en la Escala Pitagórica, vienen dadas en los siguientes cuadros.

Nombre de la nota	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do'
Frecuencia	1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2

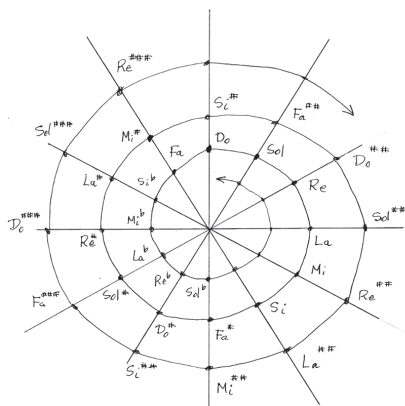
Intervalos de Frecuencia	Do-Re	Re-Mi	Mi - Fa	Fa-Sol	Sol-La	La-Si	Si-Do'
Tono	9/8	9/8	256/243	9/8	9/8	9/8	256/243

Este pequeño intervalo de 256/243 que aparece entre las notas Mi-Fa y Si-Do es lo que se llama un **Semitono**.

La escala Pitagórica posee gran belleza y simetría desde el punto de vista matemático, pues todas las notas se expresan en cocientes de potencias de 2 y 3, al igual que los intervalos de frecuencia. Sin embargo, al querer trasponer la escala para generar otra igual con sonidos más agudos, o más graves, nos encontramos con serios problemas.

Si uno toma la escala de arriba P, y quiere construir otra escala Pitagórica, con la misma sucesión de intervalos de tonos y semitonos intervalos, entonces multiplicamos cada frecuencia de la nota por $2/3$ (Trasposición de quinta) y cuando sea necesario se baja la nota una octava. Vamos a obtener otra escala P', la cual contiene casi todas las notas anteriores. Sin embargo, aparece una nueva nota cuyo radio de frecuencia es $3^6/2^9$. Notemos que $2^2/3 < 3^6/2^9 < 3/2$. Esta nueva nota es la conocida $fa^\#$ o fa sostenido, que yace entre las notas fa y sol.

Este proceso de trasposición de escalas nos conduce a una sucesión infinitas de nuevas notas que se pueden representar en una espiral, llamada **Espiral Pitagórica de Quintas**.



Durante el Renacimiento, con el desarrollo de la música polifónica, comenzaron a usarse armonías que empleaban intervalos de octavas, quintas y cuartas. El uso de esas trasposiciones obligaba a modificar ligeramente la escala pitagórica para poder afinar los instrumentos. Durante el siglo XVI se hicieron varios intentos para incorporar más quintas y terceras consonantes. El más notable de todos ellos fue Giuseppe Zarlino Maestro de coro de la Catedral de San Marcos en Venecia. Propuso un sistema de afinación con doce notas, llamado de **Afinación Justa**. En dicha escala sonora, las notas poseen frecuencias que se expresan en términos de fracciones con los números 2, 3 y 5, como vemos a continuación.

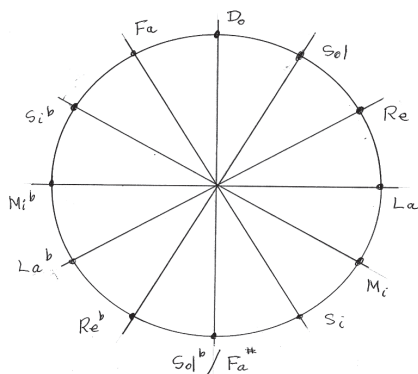
Nombre de la nota	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do'
Frecuencia	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
Intervalos de Frecuencia	Do-Re	Re-Mi	Mi - Fa	Fa-Sol	Sol-La	La-Si	Si-Do'	
Tono	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	

Nuevos intervalos de frecuencia ocurren en esta escala, que no aparecían en la vieja Escala Pitagórica. Esto trajo el problema de nuevas notas que sonaban algo desafinadas.

El padre de Galileo, Vincenzo Galilei en su *Dialogo della música antica e moderna* (1581), propuso una escala construida con semitonos con radio de frecuencia 18/17. Es una ley matemática en el campo de la música, obtenida por un proceso de experimentación y medición. Esta escala daba resultados bastante buenos pues permitía hacer trasposiciones sin generar nuevas notas. Sin embargo todavía era imperfecta, pues la quinta y la octava eran algo disminuidas.

La disputa del padre de Galileo con Zarlino posee algunos aspectos similares a la controversia de Galileo con los peripatéticos, defensores del viejo sistema Ptolemaico. Vincenzo decía que en la práctica es posible dividir un tono en dos partes iguales. Esto es equivalente a la división de 9/8 en razones iguales, o en notación moderna, hallar un número x cuyo cuadrado es igual a 9/8. Dicho número sabemos que es irracional y no puede expresarse como el cociente de dos enteros. Por tal motivo se violaban las normas de los músicos y matemáticos teóricos, que eran ideas de Pitágoras aceptadas por la Iglesia durante siglos.

La manera de afinar los instrumentos con dicha escala se llama **Afinación Bien Temperada**. Esta escala antinatural que rompía con la tradición musical proveniente desde los griegos tuvo sus detractores, entre ellos los matemáticos puros que veían en ella una violación de los principios básicos de Pitágoras. De cualquier manera el padre de Galileo pudo resolver el problema de las infinitas notas y con esto la espiral infinita se redujo a un círculo de doce notas, llamado **Círculo de Quintas**.



La solución definitiva la propuso el matemático holandés Simon Stevin (1548-1620) quien propuso el semitono igual a una frecuencia exacta que era igual a la raíz doceava de dos es decir, el número irracional $2^{1/12}$. Dicha escala resolvía el problema de la infinitud de notas pero sin embargo la quinta nota era algo disminuida. Esta manera de afinar los instrumentos se llamó de **Igual Temperamento**.

La escala de doce notas o Escala Cromática, es la que poseen los pianos y otros instrumentos musicales hoy en día. Las siete notas blancas corresponden al do-re-mi-fa-sol-la-si (Escala Pitagórica), mientras que las negras son las nuevas notas añadidas. Entre nota y nota debe haber aproximadamente un intervalo de un semitono.

Así pues, gracias al padre de Galileo, tenemos hoy en día las composiciones maravillosas de la música clásica. De haber ganado la disputa Zarlino y los matemáticos puros de aquella época otro hubiese sido el destino de la música. El temperamento tardó casi un siglo en imponerse. Un día Juan Sebastián Bach afinaba su clavicordio de esta manera, podía tocar sus 24 preludios y fugas en todas las tonalidades sin necesidad de volver a afinarlo para cada pieza, dándole así un respaldo al nuevo sistema, para gran placer de nosotros oyentes.

La música de las esferas

Para los antiguos, el hecho de tener una escala musical de siete notas y contar con siete planetas en el cielo no era un hecho casual. Pensaron algunos que el Universo estaba regido por la música. Por otra parte, la música dependía de los números enteros. Así pues, el número reinaba sobre todas las cosas.

Para poder hablar del gigante Galileo Galilei y su legado científico, necesario es referirse primero a otro gigante: el matemático y astrónomo Johannes Kepler (1571-1630). Kepler fue un gran amigo y aliado de Galileo en la gran revolución científica que se estaba gestando. Se le considera la figura complementaria de éste. Siempre aceptó las teorías de Copérnico sobre el sistema solar, sin obstáculos ni impedimentos en cuanto a su fe religiosa, pues era protestante. Estableció las tres leyes del movimiento de los planetas, lo cual lo convierte en el padre de la astronomía moderna.

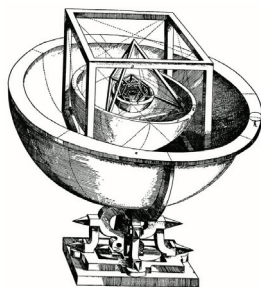
Muchos conocen las tres leyes de la astronomía, pero muy pocos conocen acerca de la manera en que fueron concebidas. Este hombre del renacimiento siempre siguió el Método Hipotético. Su mente construía modelos y resultados a partir de unos pocos principios con ciertas analogías con la naturaleza. A pesar de ser un método poco filosófico, Kepler pudo llegar con él a las más grandes verdades de la ciencia moderna.

La conexión maravillosa entre música y astronomía llevó a Kepler a pensar en un sistema ideal de un Universo regido por leyes matemáticas sencillas y las notas musicales. En su obra *Mysterium Cosmographicum*, publicada a los 25 años de edad, el matemático propone una teoría sobre la geometría del Universo basada en sus investigaciones científicas, y dando una demostración matemática de la Teoría Copernicana, aunque algo fantástica y errónea. Kepler, a diferencia de Galileo, era muy respetuoso de la antigüedad clásica, por tal motivo ubica los seis planetas conocidos hasta entonces en el sistema solar siguiendo un patrón parecido al de escala Pitagórica. Fueron bellas teorías que luego resultaron ser erróneas aunque poseedoras de una gran atractivo estético. En esta teoría, los radios de las distancias entre las orbitas vecinas eran iguales a las frecuencias de vibración de una cuerda. Además,

para reforzar el carácter bello, profundamente geométrico y platónico de su teoría, cada una de las esferas planetarias estaba inscrita dentro de uno de los cinco **Sólidos de Platón**.

En primer lugar, había una gran esfera donde se movía Saturno. Entre Saturno y Júpiter había un cubo inscrito y dentro de éste la esfera donde se movía Júpiter. Dentro de esta había un tetraedro y dentro de él, la esfera de Marte. Dentro de esta esfera había un dodecaedro que contenía la esfera de La Tierra. Entre las esferas de la Tierra y Venus había inscrito un icosaedro. Entre Venus y Mercurio estaba el Octaedro.

El Universo todo en su movimiento incesante de esferas que giraban y se tocaban unas con las otras producía un tipo de música celestial perfecta. Era la **Música de las Esferas**.



Galileo el matemático

El astrónomo, matemático, filósofo natural e ingeniero Galileo Galilei, nacido en Pisa, Italia, un día 15 de febrero de 1564, fue uno de los pioneros de la ciencia moderna. Es el autor de la hermosa frase: "Las matemáticas son el alfabeto con el cual Dios ha escrito el Universo."

A pesar de lo que piensan muchos, el científico italiano Galileo Galilei, no fue un matemático puro en el sentido estricto del término, como sí lo fueron Francisco Vieta, Cardano o su discípulo Cavalieri. No descubrió teoremas ni leyes dentro de esta ciencia. Durante su vida, y en todos sus escritos, colocaba el título de Filósofo Natural antes que

el de matemático. En Italia la profesión de matemático no tenía reconocimiento social como en otros países de Europa. Algunos astrónomos contemporáneos de Galileo como Johannes Kepler y el danés Tycho Brahe eran matemáticos de alguna corte.

El mayor aporte de Galileo a las matemáticas fue la aplicación de esta ciencia en la física, mediante la determinación de leyes naturales del movimiento. Se le puede considerar entonces como el padre de la Física Matemática moderna: fue un digno heredero de la tradición griega de razonamiento libre; siguiendo los pasos de Euclides, Arquímedes y Apolonio, logró interpretar el mundo real en términos de cantidades medibles. En cuanto a su formación y carrera como matemático, anotamos los siguientes hechos históricos que nos pueden ayudar a comprender y valorar su legado.

1. En 1581, a la edad de 17 años, se matricula en la Universidad de Pisa para estudiar Medicina, de acuerdo a los deseos de su padre.
2. En 1583 atiende las conferencias sobre los Elementos de Euclides, no en la universidad sino en una cátedra libre dictada por el matemático Ostilio Ricci quien se encontraba al servicio del Conde de Toscana. Éste, al ver las condiciones innatas para la matemática de su alumno, le solicita al padre de Galileo, Vincenzo que su hijo se dedique al estudio de la Filosofía y las Matemáticas y abandone las Medicina. Esto se cumplió en 1585, dejando el joven los estudios incompletos.
3. Después de dejar la Universidad se dedica a dar clases particulares de matemáticas y prepara su primer trabajo científico en 1586: una disertación sobre el balance hidrostático, mezcla de teoría y práctica, sobre la obra de Arquímedes.
4. Un segundo trabajo donde produce un método práctico para hallar el centro de gravedad de algunos sólidos, *Theoremata circa centrum gravitatis solidum*, siguiendo las ideas de Arquímedes en el plano. En este trabajo demuestra sus habilidades como matemático con algunos procedimientos bastante ingeniosos. Esta obra le da fama y reconocimiento. Conoce a Cristoforus Clavius eminente matemático y astrónomo, en el Colegio de los Jesuitas de Roma, con quien mantiene una larga amistad. Clavius es el matemático más importante de aquella época. Era un jesuita asesor del Papa Gregorio, quien diseñó la reforma del calendario Juliano, por el nuevo Calendario Gregoriano, puesto en marcha el 5 de Octubre de 1572. Se encuentra también

con el matemático Guidobaldo del Monte. Este último recomienda a Galileo con el duque Fernando I de Toscana, que lo nombra para la cátedra de matemáticas de la Universidad de Pisa, con un salario de 60 escudos de oro por año, una cantidad de dinero casi miserable.

5. En 1589 ingresa como profesor en la Universidad de Pisa. Es importante señalar que durante sus años en Pisa, Galileo se dedica a largas discusiones de tipo filosófico con otros colegas. Comienza a dudar de la física de Aristóteles y plantea sus argumentos en un primer tratado llamado *De Motu*. En este se mezclan ideas científicas con simples especulaciones sobre el movimiento de los cuerpos. De esa época son sus famosos experimentos en la torre inclinada de Pisa para demostrarle a los estudiantes que todos los cuerpos del mismo material tardan el mismo tiempo en caer, independientemente del peso, atravesando el mismo medio (en este caso el aire).
6. Después de pasar tres años en Pisa, Galileo es designado Profesor de Matemáticas de la Universidad de Padua en 1592, gracias a la ayuda de sus patronos. Una posición mucho más importante y mejor pagada, con el triple del salario. En aquel centro acudían nobles de toda Italia a realizar estudios destinados a carreras militares. Galileo entonces, para aumentar sus entradas, ofrece cursos privados sobre fortificaciones, arquitectura militar, geodésicos, mecánica y temas relacionados. No se interesará en Astronomía hasta 1597 cuando entre en contacto con las obras de Kepler.

Uno de sus aportes de carácter práctico hacia la matemática es la construcción de un compás para realizar cálculos matemáticos con propósitos militares. Dicho compas tenía marcas a la misma distancia en cada brazo que servían para realizar operaciones geométricas sencillas, como por ejemplo, dividir un segmento en cinco partes iguales. Galileo buscó a un fabricante para hacer copias de aquel instrumento y las vendía con bastante éxito.

Estando en Padua continúa con sus investigaciones sobre el movimiento de los cuerpos y hace una revisión de su tratado *De Motu*, el cual contenía algunos errores. Gracias a estos errores se concentra en corregirlos y esto lo lleva a descubrir hechos verdaderos. Establece dos teoremas sobre el movimiento en planos inclinados. Para ello trabaja de manera experimental con bolas de metal pulidas, que se deslizan por una canal con una pequeña inclinación. Como no había reloj en aquella época, Galileo usaba cubetas de agua que goteaban sobre otro recipiente. También empleaba su pulso. Inclu-

sive usaba notas musicales producidas por el laúd para medir el tiempo.

La obsesión de medir el tiempo con exactitud fue una pasión constante en sus años dentro de la Universidad de Padua. Esta obsesión lo llevó a realizar grandes descubrimientos de cosas aparentemente insignificantes para la mente de las personas normales. Una vez, estando en la Catedral de Pisa, descubre que una lámpara colgante se mueve con un ritmo bastante regular, y para constatar esta hipótesis, mide las oscilaciones con su propio pulso. Descubre entonces las potencialidades del péndulo como instrumento de medición del pulso. Estas indagaciones las comparte con Santorre Santorio, un médico residenciado en Venecia, quien sería más tarde profesor de la Universidad de Padua. Él fue el inventor del pulsímetro y no Galileo como algunos afirmaban.

7. En 1603 Galileo comienza sus estudios sobre la aceleración y caída libre de los cuerpos de manera científica y descubriendo leyes matemáticas. Para esto resultan fundamentales sus experimentos de 1604 con bolas rodando por planos inclinados comparando los sucesivos cambios de velocidad. La sucesión de velocidades en descenso sigue los números 1, 3, 5, 7, ... mientras que las distancias empleadas nos dan la sucesión 1, 4, 9, 16, ..., lo cual le sugiere la Ley para los cuerpos en caída libre: la distancia recorrida desde el reposo es directamente proporcionales al cuadrado del tiempo empleado.

De esta manera Galileo empieza a abandonar la búsqueda de causas como era de rigor en el Sistema de Aristóteles, por un nuevo ideal de ciencia basado en la experimentación y la medición correcta. Estas leyes del movimiento, obtenida de manera empírica por Galileo, deberán esperar hasta la siguiente generación de científicos como Newton, Leibniz, Fermat y Descartes para ser demostradas con todo rigor, con la invención de una poderosa herramienta matemática como lo es el Cálculo Diferencial e Integral.

8. A partir de 1605, cuando empieza a trabajar en Florencia como tutor del Príncipe Cosimo de Medici, los estudios de astronomía ocuparán un lugar central en la carrera de Galileo. Sería una tarea difícil describir en pocas páginas todos sus descubrimientos y avances teóricos en este campo, rompiendo viejos paradigmas de Ptolomeo, enfrentándose a los más notables pensadores de Italia y recibiendo los ataques de la Iglesia y sus filósofos peripatéticos. Todo por derribar el sistema filosófico de Aristóteles en cuanto a las ciencias naturales. Basta decir que sus observaciones confirmaron la validez

del sistema copernicano en el cual los planetas se mueven en órbitas alrededor del sol, al igual que lo hace la Tierra. La Tierra ya no sería más el centro del Universo.

Galileo y el Infinito

Quizás la obra científica más importante de Galileo sean sus *Diálogos sobre los dos sistemas del mundo: ptolemaico y copernicano*, publicada en 1632, en donde hace una defensa del modelo de Copérnico. El objetivo principal de esta obra era el de explicar científicamente el movimiento de las mareas. Pero esta asunción implicaba el movimiento de la tierra, lo cual iba en contra de los dogmas cristianos. Por tal motivo su autor se vale de un estilo literario muy popular en aquella época, en el que, para educar al público, se presenta una dialogo ameno entre un experto, un árbitro imparcial y un aprendiz.

Uno de los problemas que aborda es el de explicar el concepto de lo infinitamente pequeño en matemáticas, concepto éste que sería retomado luego por los fundadores del Cálculo Diferencial, muchos años más tarde. Galileo intuye la necesidad de tener distintos tipos de infinitos.

Los tres personajes de la obra son Simplicio, un peripatético y ptolemaico convencido, Salviati, un defensor de las ideas de Copérnico, y Sagredo, quien hace de árbitro.

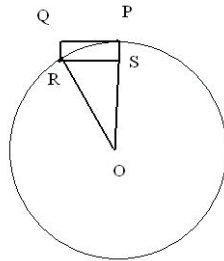
En la tercera parte del dialogo aparece por vez primera el problema del infinito absoluto. Una observación correcta e inteligente es que al sustraer cualquier cantidad finita del infinito se obtiene el mismo resultado.

Simplicio: “Primero diré algo en general sobre todas estas cosas en su conjunto, después pasaré a lo particular. Me parece que, en general, os basáis en la mayor simplicidad y facilidad para producir los mismos efectos, cuando consideráis que respecto al modo de causarlos, tanto da mover sólo la Tierra como todo el resto del mundo excepto la Tierra, pero respecto al modo de obrar, consideráis mucho más fácil la primera posibilidad que la segunda. A lo cual yo os respondo que también a mí me parece lo mismo si yo considero mi fuerza, no ya fi-

nita, sino debilísima. Pero respecto a la potencia [virtu] del Motor, que es infinita, no es menos fácil mover el universo que la Tierra o que una paja. Y si la potencia es infinita, ¿por qué no debe ejercerse más bien una parte grande que una pequeña? Por tanto, me parece que el argumento en general no es eficaz.”

Salviati: “Si yo hubiese dicho alguna vez que el universo no se mueve por falta de potencia del Motor, habría errado y vuestra corrección sería oportuna. Y os concedo que a una potencia infinita le es tan fácil mover cien mil como uno.”

Un poco más adelante surge el concepto de infinitesimal como algo infinitamente pequeño. Además diferencia entre distintos tipos de infinitésimos, desarrollando ideas propias del Cálculo Integral. En su dialogo concluye que los objetos sobre la superficie de la tierra, por ejemplo los barcos, los hombres, los pájaros y las bala de cañón están todos sometidos a dos movimientos originados por dos tipos de fuerza: una que actúa en la dirección vertical del radio terrestre hacia su centro y otra fuerza tangencial originada por la rotación terrestre. El hecho de que los hombres, los animales y las casas no salgan despedidos hacia afuera horizontalmente como cuando se lanza una piedra con una honda, se debe a que continuamente caemos hacia el centro. Estos dos movimientos infinitesimales se combinan para que estemos siempre solidarios sobre la superficie. El movimiento QR es infinitamente pequeño con el desplazamiento horizontal PQ (ver la figura).



Algunos años más tarde aborda un tercer tipo de infinito, el Infinito Potencial que se tiene en los números enteros. La obra *Discurso y demostración matemática, en torno a dos nuevas ciencias* (el título original en italiano es *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*) es el último libro escrito por Galileo Galilei, publicado en el año 1638, que incluye gran parte de su trabajo de los 30 años anteriores. En él es-

tablece los fundamentos de la mecánica en tanto ciencia y marca así el fin de la física aristotélica.

En esos diálogos se repiten los tres personajes. Salviati le hace ver a Simplicio la correspondencia uno a uno que existe entre los números naturales y los cuadrados perfectos, a pesar de que estos últimos son cada vez más escasos. Sin embargo podemos contar los cuadrados perfectos, siguiendo los naturales, con lo cual a cada cuadrado perfecto n^2 se le asocia el natural n . “Podemos ver entonces que hay tantos cuadrados como enteros”. Esto por supuesto es la propiedad fundamental de los conjuntos infinitos, los cuales poseen subconjuntos propios infinitos del mismo tamaño. Galileo, sin embargo, no llega en sus especulaciones tan lejos como para afirmar esta proposición, que sería la definición correcta de conjuntos Infinitos. La Matemática debería esperar el año de 1872 cuando Georges Cantor da la definición correcta del infinito. A partir de entonces el hombre pudo decir algo sobre el infinito en términos de la razón y abrió así el Paraíso para los matemáticos. Como dice Carl Boyer en su libro de Historia de la Matemática, “Galileo, como Moisés, tuvo la visión de la tierra prometida, pero nunca pudo entrar en ella”

Bibliografía

- Stillman Drake. *Galileo*. Hill and Wang. New York. 1980.
- Galileo. *Diálogos de los sistemas del mundo*.
- Carl B. Boyer. *A history of mathematics*. John Wiley & Son. United States. 1991.
- Neil Bibby. *Tuning and temperament: closing the spiral*. En Music and Mathematics. Oxford University Press. Oxford, New York. 2003.
- Arthur Koestler. *Kepler*. Salvat. Barcelona. 1985.



***Las manchas solares
en tiempos de Galileo:
la polémica de hace 400 años***

| Marcos A. Peñaloza-Murillo |

*Conferencia dictada en el
Paraninfo de la Universidad de Los Andes
el 10 de octubre de 2014,
en ocasión del 450 aniversario del nacimiento
de Galileo Galilei*

Introducción

El descomunal y enceguedor brillo del Sol¹ no fue ni ha sido realmente un obstáculo infranqueable para que sus manchas fueran detectadas, a simple vista, tan temprano como en 165 a.C. en China (Yau & Stephenson, 1988), o en 466 a.C. en Grecia (Bicknell, 1968; Wittmann, 1978), o en 939 en la península Ibérica (Vaquero & Gallego, 2002), o en 1105 en Korea (Lee, et ál., 2004) o en 1139 en Bohemia (Křivský, 1985) o en el siglo 13 en Mesoamérica (Galindo Trejo & Allen, 2005). Se estima que, entre 165 a.C. y 1608, hubo 157 avistamientos de ellas, registrados y distribuidos mayormente en China, pero con algunas de estas en Korea y Vietnam (Yau & Stephenson, 1988). Otra estimación indica un total de 147 registros, entre 466 a.C. y 1638, el cual incluye 20 avistamientos hechos en Europa [Italia (44-43 a.C., ~1450), Rusia 1365, 1371), Praga (1607), Portugal (934), etc] (Wittmann, 1978) y dos hechos en Arabia (840, 1195) (Wittmann, 1978). En todas estas observaciones, obviamente, jugó un papel crucial la interferencia atmosférica que permitió atenuar el brillo para poder ver cómodamente el disco solar (nubosidad, vulcanismo, nubes de polvo, etc) (Scuderi, 1990; Hameed & Gong, 1991) con el ojo desnudo (Vaquero & Vázquez, 2009). Aun, la imagen solar reflejada en superficies de aguas tranquilas pudo haber sido otra manera de avistar estas manchas con comodidad (Sarton, 1947), sin protección. Con protección, a lo mejor, los astrónomos orientales usaron como filtros, cristales de roca o jade pulido (Eddy et ál., 1989).

Con el advenimiento del telescopio y su uso, en el siglo XVII, principalmente por parte de Galileo Galilei (1564-1642), Thomas Harriot (1560-1621), Christoph Scheiner (1576-1650), Johann Fabricius (1587-1616?) y otros (como los pintores Domenisico Cresti di Passignano y Ludovico Carda da Cigoli (Mitchell, 1916a) en Italia, amigos de Galileo, y Jean Trade (Baumgartner, 1987) en Francia, para explorar el Sol (por reflexión, filtraje, etc), el conocimiento de las manchas solares da

un salto significativo (Mitchell, 1916a; Baumgartner, 1987; Shea, 1970; Casanovas, 1997; Chapman, 1995, 2008; Biagioli, 2002; Bredekamp, 2009), en el lapso de 1610-1630. Pero hay que recordar que este salto se desarrolla en una Europa renacentista sumergida y convulsionada por guerras religiosas y conflictos políticos producidos, entre otras causas, por los movimientos reformistas o protestantes (Lutero, Calvino, etc.) y el movimiento de la contra-reforma católica (Compañía de Jesús, Concilio de Trento, Congregación del Santo Oficio, etc.) lo cual no favoreció mucho un escenario o ambiente apropiado para la recepción de nuevos descubrimientos naturales y su discusión, que pusieran en duda la autoridad del Papa, y en peligro la fe religiosa y la filosofía escolástica, basada en el aristotelismo, Tomás de Aquino, etc (Lerner & Gosselin, 1987; Miller, 2008).

Quién descubrió telescópicamente primero las manchas solares

Todavía no hay acuerdo unánime sobre quién fue el primer observador y descubridor de las manchas solares con un telescopio. Al respecto siempre ha habido controversia. Cronológicamente hablando, y por la documentación disponible, parece que el primero en observar las manchas solares con un telescopio fue Galileo, si nos atenemos a sus declaraciones escritas en sus cartas y al análisis de otros documentos (Mitchell, 1916a). De acuerdo a este análisis, Galileo debió haber hecho el descubrimiento de las manchas (sin saber qué eran, obviamente) en los meses de verano de 1610, pero dudaba en reportar públicamente el descubrimiento, precisamente, porque no sabía qué eran ellas y así lo hizo constar por escrito (Mitchell, 1916a). Por eso es que la publicación de Fabricius (Fig. 1a), con sus dibujos o diagramas, es la primera en dar a conocer las manchas solares (hechas con la ayuda de su padre David Fabricius). Esta publicación, un pequeño libro titulado *Maculis in solis observatis, et apparente earum cum sole conversione narratio*² (Fig. 1b), es enviado a la imprenta el 13 de junio de 1611. Desafortunadamente Fabricius, de origen alemán, muere a la edad de 29 años (?) y su padre escribe en una carta que, su hijo hizo la primera observación de las manchas solares el 27 de febrero de 1611 (viejo calendario juliano) en el pueblo de Osteel, al este de Friesland, Holanda, cuando aún era

un estudiante de medicina (Casanovas, 1997). Dependiendo del criterio aplicado, entonces, ¿quién observó primero las manchas solares con un telescopio, Galileo o Fabricius? En otras palabras, ¿fue aquel que las vio primero, aquel que las publicó primero, describiéndolas o aquel que trató de interpretarlas primero?

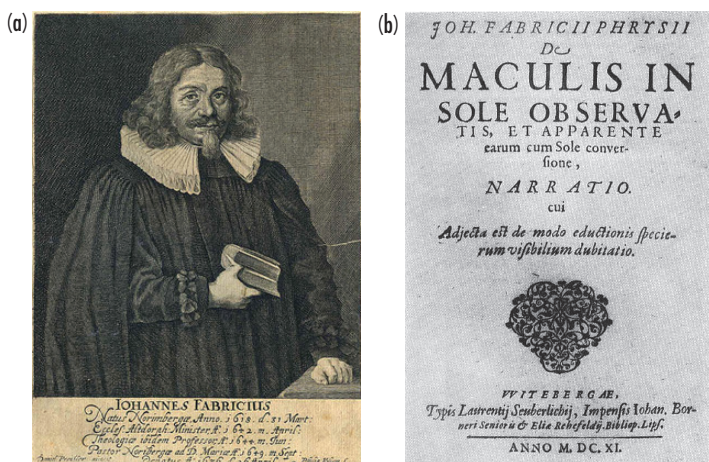


Figura 1. (a) Para haber muerto de 29 años (?), Fabricius aparece en la pintura de esta figura muy envejecido. (b) Primer reporte sobre las manchas solares publicado en 1611 por Johannes Fabricius (1587-1616?). La traducción del título sería "Narrativa acerca de las máculas vistas sobre el Sol y sus aparentes revoluciones con él". Impreso en Wittenberg por Impensis Johan Borneri Senioris & Eliae Rehefeldij. Un largo extracto de esta publicación se puede leer (en inglés) en Mitchell (1916b: 155-159).

Hay una tercera opción y es la relacionada con Harriot (Fig. 2a) cuya observación telescópica del 18 de diciembre de 1610 (8 de diciembre según el calendario juliano), en Inglaterra, es el registro escrito más antiguo que se tiene de un observación como esa (Mitchell, 1916b; van Helden, 1996) (Fig. 2b), aunque no fue formalmente publicada como lo hiciera Fabricius con su pequeño libro de 1611. Ahora las opciones se extiende a tres: Galileo, Fabricius o Harriot. Los italianos dirán que Galileo fue el primero, los holandeses dirán que Fabricius fue el primero, y los ingleses, que Harriot fue el primero (Chapman, 1995, 2008). Independientemente de esto último, hay opiniones firmes como la que establece que el orden de estos co-descubridores, atendiendo a la simple observación y no a la publicación o reporte escrito, es (Lancaster, 1897): Galileo, Fabricius y Scheiner (Harriot no se menciona), o la que se establece con otro criterio y orden (Bray & Loughhead, 1964): Fabricius, Galileo, Scheiner y Harriot, etc.

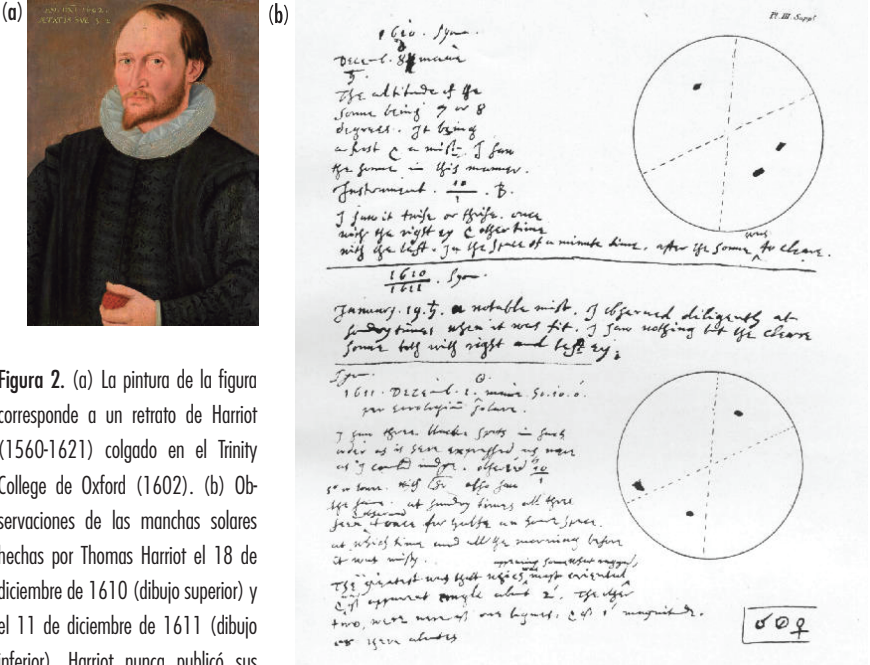


Figura 2. (a) La pintura de la figura corresponde a un retrato de Harriot (1560-1621) colgado en el Trinity College de Oxford (1602). (b) Observaciones de las manchas solares hechas por Thomas Harriot el 18 de diciembre de 1610 (dibujo superior) y el 11 de diciembre de 1611 (dibujo inferior). Harriot nunca publicó sus observaciones hasta que fueron descubiertas por F.X. von Zach a finales del siglo 18 y posteriormente publicadas en 1833 por P. Rigaud en Oxford, Inglaterra. Probablemente, por esa razón, Lancaster (1897) no menciona a Harriot . El texto de ambos dibujos se pueden leer (en inglés) en Reeves & van Helden (2010), pp. 26-29 [disponible, en línea, en <<http://books.org/book/1090262/0806f5>>], o en Mitchell (1916b: 150).

Paralelamente, cuando Galileo se entera, por vía de Mark Welser³, de las cartas del sacerdote jesuita Scheiner (Daxecker, 2004) en donde informa a este último sobre sus observaciones hechas en Alemania, la polémica sobre el tema se dirigió a etapas cruciales y candentes, ya que llegó a ser o a tener implicaciones, no sólo astronómicas, sino también religiosas y personales (Reston, 1996; Gorman, 1996). En esta disputa, se sabe que Scheiner (junto con su ayudante Johann B. Cysat) pudieron detectar, a través de la incendiada y humeante torre de la Universidad de Inglostadt, un día de marzo de 1611, las manchas solares, pero no reportaron el resultado hasta el 12 de noviembre de 1611, en una primera carta dirigida a Welser (Casanovas, 1997). Si bien Galileo se incomoda y reclama sus méritos, en sus cartas de respuesta a Scheiner, que él es el descubridor de las manchas -y, de paso, de las fáculas solares, pareciera que ninguno de los dos estaba al tanto de las observaciones hechas casi simultáneamente por Harriot y Fabricius. Como primer filósofo natural

y matemático del Gran Ducado de Toscana, a partir de 1610, Galileo le urgía ejercer ese cargo a un máximo, justificándolo con sus contribuciones y descubrimientos en Física y Astronomía; por eso, a él nunca le gustó sus responsabilidades anteriores como las de ser profesor universitario, ni dar clases privadas para ganarse la vida. No le gustaba tener carga docente sino, más bien, ser investigador, de vanguardia, pionero (pero no vinculado a la iglesia ni atado a una universidad); así lo narran sus biógrafos como Ludovico Geymonat (Gyemonat, 1969), Johannes Hemleben (Hemleben, 1985) y James Reston (Reston, 1996).

Las cartas de Scheiner (las manchas no pertenecen al Sol)

Fueron varias las cartas enviadas por Scheiner a Welser, sobre sus observaciones solares y planetarias, que le llegaron a Galileo por intermedio de este último, firmadas con el seudónimo de *Apelles* (Reeves, 2007)⁴, las cuales estimularon a Galileo a escribir unas tantas más en respuesta a las de Scheiner (vía Welser), y en donde despliega su talento y razonamiento físico-matemático para rebatir los planteamientos hechos por el cura alemán, y así explicar (hasta dónde se podía) qué eran esas manchas. Es así cómo, por parte de Scheiner (Fig. 3a), se publican, con el apoyo de Welser, en un libro titulado *Tres Epistolae de Maculis Solaribus* (5 de enero de 1612), sus tres primeras cartas a este último de fechas, 12 de noviembre, 19 de diciembre y 26 de diciembre de 1611 (Fig. 3b). Adicionalmente, Scheiner envió otras tres cartas más a Welser, de fechas 16 de enero, 14 de abril y 25 de julio de 1612, respectivamente, las cuales fueron publicadas por éste último también bajo el título *De Maculis Solaribus. Et Stellis circa Iouem Errantibus, Accrator Disquisitio* (septiembre de 1612) (Fig. 4).

Las cartas de 1611 (Tres Epistolae)

Estas primeras cartas, cortas y escritas originalmente en latín, han sido traducidas completamente al inglés por Eileen Reeves y Albert van Helden y publicadas en 2010 (Reeves & van Helden, 2010). Segmentos escogidos de ellas también han sido publicados y comentados en inglés con traducción al español (Shea, 1970, 1983:67-70). Mayorga (1998), por

su parte, hace otro poco pero escasamente en este idioma, citando a Shea (1983) parcialmente.

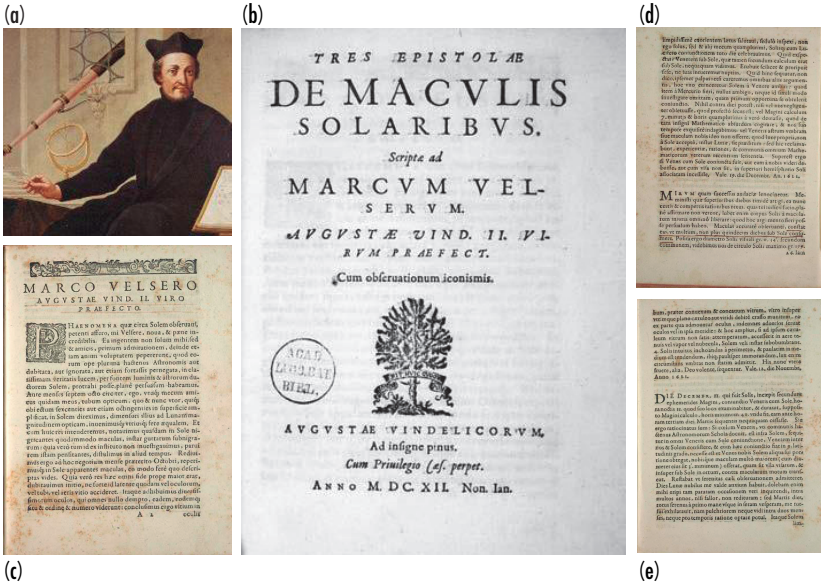


Figura 3. (a) Christopher Scheiner (1576-1650), retrato de Christoph Thomas Scheffler, S.J. (imagen parcial). (b) Portada de las tres primeras cartas de Scheiner dirigidas a Welser (12 nov., 19 dic. & 26 dic. de 1611) sobre las manchas solares, publicadas en enero de 1612 por este último. La traducción del título sería: “Tres cartas acerca de las máculas solares escritas a Marcos Welser, magistrado y prefecto de Ausburg. Con ilustraciones de las observaciones... [...]”. (c) La primera carta. (d) La segunda carta. (e) La tercera carta. Su traducción al inglés se encuentran en Reeves & van Helden (2010), pp. 59-73. [disponible, en línea, en <<<http://books.org/book/1090262/0806f5>>>].

Entre las cosas que Scheiner escribe en su primera carta (12 de noviembre) destaca que fue por casualidad que un amigo (Johann Baptist Cysat) y él vieron unas manchas negruzcas cuando trataban de comparar telescópicamente el tamaño de la Luna con el Sol, dejando para otro momento la investigación de esto. Al regresar sobre el punto en octubre [de 1611, día 21, a las 9:00 am] y observar de nuevo las manchas, le surgieron dudas sobre si lo que estaban viendo era producido o no por sus ojos, el telescopio o perturbaciones en el aire. Narra cómo descartaron todo lo anterior para concluir que tales manchas estaban relacionadas, de alguna manera, con el propio Sol: en él o cerca. Suponer que estaban en el Sol representaba un problema puesto que su concepción aristotélica del cosmos no le permitía aceptar un sol con defectos (máculas). Para descartar esto y, considerando que las manchas parecían tener movimiento, supuso que, por al no reaparecer con

la misma configuración con el tiempo, éstas no podían moverse con el Sol por lo que no debían estar en él y, por lo tanto, el Sol no rota. Por lo tanto no eran manchas reales sino sombras arrojadas sobre su superficie por cuerpos transitando por delante de él. Deja, entonces, abierta la posibilidad de que tales cuerpos sean Venus o Mercurio, asunto que dejará para después. Anexa a la carta un cuadro con una serie de dibujos de las manchas, bajo el título *Maculae in sole apparentes, observatae anno 1611. ad latitudinem grad.48.min.40.*, con 40 pequeños dibujos del sol y sus manchas dispuestos en cuadrícula, cuya descripción y nomenclatura hace detalladamente en la carta. Hacia el final, describe cómo y cuándo hay que hacer las observaciones solares adecuadamente con el telescopio.

En la segunda carta (19 de diciembre), la más corta de todas, entra a considerar el asunto de la conjunción inferior de Venus del 11 de diciembre de 1611, prevista en las efemérides de Giovanni Antonio Magini (profesor de matemáticas de la Universidad de Bolonia) para comenzar a las 11:00 pm de esa día, con una duración de 40 horas. Expresa alegría por haber tenido un día excelente para ver tal conjunción en unión de otros observadores que no identifica, pero que lamentablemente no pudieron observar, preguntándose el por qué. Le surgen, entonces, varias posibilidades entre las cuales está un error en los cálculos de Magini, lo cual descarta por el prestigio que éste tiene como matemático; o que Venus no aparece como una sombra o mancha porque no recibe luz solar, debido a que emite su propia luz; o que Venus circula alrededor del Sol como lo hace Mercurio. Considerando que la conjunción estaban bien calculada, sin errores (lo cual no era cierto), y, considerando que no vieron nada, concluyó que Venus debió haber estado por detrás del Sol, por lo que aquel debía rotar alrededor de éste. Aunque esta carta no tiene que ver directamente con las manchas, su interés es por la analogía de Venus con los supuestos tránsitos que los otros cuerpos hacen para producir las manchas.

En la tercera carta (26 de diciembre), al comienzo, Scheiner es enfático al escribir “... *Me complace liberar enteramente el cuerpo del Sol de los insultos de las manchas, y yo estoy persuadido que esto puede ser hecho por los siguientes argumentos:...*”. Y comienza, con algunos cálculos astrométricos simples, por demostrar que es imposible para cualquier mancha estar en el Sol; luego, pregunta: ¿y entonces qué? A continuación insiste en probar que: (1) las manchas no están en el aire; (2) las

manchas no pertenecen a las esfera lunar; (3) las manchas no están en el “cielo” de Mercurio; (4) las manchas no están en el “cielo” de Venus; así que, lo que queda, es pensar que tales sombras (ahora ya no las llama enfáticamente manchas) revolucionan en el “cielo” del Sol con su movimiento propio en una manera fija o errática. A continuación, para demostrar que giran alrededor del Sol, presenta tres argumentos: (1) cada sombra observada es más alargada cerca del borde solar, al ingresar y al egresar; (2) cerca del borde solar, dos, tres o más sombras parecen conformar una sola mientras que en la zona central se separan en varias; (3) ellas se mueven más rápido en la zona central que en el limbo solar. Y continua preguntando: *“Pero finalmente, ¿qué son ellas?”* No son nubes, ¿quién imaginaría nubes allá? Y si fueran nubes, ¿cuán grandes serían? ¿Por qué se mueven con el Sol de las misma manera y en la misma dirección? ¿Cómo se pueden producir grandes sombras? No pueden ser nubes ni... cometas. Sólo quedan dos cosas: o son partes más densas de algún “cielo” (“estrellas”) o son cuerpos sólidos y opacos no menos que la Luna y Venus, que aparecen negros cuando dan la espalda al Sol. Que estas manchas sean “estrellas” solares, queda demostrado no sólo por lo anterior sino también porque al producir excesivas sombras densas y negras, es creíble que ellas soporten fuertemente la luz solar y sean probablemente muy iluminadas por éste. Y añade que las sombras, por hacerse más delgadas en el borde solar, su movimiento no puede ser explicado por un simple movimiento circular. Agrega que debe tomarse en cuenta otra razón según la cual la iluminación, de acuerdo a nuestra perspectiva, disminuye la parte opaca de las sombras haciendo que se adelgacen. Aquí, Scheiner se refiere a que estos cuerpos sólidos y opacos, en su movimiento alrededor del Sol, poseen fases crecientes y menguantes como en el caso de la Luna o Venus (recién descubiertas en este planeta por Galileo en 1610). Acto seguido, procede a demostrarlo geoméricamente con un diagrama que inserta en su carta.

Las cartas de 1612 (Accuratio Disquisitio)

La primera carta (16 de enero) de este segundo juego (la cuarta de la serie), la dedica Scheiner, en una buena porción, a profundizar el asunto de la conjunción de Venus de 1611, iniciada brevemente en su segunda carta. Se explaya en una serie de demostraciones geométricas para el cálculo detallado de tal conjunción y esto, le toma una gran parte del contenido de este documento.



Figura 4. (a) Portada de las restantes tres cartas de Scheiner dirigidas a Welser (16 enero, 14 abril y 25 julio de 1612) sobre las manchas solares, publicadas en septiembre de 1612 por este último. La traducción del título sería: "Sobre las máculas solares y las estrellas errantes alrededor de Júpiter, una pesquisa más exacta. A Marcos Welser, magistrado de Ausburg... [...]". (b) La cuarta carta. (c) La quinta carta. (d) La sexta y última carta. En inglés se encuentran en Reeves & van Helden (2010), pp. 183-230. [disponible, en línea, en <<<http://bookos.org/book/1090262/0806f5>>>].

Al dejar la conjunción de Venus atrás, retorna al tema de las manchas que él dice haber observado ahora entre el 10 de diciembre de 1611 y el 12 de enero de 1612. Para ello presenta un cuadro con 30 dibujos del disco solar en donde están esas observaciones, no muy diferentes en forma de las presentadas en su primera carta y en donde hay algunas ya presentadas en esa carta. Hacia el final, hace una serie de consideraciones entre las cuales destacamos: se refiere a Galileo para estar de acuerdo con él en que las irregularidades de la Luna son probables ya que las manchas solares así lo revelan; que, en serio o en broma, suena absurdo poner habitantes en Júpiter, Saturno o en la Luna; que los satélites solares oscuros demuestran que hay cuerpos oscuros en los cielos que brillan con luz prestada y, por analogía, la Tierra, cuerpo oscuro, puede reflejar luz; que el esplendor de la Luna durante un eclipse visible es causado por los rayos del sol que se vuelan de un modo oscuro; que si la anterior explicación, dada por cierta, podría dar cuenta de la luz secundaria de la luna nueva, es algo todavía incierto; y que es probable que las estrellas sean de diferentes formas, pero aparecen redondas debido a la luz y a la distancia, al igual a nuestra experiencia con

una vela encendida cuya superficie aparece esférica, pero que vista de cerca aparece piramidal o cónica.

Concluye con algo que parece ser una advertencia: puede haber la posibilidad de que alguien pueda tratar de adelantarse en reclamar lo que él ha descubierto en el Sol con las manchas ¿Cómo se enteró Scheiner de que otros también podrían estar observando las manchas y que podrían reclamar el descubrimiento? Más adelante lo veremos.

La segunda carta (14 de abril), la más corta de este grupo de tres (la quinta de la serie), la dedica totalmente a la observación de Júpiter y de sus “estrellas” (satélites); incluye una figura con 9 dibujos de este planeta con relación a sus lunas, entre el 29 de marzo y el 8 de abril de 1612, las cuales designa con las letras D, F, G, H, etc.

Las cartas de Galileo (las manchas sí pertenecen al Sol)

En conocimiento de todas estas cartas de Scheiner a Welser, Galileo, sintiéndose desafiado y, a instancias y con los auspicios de la Academia de los Linceos (Drake, 1966), habiendo ya mencionado antes, y por primera vez, su descubrimiento solar al principio de su trabajo titulado *Discorso intorno alle cose che stanno in sù l'acqua o che in quella si muovono* (“Discurso sobre las cosas que flotan en el agua o que en ella se desplazan”) (Fig. 5b), publicado en la primavera de 1612⁵ (Fig. 5a), éste se vio obligado a responder con la publicación, el 22 marzo de 1613, de un libro titulado *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari e loro Accidenti* (“Historia y demostraciones en torno a las manchas solares y sus accidentes”), contenido de sus cartas-respuesta a Scheiner, fechadas el 4 de mayo, 14 de agosto y 1ro. de diciembre de 1612, respectivamente (Fig. 6a). Las dos primeras cartas de Galileo fueron hechas en respuesta a las tres primeras de Scheiner (*Tres Epistolae*) y la tercera, en respuesta a las tres restantes de Scheiner (*Accuratio Disquisitio*). Dos versiones del libro fueron impresas: una sin las cartas de Scheiner y otra con éstas. No se sabe exactamente cuál fue el tiraje total de esta obra. Mayer (2011) estima que se planeó imprimir 3000 copias, pero los costos lo impidieron, pudiéndose imprimir, entonces, 2100 o 1400 copias; otros dicen que realmente fue de 1400 copias de las cuales la mitad

tenía las cartas del sacerdote jesuita (Mitchell, 1916c). Las planchas para la reproducción de los dibujos de las manchas, una plancha por página por dibujo, fueron hechas por el conocido grabador Matthias Greuter (Mayer, 2011). Inicialmente se pensó en titularla como “Helioscopia” y Galileo tuvo la intención de dedicársela a la Gran Duquesa Cristina, pero tuvo que cambiar de opinión (Mayer, 2011). Mayores detalles sobre el arbitraje y censura, edición, cambios e impacto que este libro tuvo en la primera fase del juicio a Galileo, en 1616 (Mayer, 2010), pueden encontrarse en Mayer (2011).

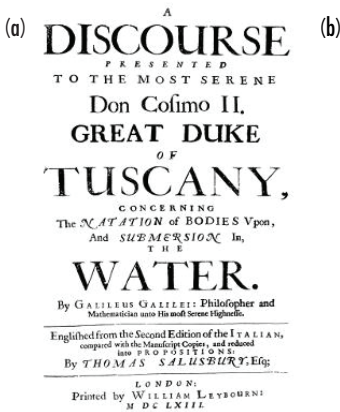
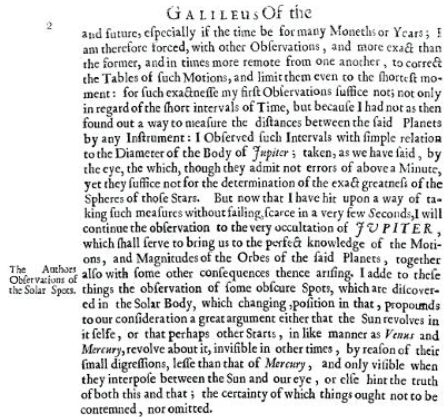


Figura 5. (a) El comentario público más temprano hecho por Galileo sobre sus observaciones de las manchas solares, quizá impulsado por la lectura de las dos primeras cartas de Scheiner a Welsler (a finales de 1611) acerca de las observaciones hechas por el segundo, se encuentra en un breve párrafo que aparece en la página 2 de su anterior obra *Discurso sobre las cosas que flotan en el agua o que en ella se desplazan*, publicada en la primavera de 1612. (b) La imagen de esa página vista aquí, corresponde a la página 34 de la edición facsimilar de la traducción de Thomas Salusbury de 1663 al inglés de la época, publicada por University of Illinois Press, Urbana, 1960, con introducción y notas de Stillman Drake (ver nota 5). El párrafo en cuestión comienza diciendo... «Yo añado a estas cosas la observación de algunas manchas oscuras, las cuales son descubiertas en el cuerpo solar, las cuales cambian..., posición que, propone a nuestra consideración un gran argumento o que el Sol rota en sí mismo, o que quizá otras estrellas, en las misma manera como Venus y Mercurio, rotan alrededor de él, invisibles en otros momentos, por razones de sus pequeñas digresiones, menores que las de Mercurio, y sólo visibles cuando ellas se interponen entre el Sol y nuestros ojos, y lo demás indica la verdad de ambas de ésta y de aquella; la certid de algunas cosas no debe ser despreciada, ni omitida». Nótese el sesgo copernicano de la declaración. A continuación sigue un párrafo, en letra cursiva, que resalta a las manchas como aquellas hechas de materia contiguas al Sol, producidas en gran número, y que después se disuelven en un corto o largo tiempo y que existen por la conversión o revolución del Sol en sí mismo [...], etc.



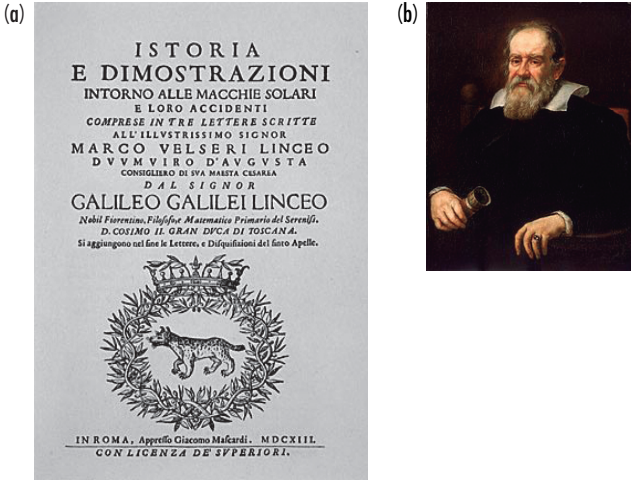


Figura 6. (a) Portada de *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari e loro Accidenti* de Galileo Galilei [Linceo] de 1613, contentiva de sus cartas-respuestas a Scheiner (Apelles), vía Marcos Welsler, de fechas mayo 4, agosto 14 y diciembre 1 de 1612. Nótese el sello o emblema oficial de la Academia de los Linceos (con un linco en el centro). (b) La pintura de Galileo, a la derecha, es de Giusto Sustermans la cual se encuentra en el Museo Marítimo Nacional de Greenwich, Inglaterra. En su mano derecha, lo que parece un vaso, es un telescopio. La pintura es de 1636 cuando Galileo tenía 72 años. La *Istoria..* puede ser encontrada en línea en: [<http://strangepaths.com/wp-content/uploads/2007/04/N0003355.pdf>].

Estas publicaciones van a constituir las piezas bibliográficas históricas fundamentales, desde donde arranca la polémica y discusión científicas sobre las manchas solares, aparte del pleito y roces personales que se originaron por enfrentamientos entre sus autores (Reston, 1996; Gorman, 1996). Problemas como la verificación de las manchas, es decir, su confirmación y falsificación, el papel desempeñado por las matemáticas, la importancia de las observaciones, los experimentos y ejercicios mentales de imaginación, más los errores cometidos por ambos investigadores pudieron ser abordados por las investigaciones históricas (Shea, 1970, 1983). En particular, se puede resaltar los argumentos físicos presentados por Galileo para insistir con denodada y terca reiteración que las citadas manchas pertenecen al Sol y no fuera de él, como pretendía hacer ver Scheiner sólo por sostener su punto de vista aristotélico y no violar el dogma religioso (el Sol era un astro inmutable y perfecto de acuerdo al precepto según el cual los cielos eran inalterables, etc); a tal efecto, el toscano hace magistralmente una demostración geométrica, sencilla pero contundente, que hoy día se puede presentar como un ejercicio de matemáticas (Shea, 1970, 1983; Biro, 2009). Esta

demostración la presenta Galileo en su segunda carta (pp. 36-40 de su *Istoria e Dimostrazioni...*)⁶.

Sobre la naturaleza de las manchas solares (especulaciones)

En cuanto a qué son esas manchas, la cosa cae en el terreno de la especulación. ¿Por qué son más oscuras que las que hay en la Luna, siendo el Sol mucho más encandilador y caliente? Podían ser nubes, pero no solares, o planetas en tránsito sobre el disco solar, expresó *Aepelles*; por eso, falla en descubrir que el Sol rota [aunque la mide después (Mitchell, 1916e)]. Galileo opinaba lo contrario, que no eran más oscuras que las que hay en la Luna y trata de probarlo en su primera carta; que podrían ser nubes, quizá, pero estrictamente asociadas al Sol físicamente, por lo que pudo descubrir la rotación del Sol aunque no en modo diferencial (no sabía que el Sol no era una esfera rígida). Pero no todo estaba a favor de Galileo; él falla en reconocer lo que Scheiner sí descubre: la variación del brillo solar sobre su disco, o sea, la inhomogeneidad o desuniformidad de este brillo (Shea, 1970), conocido hoy día como “oscurecimiento de borde”. Adicionalmente, Galileo falla al afirmar que las líneas rectas, descritas por las trayectorias de las manchas, son pruebas definitivas de que el eje solar es siempre perpendicular a la eclíptica (plano generado por la extensión al espacio de la órbita terrestre alrededor del Sol); Scheiner, por su parte, no está tan seguro de eso, y tenía razón. Ocasionalmente estas trayectorias sí son paralelas a la eclíptica, y eso fue lo que Galileo presencié (Shea, 1970). Y así sucesivamente transcurre el debate entre estos dos astrónomos renacentista, abriendo una nueva rama de la ciencia astronómica, la solar, con subsiguientes consecuencias que dejó, incluso, secuelas amargas de rencor y venganza.

El enfrentamiento personal

Considerando que publicaciones subsiguientes galileanas fueron escritas en italiano y que por eso no transcendían más allá de los

Alpes, no fue sino hasta 1624 cuando Scheiner, visitando Roma, se enteró de que Galileo lo había acusado de plagio en el descubrimiento de las manchas solares, en su obra *Il Saggiatore* (El Ensayador) de 1623 (Casanovas, 1997; Galilei, 1623; Mitchell, 1916d) causando una fuerte enemistad entre los dos. En vista de ello, Scheiner, indignado, se queda en Roma con la intención de preparar su monumental obra *Rosa Ursina sive Sol* (1626-1630) (Curtis, 1912; Mitchell, 1916e, McColley, 1940; Casanovas, 1997; Daxecker, 2005; Reeves & van Heden, 2010) (Fig. 7) en respuesta a Galileo el cual, de nuevo, arremete contra Scheiner en su obra *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano* (1632) (Galilei, 1977) y que, desafortunadamente, lo lleva finalmente a enfrentar juicio ante la Congregación del Santo Oficio (Inquisición) en 1633 por la presunta herejía de defender y enseñar la teoría copernicana. Hay quienes opinan que en este asunto estuvo implicado el padre Scheiner, en plan de venganza, junto con el padre jesuita Melchior Inchofer (presunto denunciante ante la Congregación del Índice de Libros Prohibidos del libro *Il Saggiatore*) (Reston, 1996; Redondi, 1990). Otros opinan que no (Gorman, 1996).

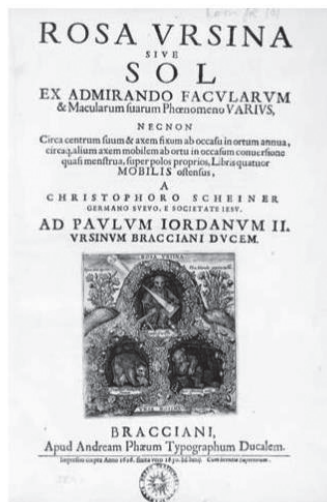


Figura 7. Con este libro, *Rosa Ursina sive Sol...*, cuyo largo título tiene su origen en el deseo de dedicárselo a Paulus Jordanus II (Duque de Bracciano de la casa de los Orsini), y cuyo emblema eran una rosa y un oso, Scheiner sigue en la polémica sobre las manchas solares con Galileo. Su impresión tardó entre 1626 y 1630. Está compuesto de cuatro libros o partes. En el primero se defiende de las acusaciones hechas contra él por Galileo en su *Il Saggiatore* (Galilei, 1623), e indica 24 errores que este último tiene en su *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari*, que son corregidos posteriormente por éste en su *Diálogo* de 1632; además, reclama la paternidad del descubrimiento.

En todo caso, las observaciones de Galileo y Scheiner de las manchas solares, junto con las de Harriot, dejaron valiosa información para derivar más conocimiento sobre el Sol y su influencia en aquella época; por ejemplo, el mismo Galileo en la tercera jornada de su *Diálogo*, trata de probar el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol a partir del movimiento de las manchas solares, pero no lo pudo hacer porque era la paralaje estelar anual la prueba definitiva, infructuosamente intentada en aquella época (Scheiner, en obra publicada póstumamente en Praga en 1651, titulada *Prodomus pro Sole Mobili*, trató de refutar la prueba de este movimiento con base a tales manchas). En 1978, usando los 199 dibujos que dejara Harriot (sin publicar), entre 1611 y 1613, sobre estas manchas, se determinó la rotación solar en ese lapso. Además, con la información aportada por Galileo, en 1980 se pudo determinar cuál era la actividad solar en aquel tiempo.

Implicaciones e interrogantes

Galileo muere el 8 de enero de 1642 y Scheiner, el 18 de julio de 1650 y ellos a pesar de haber dejado el legado de la exploración inicial del Sol con el telescopio, la observación y registro de las manchas solares, a ojo desnudo, continuaron, por supuesto, sobre todo en el lejano oriente, sin mayores consecuencias que aquellas posibles, derivadas de interpretaciones ancestrales (Clark & Stephenson, 1978). Por ejemplo, se reporta que entre 1613 y 1918, hubo 75 registros en esa zona de la Tierra de los cuales cinco son de Corea y el resto de China (Yau & Stephenson, 1988). Vale la pena mencionar que el propio Galileo hizo observaciones a ojo desnudo (Vaquero, 2004), quizá para comprobar que lo observado telescópicamente no tenía que ver con defectos del instrumento. También hay que reconocer el papel jugado por Johannes Kepler (1571-1630) quien, además de hacer observaciones a ojo desnudo el 18 de mayo de 1607 (pensando que era un tránsito de Mercurio como la causa)⁷ (Sarton, 1947), también participó del debate, comentado las cartas de *Apelles* (Scheiner) antes que las viera Galileo, y opinando firmemente que las manchas solares eran inherentes a este astro (Casanovas, 1997). En este punto surgen las siguientes preguntas: ¿por qué Galileo se interesó en apuntar su telescopio al Sol, siendo éste tan brillante? ¿Es que acaso ya había visto las manchas antes, a

ojo desnudo, por sí solo? o ¿se habría enterado por las observaciones hechas por otros bajo las mismas condiciones? ¿Por qué Harriot, Fabricius y Scheiner sintieron esa misma inquietud? Es más, y en particular, ¿qué impulsó al padre Scheiner a escrutar el Sol con el telescopio, si para él y para la iglesia, según Aristóteles, este astro debía ser inmaculado y perfecto? Él no tenía nada que buscar allí, pero presintió una amenaza. Es obvio, oportuno y hasta notorio que en la presunta violación del dogma aristotélico, sobre la perfección y lo inmaculado del Sol, estuviera involucrado un sacerdote católico jesuita y astrónomo como él, el cual salió inmediatamente a la defensa de este dogma, tratando de demostrar que las máculas del Sol no podían pertenecer a este astro sino que eran otras cosas. Frente a Galileo su esfuerzo fue en vano, aunque, en cierta manera, él aparentemente reclamaba la prioridad del descubrimiento, bajo el supuesto de que no era algo asociado al Sol. De lo contrario sería contradictorio y paradójico que fuera un sacerdote el que, precisamente, descubriera que el Sol fuera imperfecto, impoluto, violando el dogma. Debíó haber sido frustrante para Scheiner haberse convencido de lo contrario; por esa razón, luchó hasta el final en contra de Galileo.

Con relación a esto último, se cuenta que en dos cartas escritas en 1635, o sea, tiempo después de haber ocurrido los acontecimientos, suscritas por G. Pieroni, se halla un testimonio según el cual, el sacerdote jesuita Paul Guldin (estudiante de Christopher Clavius) escuchó a Galileo hablar sobre las manchas solares en su segunda visita a Roma (Miller, 1952), por lo que este sacerdote aprovechó para enviarle la información a Scheiner (Mitchell, 1916d; Casanovas, 1997). Si esto fue así, de ahí vino el interés de Schneider por observar el Sol y proceder rápidamente a enviar por escrito el anuncio del descubrimiento de las manchas a Welser, bajo un seudónimo; esto lo llevó, como dijimos antes, a ser acusado de plagio por parte de Galileo (Mitchell, 1916d). Pero esta versión de Pieroni es puesta en duda (Casanovas, 1997). No obstante, llama la atención la brevedad y velocidad con que Scheiner escribió sus tres primeras cartas, buscando la prioridad del descubrimiento, además de su declaración en su primera carta de que fue por casualidad que las manchas fueron vistas por él. Según su confesión, hecha al principio de su *De Maculis Solarib...* (Reeves & van Helden, 2010), Scheiner tardó una hora en hacer su segunda carta del 19 de diciembre de 1611 y el juego de las tres primeras, por lo demás fragmentarias, ocupan apenas ocho páginas que se incluyen al final de una de

las dos ediciones de *Istoria e Dimostrazioni...* de Galileo. Tan solo 10 días después de haberse publicado su *Tres Epistolae...*, Scheiner le manda una cuarta carta, de fecha 16 de enero de 1612 (la primera de su *De Maculis Solaribus*), a Welser pidiéndole que la publique tan pronto como le sea posible (Biagioli, 2002). Su afán por esto quizá fue el de salir al paso a posibles manipuladores de estos nuevos descubrimientos en contra de la cosmología aristotélica, asumida por la ortodoxia eclesiástica, como lo fue en el caso de la observación de irregularidades de la topografía lunar en 1610. Ni estas irregularidades pueden existir en la Luna ni esas manchas pueden existir en el Sol porque son cuerpos perfectos e incorruptibles; hay que probar lo contrario, a costa de otras explicaciones. Hay que defender la pureza de los cielos. Pero Scheiner fue más allá con sus primeras cartas; burló el proceso de su arbitraje y censura por parte de teólogos, filósofos y matemáticos de Roma al cual estaba obligado como jesuita, ya que esto tomaría meses. Para ello se apoyó en un editor externo (Welser) y en un seudónimo (*Apelles*). Por el contrario, las cartas de Galileo, que tomó meses en ser escritas, sí fueron arbitradas y censuradas (Mayer, 2011).

Obras originales de Galileo y Scheiner conservadas en Venezuela

En la sección de libros antiguos de la biblioteca central “Tulio Febres Cordero” de la Universidad de los Andes (ULA) en Mérida (Venezuela), se encuentra un ejemplar original de *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari e loro Accidenti* de su única edición de 1613 (164 pp.) (Fig. 8), que incluye al final las cartas de Scheiner (*Tres Epistolae de Maculis Solaribus...*, 16 pp. y ... *Accuratio Disquisitio...*, 56 pp.), y un ejemplar original de *Il Saggiatore* de 1623 (236 pp.), los cuales, todos encuadrados en un solo volumen (Fig. 8), pertenecieron inicialmente a la biblioteca del Colegio Seminario Tridentino San Buenaventura, fundado por el primer obispo de Mérida el 29 de marzo de 1785 (y que dio origen a la fundación de la Universidad de Mérida en 1810, posteriormente conocida como Universidad de los Andes a partir de 1883), Fray Juan Ramos de Lora (1722-1790). Con la debida autorización de la coordinación de esa biblioteca, tuvimos la oportunidad de verlos, tomarlos y ojearlos cuidadosamente para su consulta. La forma en que estos libros de Galileo (y otros libros antiguos entre los cuales se en-

cuentran también tres volúmenes de la *Opera Mathematica* de Christopher Clavius de 1611 y obras del cardenal Roberto Bellarmino) llegaron a Venezuela y sobrevivieron a una serie de riesgos: terremotos, guerra de independencia, etc., a los cuales se vio sometida la biblioteca tanto del colegio seminario como de la universidad, ha sido motivo de investigación a través del Archivo Histórico de la ULA con interesantes resultados (Calderón, 2008). Asimismo, en esta misma biblioteca, se encuentra un ejemplar original del libro *Rosa Ursina sive Sol* de Scheiner, que mostramos en la Fig. 9, y el cual, desafortunadamente, le hacen falta las 25 primeras páginas (incluyendo la portada), además de otras a lo largo del libro.

Unas cuantas copias originales de la *Istoria* de Galileo de 1613 aun existen en varias partes del mundo (Mayer, 2012), pero hasta donde sabemos es probable que la existente en Venezuela (que no es mencionada por este último autor) sea la única que se encuentra en latinoamérica.



Figura 8. Ejemplar original de *Istoria e Dimostrazioni in torno alle Macchie Solari e loro Accidenti* de Galileo (1613) en nuestras manos, conservado en la sección de libros antiguos de la biblioteca central “Tulio Febres Cordero” de la Universidad de los Andes, ULA (Mérida, Venezuela). Éste incluye las cartas de Scheiner. El pasado 22 de marzo de 2013, este libro cumplió exactamente 400 años de haber salido de la imprenta de Giacomo Mascardi en Roma. Nótese que este ejemplar está encuadernado en un mismo volumen junto con *Il Saggiatore* del mismo autor, publicado 10 años después, o sea, en 1623 (se observa su última página). La forma de cómo estos libros de Galileo llegaron a Mérida y sobrevivieron a una serie de eventos naturales y políticos, ha sido motivo de investigación, con el apoyo del Archivo Histórico de la ULA. (Foto: Rubén Darío Fernández).

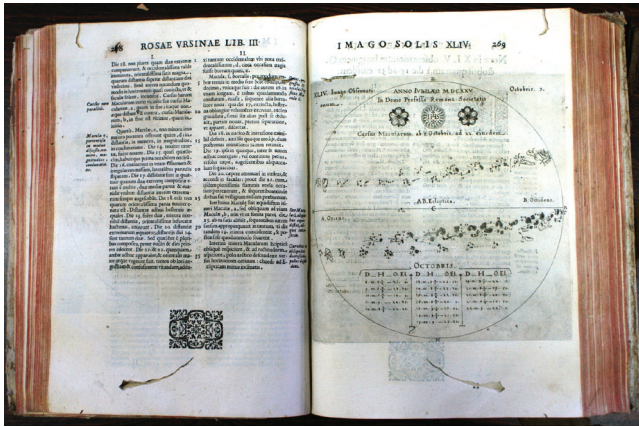


Figura 9. Imagen del ejemplar original de Rosa Ursina sive Sol de Scheiner (1630) que se conserva en la sección de libros antiguos de la Biblioteca Central "Tulio Febres Cordero" de la Universidad de los Andes, Mérida (Venezuela). (Foto: Rubén Darío Fernández).

Notas

- ¹ La luminancia del Sol comprende un rango de 105-106 cd/m² mientras que los rangos funcionales o tolerables de la capacidad del ojo humano es del orden de 3 cd/m² (rango fotópico), entre 0.001 y 3 cd/m² (rango mesópico) y menor que 0.001 cd/m² (rango escotópico). Alternativamente, el Sol tiene un brillo de 1.26×10^4 lux mientras que la Luna llena tiene un brillo de 0.313 lux, o sea, el Sol es 40255.6 veces más brillante que la Luna llena (Schaefer, 1989-1993,1993). Nótese, entonces, la diferencia. Una exposición directa de la retina al Sol por tres minutos es suficiente para quemarla (Ham et al.,1976). Según Árgo, la luz del Sol es 15000 veces más intensa que la de una vela [citado por Martínez de la Plaza (1939)].
- ² Un largo extracto de la publicación de Fabricius se puede leer en Mitchell (1916b), pp.155-159.
- ³ Mark Welser o Marcus Welser (1558-1614), político y funcionario de alto rango en Augsburgo, sur de Alemania. Su tío Bartolomé Welser fue consejero del emperador Carlos V. En 1528, Bartolomé envió una flota a Venezuela para establecer una colonia, la cual fue tomada por los españoles en 1555. Entre los correspondientes de Welser hubo varios académicos jesuitas tales como Christopher Clavius, director del Colegio Romano; fue este último quién le aseguró a él y a otros que los descubrimientos de Galileo eran reales [ver Phillips (1939)]. Welser fue miembro también de la Academia de los Linceos (Drake, 1996). Más sobre Welser en Gabriele (1938) y Evans (1984).
- ⁴ Seudónimo usado por Scheiner en atención a la sugerencia hecha por su superior, padre Busaeus, para no poner en riesgo, frente a sus observaciones solares, la reputación de su orden jesuítica y proteger su responsabilidad en impartir la enseñanza de la tradicional filosofía natural basada en la física y cosmología de Aristóteles. El propio Scheiner en el libro I, capítulo 2, pp. 6-7, de su posterior obra *Rosa Ursina sive Sol* (1630) (Mitchell, 1916e; Daxecker, 2005), discute las razones detrás de este seudónimo.
- ⁵ A discourse presented to the most serene Don Cofimo II Great Duke of Tuscany, concerning the natation of bodies upon, and submersion in the water. By Galileus Galilei: Philosopher and mathematician unto most serene highness. Englished from the second edition of the Italian, compared with the manuscript, and reduced into propositions by Thomas Salusbury, Esq; Lon-

don, printed by William Leybourn, 1663 [Edición facsimilar de la traducción de Thomas Salusbury, publicada por University of Illinois Press, Urbana, 1960, con introducción y notas de Stillman Drake]; ref. en p. 2 [o p. 34 de la edición facsimilar].

- ⁶ Ver Reeves & van Helden (2010); pp. 112-116, 357-359. Una versión en español de esta carta se encuentra en Galileo, edición de Víctor Navarro, Edic. Península (Nº 16 de Textos Cardinales), Barcelona (1991); pp. 58-75.
- ⁷ Los tránsitos de Mercurio y Venus, algunas veces, fueron confundidos en la edad media con manchas solares; ver: Goldstein, B.R. (1969). Some medieval reports of Venus and Mercury transits. *Centaurus* 14, 49-59.

Bibliografía

- Baumgartner, F.J. (1987). Sunspots or sun's planets: Jean Tarde and the sunspots controversy of the early seventeenth century. *Journal for the History of Astronomy* 18, 44-54.
- Biagioli, M. (2002). Picturing objects in the making: Scheiner, Galileo and discovery of sunspots. En: *Ideals and Cultures of Knowledge in Early Modern Europe* (W. Detel & C. Zittel, edits.). Akademie Verlag; pp. 39-96.
- Bicknell, P.J. (1968). Did Anaxagoras observe a sunspot in 467 B.C.? *Isis* 59 (1), 87-90.
- Biro, S. (2009). Galileo y la astronomía: una feliz intersección. *Educación Matemática* 21 (2), 169-179.
- Bray, R.J., R.E. Loughhead. (1964). Sunspots. Dover Pub. New York; pp. 1-12.
- Bredekamp, H. (2009). La investigación del Sol en la época de Galileo. *Investigación y Ciencia*, N° 399 (Dic), 66-73.
- Calderón, H.A. (2008). La biblioteca de Torrijos - Minuta de un tesoro bibliográfico. *Boletín del Archivo Histórico* (Secretaría de la Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela), Año 7, N° 11 (enero-junio), 13-27.
- Casanovas, J. (1997). Early observations of sunspots: Scheiner and Galileo. En: *1st Advances in Solar Physics Euroconference - Advances in the Physics of Sunspots*. ASP Conference Series, Vol. 118 (B. Schmieder, J.C. del Toro Iniesta & M. Vázquez, edits.); pp. 3-20.
- Chapman, A. (1995). The astronomical work of Thomas Harriot (1560-1621). *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 35, 97-107.
- Chapman, A. (2008). Thomas Harriot: the first telescopic astronomer. *Journal of the British Astronomical Association* 118, 315-325.
- Clark, D.H., R. Stephenson. (1978). An interpretation of the pre-telescopic sunspots records from the Orient. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 19, 387-410.
- Curtis, H.D. (1912). Rosa Ursina, sive Sol, a retrospect. *Popular Astronomy* 20, 561-568.
- Daxecker, F. (2004). The Physicist and Astronomer Christopher Scheiner: Biography, Letters, Works. Publications at Innsbruck University 246. Innsbruck: Leopold-Franzens-University of Innsbruck, Pub. Re. Of. 176 pp.

- Daxecker, F. (2005). Christoph Scheiner's main work "Rosa Ursina sive Sol". *Acta Universitatis carolinae - Mathematica et Physica* 46, Supplementum, 127-140
- Drake, S. (1966). The Accademia dei Lincei. *Science* 151 (3715), 1194-1200.
- Eddy, J.A., F.R. Stepheson, K.K.C. Yau. (1989). On pre-telescopic sunspot records. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 65-73.
- Evans, R.J.W. (1984). Rantzau and Welser: Aspects of later German humanism. *History of European Ideas* 5, 257-272.
- Gabriele, G. (1938). Marco Welser linceo augustano. *Rendiconti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Morali, Storiche e Filologiche* (serie VI) 14, 74-99
- Galilei, G. (1623). *Il Saggiatore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderamo le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica de Lothario Sarsi Sigensano*; 238 pp. [El Ensayador, en el que con una balanza justa y precisa se sopesan las cosas contenidas en los "libra astronómica y filosófica" de Lottario Sarsi Sigensano, traducción al español a cargo de José Manuel Revuelta, editorial Sarpe (1984), Madrid; 343 pp.].
- Galilei, G. (1977). Diálogo sobre los Sistemas Máximos - Jornada Tercera (traducción del italiano, prólogo y notas de José Manuel Revuelta). Aguilar Edit. Argentina; pp. 124-128. Versión italiana moderna, en Galilei, G. (1953). *Dialogo dei Massimi Sistemi - Giornata Terza*. En *Galileo e Gli Scienziati del Seicento*, Tomo I, *Opere di Galileo Galilei*. A cura Ferdinando Flora. Riccardo Ricciardi Editore, Milano - Napoli; pp. 408-414.
- Galindo Trejo, J., C. Allen. (2005). Maya observations of 13th century transits of Venus?. En: *Transits of Venus: New Views of the Solar System and Galaxy*, Proceedings of IAU Colloquium #196, 7-11 June, 2004, Preston, U.K. (D.W. Kurtz, edit). Cambridge University Press, p.124-137.
- Geymonat, L. (1964). Galileo Galilei. Ediciones Península (Nueva Colección Ibérica), Barcelona; 235 pp.
- Gorman, M.J. (1996). A matter of faith? Christoph Scheiner, Jesuit censorship, and the trial of Galileo. *Perspectives on Science* 4 (3), 283-320.
- Ham, W.T., H.A. Mueller, D.H. Sliney (1976). Retinal sensitivity to damage from wavelength light. *Nature* 260, 153-155.
- Hameed, S., G. Gong. (1991). Influence of atmospheric dust on non-telescopic sunspot observations. *Solar Physics* 132 (2), 409-413.

- Hemleben, J. (1985). Galileo. Biblioteca Salvat de Grandes Biografías, Nº 40. Salvat Edits. Barcelona; 197 pp.
- Křivský, L. (1985). Naked-eye observations of sunspots in Bohemia in the year 1139. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia* 36 (1), 60.
- Lancaster, M.A. (1897). The discovery of the sun spots. *Popular Science Monthly* 51, 681-686.
- Lee, E.H., Y.S. Ahn, H.J. Yang, K.Y. Chen. (2004). The sunspot and auroral activity cycle derived from Korean historical records. *Solar Physics* 224, 373-386.
- Lerner, L.S., E.A. Gosselin. (1987). Galileo y el fantasma de Bruno. *Investigación y Ciencia*, No. 124 (enero), 80-88.
- Martínez de la Plaza, C. (1939). El Sol; Manchas y Eclipses. Tesis presentada ante la Universidad Central de Venezuela para optar al título de Bachiller en Filosofía; 15 pp
- Mayer, T.F. (2010). The Roman Inquisition's precept to Galileo (1616). *The British Journal for the History of Science* 43 (3), 327-351.
- Mayer, T.F. (2011). The censoring of Galileo's *Sunspot Letters* and the first phase of his trial. *Studies in History and Philosophy of Science* 42, 1-10.
- Mayer, T.F. (2012). An interim report on a census of Galileo's *Sunspot Letters*. *History of Science* 50, 155-196.
- Mayorga, A. (1998). Demostración geométrica y explicación en Galileo - A propósito de las cartas de 1612 sobre las manchas solares. *Revista de Filosofía - Universidad de Costa Rica* 36 (88/89), 383-392.
- McColley, G. (1940). Christoph Scheiner and the decline of neo-aristotelianism. *Isis* 32 (1), 63-69.
- Miller, W.J. (1952). Galileo's visits to Rome - I. *Sky & Telescope* XI (9), 211-213, 221.
- Miller, D.M. (2008). The thirty years war and the Galileo affairs. *History of Science* 46, 49-74.
- Mitchell, W.M. (1916a). The history of the discovery of the solar spots - Galileo Galilei. *Popular Astronomy* 24, 82-96.
- Mitchell, W.M. (1916b), The history of the discovery of the solar spots - Thomas Harriot & Johann Fabricius. *Popular Astronomy* 24, 149-162.
- Mitchell, W.M. (1916c). The history of the discovery of the solar spots. *Popular Astronomy* 24, 290-300.
- Mitchell, W.M. (1916d). The history of the discovery of the solar spots - Scheiner as a plagiarist? *Popular Astronomy* 24, 562-579.
- Mitchell, W.M. (1916e). The history of the discovery of the solar spots - The Rosa Ursina. *Popular Astronomy* 24, 341-354, 428-440, 488-499.

- Phillips, E.C. (1939). The correspondence of Father Christopher Clavius S.I. preserved in the archives of the Pont. Gregorian University. *Archivum Historicum Societatis Iesu* VIII (2), 193-222
- Redondi, P. (1990). *Galileo Herético*. Alianza Editorial, Madrid; 448 pp.
- Reeves, E. (2007). Faking it: Apelles and Protogenes among the astronomers. *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik* 5.2, 65-72.
- Reeves, E., A. van Helden. (2010). *Galileo Galilei & Christoph Scheiner. On Sunspots*. The University of Chicago Press, Chicago & London; 418 pp. [disponible, en línea, en <<<http://bookos.org/book/1090262/0806f5>>>].
- Reston, J. (1996). *Galileo*. Ediciones B, S.A. Barcelona; 410 pp.
- Sarton, G. (1947). Early observations of the sunspots? *Isis* 37 (1/2), 69-71.
- Schaefer, B.E. (1989-1993). Astronomy and the limits of vision. *Archaeoastronomy* XI, 78-90
- Schaefer, B.E. (1993). Astronomy and the limits of vision. *Vistas in Astronomy* 36, 331-361
- Scuderi, L.A. (1990). Oriental sunspot observations and volcanism. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 31, 109-120.
- Shea, W. (1970). Galileo, Scheiner, and the interpretation of sunspots. *Isis* 61 (4), 498-519.
- Shea, W. (1983). Las manchas solares y los cielos inconstantes. En: *La Revolución Intelectual de Galileo*. Edit. Ariel, S.A. Barcelona, España; pp. 72-78.
- Van Helden, A. (1996). Galileo and Scheiner on sunspots: a case study in the visual language of astronomy. *Proceedings of the American Philosophical Society* 140 (3), 358-396.
- Vaquero, J.M., M.C. Gallego. (2002). Evidence for a sunspot in A.D. 939 in an Arabian source. *Solar Physics* 206 (1), 209-211.
- Vaquero, J.M. (2004). A forgotten naked-eye sunspot recorded by Galileo. *Solar Physics* 223, 283-286.
- Vaquero, J. M. Vázquez. (2009). Naked-eye sunspots. En: *The Sun Through History*. Astrophysics and Space Science library 361 (Doi 10.1007/978-0-387-92790-9_2); pp.57-102.
- Wittmann, A. (1978). The sunspot cycle before the Maunder minimum. *Astronomy & Astrophysics* 66, 93-97.
- Yau, K.K.C., F.R. Stephenson. (1988). A revised catalogue of Far Eastern observations of sunspots (165 BC to AD 1918). *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 29, 175-197.

I

Índice

<i>Galileo Galilei, el método científico y la matematización de la naturaleza</i>	7
Estrella Abecassis de Laredo	

<i>Introducción</i>	9
<i>La Física de la escuela aristotélica</i>	10
<i>Galileo, el científico moderno</i>	12
<i>Galileo y la estructura de la materia</i>	21
<i>Galileo, el ingeniero moderno</i>	22
<i>Conclusiones</i>	25
<i>Bibliografía</i>	28

<i>La música de las esferas y el infinito matemático en la obra de Galileo</i>	29
Francisco Rivero	

<i>Preudio</i>	31
<i>La física del sonido</i>	32
<i>La música de las esferas</i>	36
<i>Galileo el matemático</i>	37
<i>Galileo y el Infinito</i>	41
<i>Bibliografía</i>	44

*Las manchas solares en tiempos de Galileo:
la polémica de hace 400 años* 45

Marcos A. Peñaloza-Murillo

<i>Introducción</i>	47
<i>Quién descubrió telescópicamente las manchas solares primero</i>	48
<i>Las cartas de Scheiner (las manchas no pertenecen al Sol)</i>	51
<i>Las cartas de 1611 (Tres Epistolae)</i>	51
<i>Las cartas de 1612 (Accuratio Disquisitio)</i>	54
<i>Las cartas de Galileo (las manchas sí pertenecen al Sol)</i>	56
<i>Sobre la naturaleza de las manchas solares (especulaciones)</i>	59
<i>El enfrentamiento personal</i>	59
<i>Implicaciones e interrogantes</i>	61
<i>Obras originales de Galileo y Scheiner conservadas en Venezuela</i>	63
<i>Notas</i>	66
<i>Bibliografía</i>	68

