

PATRONATO DEL ALCÁZAR DE SEGOVIA

ENTRE LOS CIELOS Y LA TIERRA:
GALILEO, FILÓSOFO
DE LA NATURALEZA Y TEÓRICO
DE LA ARTILLERÍA

POR

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

PRESENTACIÓN

DE

JOSÉ ANTONIO RUIZ HERNANDO



SEGOVIA
MMVIII

PATRONATO DEL ALCÁZAR DE SEGOVIA

ENTRE LOS CIELOS Y LA TIERRA:
GALILEO, FILÓSOFO
DE LA NATURALEZA Y TEÓRICO
DE LA ARTILLERÍA

POR

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

PRESENTACIÓN

DE

JOSÉ ANTONIO RUIZ HERNANDO



SEGOVIA
MMVIII

*Textos correspondientes a la celebración
del XXIV día del Alcázar en la Sala de Reyes,
el día 22 de junio de 2007.*

Cubierta: Galileo, según una lámina en
*Opere di Galileo Galilei, Nobile Fio-
rentino*, tomo I (Florencia 1718).

ISBN: 84-920458-8-4
Depósito legal: M-20687-2008

Gráficas AGUIRRE CAMPANO, S. L. - Daganzo, 15 - 28002 MADRID

ENTRE LOS CIELOS Y LA TIERRA:
GALILEO, FILÓSOFO DE LA NATURALEZA
Y TEÓRICO DE LA ARTILLERÍA

PRESENTACIÓN
DE
JOSÉ ANTONIO RUIZ HERNANDO

Conferencia del XXIV Día del Alcázar

Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades,
Patronos, expatronos,
Señoras y señores:

José Manuel Sánchez Ron, doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Londres y catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, es autor de una treintena de libros, además de compilador y editor de otros tantos; es también director de colecciones de ensayo y divulgación científica y colaborador asiduo de la prensa diaria.

Toda su obra es un reflejo, o mejor quizá, una consecuencia de la fusión del campo de las letras con el de las ciencias, desgraciadamente tan alejados unos de otros hoy día.

Desde sus artículos científicos en revistas especializadas de Europa y América y sus libros más “duros”, *El origen y desarrollo de la relatividad*, por ejemplo, hasta sus obras de historia de la ciencia más ambiciosas: *Historia de la física cuántica* o *Cinzel, martillo y piedra*, un libro fundamental para el conocimiento de la ciencia en España, cuyo título se inspira en un poema de Machado.

También ha redactado excelentes biografías, como la dedicada a Marie Curie o al científico español Miguel A. Catalán.

En el año 2003 ingresó como académico de número de la Real Academia Española de la Lengua, en su discurso al que él tituló *Elogio del Mestizaje: historia, lenguaje y ciencia*, donde puso de manifiesto, de modo brillante y emotivo, su vocación y compromiso con la ciencia, la cultura y la sociedad que le ha tocado vivir.

Así pues, el Dr. Sánchez Ron no ha dejado de trabajar en promocionar la cultura científica en la sociedad, como él mismo ha escrito:

“La vida material e intelectual de los humanos no sería lo mismo sin lo que la ciencia les ha dado y les da. Seríamos más ignorantes, más indefensos, seríamos, en definitiva, más pobres en todos los sentidos.”

Estoy seguro de que con su charla de hoy nos hará a todos menos ignorantes y más ricos. Le cedo la palabra al Sr. Sánchez Ron.

ENTRE LOS CIELOS Y LA TIERRA:
GALILEO, FILÓSOFO DE LA NATURALEZA
Y TEÓRICO DE LA ARTILLERÍA

POR

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

Excmo. Sr. General Presidente del Patronato del Alcázar de Segovia,

Excelentísimos e Ilustrísimos Señores,
Queridos Patronos, Señoras y Señores:

No lo recuerdo bien del todo, pero estoy casi seguro de que la primera ciudad que visité –aparte, claro está, del Madrid que me vio nacer– fue Segovia. Y mi siempre mala memoria atesora como uno de esos bienes innegociables al olvido, las muchas veces que de niño visité esta ciudad con mi familia. De eso hace ya, como ustedes pueden suponer, muchos años. Que visité y que admiré. Para mí no hay mejores lugares en el mundo que Segovia y El Escorial. Espero que crean lo que estoy diciendo y no lo supongan un halago fruto de la ocasión.

Y dentro de Segovia, este Alcázar, a cuyas torres tantas veces he subido, maravillándome siempre ante el extraordinario espectáculo de la meseta castellana que se contempla desde ellas. Me gusta especialmente en el verano, con la llanura brillante como el metal al rojo vivo. Nunca imaginé, ni cuando era un niño, ni luego cuando mi esposa y yo ‘trajimos a nuestras hijas, que un día tomaría la palabra, ante una audiencia tan distinguida y en un día tan señalado, en mi querido Alcázar segoviano. Me siento conmovido por el honor que me han hecho con su invitación y

sólo espero que mientras viva nunca me lleguen las nubes del olvido para poder así recordar que un día estuve y hablé aquí. Muchas gracias¹.

Mi conferencia trata de un hombre cuyo nombre todavía celebramos cuando han pasado 365 años de su muerte: el pisano Galileo Galilei (1564-1642). No fue él quien nos enseñó que es la Tierra la que gira alrededor del Sol y no al revés –semejante honor recayó sobre Nicolás Copérnico (1473-1543) y su inmortal libro de 1543, *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre las revoluciones de los orbes celestes*)–, pero si la hipótesis copernicana llegó a implantarse en nuestras mentes y a enquistarse en la ciencia fue sobre todo gracias a Galileo (aunque no debemos olvidar a Kepler). Tampoco llegó el de Pisa, en sus estudios sobre el movimiento de los cuerpos, a las alturas, inalcanzables para cualquier otro mortal, en las que se instaló Isaac Newton (1642-1727), “el Grande entre los Grandes”, pero con algunas de sus investigaciones –como la ley de la caída de los cuerpos, caída vertical y libre o a lo largo de planos inclinados, o el isocronismo en la oscilación de los péndulos– preparó el camino para ese clímax que son las tres leyes de Newton, que éste presentó en su monumental *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*) de 1687. Y no sólo nos dejó Galileo resultados como estos, sino que nos legó algo más valioso aún: un método científico moderno, en el que la experimentación y la teorización se conjugan en una forma tan delicada y sutil como profunda. Fue mucho más lejos en la manera cómo estudió la naturaleza de los que le habían precedido. Ésta, la natu-

¹ Quiero agradecer también la ayuda que para la elección de muchas de las ilustraciones incluidas en la versión impresa de esta conferencia he recibido del comandante Pedro A. Nieto, Teniente Alcaide del Patronato del Alcázar de Segovia. Y al profesor José Antonio Ruiz la generosa presentación que hizo de mi persona como preludio a mi intervención.

raleza, parece transparente, pero no sólo nos oculta muchos de sus secretos sino que deja a nuestra imaginación e inteligencia la fundamental tarea –el objetivo más precioso de la ciencia– de codificar en leyes generales lo que observamos. Galileo no logró, como acabo de decir, formular las leyes newtonianas del movimiento, ni siquiera las más humildes, aunque esenciales tres leyes de Kepler (las que nos dicen que los planetas se mueven, y cómo lo hacen, a lo largo de elipses, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol), pero se dio cuenta mejor que otros del valor de la cuantificación, de diseñar experimentos que nos guíen hacia las leyes generales, al medir e interpretar esas medidas. Es cierto que Johannes Kepler (1571-1630) llegó a leyes matematizadas, que podrían entenderse fruto de semejante filosofía, pero no fue así: él, el hijo de una mujer que llegó a ser juzgada acusada de prácticas de brujería, vivía en un complejo mundo mental lleno de ideas como músicas y armonías celestiales, que, sorprendentemente y con la ayuda, eso sí, de las observaciones realizadas por Tycho Brahe (1546-1601), le llevaron a sus tres leyes.

Cuantificar es una palabra que únicamente toma sentido en un contexto matemático. Y Galileo defendió como nadie el valor de las matemáticas en el estudio de la naturaleza. Recuerden aquellas palabras que escribió en uno de sus libros, *Il Saggiatore* (*El ensayador*; 1623)²: “La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que continuamente está abierto ante nuestros ojos (es decir, en el universo), pero no se puede entender si primero no se aprende a comprender ‘su lengua’ y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin cuya

² Utilizo la traducción de Víctor Navarro, ed., en *Galileo* (Península, Barcelona 1991), pág. 87.

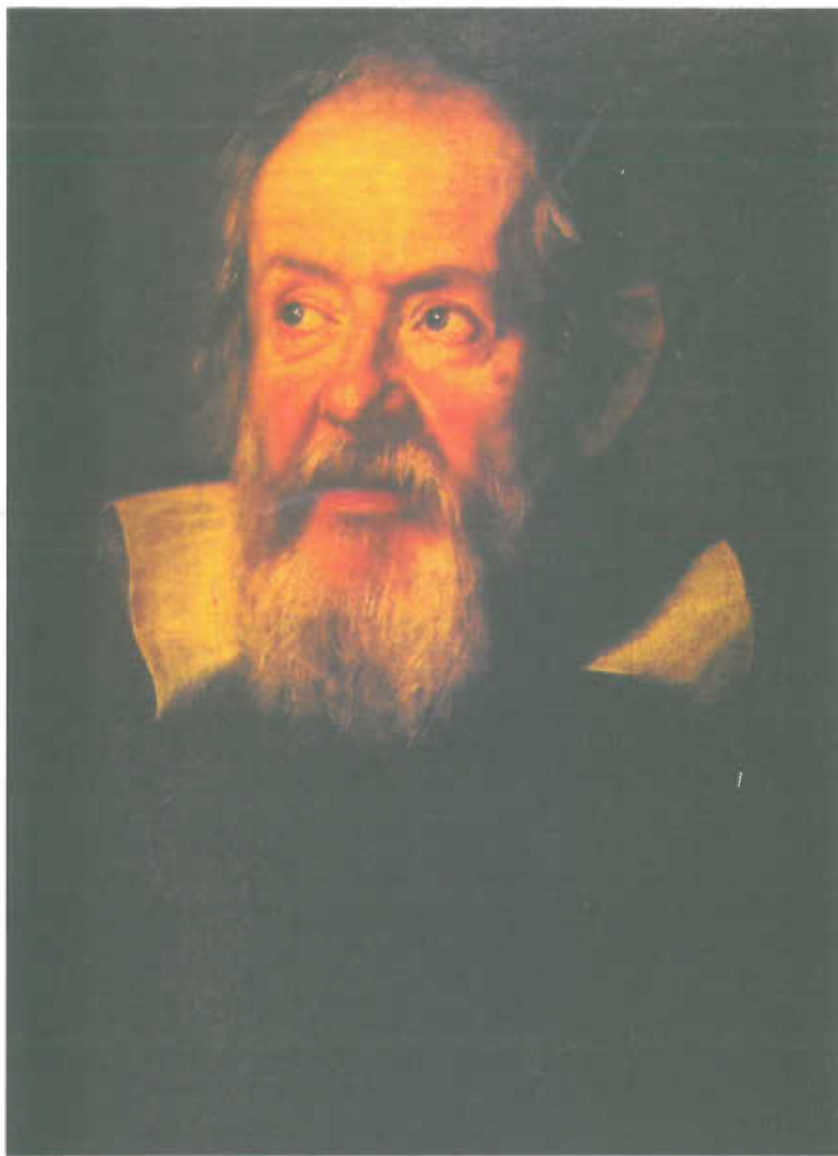
ayuda es humanamente imposible entender nada; sin éstas es como girar vanamente por un oscuro laberinto”.

Pero ya es hora de presentar a mi protagonista.

Los comienzos de la carrera de Galileo

Galileo Galilei nació en Pisa el 15 de febrero de 1564, uno de los siete hijos (tres varones y cuatro hembras) de Giulia di Cosme Ammannati (1538-1620) y de Vincenzo Galilei (1520-1591), que gozaba de buena reputación como músico y que hoy recordamos especialmente por sus trabajos sobre teoría musical (como el *Dialogo della musica antica et della moderna* [1581], en el que experimentaba con los tonos de las notas producidas por cuerdas de diferentes longitudes). En 1581 ingresó en la universidad de su ciudad natal, matriculándose en la Facultad de Humanidades (la dejó en 1585 sin haber llegado a graduarse). Fue por entonces (1586-1587) cuando descubrió varios teoremas sobre el centro de gravedad de los sólidos y cuando comenzó a estudiar el movimiento de un péndulo, que le conduciría años más tarde al descubrimiento del isocronismo de las oscilaciones pendulares; esto es, que el tiempo de batida de un péndulo únicamente depende de su longitud, no de la amplitud de la oscilación. En efecto, en una carta al marqués Guidobaldo dal Monte, un amigo de su familia, fechada el 29 de noviembre de 1602 enunciaba el isocronismo, que en el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano* (1632), obra a la que volveré después con más detalle, aparece referido en el siguiente intercambio entre Salviati y Sagredo³:

³ Galileo Galilei, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, traducción y edición de Antonio Beltrán (Alianza Editorial, Madrid 1995), pág. 201. La carta a Guidobaldo dal Monte se reproduce en el volumen X de *Le Opere di Galileo Galilei*, edición de A. Favaro (Giunti Barbèra, Florencia 1890-1909), 20 tomos, págs. 97-100. Con cierta frecuencia se dice que Galileo descubrió el isocronismo ya en 1583, esto es, cuando tenía 20 años. El origen de esta falsa creencia se encuentra en la biografía de Galileo que escribió el



Retrato de Galileo. Óleo pintado en 1636 por el artista flamenco Justus Sustermans (1597-1681). Galería de los Uffizi, Florencia.

SALV. Decídme: ¿de dos péndulos que cuelgan desde distancias desiguales, el que está atado a una cuerda más larga no hace menos oscilaciones?

SAGR. Sí, en el caso de que se muevan iguales distancias desde la perpendicular.

SALV. Ese alejarse más o menos no importa nada, porque el mismo péndulo siempre hace sus oscilaciones en tiempos iguales, sean las larguísimas o brevísimas, es decir tanto si el péndulo se aleja muchísimo como poquísimo de la perpendicular.

La capacidad que mostró como investigador sirvió para que fuese designado, cuando sólo tenía 25 años, catedrático de Matemáticas en su *alma mater*, la Universidad de Pisa, donde entre sus obligaciones figuró la de enseñar la astronomía ptolemaica; la teoría –cuya máxima expresión se halla en el gran libro de Claudio Ptolomeo (c. 100-175), conocido por el título de la traducción árabe, *Almagesto*, “El más grande”– según la cual el Sol y los planetas se mueven en torno a la Tierra⁴.

El primero de sus trabajos que se conserva, escrito en italiano, *La bilancetta* (*La balancita*), data de 1586 (se publicó, póstumamente, en 1644)⁵. En él se inspiraba en Arquímedes; en concreto en el método que éste inventó para resolver el problema de si la corona que encargó el rey Herón contenía realmente la misma cantidad de oro puro que el monarca había proporcionado al

matemático Vincenzo Viviani (1622-1703), que con 16 años se convirtió en su ayudante. Según Viviani, el balanceo regular de una lámpara en la catedral de Pisa llamó la atención del joven Galileo, y “realizando experimentos muy precisos, comprendió que las oscilaciones eran iguales. Inmediatamente, decidió adaptar este descubrimiento al problema de la medición del pulso, como se exigía en la medicina”. Vincenzo Viviani, *Racconto istorico della vita di Galileo Galilei* (1717), reproducida en *Le Opere di Galileo Galilei*, vol. XIX, pág. 603.

⁴ Entre 1585, cuando abandonó sus estudios en Pisa, y 1589 Galileo vivió sobre todo en Florencia, dando clases particulares de matemáticas.

⁵ Incluida en *Le Opere di Galileo Galilei*, op. cit., vol. I, pág. 220 y ss., y en *Opere di Galileo Galilei*, Nobile Fiorentino. *Primario Filosofo, e Matematico del Serenissimo Gran Duca di Toscana* (Florencia 1718), pág. 624 y ss. Un ejemplar de esta obra se conserva en la biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.

O P E R E
DI GALILEO
G A L I L E I

NOBILE FIORENTINO

Primario Filosofo, e Mattematico

DEL SERENISSIMO

GRAN DUCA
D I T O S C A N A .



IN FIRENZE. MDCCXVIII.

Ejemplar de la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.

LA BILANCETTA DEL SIGNORE GALILEO GALILEI

Nella quale, ad imitazione d' Archimede nel Problema della Corona, s' insegna a trovare la porzione del misto di due metalli insieme, e la fabbrica dell' istesso strumento.



ACCOME è assai noto a chi di leggere gli antichi scrittori cura si prende, aver Archimede ritrovato il furto dell' Orefice nella corona di Ierone, così parmi fin ora ignoto il modo, che sì grande uomo usar dovesse in tal ritrovamento; attesochè il credere, che procedesse col metter tal corona dentro l'acqua, avendovi prima posto altr' e tanto di oro purissimo, e d'argento separati, e che dalle differenze del far più, o meno crescere, o traboccar l'acqua, venisse in cognizione della mistione dell'oro coll'argento, di che tal corona era composta; par cosa [per così dirla] molto grossa, e lontana dall'esquisitezza, e tanto più parerà a quelli, che le sottilissime invenzioni di sì divino uomo tralle memorie di lui averanno lette, e intese, dalle quali pur troppo chiaramente si comprende, quanto tutti gli altri ingegni a quello di Archimede siano inferiori. Ben crederò io, che spargendosi la fama dell'aver Archimede ritrovato tal furto col mezzo dell'acqua, fosse poi da qualche scrittore di quei tempi lasciata memoria di tal fatto, e che il medesimo per aggiungere qual cosa a quel poco, che per fam' aveva inteso, dicesse, Archimede essersi servito dell'acqua nel modo, che poi è stato dall'universale creduto.

Ma il conoscer io, che tal modo è in tutto fallace, e privo di quell'esattezza, che si richiede nelle cose matematiche, mi ha più volte fatto pensare, in qual maniera col mezzo dell'acqua si potesse esquisitamente ritrovare la mistione di due metalli, e finalmente dopo aver con diligenza riveduto quello, che Archimede dimostra ne' suoi libri delle cose, che stanno nell'acqua, e in quelli delle cose, che pesano ugualmente, mi è venuto in pensiero un modo, il quale esquisitamente risolve il nostro quesito, il qual modo crederò io esser l'istesso, che usasse Archimede, attesochè oltre al servirsi dell'acqua, ed esser esattissimo, dipende ancora da alcune dimostrazioni ritrovate dal medesimo Archimede.

Il modo è col mezzo di una bilancia, la cui fabbrica, ed uso qui appresso sarà posto, dopo che si farà dichiarato, quanto a tale intelligenza è necessario. Devesi dunque sapere, che i corpi solidi, i quali nell'acqua vanno al fondo, pesano meno nell'acqua, che nell'aria tanto, quanto è nell'aria la gravità di tanta acqua in mole, quanto è esso solido; il che da Archimede è stato dimostrato; ma perchè la sua dimostrazione è assai mediata per

La bilancetta de Galileo. En Opere di Galileo Galilei, Nobile Fiorentino, tomo I (1718) (Biblioteca de la Academia de Artilleria de Segovia).

artesano. Galileo pensaba, y se enorgullecía de ello, que la balanza hidrostática que él inventó era la misma que había desarrollado Arquímedes. “Quienes leen sus trabajos”, escribió en su tratado, “comprenden bien cuán inferiores son todas las mentes comparadas con la de Arquímedes, y qué pequeña esperanza queda de descubrir alguna vez cosas similares a las que él descubrió”⁶.

Identificó bien Galileo la fuente de la que beber. Arquímedes (c. 287-212 a. C.), en efecto, fue, en más de un sentido, el más moderno de los antiguos helenos. Al menos en lo que se refiere a utilizar las matemáticas, enriquecidas por la observación, en el estudio de los fenómenos físicos. Euclides de Alejandría (c. 365-275 a. C.) nos dejó el modelo en el que se inspiraría la matemática venidera, la de todos los tiempos futuros –axiomas que se combinan mediante las leyes de la lógica para deducir proposiciones y teoremas–, pero era la suya una pureza no contaminada por el juicio final de lo que realmente sucede en la naturaleza, que va más allá del mero razonamiento matemático. Como Arquímedes, Galileo, aun siendo un maestro consumado en las artes matemáticas, construyó su carrera –y su grandeza– como científico bajo la premisa de que la naturaleza transita por otros caminos, aunque sus leyes se escriban en términos matemáticos. Y su admiración por Arquímedes llegó al extremo de que en *De Motu*, un tratado sobre el movimiento que compuso hacia 1590, escribió que el verdadero a quien volverse era el “divino” Arquímedes, “cuyo nombre nunca puedo mencionar sin un sentimiento de veneración”⁷. No debemos, de todas maneras, exagerar nuestra propia veneración por Galileo, y pensar que desde el primer momento fue el suyo un método científico que podemos considerar como propio, plenamente moderno. Como señaló uno de los grandes estudiosos galileanos, William Shea⁸: “parece claro

⁶ *Opere di Galileo Galilei*, Nobile Fiorentino, *op. cit.*, pág. 624.

⁷ Galileo, *De Motu*, en *Le Opere di Galileo Galilei*, vol. I, *op. cit.*, págs. 300, 307. En *De Motu*, por cierto, ya combatía las teorías aristotélicas del movimiento.

⁸ William R. Shea, *La revolución intelectual de Galileo* (Ariel, Barcelona 1983), pág. 25.

que el rol de la experiencia y el experimento como factor regulador estaba prácticamente ausente en los escritos iniciales de Galileo. Consideraba que el enfoque matemático era más fructífero y sólo gradualmente, durante el período paduano, empezó a comprender la importancia de crear experimentos sistemáticos”.

El periodo paduano en cuestión se inició en 1592, cuando con la ayuda de Guidobaldo dal Monte Galileo dejó su cátedra de Pisa por una equivalente (esto es, de nuevo de Matemáticas) en Padua, en la República de Venecia, cátedra vacante desde la muerte en 1588 de Giuseppe Moletti. Permaneció allí 18 años. No puedo, naturalmente, explicar todo lo que hizo entonces, pero sí es oportuno mencionar algunas de sus ocupaciones, antes de detenerme en la más importante.

En Padua enseñó materias como Geometría y Astronomía. Dio clases particulares de Cosmografía, Óptica, Aritmética y también sobre problemas prácticos de la guerra; acerca, por ejemplo, de campamentos, fortificaciones y sitios. Perfeccionó, además, en 1597 un compás geométrico que resultó muy útil para ingenieros mecánicos y militares y que comenzó a vender, a buen precio por cierto.

LE OPERAZIONI
DEL COMPASSO
GEOMETRICO,
E MILITARE
DI GALILEO GALILEI
Dedicato al Serenissimo
D. COSIMO MEDICI
PRINCIPE DI TOSCANA.

Le operazioni del compasso geometrico e militare de Galileo; en *Opere di Galileo Galilei, Nobile Fiorentino*, tomo I (1718) (Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia).

Copernicano y observador de los cielos

Sabemos que por entonces, 1597, ya estaba convencido de que el sistema copernicano era el correcto y no el viejo modelo ptolemaico. En este sentido, el 4 de agosto de aquel año escribía en una carta a Kepler, tras haber recibido un libro de éste, *Mysterium cosmographicum* (1596)⁹: “desde hace muchos años me he convertido a la doctrina de Copérnico, gracias a la cual he descubierto las causas de un gran número de efectos naturales que sin duda no pueden explicarse por la hipótesis común. He escrito sobre esta materia muchas consideraciones, razonamientos y refutaciones que hasta el momento no he osado publicar, atemorizado por la suerte del mismo Copérnico, que, si bien se ha asegurado una fama inmortal entre algunos, entre otros infinitos, sin embargo (tan grande es el número de necios), ha sido objeto de risa y desprecio. Ciertamente yo me atrevería a sacar a la luz mis reflexiones si existieran muchos hombres como tú, pero como no es así, desisto de tal empresa”.

Volveré a hablar de nuevo de Kepler más adelante, pero lo que está claro es que cuando escribió estas líneas Galileo era un hombre precavido, temeroso. Y es que el valor no es siempre un fruto que brote con rapidez. Necesita cultivarse, ir madurando poco a poco, especialmente cuando se tiene delante algún tipo de poder que, ensimismado en sí mismo, no toma en consideración las razones de “los otros”.

A comienzos del verano de 1609, Galileo supo mientras se hallaba en Venecia que en Holanda se había construido un ante-ojo con el que se veían más cerca los objetos alejados¹⁰. Sólo con

⁹ Reproducida en *Galileo*, V. Navarro, ed., *op. cit.*, págs. 308-309.

¹⁰ He aquí cómo describió él mismo este hecho en su libro *Sidereus nuncius* (Tommaso Baglioni, Venecia 1610), al que me referiré enseguida: “Cerca de diez meses hace ya que llegó a nuestros oídos la noticia de que cierto belga [el flamenco Hans Lipperhey] había fabricado un ante-ojo mediante el que los objetos visibles

tal información le bastó para, nada más regresar a Padua, construir él mismo uno de esos instrumentos. Manipulando lentes pronto encontró una combinación –un cristal cóncavo y uno convexo– que aumentaban el tamaño de los objetos. El primer telescopio que construyó tenía 3 aumentos, pero enseguida fabricó otro de 8, que regaló en agosto al gobierno veneciano.

No sé si Galileo pensó inmediatamente en apuntar con su nuevo instrumento al cielo¹¹. Lo que es un hecho es que el 24 de agosto (1609), escribía desde Padua a Leonardo Donato, Dux de Venecia, lo siguiente¹²:

Serenísimo Príncipe,

Galileo Galilei, humildísimo siervo de V. S., velando asiduamente y de todo corazón para poder no solamente satisfacer el cargo que tiene de la enseñanza de Matemáticas en la Universidad de Padua, sino

muy alejados del ojo del observador se discernían claramente como si se hallasen próximos. Sobre dicho efecto, en verdad admirable, contábanse algunas experiencias a las que algunos daban fe, mientras que otros las negaban. Este extremo me fue confirmado pocos días después en una carta de un noble galo, Jacobo Badovere, de París, lo que constituyó el motivo que me indujo a aplicarme por entero a la búsqueda de las razones, no menos que a la elaboración de los medios por los que pudiera alcanzar la invención de un instrumento semejante, lo que conseguí poco después basándome en la doctrina de las refracciones”; Galileo Galilei, *El mensajero y la gaceta sideral*, edición de Carlos Solís (Alianza Editorial, Madrid 2007), pág. 38. Aunque la opinión de los especialistas varía bastante, parece que tampoco fue Lipperhey el inventor del telescopio; antes, en 1590, se había construido uno en Italia. También se adjudica su invención, en 1608, al fabricante de lentes holandés Sacharias Jansen (el 2 de octubre de 1608, la cuestión de patentar el telescopio fue debatida en el Parlamento de Holanda). Badovere (1570-1610?) había sido discípulo de Galileo en Padua en 1598, obteniendo después un puesto diplomático en Francia.

¹¹ No fue, sin embargo, el primero en hacerlo. La primera observación documentada fue la que realizó en julio de 1609 el inglés Thomas Harriot, que utilizó un telescopio de seis aumentos para observar la Luna. Pero no publicó los resultados de sus observaciones.

¹² *Le Opere di Galileo Galilei*, op. cit., vol. 10, págs. 250-251. Reproducida en Galileo, *El mensajero y la gaceta sideral*, op. cit., págs. 257-258, y en V. Navarro, ed., *Galileo*, op. cit., págs. 309-310.

también aportar un extraordinario beneficio a V. S. con algún invento útil y señalado, comparece en este momento ante vos con un nuevo artificio consistente en un anteojo extraído de las más recónditas especulaciones de perspectiva, el cual pone los objetos visibles tan próximos al ojo, presentándolos tan grandes y claros, que lo que se encuentra a una distancia de, por ejemplo, nueve millas, se nos muestra como si distase tan sólo una milla, lo que puede resultar de inestimable provecho para todo negocio y empresa marítima, al poder descubrir en el mar embarcaciones y velas del enemigo a mayor distancia de la usual, de modo que podremos descubrirlo a él dos horas o más antes de que él nos descubra a nosotros, y distinguiendo además el número y características de sus bajeles podremos estimar sus fuerzas aprestándonos a su persecución, al combate o a la huida. De igual manera se puede descubrir en tierra, desde alguna elevación, aunque sea distante, los alojamientos y refugios del enemigo en el interior de las plazas, o incluso se puede a campo abierto ver y distinguir en sus detalles todos sus movimientos y preparativos con grandísima ventaja nuestra. Posee además muchas otras utilidades claramente obvias para cualquier persona juiciosa. Y por tanto, juzgándolo digno de ser aceptado por V. S. y estimándolo utilísimo, ha determinado presentároslo, dejando a vuestro arbitrio juzgar acerca de este invento, para que ordenéis y dispongáis, según parezca oportuno a vuestra prudencia, que sean o no fabricados.

Está claro: Galilei necesitaba ganar más dinero y vio en el telescopio un magnífico medio para atraer la atención de aquellos de los que en última instancia dependía, los gobernantes venecianos. Pero era un científico de pura cepa y pronto hizo lo que a nosotros, cuatro siglos después, nos parece obvio, pero que no lo era tanto entonces: dirigir su telescopio, perfeccionado ya hasta llegar a los 30 aumentos, hacia el cielo. Y lo que vio allí cambió para siempre nuestra manera de contemplar y entender el universo.

En noviembre de 1609, observó la Luna y encontró en su superficie la misma desigual geografía que existía en la Tierra. Vio manchas, que interpretó, correctamente, como producidas por las sombras de "las crestas de las montañas y los abismos de

los valles”, como escribió en el libro que se apresuró a escribir, *Sidereus nuncius* (*El mensajero sideral*; 1610)¹³. El mundo supralunar no se distinguía del terrestre, al contrario de lo que se sostenía en el sistema aristotélico-ptolemaico, una conclusión esta que sus posteriores observaciones, en enero de 1610, de Júpiter confirmaron: en las proximidades de este planeta detectó cuatro satélites –“planetas medíceos”, los bautizó, buscando favores de los Medici–, que ofrecían una versión en miniatura del universo copernicano. Los satélites orbitaban en torno a Júpiter, mientras que el sistema aristotélico-ptolemaico sólo admitía revoluciones alrededor de una estática Tierra. También vio manchas en la superficie del Sol y que la Vía Láctea no era “otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en montón”¹⁴. El universo, en definitiva, adquiriría una nueva dimensión: era mucho más variado y poblado, también más complicado, menos ordenado, de lo que hasta entonces se había supuesto.

Aquellas observaciones dieron a Galileo una extraordinaria notoriedad en el pequeño mundo de los astrónomos y filósofos de la naturaleza de su tiempo. En 1611 viajó a Roma, alojándose (entre el 29 de marzo y el 4 de junio) en la Trinità dei Monti, huésped de Francesco Nicolini, embajador del Gran Duque de Toscana ante el Papa. Durante su estancia romana realizó demostraciones con su telescopio a los jesuitas del Colegio Romano, que confirmaron sus descubrimientos, y también al papa Pablo V, del que recibió elogios. Fue, asimismo, nombrado miembro de la Accademia dei Lincei (Academia de los Linceos), una institución que tuvo sus orígenes en un pacto firmado el 17 de agosto de 1603 por cuatro jóvenes: el príncipe Federico Cesi, marqués de Monticelli y heredero de los ducados de Acquasparta, Sant’Agnese y San Paolo, que lideraba el grupo con sólo 18 años,

¹³ Galileo, *El mensajero y la gaceta sideral*, op. cit., pág. 57.

¹⁴ *Ibid.*, pág. 66.

el conde Anastasio De Filliis de Terni, pariente de la familia Cesi, Francesco Stelluti, un noble de Fabriano, y el médico holandés Jan Heck de Deventer¹⁵.

Manchas en el Sol

Como señalé, durante sus observaciones Galileo advirtió la existencia de manchas en el Sol. Naturalmente, observaciones de este tipo no se pueden realizar directamente. Lo que se hizo al principio fue colocar una lente neutra de color azul o verde sobre el objetivo del telescopio o cubrir la lente con hollín, pero un antiguo discípulo suyo, Benedetto Castelli (1578-1643), encontró un método mejor: dirigir la imagen del Sol hacia una pantalla colocada detrás del telescopio. De esta manera, Galileo pudo observar las manchas sobre la superficie solar.

Presentó públicamente sus observaciones en 1613 en un libro titulado *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (*Historia y demostraciones sobre las manchas solares*). La Accademia dei Lincei (esto es, Cesi) corrió con todos los gastos de la edición. Agradecido, y sin duda orgulloso de su pertenencia a la agrupación, su autor firmaba como “Galileo Galilei, Linceo”.

En realidad, esta obra estaba compuesta por tres cartas que Galileo escribió a Mark Welser (1558-1614), un científico aficionado, rico y amigo de los jesuitas, al que no le bastó con la publica-

¹⁵ Eligieron el lince como emblema porque según los antiguos se trataba de un animal con una vista tan aguda que podía “penetrar en el interior de las cosas”, una caracterización obviamente relacionada con sus propios propósitos: “conocer las causas y el funcionamiento de la Naturaleza”. La Accademia se reunía en el palacio Cesi, en la Via della Naschera d'Oro de Roma, pero tras la elección de Galileo se organizó en tres sedes: una en Roma, presidida por Cesi (*princeps Lynceorum*), otra en Florencia, dirigida por Galileo, y la última en Nápoles, encabezada por Giambattista Della Porta. Aunque la Academia dei Lincei continúa existiendo, su sede ya no es la misma.

ción de *Sidereus nuncius* para convencerse de las tesis de Galileo; sólo después de que el matemático más destacado del Colegio Romano, Christopher Clavius (1538-1612), le asegurase que las ideas de Galileo eran de fiar, se mostró de acuerdo. En la segunda de sus cartas a Welser, Galileo explicaba qué había visto¹⁶:

le confirmo resueltamente que las manchas oscuras que por medio del telescopio se descubren en el disco solar no están de ningún modo lejanas de la superficie de éste, sino que son contiguas a él, o están separadas por un intervalo tan pequeño, que resulta totalmente imperceptible. Además, no son estrellas u otros cuerpos consistentes de larga duración, sino que continuamente se producen unas y otras se disuelven, siendo o bien de breve duración, cual es de uno, dos o tres días, o más larga, de 10, 15 y, según mi parecer, de 30, 40 o más... En su mayoría son de forma muy irregular, forma que va cambiando continuamente, alguna con rápida y muy variada mutación y otras con variación menor y más lenta. También varían en oscuridad, mostrándose ora condensadas ora dilatadas y rarificadas. Además de mudarse en figuras muy diversas, frecuentemente se ve a alguna de ellas dividirse en tres o cuatro y frecuentemente a muchas unirse en una, y esto no tanto cerca de la periferia del disco solar, cuanto alrededor del centro.

Con estas observaciones y descubrimientos, que también realizaron otros por entonces (como el ya citado Thomas Harriot en Inglaterra, Johann Goldsmid en Holanda y el jesuita alemán Christopher Scheiner, que pensaba que las manchas eran pequeños satélites como los que Galileo había observado en torno a Júpiter) y aunque existen registros más antiguos que muestran que las manchas solares habían sido identificadas con anterioridad, comenzó realmente lo que sería una larga historia: la de averiguar qué eran las manchas solares (es obvio que Galileo no sabía responder a esta pregunta). De hecho, aunque larga, esa historia, ese problema, se mantuvo en estado de, podríamos decir, hibernación, durante mucho tiempo, siendo recuperado durante la

¹⁶ Galileo Galilei, *Cartas sobre las manchas solares*, extractos reproducidos en V. Navarro, ed., *Galileo, op. cit.*, págs. 58-59.

ISTORIA
E DIMOSTRAZIONI
INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI
E LORO ACCIDENTI
COMPRESSE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL'ILLVSTRISSIMO SIGNOR
MARCO VELSERI LINCEO
DVVM VIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA
DAL SIGNOR
GALILEO GALILEI LINCEO

Illust. Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Sereniss.

D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.

Si aggiungono nel fine le Lettere, e Disquisizioni del finto Apelle.



IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Ejemplar de la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.



Frontispicio representando a Galileo incluído en Galileo Galilei, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (Roma 1613). Se utilizó posteriormente en *Il saggiaiore* (1623) (Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia).

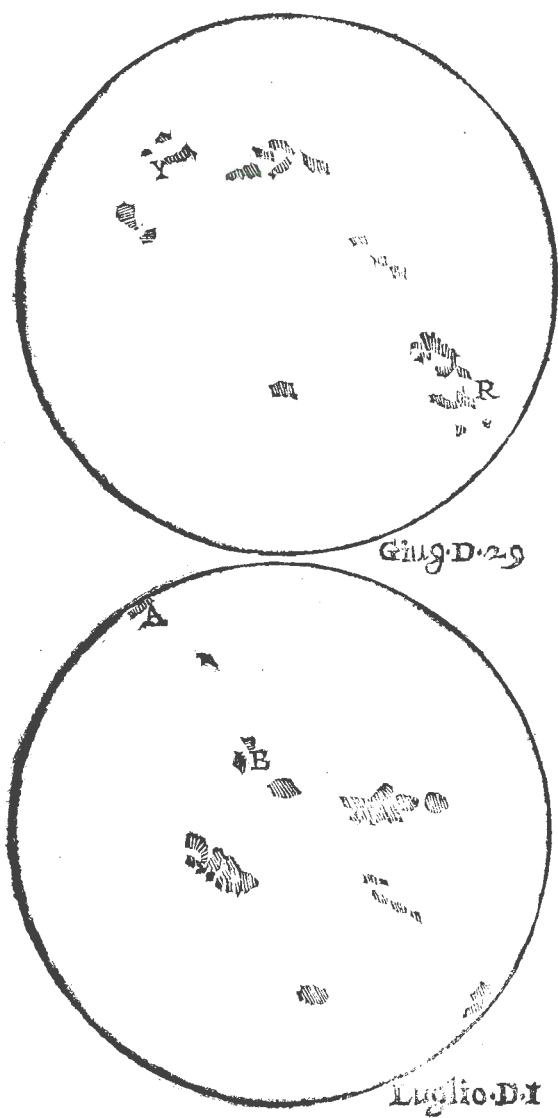


Ilustración incluida en *Disegni delle macchie del sole* de Galileo; en *Opere di Galileo Galilei, Nobile Fiorentino*, tomo II (1718) (Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia).

segunda mitad del siglo XIX, cuando las manchas del Sol fueron asociadas a las tormentas magnéticas que se producen en la Tierra¹⁷.

El Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano

A pesar de la excelente acogida que inicialmente tuvieron las observaciones e interpretaciones teóricas de Galileo, no tardaron en surgir reacciones en contra. En 1614, el dominico Tommaso Caccini le atacó desde el púlpito de la iglesia de Santa María Novella, y a comienzos del año siguiente otro dominico, Niccolò Lorini, le denunció a la Congregación del Santo Oficio. Sin embargo, algunos de sus amigos romanos se esforzaron por ayudarle. Uno de ellos, Giovanni Ciampoli, se entrevistó el 27 de febrero de 1615 con el cardenal Maffeo Barberini (1568-1644). Al día siguiente, Ciampoli informaba a Galileo¹⁸:

El Señor Cardenal Barberini que, como bien sabe por experiencia, siempre ha admirado su valía, me decía ayer por la tarde que, respecto a esas opiniones, sería más seguro no ir más allá de los argumentos usados por Ptolomeo y Copérnico y, en definitiva, no traspasar los límites de la física o la matemática, porque los teólogos pretenden que declarar el sentido de la Escritura les corresponde a ellos; y cuando se aportan novedades, aunque se trate de ingenios admirables, no hay quien carezca de pasiones en su corazón y nadie toma las cosas tal como se dicen: uno amplía, otro cambia, y lo que ha salido de la boca de un autor sufre tantas transformaciones al divulgarse que el propio autor ya no reconoce aquello como suyo. Y yo sé lo que digo: porque su opinión [de Galileo] sobre los fenómenos de la luz y de las sombras de la parte pura y de las manchas, establece alguna seme-

¹⁷ La historia de este episodio científico se narra en Stuart Clark, *The Sun Kings* (Princeton University Press, Princeton 2007).

¹⁸ Citado en William R. Shea y Mariano Artigas, *Galileo en Roma. Crónica de 500 días* (Ediciones Encuentro, Madrid 2003), pág. 78.

janza entre el globo terrestre y el de la Luna; entonces, uno añade y dice que usted dice que hay hombres que habitan la Luna; otro empieza a discutir cómo pueden haber descendido de Adán o haber salido del arca de Noé, con muchas otras extravagancias que usted nunca soñó. De modo que afirmar frecuentemente que uno se somete a la autoridad de los que tienen jurisdicción sobre la inteligencia de los hombres en la interpretación de las Escrituras es muy necesario para quitar la ocasión a la malignidad de otros. Quizás parecerá a Vuestra Señoría que voy demasiado lejos dándomelas de sabio; permíteme, por favor y reciba el infinito afecto que es lo que me hace hablar así.

Vemos que Galileo iba teniendo problemas. Para intentar evitarlos, viajó a Roma, a donde llegó el 10 de diciembre de 1615. Sin embargo, no consiguió evitar que fuese amonestado y advertido. El jueves 25 de febrero de 1616 el Papa ordenó al cardenal Bellarmino que llamará a Galileo, con el resultado, según un documento depositado en los archivos del Santo Oficio, de que¹⁹: “El día 26, el Ilustrísimo Señor Cardenal Bellarmino amonestó a Galileo acerca del error de la opinión mencionada, etc., y a continuación el Padre Comisario le impuso el precepto como se dice arriba, etc.” El precepto en cuestión era que se abstuviera de enseñar, defender o incluso discutir el copernicanismo. El 3 de marzo, en una reunión del Santo Oficio, en la que estaban presentes el Papa y siete cardenales, Bellarmino informó que Galileo había aceptado abandonar la opinión de que el Sol está quieto y la Tierra en movimiento. Poco después, el 5 de marzo, la Congregación del Índice emitió, con el asentimiento del Papa, un decreto por el que se condenaba y prohibía, “hasta que se corrija”, cinco libros, el de Copérnico entre ellos. Además, se establecía que se prohibiesen “todos los demás libros que enseñan lo mismo”.

Que Galileo no creía en lo que manifestó es seguro. Pero se comportó como se le exigía... hasta que, tres lustros después, cre-

¹⁹ *Ibíd.*, pág. 95.

yó que la situación político-religiosa (el acceso al Pontificado en 1623, como Urbano VIII, del cardenal Barberini, que había sido uno de sus defensores) le favorecía y podía expresarse más libremente²⁰. El producto de aquel, a la postre malentendido, o error de juicio, fue un libro inmortal que vio la luz en Florencia en 1632: el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano* (Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano), una obra maestra de la literatura científica, escrita en lengua vernácula, el italiano, en una época en el que el latín era el idioma utilizado en este tipo de textos. Los tres personajes creados por Galileo para protagonizar ese diálogo, Salviati, Sagredo y Simplicio, copernicano el primero (en realidad el *alter ego* de Galileo), neutral el segundo y aristotélico el último, han pasado a formar parte de la cultura universal, de la misma manera que lo han hecho otros personajes de ficción, como pueden ser, salvando todas las diferencias que se quiera, don Quijote y Sancho Panza, o Romeo y Julieta²¹.

El *Diálogo* es una obra maravillosa. Un prodigio de imaginación, claridad, habilidad narrativa y profundidad científica. Es uno de los pilares, de las piedras fundacionales, del método científico moderno. En él no están resueltos todos los problemas que planteaba la nueva forma, copernicana, de entender la naturaleza, pero se sentaban las bases para hacerlo. Así, es la ciencia: se

²⁰ Una muestra de que Galileo pensó, efectivamente, que la llegada de Barberini al Pontificado le favorecía, es que reaccionó con rapidez dedicándole en el último momento el libro que estaba a punto de salir de imprenta: *Il sagggiatore nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi* (Giacomo Mascardi, Roma 1623). Galileo escribió esta obra para responder al ataque que le había hecho el matemático jesuita del Colegio Romano Orazio Grassi (cuyas ideas sobre los cometas había criticado previamente el de Pisa) en un libro que había publicado en 1619 bajo el pseudónimo de Lotario Sarsi.

²¹ Para sus personajes, Galileo se inspiró en dos discípulos y grandes amigos suyos, Filippo Salviati (1583-1614) y Giovan Francesco Sagredo (1571-1620), y en un famoso comentarista de Aristóteles del siglo VI, Simplicio, cuyo nombre, por supuesto, puede entenderse como "simple".

DIALOGO

D I

GALILEO GALILEI LINCEO

MATEMATICO SOPRAORDINARIO

DELLO STUDIO DI PISA.

E Filosofo, e Matematico primario del

SERENISSIMO

GR.DVCA DI TOSCANA.

Doce ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Preponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

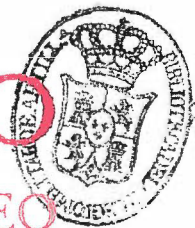
IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.



Lámina que abre el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano* (1632) de Galileo, en la que aparecen (de izquierda a derecha) Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico.

DIALOGO D I GALILEO GALILEI LINCEO MATEMATICO SUPREMO



DELLO STUDIO DI PADOVA, E PISA.
**E Filosofo, e Matematico primario del Serenissimo
Gran Duca di Toscana.**

Dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due
massimi Sistemi del Mondo TOLEMAICO, e COPERNICANO;

Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.

IN QUESTA SECONDA IMPRESSIONE

Accresciuto di una Lettera dello stesso, non più stampata, e di varj
Trattati di più Autori, i quali si veggono nel fine del Libro.

DEDICATO ALL' ILLUSTRISS. ED ECCELLENTISS. SIGNORE
IL S I G N O R

D. CARLO CARAFFA- P A C E C C O.

Duca di Maddaloni, Marchese di Arienzo, Conte di Cerreto;
Principe della Guardia, &c.



IN FIRENZA, MDCCLX.

Ejemplar de la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.

avanza, como en la famosa frase, a hombros de gigantes, o como dijo, en uno de sus raros momentos de modestia, Isaac Newton, “encontrando de vez en cuando un guijarro más liso y una concha más bella que las normales, mientras que el gran océano de la verdad permanece sin descubrir ante nosotros”. Si hay una obra de Galileo que permita denominarlo “filósofo de la naturaleza”, es ésta.

Galileo y la artillería

Entre los problemas que planteaba que la Tierra estuviese en movimiento se encontraba el de entender cómo era posible que si se dejaba caer un objeto –una piedra, por ejemplo– desde, digamos, una torre, éste aterrizaba en la vertical cuando durante el tiempo de su caída la Tierra –y con ella la torre– se había desplazado una cierta distancia. Tal era uno de los argumentos que favorecían los aristotélicos en contra de Copérnico. En la Segunda Jornada del *Diálogo*, Galileo resolvía el problema argumentando (en boca de Salviati) lo siguiente²²:

El error de Aristóteles, de Ptolomeo, de Tycho, vuestro [Simplicio] y de todos los demás, radica en esa fija e inveterada impresión de que la Tierra está en reposo, de la que no os podéis o sabéis despojar ni siquiera cuando queréis filosofar acerca de lo que se seguiría, en el supuesto de que la Tierra se moviese. Así también... al no considerar que mientras la piedra está sobre la torre, respecto al moverse o no, hace lo que hace el globo terrestre, porque habéis fijado en vuestra mente que la Tierra está quieta, en todo momento pensáis en la caída de la piedra como si partiese del reposo, por lo que es preciso afirmar: si la Tierra está en reposo, la piedra parte del reposo y descende perpendicularmente. Pero si la Tierra se mueve, la piedra se mueve otro tanto con igual velocidad y no parte del reposo, sino del mismo movimiento que la Tierra, con el cual mezcla el sobreañadido hacia abajo y compone uno transversal.

²² Galileo Galilei, *Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo ptolemaico y copernicano*, op. cit., pág. 149.

Y no sólo ponía como ejemplo piedras, también balas de cañón²³: “Debemos seguir hablando del cañón elevado perpendicularmente sobre el horizonte, es decir el disparo hacia nuestro cenit y finalmente del retorno de la bala por la misma línea sobre la misma pieza de artillería, a pesar de que en la larga demora que ha estado separada de la pieza, la Tierra haya llevado a esta última muchas millas hacia levante, y parece por tanto que la bala debería caer alejada de la pieza el mismo espacio hacia occidente, lo que no sucede... La solución es la misma que la del caso de la piedra que cae de la torre, y toda la falacia y la equivocación consiste en suponer en todo momento como verdadero lo que está en cuestión. Porque el adversario [los aristotélicos] no deja de dar por sentado en todo momento que la bala parte del reposo, al ser lanzada fuera de la pieza, y no puede suceder que parta del estado de reposo si no se supone el reposo del globo terrestre, que es precisamente el problema que se está planteando. Replico, por tanto, que los que consideran móvil a la Tierra responden que el cañón y la bala que está dentro participan del mismo movimiento que tiene la Tierra. Más aún, que junto con ella tienen tal movimiento por naturaleza y, por ello, la bala no parte en absoluto del reposo, sino unida con su movimiento en torno al centro, que no es ni eliminado ni estorbado por la proyección hacia arriba. De este modo, siguiendo el movimiento universal de la Tierra hacia oriente, se mantiene continuamente sobre la pieza, tanto al elevarse como en su entorno. Y veréis que, en una nave, sucede lo mismo haciendo la experiencia de lanzar una bala hacia arriba en perpendicular con una ballesta, que regresa al mismo lugar, tanto si la nave se mueve como si está quieta”.

En otras palabras: aun no disponiendo de una mecánica elaborada, como la que proporcionaría más de medio siglo después Newton, Galileo introducía la noción de sistema dinámico y esbo-

²³ *Ibíd.*, págs. 151-152.

zaba la noción de movimiento inercial. Viendo el número de páginas del *Diálogo* en el que se trata del movimiento de los proyectiles lanzados por cañones, queda también claro la importancia que la artillería tenía para las consideraciones de Galileo. Ahora bien, lo que no aparece en esta obra es la figura geométrica de las trayectorias que siguen tales proyectiles, una cuestión, como es bien sabido, de gran importancia práctica además de teórica, aunque sí se refería Galileo a un elemento básico para resolver tal cuestión: el de que el movimiento es compuesto. A esta cuestión volvería con más detenimiento y claridad en su otro gran libro: *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimienti locali* (*Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias relativas a la mecánica y movimientos locales*), publicado en 1638 en Leiden, en la histórica editorial Elzevier.

Los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* es la gran obra científica de Galilei. Mientras que el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano* es, en cierto sentido, el producto explosivo de una circunstancia inesperada, una serie de observaciones propiciadas por la invención del telescopio, el nuevo *Diálogo* de 1638 es el fruto maduro de toda una vida de estudios sobre el movimiento. En unos pocos meses de observaciones astronómicas Galileo comprobó que las tesis ptolemaicas no se sostenían. Para determinar, por ejemplo, cuánto tarda en caer un cuerpo bajo la influencia de la gravedad necesitó de mucho más tiempo. Y también mirar no hacía el cielo, sino hacia la tierra; dedicarse a actividades más, podríamos decir, materiales y cotidianas.

La Jornada primera de los *Discursos* es ilustrativa en este sentido. Comienza con la siguiente manifestación de uno de los interlocutores (los mismos que en el *Diálogo*), Salviati²⁴: “Pienso

²⁴ Galileo Galilei, *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* (1638). He utilizado la traducción al español incluida en *A hombros de gigantes*, Stephen Hawking, ed. (Crítica, Barcelona 2003), pág. 357.

que la frecuente actividad en vuestro famoso arsenal, Señores venecianos, ofrece un gran campo para filosofar a los intelectos que especulan, especialmente en aquella parte que se denomina mecánica, en donde se construyen continuamente todo tipo de instrumentos y de máquinas por medio de un gran número de artesanos, algunos de los cuales han de ser muy entendidos y con un talento muy agudizado debido tanto a las observaciones que sus predecesores hayan hecho como a lo que van a descubrir ellos mismos sin interrupción". A lo cual Sagredo añadía: "V. S. no se engaña en absoluto: y por lo que a mí se refiere, siendo como soy curioso por naturaleza, visito frecuentemente, para recreación mía, este lugar, fijándome en lo que hacen aquellos que nosotros, a causa de cierta preeminencia que ostentan sobre el resto de los artesanos, llamamos principales. Hablar con ellos me ha ayudado muchas veces a investigar la causa de efectos no solamente maravillosos, sino ocultos también y apenas creíbles".

Cohérente con tales declaraciones, a lo largo de las páginas de los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* aparecen todo tipo de artificios y fenómenos mecánicos: pesos que cuelgan de otros, cuerdas enrolladas sobre cilindros, palancas, vigas, resistencias, torsiones, movimientos de caída a lo largo de planos inclinados y también proyectiles. De hecho, Galileo dedicó la "Jornada cuarta" a "El movimiento de los proyectiles". Pero antes de explicar cuáles fueron las aportaciones de Galileo en este campo, permítanme detenerme un instante en la historia de las armas de fuego, de la artillería, una historia muy antigua.

Orígenes de la artillería

La historia de los orígenes de la Artillería constituye un apartado habitual en muchas de las obras antiguas que tratan de ella. Como ejemplo particularmente ilustrado en el Apéndice final reproduzco lo que escribió al respecto Vicente de los Ríos (1736-1779), teniente de la Compañía de Caballeros Cadetes del Real

Cuerpo de Artillería, profesor de Artillería en el Colegio de Segovia, además de experto cervantista, en su libro *Discurso sobre los ilustres autores é inventores de Artillería, que han florecido en España, desde los Reyes Catholicos hasta el presente* (1767)²⁵. En la actualidad, se acepta comúnmente que los chinos fabricaron pólvora con salitre, azufre y carbón vegetal desde, al menos, el siglo IX, y que dispusieron de armas de fuego desde el XI. No sabemos si la introducción de éstas en Europa fue importando su conocimiento desde Asia o si se descubrieron de forma independiente, pero el hecho es que la pólvora se conocía en ciudades flamencas e italianas desde las primeras décadas del siglo XIV y antes de mediados de aquella centuria se habían fabricado los primeros cañones. Parece que los utilizaron los ingleses en 1346, en Crécy, durante la Guerra de los Cien Años (1337-1453), y con seguridad en Calais en 1347 (De los Ríos, en la obra que acabo de citar –ver Apéndice– da otras referencias). Sin embargo, la eficacia militar de aquellos primeros cañones fue muy pequeña, especialmente cuando se compara con los arcos. Hubo que esperar un siglo, a su uso por parte del ejército francés de Carlos VII en batallas como las de Formigny (1450) y Castillon (1453), para que comenzasen a demostrar todo su poder²⁶.

Es teniendo en cuenta el incontrovertible y razonable hecho de la importancia de la artillería para los ejércitos que debemos plantearnos el interés que surgió por comprender las trayectorias de los proyectiles lanzados desde cañones, con el fin de mejorar su eficacia y ser capaces de llegar más lejos y de mejorar su pre-

²⁵ Además de teniente de la Compañía de Caballeros del Real Cuerpo de Artillería, Vicente Gutiérrez de los Ríos, como en realidad se llamaba, fue miembro de la Real Academia Española (sillón B), de la Real Academia de la Historia y de la Real Academia de Buenas Letras de Sevilla. La Real Academia Española le encargó supervisar parte de la edición de *El Quijote* que publicó en 1780.

²⁶ Sobre estas cuestiones, véase Antonio Campillo, *La fuerza de la razón. Guerra, Estado y ciencia en los tratados militares del Renacimiento, de Maquiavelo a Galileo* (Secretariado de Publicaciones, Universidad de Murcia, 1986).

cisión, cuestiones éstas en las que también intervenía, evidentemente, la carga de pólvora del cañón. Considerando el papel, presencia y frecuencia de las guerras en aquella época, y de que éstas se ven condicionadas por el armamento de que se dispone, es razonable pensar que el interés por la artillería no fuese aislado, que no naciese únicamente en la mente de algún individuo, que, por una razón u otra, se viese inclinado a pensar sobre esas cuestiones. De hecho, parece que esto es lo que sucedió. Y es que los rayos nunca vienen solos. Son producto de las tormentas, resultado éstas a su vez de la tensión que se almacena en nubes, en acumulaciones de vapor de agua procedente de la superficie terrestre y marítima.

Galileo y la trayectoria parabólica de los proyectiles

De manera análoga, tampoco Galileo fue un rayo solitario en su estudio del movimiento de los proyectiles, aunque sea uno de los más, si no el que más, conocido. Otros se empeñaron en parecida tarea. En 1579, por ejemplo, en un libro publicado en Londres y titulado *An Arithmeticall Warlike Militare Treatise, named Stratioticos*, el inglés Thomas Digges (c. 1545-1595) propuso como posibles trayectorias, dependiendo del ángulo de inclinación del cañón, las tres secciones cónicas: parábola, hipérbola y elipse (con la circunferencia como un caso especial). Hay que tener en cuenta que el número de curvas matemáticas conocidas entonces era muy limitado: además de la línea recta, básicamente las secciones cónicas que acabo de mencionar²⁷.

²⁷ Como bien señala Alberto Elena en su introducción a la edición de unos escritos de Copérnico, Digges y Galileo, "aún hoy Thomas Digges sigue siendo casi un desconocido, apreciación que –salvo honrosas excepciones– podría muy bien hacerse extensiva a toda la astronomía isabelina". Alberto Elena, "Introducción", en *Nicolás Copérnico, Thomas Digges, Galileo Galilei. Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra* (Alianza Editorial, Madrid 1983), pág. 13.

Siguiendo la estela de Digges, Thomas Harriot (c. 1560-1621) –con quien ya nos encontramos brevemente antes– llegó a resultados muy semejantes a los obtenidos por Galileo, que fueron desconocidos incluso para sus contemporáneos (si hemos sabido de ellos es gracias a los manuscritos que dejó).

El problema al que se enfrentaron Galileo y Harriot fue el de determinar la trayectoria del proyectil lanzado por un cañón dependiendo del ángulo de proyección. Según la física aristotélica, basada en movimientos naturales y violentos, podían darse, básicamente, dos situaciones: que la bala se moviese en línea recta ascendente hasta que cesase el *movimiento violento*, momento en el que caería en picado, verticalmente, siguiendo su *movimiento natural*, o que al movimiento rectilíneo inicial le siguiese uno *mixto*, curvo, que enlazaría con el vertical final.

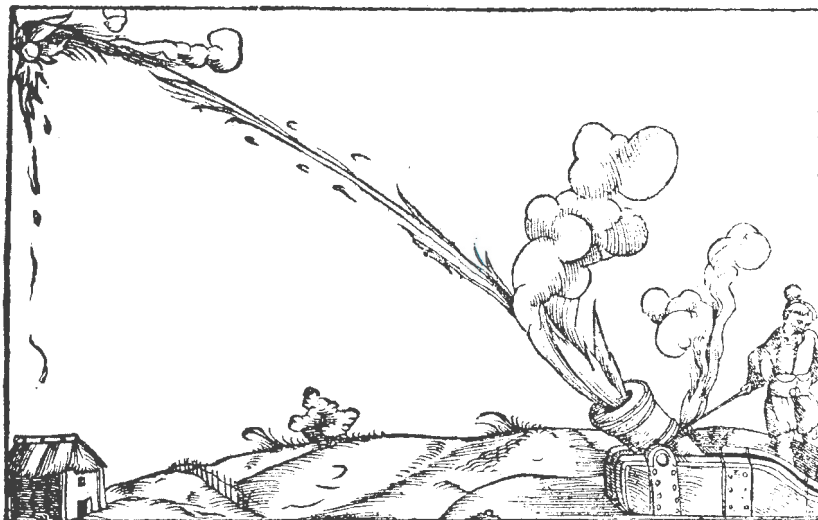


Diagrama pregalileano de la trayectoria de un proyectil. Muestra la trayectoria de un proyectil tal y como la suponía Tartaglia: una línea recta inclinada que surge del cañón, un pequeño arco circular y luego una línea recta dirigida perpendicularmente hacia el suelo. Incluida en Sebastián Münster, *Rudimenta mathematica* (Basilea 1551).



Grabado tomado de Walter Ruff, *Der mathematischen und mechanischen Künst* (Nuremberg 1547) en el que se ve a dos artilleros: el de la derecha utiliza una escuadra de Tartaglia con plomada para medir el ángulo de elevación, y el de la izquierda mide el alcance (que determina el ángulo de elevación que hay que utilizar). Tartaglia pensaba que el rango máximo de elevación debía ser de 45° .

Ya Niccolo Tartaglia (c. 1501-1557) –que contribuyó a las artes militares perfeccionando (que no inventando) la escuadra para medir la inclinación que había que dar a los cañones– pensaba que la trayectoria incluía esos tres tipos de movimientos, como se puede comprobar en el grabado del libro de Sebastián Münster, *Rudimenta mathematica* (*Rudimentos de matemáticas*; Basilea 1551), que reproducimos aquí²⁸.

²⁸ Es oportuno citar lo que Vicente de los Ríos dice sobre Tartaglia en su ya citado libro, *Discurso sobre los ilustres autores é inventores de Artillería, que han*

Cuarenta años más tarde, encontramos otro ejemplo (aunque con el añadido del movimiento mixto aún) de que no se había abandonado por completo la teoría aristotélica del movimiento, en el libro del artillero español e ingeniero de Felipe II en el ejército de Lombardía y Piamonte, Luis Collado, *Plática manual de artillería*, impreso en Milán en 1592 (sin embargo, había sido publicado antes, 1586, en italiano, en Venecia), del que reproducimos aquí su portada y una de las láminas que contiene²⁹.

florecido en España, desde los Reyes Catholicos hasta el presente (Joaquin Ibarra, Madrid 1767), págs. 23-24: “aunque Nicolás Tartaglia se jactó de ser el descubridor de este instrumento [la escuadra], estaba yá en uso años antes, y se halla expresa mencion de él en los Comentarios, que Daniel Santbech hizo á la Obra de Triangulos del Regio Montano, cuyo Maestro Jorge Purbach fue el primero que dió una idéa de este instrumento en su Cuadrado geométrico./En el siglo diez y seis creció la aplicación á las Matematicas, y se hizo al mismo tiempo mayor uso de los Morteros, que en las guerras de Italia al principio de dicho siglo se emplearon en arrojar Piedras, y Balas rojas en las Plazas./ Por entonces Nicolás Tartaglia, natural de Brescia, en la Republica de Venecia, Gran Matematico, y uno de los ilustradores del Arte Analitica, abrió el camino para perfeccionar el uso de la Artillería. El fué el primero, que inquirió de qué naturaleza es la Curva, que describen los cuerpos proyectos, y cuáles son sus propiedades, aplicandolas despues al movimiento de las Balas arrojadas por el Cañon, y Mortero. Arregló la Escuadra, dividiendola en doce partes iguales para medir las elevaciones; y conoció, que el tiro, por un punto sexto equivalente al semirecto, era el del mayor alcance. Estos descubrimientos produjeron grandes ventajas á la Tormentaria, mezcladas con muchos errores, como regularmente acontece. Y aunque su Autor, en la Nueva Ciencia impresa el año de 1538, promete dár el orden con que los alcances aumentan, ó disminuyen á proporcion de las elevaciones, suprimió despues esta teoría, bajo el pretexto de que podia ser nociva al genero humano, como notó el señor de Blondel”. He conservado la escritura, acentuación y puntuación originales.

²⁹ Recurriendo de nuevo al *Discurso sobre los ilústrres autores é inventores de Artillería, que han florecido en España, desde los Reyes Catholicos hasta el presente* de Vicente de los Ríos (págs. 33-35): “Todos los puntos mas esenciales de Artillería, acerca de la fundicion de las Piezas, sus dimensiones, sus refuerzos, y calibres, su carga, su punteria, su transporte, el modo mas aproposito para terciarlas, y ponerles granos, la mejor construcción de sus montages, la formacion mas cómoda de los juegos de armas, la fabrica mas ventajosa de la polvora, la composicion mas util de los fuegos artificiales: estos puntos, y otros varios muy conducentes á la Profesion de Artillería, están tratados por Luis Collado con un

PLATICA MANVAL DE ARTILLERIA, EN LA QVAL SE TRACTA DE LA EXCELENCIA DE EL ARTE MILITAR, Y ORIGEN DE ELLA,



Y DE LAS MAQVINAS CON QVE LOS ANTIGVOS
COMENÇARON A VSARLA,

DE LA INVENCION DE LA POLVORA, Y ARTILLERIA,

De el modo de conduzirila, y plantarla en qualquier empresa,

Fabrizar las Minas para bolar las Fortalezas, y Montañas, Fuegos artificiales,

Varios secretos, y importantísimos aduertimientos, al arte de la
Artilleria, y vfo de la Guerra vtilísimos, y muy necesarios.

Tà la fin un muy copioso, y importante examen de Artilleros,

DIRIGIDA A LA Magestad CATH. DE EL GRAN PHILIPPO II.

dignísimo Rey de las Españas, Por Luys Collado, natural de Lebriza,

Ingeniero del Real Exército de Lombardia, y Piemonte.

*Con licencia del muy Reverendo P. Inquisidor General del Estado de Milan,
y del Reverendíss. Señor Arçobispo, y Illustríss. Senado.*



EN MILAN.

67350

Por Pablo Gotardo Poncio, stampador de la Real Camara, el año 1592.

Ejemplar de la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.

sin fundamento alguno, ni experiencia, quieren que sabidos los pasos que vna pieza tiro por el primer punto, se sepan los que tirara por qualquiera otro, inueltigando las diferencias de los tiros por las reglas de guarismo, lo qual jamas haran verdadero.

Capitulo VII. que trata vn discurso que el Auñtor haze contra el parecer de vn auñtor Italiano, El qual en una hobra suya, trata de las eleuaciones de los tiros hechos por los puntos de la Esquadra.



CERCA de los passados Razonamientos hechos por mi, y aprouados por la experiencia, y parecer de hñbres muy platcos, y de auñtores doctísimos, se me offrece tractar de vna opinion que vn cierto auñtor moderno Italiano, docto en las Mathematicas, y muy mi amigo, escriue en vna su hobra que el cõpso, acerca de las eleuaciones de el Artillería. Pero antes de tratar de la preiente materia, y para mayor declaracion de la propueta platica, soy forçado de diuertirme en otra, Conuiene à saber que serà conueniente dezir quantas diferencias de mouimientos hazen las balas salidas de la boca de las piezas, O por mejor dezir en quantas maneras los cuerpos graues, y pesados, puedan hazer sus mouimientos, Y que diferencias se hallan de ellos, Y así digo que en una de tres maneras de mouimiento, qualquier cuerpo graue puede ser mouido. La primera sera de motu Natural puro, Y la segunda de motu Puro violento, Y la tercera de mouimiento mezlado del uno, y del otro extremo de mouimiento. El motu Natural puro es quando qualquier cuerpo graue, y pesado se parte del lugar de su stabilitad, y reposo, y naturalmente cayendo, busca otro nuevo lugar donde repofarse, q̃ es el centro. Como lo haria la bala, que en la alteza de una torre fuesse detenida, La qual dexandola caer de allí à baxo, y no hallando en el transito algun impedimento, con su puro, y natural mouimiento hiria siempre perpendicularmente abaxando, hasta hallar como se dixo algun reposo. En el qual motu Natural, quanto mayor sera la alteza de donde aquel peso se parte, tanto mayor velocidad, y ligereza se adquiere, Digo que quanto mas del lugar de su stabilitad se alexa, tãto mas velocemente camina. El secundo mouimiento que diximos ser el motu Violento puro, es en todo, y por todo contrario de el passado, y este se entiende quando perpendicularmente, y à plomo se plantase vna pieza de Artillería hazia el cielo, y cõ ella se disparasse vn tiro, Que la bala en tal caso subiria en alto de mouimiento violento, y forçoso, Y esto por tanto espacio, quanto durasse la potencia de su mouiente, que es el fuego, que de allí seria forçada de boluer naturalmente, Però nota, que entre los dos mouimientos dichos, conuiene à saber el puro natural, Y el violento puro, se halla la tercera diferencia de mouimientos, que diximos ser llamado comunmente Mixto, o mezlado, llamase mezlado por quanto se allega al vno, y al otro, Conuiene à saber al Natural, y al violento, como en la preiente figura se ve claro, Donde de la pieza A. de motu violento parte la bala, y haze su transito cõ velocidad grandíssima, pero començandole en el transito B. à faltar la fuerza con q̃ de su mouiente fue expelida, Es de vna cierta tardança, y pesadumbre ocupada, y camina tanto mas lenta, y pe rezosa, quanto mas la potencia le falta, Pero hallandole ya ella subida contra su natura en lo alto, y descando de baxar al centro, por hallar como diximos su reposo, comiença à poco à poco à hir declinando, En la qual declinacion participa de un mouimiento, y del otro, Del motu violento. Porque aun camina hazia adelantela bala, y le impide q̃ no pueda caer à plomo en tierra, Participa así mismo del Natural motu, por q̃ano se vee q̃ va baxado. La qual bala si enaquel tiepo topasse en qualquier muro, haria poquísimo effecto, y su percusion, è herida no offenderia casi nada, por hir ya cansada, y faltarle la potecia que la mouia. Hauiendo pues à sufficiencia à mi parecer declarado la natura de los tres mouimientos dichos, sus nobres, y effectos, para dar cõplida satisfaccion à los lectores, q̃dame segun que arriba prometi por dezir las

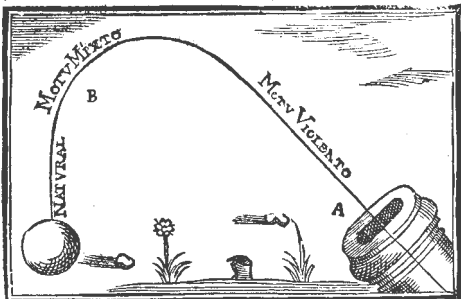


Lámina incluida en Luis Collado, *Plática manual de artillería* (Milán 1592) (Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia).

Ni Harriot ni Galileo siguieron este semi-aristotélico camino. Ambos pensaron en trayectorias producto de la combinación de dos movimientos, debidos a la atracción de la gravedad (la caída libre, un movimiento uniformemente acelerado) y al rectilíneo (movimiento uniforme) del proyectil a su salida del cañón. El resultado era una trayectoria parabólica. El que no dispusiesen aún de una mecánica desarrollada (recordemos una vez más que la mecánica de Newton no estuvo disponible hasta 1687) se hace evidente en la forma en que ambos llegaron a sus conclusiones,

tiento, y exactitud superiores á lo que se podía esperar de su siglo. Descubre, y enmienda las suposiciones, errores, ó descuidos de los célebres teóricos Tartaglia, Rusceli, y Cataneo, con la regularidad, y moderacion que debian usar todos los Autores meramente prácticos, á quienes la presuncion, y el desprecio de lo que ignoran, suele hacer seguir el rumbo opuesto./ Nuestro Autor sobresalió en la parte práctica de Artillería, en la cual, una aplicacion continua, y muchos años de experiencia, lo hicieron consumado: y esta práctica, ayudada de un discernimiento racional, y de una reflexion madura, y circunspecta, suele á veces equivaler, y aun exceder, á la teórica mas delicada, quando ésta no pasa de especulacion. Asi sucedió á Luis Collado: por la fuerza de sus observaciones conoció, que los alcances sobre el semirecto eran menores que los equidistantes bajo de él, lo que comprobó despues por la experiencia de un Falconete, apuntado segun los diferentes puntos de la Escuadra. No será facil persuadirse, que este descubrimiento, hecho por un hombre, que no tenia otra regla que la práctica, y la experiencia, fuese cierto; y mas oponiendose directamente á la sublime teoría de los proyectos del famoso Galileo, de Torriceli, y de los demás, que creen ser una parabola la Curva de proyección". Sobre quién era Collado, dice de los Ríos (págs. 53-54): "Fué Luis Collado natural de Lebrija, y se puede conjeturar que era de avanzada edad quando publicó su Práctica [*sic*] Manual; pero esto no se ha averiguado positivamente, como tampoco el año de su fallecimiento. Lo unico que se sabe por el contexto de su Obra es, que en el año de 1564 era yá Ingeniero consumado. Por este tiempo se principiaban las Fortificaciones de Taranto, dirigidas por el Baron de Martorano, Comendador de Malta. Collado, examinado con atencion el sitio donde se abrian los cimientos, encontró, que el peñasco era sumamente débil, y minable, por tener debajo mas de cuarenta palmos de greda; y haviendolo hecho presente, se abandonó la obra por orden de Felipe Segundo, gastando en henchir los cimientos doce mil ducados: pruebas evidentes de la exactitud, práctica, y talentos de Collado; é igualmente del dispendio que causan á los Soberanos los Ingenieros, que no saben enlazar la Fisica con la Matematica, y la experiencia con la teórica."

pero esa es otra historia en la que no puedo detenerme ahora. Sí quiero, no obstante, recordar que fue en la “Jornada Cuarta” de los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* donde Galileo presentó sus resultados relativos al movimiento parabólico. He aquí cómo comenzaba esta Jornada³⁰:

En las páginas anteriores hemos estudiado tanto las propiedades que se dan en el movimiento uniforme como las que tienen lugar en el movimiento uniformemente acelerado a lo largo de planos de cualquier inclinación. En lo que ahora comienzo a tratar, intentaré presentar y establecer, apoyándome en demostraciones rigurosas, algunos fenómenos interesantes y dignos de conocerse y que son propios de un móvil cuando se mueve con un movimiento compuesto de otros dos, es decir, un movimiento uniforme y otro naturalmente acelerado: tal parece ser, precisamente, eso que llamamos movimiento de los proyectiles.

Y a continuación, a lo largo del resto de las páginas del libro, venían demostraciones de teoremas y proposiciones como: “*Un proyectil que se desliza con un movimiento compuesto por un movimiento horizontal y uniforme y por un movimiento descendente, naturalmente acelerado, describe, con dicho movimiento, una línea semiparabólica*” (Teorema I. Proposición I).

Por supuesto, Galileo sabía que el aire, el medio en el que se mueven los proyectiles, dificulta su movimiento, y así explicaba, por medio de Salviati³¹: “Por lo que se refiere a las perturbaciones procedentes de la resistencia del medio, es ésta una dificultad más considerable y difícil, dada su multiplicidad de variedades, de someterla a reglas fijas y a una descripción rigurosa... En el caso de los proyectiles que usamos nosotros, que están hechos de materiales pesados y de figura redonda, o incluso con materiales

³⁰ Galileo Galilei, *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* (1638), *op. cit.*, pág. 518.

³¹ *Ibid.*, págs. 523-534.

menos pesados con forma cilíndrica, como son las flechas, lanzados con ondas o arcos, la desviación que tenga su movimiento del curso exacto de la parábola será insignificante”. También sabía de los efectos que podía producir en principio la pólvora³²: el “impulso tan enorme que se da en tiros de este género puede causar alguna deformidad en la línea que describe el proyectil, haciendo que el principio de la parábola sea menos inclinado y curvò que el final; de cualquier forma, y en lo que arañe a nuestro autor, tiene esto poca importancia en lo tocante a las operaciones prácticas, entre las cuales una de las principales es la preparación de tablas para los disparos llamados de elevación, tablas que contengan las distancias de las caídas de las balas disparadas según todas las distintas elevaciones; y puesto que tales disparos se hacen con morteros no muy cargados, al no ser en éstos supranatural el impulso, los tiros siguen las trayectorias que se les prescriben con bastante exactitud”. Dos de tales tablas, por cierto, eran incluidas por Galileo en su libro, que de esta forma veía aumentado su valor para todos aquellos interesados en la artillería.

Contemplando todo lo que Salviati explicaba, el siempre moderado y equilibrado Sagredo no podía sino manifestar, transmitiendo así, claro está, el propio entusiasmo de su creador, Galileo³³:

La fuerza de las demostraciones que fluyen necesariamente, como ocurre sólo en las matemáticas, me llena de asombro y satisfacción. Yo ya sabía, por las explicaciones recibidas de los artilleros, que entre todos los disparos de trayectoria curva que se hacen en artillería o con morteros, el de máximo alcance, es decir, aquel que manda a mayor distancia la bala, es el que se obtiene cuando la elevación tiene cuarenta y cinco grados o, como ellos dicen, del sexto punto de la escuadra. A pesar de todo esto, entender por qué ocurre así supera infinitamente la información recabada de otros u obtenida por la acumulación de repetidas experiencias.

³² *Ibíd.*, págs. 526-527.

³³ *Ibíd.*, pág. 540.

LECCION DE ARTILLERIA

PARA EL USO DE LA CLASSE

POR EL P. THOMAS CERDA

de la Compañia de Jesus,

Professor Real de Mathematicas en Barcelona
en el Colegio de Nobles de Santiago
de Cordelles.

DEDICADA

AL EXC^{MO}. SEÑOR

D^N. FELIX GAZOLA,

CONDE DE SPARAVARA, &c. &c.

COMANDANTE, E INSPECTOR GENERAL
del Real Cuerpo de Artillería.

BARCELONA, AÑO MDCCLXIV.

Por FRANCISCO SURIA, Impressor de la Real Academia
de Buenas Letras de dicha Ciudad.



Ejemplar de la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.

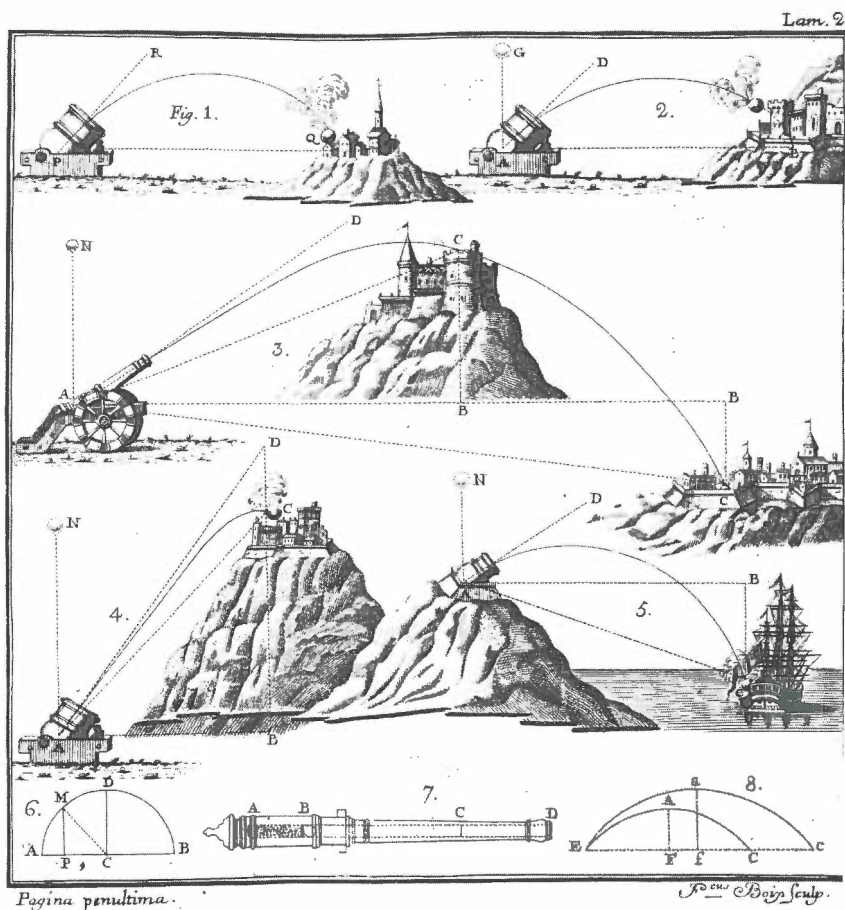
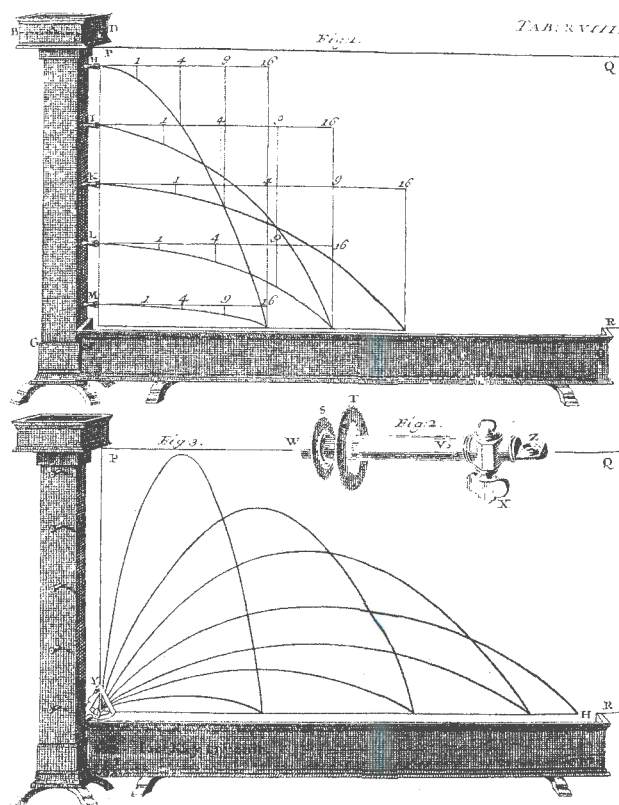


Lámina incluida en *Lección de artillería* de Thomas Cerda (Barcelona 1764) (Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia).

A lo que Salviati añadía: “Lo que V. S. dice es muy cierto. El conocimiento de un solo efecto, obtenido a través del descubrimiento de su causa, nos abre las puertas de la comprensión y atestigua la existencia de otros efectos sin necesidad de recurrir a la experiencia, como ocurre, precisamente, en el caso que estamos tratando”.

La ciencia, nos estaban diciendo ambos, es única y maravillosa precisamente por la fuerza de sus explicaciones, que, una vez conocidas sus leyes básicas, se extienden a todos los casos imaginables.



Trayectorias parabólicas de proyectiles (sin tomar en cuenta el efecto de la fricción debida a la resistencia del aire). Incluidas en un libro de Petrus van Musschenbroek, *Cours de physique expérimentale et mathématique* (traducido por Sigaud de la Font, París 1769; el original en latín, *Introductio ad philosophiam naturalem*, fue publicado posteriormente, editado por J. Lulofs, Leiden 1762), vol. 1. La figura de arriba muestra una serie de trayectorias parabólicas producidas por lanzamientos horizontales a distintas velocidades. La de abajo, trayectorias de lanzamientos con diferentes inclinaciones.

Ciencia *versus* fuerzas armadas

Aparte de recordar la dimensión de Galileo como teórico de la artillería, quiero aprovechar la ocasión para reflexionar brevemente sobre lo que este caso nos dice acerca de las relaciones entre la ciencia y las fuerzas armadas (o, si lo prefieren, ejércitos). En realidad, esta cuestión forma parte de un tema al que he dedicado no poco tiempo y esfuerzos, el de la relación entre ciencia y poder; los, especialmente, poderes político, militar, industrial y económico³⁴.

Se encuentra muy extendida todavía la idea de que la dinámica de la investigación científica, del crecimiento de la ciencia, responde a una estructura muy simple: los esfuerzos que los científicos realizan, como un fin en sí mismo, por explicar el “funcionamiento” de la naturaleza (ciencia “pura” o “básica”). Otra cosa es cómo ese conocimiento, esa ciencia, se aplica (“ciencia aplicada”), produciendo poder, político, militar, industrial y económico. Primero la ciencia, después la tecnología. Pero semejante ecuación es demasiado simple, irrealmente unidireccional, aunque, por supuesto, se cumpla en ocasiones (incluso en muchas ocasiones). El avance científico (“básico”) necesita de estímulos del mundo de “lo aplicado”, ya sea éste en el ámbito industrial o militar (también en otros, como por ejemplo en el de la salud pública). El caso de la artillería es una buena y temprana muestra de ello. Los esfuerzos por explicar las trayectorias que siguen los proyectiles lanzados desde cañones, fusiles o, simplemente, arcos, ayudaron al desarrollo de la mecánica, una de las ramas más básicas de la física.

El siglo XX fue especialmente rico en ejemplos de la conexión entre ciencia y fuerzas armadas. Ahí están, sin ir más lejos, los

³⁴ Véase en este sentido, José Manuel Sánchez Ron, *El poder de la ciencia* (Crítica, Barcelona 2007).

casos de los descubrimientos del máser y el láser: fue mientras se esforzaba, pagado a tiempo parcial por las Fuerzas Armadas estadounidenses, por desarrollar radares en el rango de las microondas, cuando el físico académico (era catedrático en la Universidad de Columbia, en Nueva York) Charles Townes llegó en la década de 1950 a la idea del máser, que conduciría, al extrapolarla al rango de la luz, al láser, artilugios que permitieron avanzar notablemente en apartados muy diversos de la ciencia básica, desde la radioastronomía a la estructura de la materia. Particularmente evidente es, asimismo, lo mucho que la física de altas energías recibió del Departamento de Defensa norteamericano, y también, claro está, la física nuclear, menos interesante que la de altas energías desde el punto de vista básico. Y podría referirme también a la física de fluidos y a la de la materia condensada, al desarrollo de los ordenadores o a la matemática. No es posible, en definitiva, entender las direcciones que tomó la ciencia de la segunda mitad del siglo XX, las disciplinas que se desarrollaron más, sin tener en cuenta la relación de científicos y universidades con las Fuerzas Armadas. Sin duda podría haber sido de otro modo, en otro mundo, un mundo que yo mismo desearía, pero de lo que no hay duda es que la relación entre ciencia y militares fue beneficiosa para algunas ramas de la ciencia. Y yo, como historiador, tengo que dar testimonio de ello.

Galileo, héroe y mártir

Hasta ahora, señoras y señores, les he estado hablando de ciencia, del físico pisano que tanto hizo por el avance de la ciencia. Pero es imposible hablar de Galileo Galilei sin referirse al juicio al que fue sometido por la Inquisición romana y en el que fue condenado. Y es que si el nombre de Galileo constituye un hito, un mojón inquebrantable en la larga y compleja ruta que es la historia, es, duele decirlo, sobre todo por esto, porque en él se encarnaron, dolorosamente, algunos de los valores más aprecia-

dos por la humanidad: la defensa de la libertad de opinión y el valor de la razón; más concretamente, del razonamiento científico, uno de los bienes más valiosos de la especie humana.

Se trata, por supuesto, de los problemas que Galileo tuvo con la Iglesia romana, las condenas que ésta dictó en su contra, primero en 1616 (ya me he referido a ella) y luego, mucho más firme, en 1633, después de que publicase el *Diálogo*. Que la Tierra se moviese planteaba a muchos graves problemas teológicos. En la Biblia, recordemos, se podía leer: “¡Sol, detente sobre Gabaón y tú, Luna, sobre el valle de Ayalón!”. Y ¿cómo podría detenerse el Sol si no se movía?

Galileo conocía estos problemas. Y respondió ante ellos. Especialmente interesante es lo que escribió en una carta que dirigió en 1615 a la Gran Duquesa Cristina³⁵: “La autoridad de las Sagradas Letras”, manifestó allí, “fue establecida para persuadir principalmente a los hombres de aquellos artículos y proposiciones que, sobrepasando toda capacidad de comprensión humana, no podían hacerse creíbles por otra ciencia o por otros medios que por la boca del mismo Espíritu Santo. Además de que, asimismo, en aquellas proposiciones que no son de *Fide*, la autoridad de las Sagradas Escrituras debe anteponerse a la autoridad de todas las escrituras humanas, escritas no con método demostrativo, sino como pura narración o con razones probables. Esto es cosa que afirmo debe considerarse tan conveniente y necesaria, cuanto la divina sabiduría supera todo juicio y conjetura humana. Pero no creo que sea necesario creer que el mismo Dios que nos ha dotado de sentidos, de entendimiento y de intelecto, haya querido, posponiendo el uso de éstos, darnos con otros medios las noticias que podíamos conseguir con aquellos, de modo que, incluso en las conclusiones naturales que se hacen manifiestas a los ojos y al intelecto por experiencias sensibles o

³⁵ Citada en *Galileo*, Víctor Navarro, ed., *op. cit.*, págs. 299-300.

por demostraciones naturales, debamos negar el sentido y la razón. Y esto especialmente en aquellas ciencias de las que aparece en las Sagradas Escrituras sólo una mínima parte y de manera contradictoria... De modo que no sólo los autores de las Sagradas Escrituras no pretendieron enseñarnos la constitución y el movimiento de los cielos y de las estrellas, y sus formas, magnitudes y distancias, sino que se abstuvieron de ello intencionalmente, aunque todas cosas les resultaban conocidísimas”.

No voy a decir que Galileo fuese un perfecto católico (su vida privada no es pobre en ejemplos de comportamientos que entraban en conflicto con ciertos preceptos establecidos), pero pienso que sí creía, sinceramente, en el Dios de su Iglesia.

Galileo supuso que sus razonamientos, junto a las observaciones y demostraciones científicas que había llevado a cabo (además de sus conexiones con personajes destacados de los mundos de la política y la religión) serían suficientes para convencer a los demás, a todos, de la verdad de aquello que defendía, el sistema copernicano, y que la religión católica no peligraba con ello. Se equivocó. Muchos antes y después de él se han equivocado en este mismo punto: creer irresistible la fuerza de la razón. Aquel error le convirtió en el héroe que pocos científicos han llegado a ser. Y es que los héroes necesitan de situaciones como las que vivió –y propició– Galileo. Sin ellas es más que probable que otros que bien pudieran llegar a ser considerados como mitos nunca lleguen a serlo, que sus ejemplos sean ignorados y su recuerdo se desvanezca, con el transcurrir del tiempo, en el más oscuro baúl del olvido³⁶.

³⁶ En este punto me viene a la memoria el caso de Johannes Kepler, con su insobornable decencia religiosa a lo largo de toda su vida. Fue un seguidor de Lutero que no desdeñaba algunas de las enseñanzas de Calvino, ni odiaba a los católicos, un hombre profundamente religioso que terminó no siendo aceptado ni siquiera por los suyos (le fue negada la Comunión), y sólo tolerado por los nobles y emperadores católicos que se afanaban por desarrollar la Contrarreforma en sus

Es cierto que finalmente, amenazado en el juicio al que le sometió la Inquisición romana, Galileo, el hombre que luchó en nombre de todos, los de su tiempo y los de los tiempos futuros, por la libertad de pensamiento, terminó abjurando de aquello que como científico creía. Quiero recordar hoy aquellas tristes palabras suyas:

Yo, Galileo Galilei, hijo del fallecido Vincenzo Galilei de Florencia, de setenta años de edad, juzgado personalmente por este tribunal, y arrodillado ante Vosotros, Eminentísimos y Reverendísimos Señores Cardenales, Inquisidores Generales de la República Cristiana contra las depravaciones heréticas, teniendo ante mis ojos los Santísimos Evangelios y poniendo sobre ellos mi propia mano, juro que siempre he creído, creo ahora y que, con la ayuda de Dios, creeré en el futuro todo lo que la Santa Iglesia Católica y Apostólica mantiene, predica y enseña.

Pero como yo, tras haber sido amonestado por este Santo Oficio a abandonar completamente la falsa opinión de que el Sol es el cen-

territorios, en los que él tuvo que trabajar. No estamos seguros de que Galileo pronunciase la célebre frase "*Eppur si muove*", "Y sin embargo se mueve" (la Tierra, claro), sí, no obstante, de que cuando a finales de 1627, próximo su final (falleció en 1630), el emperador Fernando ofreció a Kepler –otros le habían hecho semejante ofrecimiento varias veces en el pasado– la posibilidad de permanecer en Praga, manteniendo su puesto de Astrónomo Imperial si se hacía católico, confesión que, insisto, no le resultaba repugnante, Kepler se negó. A un amigo, el jesuita Albert Curtius, le escribió entonces: "por no aceptar lo que no reconozco ni como apostólico ni como católico, estoy dispuesto a renunciar no solo a las retribuciones que ahora se me ofrecen y que su Majestad Imperial ha autorizado tan magnánima y generosamente, sino también a las tierras austriacas, a todo el imperio y a algo que me pesa mucho más que todo eso, a la mismísima astronomía". Como escribió su mejor biógrafo, Max Caspar: "El hombre que por su fe había asumido otrora en Graz el destierro, había padecido la expulsión de su Iglesia y había enterrado la esperanza de trabajar en su tierra natal, no podía dar otra respuesta. Se mantuvo fiel a sí mismo y, en una época en que miles de personas cambiaron de confesión siguiendo el deseo o el dictado de sus príncipes para obtener ventajas terrenales, Kepler dio ejemplo de una gran convicción que, en su honesta y rigurosa lucha por conocer la verdad religiosa, pone la libertad de conciencia por encima de todos los bienes que el mundo pueda ofrecer". Max Caspar, *Kepler* (Acento, Madrid 2003), págs. 430-431.

tro inmóvil del universo y que la Tierra no es el centro del universo y se mueve, y a no sostener, defender o enseñar de ninguna manera, ni oralmente ni por escrito, la mencionada falsa doctrina; y tras haberme sido notificado que dicha doctrina es opuesta a las Sagradas Escrituras, escribí y di a imprenta un libro en que trato de dicha doctrina ya condenada, y presento argumentos de mucha eficacia en su favor, sin llegar a ninguna conclusión: he sido hallado vehementemente culpable de herejía, es decir, de haber mantenido y creído que el Sol es el centro inmóvil del universo y que la Tierra no está en el centro del universo y se mueve.

Sin embargo, deseando eliminar de las mentes de vuestras Eminencias y de todos los fieles cristianos esta vehemente sospecha razonablemente concebida contra mí, abjuro con corazón sincero y piedad no fingida, condeno y detesto los dichos errores y herejías, y generalmente todos y cada uno de los errores y sectas contrarios a la Santa Iglesia Católica. Y juro que en el futuro nunca más defenderé con palabras o por escrito cosa alguna que pueda acarrear sospechas semejantes; y si conozco algún hereje, o sospechoso de herejía, lo denunciaré a este Santo Oficio, o al Inquisidor y Ordinario del lugar donde me encuentre.

Es doloroso contemplar, aunque sea separado por la distancia de casi cuatro siglos, la humillación de una persona. Leyendo esta humillante declaración de uno de los científicos más grandes que ha dado a lo largo de la historia nuestra especie, los *homo sapiens*, a veces me dan ganas de llorar. Dicen que tras su retracción, Galileo manifestó: "*Eppur si muove*". No lo creo. Bastante asustado debía estar. Pero aun suponiendo que fuese así y recordando que fue mucho mejor tratado que otros (se le permitió instalarse en una villa que poseía en Arcetri y desde allí consiguió, viejo y ciego, finalizar, y hacer llegar a Holanda, su gran *Discursos sobre dos nuevas ciencias*), triste consuelo sería. Lo único cierto es que fue humillado, la verdad científica escarnecida y confinado hasta su muerte.

Por cierto, Galileo firmó su declaración en Roma, en el Convento de Santa María Sopra Minerva, el 22 de junio de 1633.

Hoy se cumplen pues, exactamente, 374 años. Ni un día más ni un día menos. Si siempre es bueno y oportuno recordar a aquel espléndido científico, hoy está doblemente justificado. Recordémoslo, pues. Recordemos su ejemplo cívico, su compromiso moral con la verdad (aunque éste fuese finalmente doblegado y pisoteado por la fuerza bruta), sus contribuciones a la ciencia y el esfuerzo que empleó para transmitirlos a los demás en sus maravillosos y diáfanos diálogos. Y enorgullecámonos con él. Fue uno de los nuestros, uno de nuestra especie. Si él pudo, nosotros acaso también. Y si no, nuestros hijos. Eduquémoslos a ellos en el amor a la verdad, empresa para la cual ningún instrumento es mejor que la ciencia. En el amor a la verdad, pero también, claro está, en el respeto por los demás y en la compasión. Sólo así construirán un futuro mejor. La ciencia sin compasión es inhumana, pero la compasión sin la ciencia es ciega.

Muchas gracias por su paciencia.

APÉNDICE

Los orígenes de la Artillería según Vicente de los Ríos en *Discurso sobre los ilustres autores é inventores de Artillería que han florecido en España, desde los Reyes Catholicos hasta el presente* (Madrid, 1767)³⁷

“Los Historiadores varían mucho sobre la invención de la Artillería. Hay diversas Relaciones de Viageros, que aseguran ser antiquísimo entre los Chinos el uso de estas Máquinas. El Arabe Schehab Aldino, que floreció antes de mediar el siglo trece, hace ya mención en su Obra Geográfica de la Artillería entre los Arabes. Don Pedro, Obispo de León, en la Historia del Rey Don Alonso el Sexto refiere, según afirma Fernando de Herrera, que entrado el siglo doce, los Moros Africanos usaron de Artillería contra los de España en una Batalla Naval. Dicese también, que el Rey de Inglaterra Duarte Tercero se sirvió de Bombardas contra los Franceses en el siglo trece; pero la común opinión es, que no se conoció en Europa hasta el año de 1366. Por este tiempo tenían los Venecianos sitiada á Claudia Fosa, que habían usurpado los Genoveses: unos Alemanes llegaron entonces al Campo Veneciano, y les presentaron dos pequeñas Piezas de Fierro, alguna Polvora, y Balas de plomo, con cuyo auxilio se hicieron due-

³⁷ Páginas 17-21. Al igual que en otras citas que he realizado de esta obra, he mantenido la escritura, puntuación y acentuación que aparecen en el texto original.

ños de la Plaza. A esta Epoca refieren el primer uso de la Artillería Luis Collado, Diego Ufano, los señores de San Remy, y le Blond, con la mayor parte de los Escriptores de la Facultad.

Sin embargo, la Artillería es mas antigua en Europa, y fué introducida en España por los Arabes antes de mediar el siglo catorce, segun se puede colegir de nuestras Historias. Abu Abdalla en su Cronica de España, cuya noticia debemos á la diligencia del Erudito Don Miguel Casiri, refiere que en el año de 1312, el Rey de Granada Abalualid llevó consigo al sitio de Baza una gruesa Máquina, que cargada con mixtura de azufre, y dándola fuego, despedia con estrepito globos contra el Alcazar de la Ciudad: lo que parece confirma Pedro Megia en la Historia del Rey Don Alfonso el Onceno.

Geronymo Zurita en los Anales del Rey Don Alonso Cuarto de Aragon cuenta el terror ocasionado en aquel Reyno por la noticia del sitio de Alicante, que intentaba el Rey de Granada en el año de 1331. Entre otras Máquina, dice que llevaba este Soberando una nueva invencion de combate, y eran pelotas de fierro, que se lanzaban con fuego, y ponian grande espanto.

Juan Núñez de Villaizan, Cronista del Rey Don Alonso el Onceno, refiere, que en el Cerco de Algecira por este Rey el año de 1343, los Moros de la Ciudad lanzaban muchos truenos contra la hueste, en que lanzaban pellas de hierro grandes, tamañas como manzanas muy grandes: y lanzabanlas tan lejos de la Ciudad, que pasaban allende de la hueste algunas de ellas, é algunas dellas ferian en la hueste. Y en otra parte dice: Que de la Barrera de la Ciudad lanzaban muchas Saetas de ballestas de torno, é de trueno, é otrosí lanzaban muchas pellas de fierro con los truenos; lo que repite en varios capitulos de su Cronica, en que cuenta por menor los sucesos de aquel famoso sitio. El P. Juan de Mariana asegura lo mismo que Villaizan con menos rodeos, y mejor estilo: Los Móros, dice, tiraban desde la Ciudad muchas Balas de fierro con tiros de Polvora, las cuales con grande estam-

pido, y no poco daño, llegaban al campo de los sitiadores. Estos testimonios prueban haver introducido los Arabes el uso de la Artillería en España, antes que se conociese en las demás partes de Europa, y manifiestan asimismo la ignorancia de los Autores facultativos, que siguieron la opinion vulgar, admitiendola sucesivamente sin examen, ni crítica.

La misma variedad, é incertidumbre se encuentra en estos Autores acerca la invencion de la polvora, que naturalmente debió anteceder á la de la Artillería. Los que atribuyen el primer uso de esta Máquina á los Chinos, les conceden tambien el descubrimiento de la polvora. El vulgar de nuestros Escritores conviene en que este fenómeno se debe á Bertoldo Schwartz, Religioso Francisco, oriundo de Fribourgo, que lo descubrió por casualidad en el siglo catorce, trabajando en varias operaciones chymicas, á que para otro fin estaba dedicado. Pero no admite duda, que el célebre Ingles Rogero Bacon, tambien Religioso Francisco, que floreció mediado el siglo trece, conoció la polvora, cuya composicion, y efectos refiere clara, y distintamente en su famosa Obra titulada *Opus majus*.

Algunos Autores creen, que la polvora es mas antigua, y que lo que Rogero Bacon refiere de ella lo tomó de un Griego anterior, llamado Marco, Autor de una Obra intitulada de *Compositione ignium*. En efecto, en ninguna parte se puede hallar, dice el señor de Montucla, una descripcion mas circunstanciada de la polvora, que en la Obra del citado Griego: en ella se encuentra señalada, con la misma exactitud que en nuestras recetas, la dosis de cada uno de los ingredientes de que se compone la polvora, con la cual fabricaban entonces Voladores, y Petardos; cuya descripcion se encuentra tambien en la expresada Obra, con una claridad que no deja duda.

La noticia de esta Obra, de su Autor, y del que la poseía en manuscrito, la anunció al público el señor de Plot en el nuevo

