

LA BALÍSTICA EN LOS ESCRITOS DE VICENTE MUT

JUAN NAVARRO LOIDI
Cátedra Miguel Sánchez Mazas (UPV-EHU)

Resumen

Vicente Mut expuso sus ideas sobre la balística en varios libros, especialmente en su poco conocido *Adnotaciones sobre los compendios de artillería*. En dichas obras se observa que seguía principalmente a Mersenne y Galileo, pero tratando de ajustar sus teorías a los resultados experimentales de los artilleros de su tiempo, lo que le llevó a formular varias hipótesis corrigiendo las teorías de Galileo; pero sin proponer una teoría alternativa. En todos sus escritos Mut se manifestó claramente contrario a la física de Aristóteles, aunque se observa que en algunos puntos no se había desprendido por completo de su influencia. En cuestiones prácticas de artillería valoraba los libros de los españoles Ufano y Ferrufino, pero criticándoles sus justificaciones basadas en la obra de Tartaglia. Se concluye que también en balística se puede considerar a Vicente Mut un elemento importante del movimiento “novator” español.

Abstract

Vicente Mut explained his views on ballistics in several books, chiefly in *Adnotaciones sobre los compendios de artillería*, a little-known treatise. In his texts he mainly followed Mersenne and Galileo, and tried to adjust their theories to experimental results provided by contemporary gunners. This led him to develop several hypotheses to correct Galileo's theories, but he never proposed an alternative theory. Aristotle's physics was clearly rejected in his writings, although his influence can still be noticed in some points. Mut also valued the books by the Spaniards Ufano and Ferrufino in practical artillery issues, although he criticized their Tartaglia-based justifications. It can be concluded that Vicente Mut is to be considered an important member of the Spanish “novator” movement also in ballistics.

Palabras clave: Balística, Novatores, España, Siglo XVII, Vicente Mut, Mersenne.

Keywords: Ballistics, Novatores, Spain, 17th Century, Vicente Mut, Mersenne.

Recibido el 6 de marzo de 2015 – Aceptado el 10 de julio de 2015

Vicente Mut Armengol (Palma de Mallorca, 1614 – 1687) fue historiador, astrónomo, abogado, ingeniero militar, y sargento mayor de Mallorca. Partidario de la renovación en cuestiones científicas y filosóficas, se le ha solido relacionar con el movimiento llamado “novator” del siglo XVII [LÓPEZ PIÑERO, 1979, p. 439]. Personaje polifacético, su figura sigue interesando a los historiadores. Su *Historia general del Reino de Mallorca* [MUT, 1650] ha sido reeditada varias veces. Sobre su vida [BOVER, 1868, v. 1, pp. 536-541] y su trabajo como astrónomo [NAVARRO BROTONS, 2009, pp. 23-67 y 309-311] se han publicado varios libros. Está menos estudiado lo que decía sobre la dinámica [NAVARRO BROTONS, 1979]. En este escrito se va a analizar ese aspecto de su obra, aprovechando documentos poco conocidos que se han podido consultar¹.

LA DINÁMICA TERRESTRE EN LAS PUBLICACIONES DE VICENTE MUT

De Vicente Mut se conservan más de veinte libros y varios mapas [BOVER, 1868, v.1, pp. 537-541; MUT, 1987, pp. 9-10]. De entre sus escritos los que se relacionan más directamente con conocimientos científicos son los tres dedicados a la astronomía [MUT, 1649, 1666 y s.a.], el libro sobre fortificación [MUT, 1664] y el de artillería [MUT, 1668]².

En este artículo se va a estudiar la forma en que se trata la balística interna y externa en sus libros partiendo de lo que dice sobre el tema en *Adnotaciones sobre los compendios de artillería* [MUT, 1668], que es la obra en la que trata más directamente esa materia. Ese libro es difícil de encontrar³, de él decía Vigón [1947, v. I, p. 340, nota 55] en su voluminosa *Historia de la Artillería Española* “Hubiera sido útil poder consultar las Anotaciones sobre los compendios de artillería, publicadas por Don Vicente Mut, que Almirante⁴ supone extraviadas”.

El libro de artillería de Mut es corto, tiene sólo 53 páginas y en él se tratan los asuntos habituales en los tratados de artillería en el siglo XVII, es decir, saber reconocer la pieza, o “terciar la pieza” como decían los artilleros, saber cargar la pólvora, popularmente “cortar cuchara”, conocer los alcances de las piezas, o saber cómo se prepara una batería.

No está claro cuál fue la razón de Mut para escribir esta obra. No hay ninguna dedicatoria, introducción o prólogo al lector que pueda servir para conocer con qué finalidad se escribió. Por su poca difusión, en particular fuera de Mallorca, debió haber sido escrita pensando en la preparación de los artilleros de la Isla. Mut como sargento mayor de Mallorca estaba encargado de la instrucción de las tropas bajo su mando. Es razonable pensar que este libro, como su *Compendio de la formación de escuadrones* [MUT, 1676] sobre infantería, o su *Arquitectura militar* [MUT, 1664] sobre fortificación, estuviera destinado a las tropas que permanecían en Mallorca; lo mismo que la *Instrucción para la milicia y sus oficiales que se ha de observar en caso de invasión o tocar arma en la isla de Mallorca* [MUT, 1674], o la *Instrucción general*

para la gente y oficiales de guerra del presente Reyno de Mallorca [MUT, 1683] las publicó para dar directrices sobre la organización y la forma de actuar de las tropas en caso de producirse una invasión.

Las *Adnotaciones sobre los compendios de artillería* [MUT, 1668] no son un tratado completo de la materia. Como su nombre indica son anotaciones sobre las cuestiones más importantes que aparecían en la práctica artillera. En eso se diferencia de su *Arquitectura militar* [MUT, 1664] que es una obra mucho más acabada. Pero, como en ella, Mut no se limita a dar unas reglas prácticas como solían hacer la mayoría de los manuales de formación militar de la época. Trata de buscar justificaciones a los fenómenos observados, y de encontrar vías para poder calcular matemáticamente sus efectos. Al mismo tiempo, en el libro de artillería, aún más que en el de arquitectura militar, se rehúyen las cuestiones puramente prácticas y se supone al lector unos conocimientos matemáticos que no tenían los artilleros corrientes, por lo que podría aventurarse que fue escrita para mejorar la preparación de los oficiales de la artillería de las Baleares.

LA BALÍSTICA EN TIEMPOS DE MUT

En el siglo XVII la balística interna estaba muy poco desarrollada. La forma artesanal de fabricar tanto las piezas de artillería, como la pólvora o las balas hacía difícil proponer cualquier teoría sobre lo que sucedía en el interior de un arma de fuego. La alquimia poco podía ayudar para entender la explosión de la pólvora. Los procesos que sucedían en la recámara y el ánima de la pieza desde que se daba fuego hasta que salía la bala se desconocían en general.

La balística externa estaba mejor estudiada. El movimiento de los cuerpos había sido tratado ya por Aristóteles en su *Física*. Sus teorías fueron corregidas por Oresme, Buridán y otros filósofos medievales, que introdujeron la idea de los ímpetus. Esa teoría seguía siendo generalmente aceptada en el Renacimiento. El matemático italiano Niccolò Fontana, más conocido como Tartaglia, publicó el libro *Nuova Scientia* [TARTAGLIA, 1558] en el que se explicaba el movimiento de los proyectiles utilizando los ímpetus. Su libro tuvo mucho éxito y sus teorías seguían teniendo fuerza entre los artilleros en el siglo siguiente. En la primera mitad del siglo XVII Galileo Galilei creó una nueva mecánica que dio a conocer en libros como *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecánica*, impreso en Leiden en 1638. De las teorías de Galileo se podía deducir una nueva explicación del movimiento de los proyectiles. Sus ideas fueron conocidas por las personas interesadas en la filosofía natural fuera de Italia en buena medida gracias a la acción del religioso francés Marin Mersenne, que fue corresponsal de Galileo, Descartes, Fermat, Pascal y muchos científicos más. Mersenne trabajó en física, matemáticas, música o teología, pero se le conoce principalmente por su labor de intermedio entre las personas interesadas en la renovación de la filosofía natural. Evangelista

Toricelli desarrolló las ideas de Galileo sobre el movimiento de los cuerpos en su libro *De motu gravium* que publicó en Florencia en 1644 como parte de su *Opera geométrica*. La teoría de Galileo facilitaba mucho los cálculos de alturas, alcances y trayectorias de los proyectiles y se ajustaba bastante bien a algunos movimientos sencillos; pero era muy inexacta para explicar el movimiento de las balas porque despreciaba la resistencia del aire. Las ideas de Galileo no comenzaron a ser aceptadas por los artilleros hasta que François Blondel publicó *L'art de jeter les bombes* [BLONDEL, 1683], en el que aplicaba las teorías de Galileo a la artillería y las defendía de las principales críticas que le hacían los artilleros prácticos. Blondel era miembro de la Académie des Sciences de Paris y profesor de matemáticas del Delfín [HALL, 1952, pp. 6, 78].

Una teoría eficaz para tratar el movimiento en medios resistentes no apareció hasta la publicación de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton, que tiene el segundo libro “Movimiento de los cuerpos (en medios resistentes)” dedicado a la resolución de esa cuestión⁵. Pese a los avances en la teoría, el problema práctico de conocer alcances o trayectorias siguió siendo difícil de resolver. Las ecuaciones diferenciales necesarias para hallar las trayectorias de un móvil no eran fáciles, pero todavía resultó más difícil determinar algunas magnitudes físicas imprescindibles para obtener soluciones, como la velocidad de la bala al salir de la boca de la pieza o los cambios en su dirección una vez en el aire, por lo que incluso después de publicarse el libro de Newton se tardó bastante antes de que pudiera aplicarse a la artillería de una forma eficiente [HALL, 1952, pp. 102-157; STEELE, 2005, pp. 363-373].

Cuando Vicente Mut publicó estas *Adnotaciones* las teorías de Galileo estaban bastante aceptadas en Europa entre los interesados en la ciencia, pero no entre los artilleros. En España apenas tenía partidarios [NAVARRO BROTONS, 2001].

Aunque Mut no escribió un tratado de balística, las explicaciones que da en su libro de artillería y en menor medida en el dedicado a la fortificación o incluso en el que trata del cometa de 1665 permiten conocer lo que opinaba sobre muchas cuestiones de balística interna y externa y esos comentarios permiten saber hasta qué punto aceptaba las nuevas ideas de la Revolución Científica. En concreto en este artículo se va a estudiar lo que dijo sobre la explosión de la pólvora, el retroceso de las piezas, el alcance máximo de un arma, el alcance en los tiros de elevación, y las trayectorias de las balas. Además se va a discutir en un último apartado sobre las críticas que hace Mut en diversos escritos a la física de Aristóteles.

ALGUNAS CUESTIONES DE BALÍSTICA INTERIOR

La explosión de la pólvora

Mut dedica en su libro de artillería varios párrafos a discutir de pólvoras. Desde el punto de vista de la historia de la ciencia es interesante como explica la fuerza de su explosión:

Todos saben que en la Pólvora el azufre enciende el carbón comunica la llama fijando el cuerpo y el Salitre exhala. Pero conviene que el Artillero sepa también la causa de tan furiosa exhalación. El salitre de su naturaleza es aéreo y es fácil como el agua de resolverse en viento [MUT, 1668, p. 8].

Mut lo consideraba un fenómeno similar al del agua que al convertirse en vapor ocupa mucho más espacio y puede hacer reventar el recipiente en el que se encuentra si es estanco. La diferencia con el agua estaría en que el salitre se convierte en aire en un tiempo muy breve, como una exhalación. En su opinión, gracias al carbón y al azufre esa exhalación se fija y se convierte en una fuerte explosión.

Para conocer la fuerza de la explosión dice que un palmo cúbico de pólvora se convierte en 1300 de vapor⁶ “como han experimentado muchos con Mersenio pesando el aire por muchos modos” [MUT, 1668, p. 9]. Así la fuerza que realiza la pólvora al explotar es:

El cuerpo del salitre de peso de 10 libras se convierte con el fuego en tanto ayre que haya de salir a buscar espacio y lugar que ocuparían 13.000 cuerpos de los que ocupa aquel salitre en la pólvora [MUT, 1668, p. 9].

La razón de la potencia de la pólvora era una incógnita en aquella época. Diego Ufano, un capitán español de artillería que combatió en Flandes a comienzos del siglo XVII, publicó *Tratado de la artilleria y uso della* [UFANO, 1613], que fue una obra de referencia en la materia y se tradujo a varios idiomas. En ese libro trató de explicar la explosión de la pólvora por medio de los cuatro elementos aristotélicos, reconociendo que no ofrecían una justificación convincente⁷:

Su grande efecto hallado por naturales causas [puede] ser procedido y engendrado por la natural participación que el azufre tiene con el cálido y seco, y el salitre con el frígido y húmedo, de aquí nace el parecer de un elevado ingenio que dice, si la natura del aire es cálida y húmeda, y por el contrario la del salitre fría y húmeda, como pues será posible dos simples tan contrarios se hallen en un mismo sujeto unidos, a lo cual respondo, que no se puede negar que a los naturales Filósofos de muchos ocultos secretos de la naturaleza es prohibido el penetrarlos, y esto porque así lo dispuso el omnipotente y sumo Creador [UFANO, 1613, p. 5].

Mut sigue a Ufano en varias cuestiones; pero no en ésta. Él prescinde de los cuatro elementos y de las propiedades aristotélicas. Las explicaciones que daba Mut estaban bastante aceptadas en el siglo XVII y son semejantes a las que daban muchos autores, como Boyle, Hooke o Descartes [HALL, 1952, pp. 60-64]. Además siguieron

siendo las usuales durante varias décadas más. En España cincuenta años más tarde Tosca daría en su *Compendio matemático* una explicación parecida:

Los materiales de que se compone la polvora son tres: es a saber, azufre, salitre, y carbón. El sulfur o azufre es materia sumamente dispuesta para el fuego, y fácil de encenderse, è inflamarse; el salitre es de tal condicion, que en sintiendo el calor se resuelve prontamente en impetuoso viento: de que se sigue, que mezclados ellos dos materiales, resulta un compuesto, que prontamente concibe el fuego y se convierte en viento; pero por ser tanta la prontitud con que el salitre se resuelve en viento, se sigue, que las primeras partes que se inflaman, y convierten en viento, extinguen las del azufre, sin dar lugar à que comuniquen la inflamación à las demás; lo que obligó à añadir à los sobredichos otro material, que siendo prontamente inflamable, fuese retentivo del fuego y este es el carbón hecho polvos [TOSCA, 1757, v. 5, p. 429].

La parte de Pirotecnia del libro de Tosca es más amplia y erudita que las *Adnotaciones sobre los compendios de artillería* de Mut. Tosca dice que según algunos filósofos la explosión de la pólvora se produce porque las partículas de salitre son lineales y el fuego les da un movimiento circular o son como muelles que se extienden al recibir el calor [TOSCA, 1757, v. 5, p. 433]. Pero considera también que “el dar causa de tan maravillosos efectos es propio de la Philosophia” [TOSCA, 1757, v. 5, p. 430] y no le parece un libro de matemáticas el sitio adecuado para discutirlo. Mut, por el contrario, trata de cuantificar la pólvora y sus efectos.

Sobre el retroceso de las piezas

El retroceso tenía importancia para los artilleros porque de producirse antes de la salida de la bala podría cambiar su dirección y habría que tenerlo en cuenta para apuntar con acierto. Mut creía que se producía después de dicha salida y que no influía en la trayectoria de la bala:

La pieza no se retira por la bala, pues sin bala también se retira. El aire que va a entrar en el Anima, por haberle el fuego consumido el ayre que tenía dentro quando porfia en llenar el vacuo causa la concussion en la explosión, y la misma violencia que hace resonar el ayre es la que conmueve, y sacude quanto tiene cercano; de que procede la retirada; y así la bala ya ha tomado la línea de dirección, como dije en mi Arquitectura militar cap. 13 num. 8 [MUT, 1668, p. 41].

Cuando trata de este tema en la *Arquitectura Militar* Mut [1664, p. 40] hace un razonamiento parecido. En los dos libros se explica una experiencia que hizo en Sedan el arquitecto militar francés Barleduc junto con el duque de Bouillon⁸, consistente en poner un cañón sobre una cureña con una sola rueda y atada a un gozne para que girara al disparar. En las pruebas observaron que el tiro salía recto aunque el cañón giraba. Mut dice que él repitió la experiencia con el mismo resultado⁹. En el libro de fortificación critica además otras posibles razones del retroceso:

Nos arguyen luego / con la fuerza que padece el cañón antes de desembocar la bala. Pero este argumento no tiene fuerza, porque es fácil de entender que la pólvora encendida no impele para atrás: y la bala es poco peso para que su resistencia de pocas libras conmueva tantos quintales de cañón y cureña¹⁰ [MUT, 1664 pp. 40-41].

Además opinaba que el retroceso era fuerte porque “no hay violencia mayor que la atracción que hace del aire un vacuum” [MUT, 1668, p. 39]. Esa frase magnificando el “horror al vacío” debe ser una exageración escrita por Mut al calor de la polémica, porque, como se ha visto antes, él conocía el valor de la presión atmosférica ya que se deducía de las experiencias de Mersenne pesando el aire.

No entra en su razonamiento que a la fuerza de la pólvora sobre la bala le corresponde una reacción igual y en sentido contrario. No hay que olvidar que la tercera ley de Newton fue la más original de las tres que propuso como base de la mecánica, y se considera que no había sido propuesta anteriormente y que tuvo dificultades para ser aceptada [ESCOHOTADO, 1987, pp. xxxvi-xxxvii; DUGAS, 1988, pp. 205-207].

La mayoría de los autores no opinaba como Mut y afirmaba que el retroceso comenzaba antes de salir la bala, aunque sí solían coincidir con él en que el retroceso no perjudicaba a la puntería. Así Ferrufino [1642, f. 68 v.] catedrático de matemáticas de la Cátedra de Fortificación y Artillería que había creado el Capitán General de Artillería en Madrid en 1605, y a quien Mut cita en otras materias, decía sobre el retroceso:

Digo que antes que la bala salga del hueco se habrá comenzado a mover la pieza. Para esto se debe considerar, que desde el lugar adonde está la bala en su hueco hasta la boca hay una larga distancia y siendo esto así es de notar que comunicándose a la pólvora el fuego, la enciende en un instante (a nuestro parecer) y el aire causado de la inflamación procurará salir por la parte más flaca, y como encuentre con la bala que está delante, cuerpo grave, hace fuerza el vapor ventoso que no salga y como contrario poderoso la aparta de sí; y por la repentina oposición y detención, será causa retroceda, y haciendo fuerza en la pieza comenzará parte de su retirada, antes de haber salido la bala del hueco y no por eso dejará de dar en el blanco porque la retirada es uniforme.

Otros autores eran también de esa opinión. Los experimentos que hizo Lord Brouncker en 1661 para la Royal Society buscando saber si el retroceso empezaba antes de salir la bala de la pieza [HALL, 1952, p. 66] también dieron que el retroceso empezaba antes de salir. En los libros para formar artilleros prácticos, como los que escribió Fernández de Medrano para la Academia Militar de Bruselas, se solía aceptar igualmente que el retroceso empezaba antes de salir la bala, aunque no afectara seriamente a su dirección¹¹.

CUESTIONES DE BALÍSTICA EXTERNA

El alcance máximo de las piezas

En el apartado sobre el “Alcance de los tiros” [MUT, 1668, p. 29], se comienza reconociendo que era una cuestión difícil:

La mucha confusión que hallas en los autores nace de que cada uno hace sus experiencias con diferentes pesos; y cada peso hace muy diferente el Alcance. Y aunque la calidad de la pólvora y el modo de cargar causan también alguna incertidumbre, pero los accidentes no quitan el Arte; y el Artillero ha de saber lo más regular, para que no vaya a ciegas.

Esa era una opinión generalmente aceptada en aquel tiempo. Algunos artilleros prácticos incluso pensaban que dar tablas con alcances orientativas no era muy útil. Fernández de Medrano [1723, p. 162] lo exponía de la siguiente forma treinta años más tarde:

CAPITULO XIII De los alcances de las piezas por sus punterías. Es difícil de averiguar lo que tira una pieza por sus punterías, porque como es cosa que los fundamentos no constan de demostración, sino de varia experiencia hecha por curiosos Artilleros en distantes partes, que tirando todos con piezas de un mismo genero y especie, han hallado unos una distancia y otros otra [...] y el que fuere curioso y quisiere saber esto con más certidumbre puede leer à Ufano, Lechuga, Collado, ò al perfecto Artillero: llamado el doctor Julio Cesar Firufino que en tiempos pasados escribieron en nuestro Idioma Castellano.

Fernández de Medrano en 1699 no quería entrar en la materia y enviaba al lector interesado en alcances a los autores clásicos de artillería en castellano¹². Mut, pese a las dificultades, propuso una regla general para hallar los alcances máximos de las piezas que consiste en hacerlos depender de su calibre:

Por la Tabla de calibre así, con las libras de pólvora con que cargas saca el número correspondiente; y si las libras son de peso de Castilla multiplica el número por dos y medio. Si las libras son de peso de Mallorca la multiplicas por dos y un quinto y tendrás la distancia del mayor alcance del tiro en pasos andantes. Esto se entiende cargado con pólvora buena 5 as y as¹³ [MUT, 1668, p. 30].

Los calibres, según Mut [1668, p. 4 bis], eran las raíces cúbicas del peso de la bala en libras multiplicado por mil. En eso no sigue a la mayoría de los autores, que daban como calibre el diámetro de la bala, o el de la boca de la pieza. La forma de dar los calibres de Mut era más general, porque su tabla valía para balas de piedra, hierro u otro material. Pero luego en la batería el artillero debería convertir esos calibres en diámetros de las balas, o en pesos teniendo en cuenta la densidad de la materia con la que estaban hechas por lo que sus calibres no eran muy prácticos.

Lo que dice Mut equivale a afirmar que el alcance es proporcional a la raíz cúbica del peso de la bala o del peso de la pólvora con la que se disparaba, que solía ser proporcional al de la bala. Esa regla de Mut es como poco osada porque según el mismo admite, y la mayoría de los autores subrayan, el alcance era muy variable y dependía de la pieza, de la forma en que se apretaba la pólvora, de las condiciones atmosféricas, de si era el primer tiro o se había disparado varias veces etc.¹⁴ Además, se puede observar por lo que explica Mut, que en el siglo XVII había otra fuente de problemas. Las unidades utilizadas solían ser diferentes en los distintos reinos o ciudades, e incluso, como sucede con los pesos dados en libras que indica Mut, una misma unidad podía tener valores algo diferentes de un reino a otro, o de una ciudad a otra. Mut lo consideraba un problema importante y da algunas equivalencias de unidades en los libros dedicados a la artillería, fortificación o infantería. En sus textos tiende a utilizar unidades mallorquinas, pero usa también unidades castellanas, francesas u holandesas, según las materias. Sobre esta cuestión en la *Arquitectura militar* envía al lec-

tor interesado al “segundo tomo de la Historia de Mallorca¹⁵ lib. 6 cap. 7” [MUT, 1664, p. 6].

Para comprobar la validez de su hipótesis Mut [1668, pp. 30-31] compara los resultados que se obtienen con ella con los que proponen Ufano y Firrufino en sus libros. Esos resultados resumidos y en pasos andantes de Castilla, aproximadamente de 2 pies y medio, son los siguientes:

<i>Pieza y peso</i>	<i>Calibre Mut</i>	<i>Alcance Mut</i>	<i>Alcance Ufano</i>	<i>Alcance Firrufino</i>
Sacre 8 lbs	2000	5000 pasos		5000
2 libras	1260	3150	3318 ¹⁶	3200
5 libras	1710	4275	4179	
6 libras	1817	4542		4500
10 libras	2154	5383	5373	
20 libras	2714	6785	7140	7022
Culebrina 25 lb	2929	7322		7369

Se puede constatar que los alcances teóricos de Mut coinciden bastante bien con los propuestos por Firrufino [1642, f. 57 r] y Ufano [1613, pp. 20-21] para los valores que él indica. Pero en la tabla se ha añadido a los valores dados por Mut el alcance de las piezas que disparan 20 libras, calculando por un lado el valor que sale con la regla de Mut y tomando por otro los de las tablas de los otros dos autores que cita para que se vea que la concordancia no es siempre tan grande como quiere Mut.

Además, todos los calibres propuestos por Mut corresponden a las piezas que él llama de primera especie (culebrinas, sacres o falconetes) que según su explicación son “para dañar al enemigo desde lejos”. No compara lo que se obtiene con su regla para piezas del segundo tipo, “de expugnarle sus obras” (cañones), o del tercero, para “ofenderle de más cerca” (pedreros), con lo que dicen esos otros autores. Afirma que su forma de calcular alcances vale siempre que la diferencia entre el peso de la bala y la pólvora cargada no sea muy importante. Sin embargo, comparando los alcances de Mut y los propuestos por los autores anteriores¹⁷ se puede comprobar que para esos tipos de piezas las diferencias son importantes:

<i>Pieza y peso</i>	<i>Alcance Mut</i>	<i>Alcance Ufano</i>	<i>Alcance Firrufino</i>
Tercio cañón 10 libras	5383 pasos andantes		3540
Medio 20 libs.	6785		5689
Medio 25 libs	7310		5830
Cañón 30 lbs	7768		4900
Cañón 48 lbs	9085	5968	

Es cierto que Ufano y Firrufino proponían usar menos pólvora para estos tiros que Mut, pero se debe concluir que la regla de Mut sólo podría aceptarse como una aproximación con la que se obtenían con facilidad alcances máximos para culebrinas y piezas similares, pero que tenía poca precisión para las restantes piezas.

Por otra parte, se entiende que Mut sólo estuviera interesado en piezas del primer tipo por las condiciones de la isla. En Mallorca, en el siglo XVII los principales peligros eran los ataques de los piratas berberiscos o las invasiones de los franceses [CASANOVA, 1985], por lo que las piezas para tirar lejos eran las más necesarias para su defensa. Tampoco incluye Mut los alcances de los morteros que comenzaban a generalizarse en los asedios, pero que no se usaban tanto en la defensa de las plazas. Sin embargo, no olvida discutir sobre los alcances en el mar, que sí era una cuestión práctica en Mallorca [MUT, 1668, p. 42].

El alcance de los tiros por elevación

Otra cuestión debatida en balística exterior era la variación del alcance cuando la pieza se disparaba con diferentes elevaciones. Mut [1668, p. 30] antes de empezar a tratar ese tema explica que había cuatro tipos de elevaciones que eran los más utilizados y que se llamaban “de puntería”, que era la distancia máxima a la que podía acertarse haciendo puntería y según Mut era 1/10 del alcance máximo; “tiro horizontal”, que era la distancia a la que pega la bala en el suelo si se tira con el ánima horizontal y según Mut era la cuarta parte del alcance máximo; “por el raso de los metales”, que era cuando se tiraba sin alza, lo que suponía tirar con cierta elevación, 1° o algo menos, porque la boca en un cañón era más estrecha que la culata; y “a toda caça” que era el máximo alcance de la pieza, lo que según Mut se conseguía con 45° o con la posición 6 de la escuadra de los artilleros¹⁸. También dice que con ángulos complementarios se obtienen los mismos alcances. Estas afirmaciones sobre máximos alcances con 45°, y alcances iguales con tiros con elevaciones complementarias las proponía Trataglia en la *Nueva Ciencia*¹⁹, y se deducían también de la trayectoria parabólica propuesta por Galileo. Sin ser completamente exactas para balas que se mueven en medios resistentes, estaban cerca de los resultados obtenidos en la práctica artillera y los aceptaron la mayoría de los autores. Sin embargo la relación del alcance máximo con el del tiro de puntería y el del tiro horizontal, que da Mut y también propone Tartaglia, no salía en la hipótesis parabólica, aunque también se acercaba a los resultados experimentales.

De estas afirmaciones y de los datos que ofrece, dice Mut [1668, p. 32] que:

Así lo advirtió Galeo, ingeniero del duque Alberto, que en presencia del marqués de Spinola hizo en Flandes muchas experiencias de los tiros, cuyas tablas trae Mersennio y de ellas se vale Diego Ufano²⁰.

Efectivamente Mersenne [1644a, pp. 82-86] en *Ballistica et Acontismologia* incluye una tabla con alcances según elevaciones y explica las experiencias de “Galeus”. De los personajes mencionados por Mut, el duque Alberto debe ser el archiduque Alberto de Austria marido de la infanta Isabel Clara Eugenia, hija de Felipe II y gobernador de los Flandes Españoles de 1598 a 1621. Spinola es probablemente Ambrosio de Spinola capitán general de las tropas de Flandes, cuando gobernaban los archiduques. Galeus o Galeo debe ser el matemático, fabricante de órganos e ingeniero militar de Lieja Jean Gallé, que nació alrededor de 1580. Fue ingeniero militar del archiduque Alberto y trabajó también en ingeniería civil rectificando el curso de la Meuse. Más tarde viajó por Europa, colaborando con las tropas de Richelieu en el sitio de La Rochelle y haciendo experiencias sobre la caída de los cuerpos en Croacia. Se relacionó con Marin Mersenne con quien compartía el interés por la mecánica y por la música. No se conoce ningún escrito sobre alcances o balística de Gallé, su libro más conocido es *Nowvelle invention d'apprendre l'arithmetique*, impreso en París en 1635, en el que propone utilizar para las operaciones unas varillas parecidas a las propuestas por Napier²¹.

Mut [1668, p. 33] propone en su libro una tabla de alcances para balas de 3 lbs, 6 lbs, 8 lbs 10 lbs y para un valor mayor arbitrario, dando para cada peso los alcances para tiro de puntería, horizontal, 1 grado, y luego para cada punto hasta el 6.

	3 lb	6lb	8 lb.	10 lb	General	Altura
Puntería	317	397	440	474	100	
Horizontal	793	780	733	790	167	
1 grado	898	990	972	965	203	
Puntos 1-11	1520	1763	1854	1997	421	1899
Puntos 2-10	2119	2567	2770	2984	630	933
Puntos 3-9	2577	3192	3483	3752	792	603
Puntos 4-8	2908	3638	3992	4300	907	433
Puntos 5-7	3106	3907	4298	4630	977	326
Punto 6	3172	3996	4400	4739	1000	250

Las elevaciones mayores a la 6 van emparejadas con su complementaria, p. ej. 2-10 (15° - 75°) porque se supone que el alcance es el mismo. En la última columna figura la altura a la que suben las bombas en un tiro de elevación.

De esta tabla sorprende que los números que se dan para el tiro más largo (45°, punto 6 o “a toda caça”) no coinciden con los que Mut había propuesto tres páginas antes con su regla para hallar el alcance máximo, ni con los valores que indicaban Firrufino o Ufano en sus libros. Resumiendo las diferencias en una tabla:

<i>Pieza y peso</i>	<i>Tabla de Mut elevación 6</i>	<i>Alcance según regla de Mut</i>	<i>Alcance Ufano</i>	<i>Alcance Ferrufino</i>
Sacre 8 lbs	4400	5000		5000
6 libras	3996	4542		4500
10 libras	4739	5383	5373	5500

La impresión que producen estas diferencias es que Mut sólo buscaba en este libro dar reglas y resultados generales sin pedir la precisión que quería para sus medidas en astronomía.

Sobre la forma en que ha obtenido esa tabla de alcances según elevaciones, Mut [1668, p. 38] dice que “La construcción de la tabla del num. 68 la trahe Mersennio de Galeo, pero más breve será assi” y expone una regla para obtener los alcances según la elevación que no es más breve sino claramente diferente a la que según Mersenne propuso Gallé. El método que utiliza el mallorquín para calcular los alcances con los diferentes ángulos es el siguiente:

En pieza que tire de toda caça 10.000 quito su tiro horizontal 1.666 y quedan 8.334. Agora para tirar por el segundo punto, digo como es 36 (cuadrado del punto 6) para dichos 8334 así 16 cuadrado de 4, que es el complemento del punto 2 hasta el de 6 para 3.704 que restados de dicho mayor alcance 10.000 dan para el segundo punto 6.296, como en la / Tabla. Luego la línea de los tiros, descaeze en las elevaciones como los cuadrados de ellas. El mismo modo es para cualquier grado hasta los 45 de toda caça [MUT, 1668, pp. 38-39].

Esta propuesta de Mut significa afirmar que el alcance para un ángulo dado es igual a una cantidad fija, el alcance del tiro horizontal, más una expresión que varía con el ángulo de elevación, dado en puntos, al cuadrado. Esa regla es muy diferente a la que sale de la doctrina de Galileo en la que el alcance varía con la elevación según el seno del doble del ángulo de dicha elevación.

La forma de calcular los alcances según la elevación de Gallé (Galeus) que trae Mersenne [1644a, pp. 85-87] no es igual a la que da Mut. La tabla del libro de Mersenne [1644a, p. 87] está calculada solamente para una pieza concreta. Por otra parte los alcances están dados por Mersenne de grado en grado, mientras que Mut mide las elevaciones en puntos del cuadrante. También es diferente en los dos métodos la forma de calcular los alcances intermedios. El procedimiento indicado en el libro de Mersenne [1644a, pp. 85-87] consiste en comenzar con un valor mínimo para 0, el alcance del tiro horizontal, y por cada grado que aumente la elevación aumentar el alcance en una cantidad variable que va siguiendo una sucesión aritmética decreciente partiendo de un valor máximo en 0° y disminuyendo lo que se alcanza de más con cada grado de tal forma que para 45 se obtenga el alcance máximo. Este método, que según Mersenne proviene de Gallé, lo tiene también Ufano [1613, pp. 339-350] con alguna variante en su libro en la lección 13 del Tratado Tercero “que muestra al artillero el modo y arte de tirar por los puntos de la escuadra”. Aunque los métodos de

Mut y Gallé se parecen en que hay un alcance mínimo para el tiro horizontal y en que los alcances varían con el cuadrado del ángulo, son diferentes porque las funciones para obtener los alcances y las unidades empleadas son distintas.

La diferencia más importante entre Mut y Mersenne en el tema de los tiros por elevación reside en que el francés dudaba de que el método de Gallé fuera mejor al propuesto por Galileo y dedicó varios capítulos de su libro a estudiar las trayectorias en la hipótesis del tiro parabólico de Galileo y Torricelli, dando una tabla con los alcances y alturas según las distintas elevaciones siguiendo las doctrinas de Galileo [MERSENNE, 1644a, p. 104]. Luego se comparan esos resultados con los que había obtenido con las reglas de Gallé, encontrando que los de Gallé eran más ajustados para pequeñas elevaciones, pero no para las más grandes. Galileo tenía, además, a su favor que su método para obtener alcances era fácil de aplicar.

Las trayectorias

Al final de este artículo se dan en una lámina algunas figuras que reproducen los dibujos de las trayectorias propuestas en varios de los libros mencionados. Según proponía Tartaglia [1558, libro segundo] en la *Nova Scientia* la trayectoria de una bala tenía tres partes; la primera, al salir del arma, era casi recta en la dirección de lanzamiento, luego tenía una parte curva, aproximadamente circular, y al final otra parte recta perpendicular a la Tierra. Galileo proponía una trayectoria parabólica. Ninguna de las dos servía para describir la trayectoria real de las balas. Pero solamente después de publicarse *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton comenzó a adecuarse la trayectoria teórica con lo observado al disparar las piezas de artillería [HALL, 1952, pp. 158-165; STEELE, 2005, pp. 366-373].

En esa época, en la que Galileo convencía más a los filósofos de la naturaleza que a los artilleros prácticos, no es extraño que Mut [1668, p. 36] propusiera una trayectoria similar a la parabólica, pero tratando de evitar sus defectos:

75 El camino que haze la bala por el aire, no es como le pintan los Artilleros, ni como pensó Tartaglia, así porque en mayor elevación ponen muy largo el camino recto que haze la bala al desembocar de la pieza como porque en el tiro de toda caza figuran que la bala cae perpendicularmente, sin ángulo de incidencia y lo uno y lo otro es gran error. Galeo con sola práctica y en su seguimiento Galileo, Mersenio y Gassendo dijeron que el camino de la bala es línea parabólica, casi como el camino de los surtidores de agua según su elevación. Sólo tiene de falso que al principio de la parábola no le dan ningún camino recto con lo cual tirando por el primer grado de elevación, la bala no tiraríá la trigésima parte del tiro a toda caça, lo que es falsísimo.

Es decir Mut propone que haya una parte casi recta, como proponía Tartaglia, al comienzo de la trayectoria, para proseguir con un trazado parabólico, como el de Galileo. Cuatro años antes, en la *Arquitectura militar*, Mut defendía más claramente la trayectoria parabólica de Galileo, diciendo por ejemplo:

13 Y no repares en que la caída de la bala sea parabólica; porque no pudiendo ser circular; como todos demuestran contra Tartalla; si ha de ser movimiento / mixto, el ámbito curvo de la área es en los Geometras línea parabólica Gassendi motu rer²². Y la misma demostración cabe en el movimiento mixto [MUT, 1664, pp. 83-84].

O al discutir sobre el tiro del mosquete:

Y el tiro del Mosquete à toda caça (por la elevacion de 45 gr.) es 440 pasos, que son andantes casi mil. De donde se sigue que si bien la bala va por línea parabólica, pero como la altura de la parábola suele ser diferente en cada genero de piezas, por eso no son muy precisas las tablas de Galileo en sus Mech. como tambien lo observa Mersenio in Phenom.ballis prop. 25 a 27 [MUT, 1664, p.22].

El libro de Galileo que cita Mut probablemente sea *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecánica* que en el discurso cuarto trata de la trayectoria de los proyectiles²³. El libro de Mersenne es *Ballistica et acontismologia* [MERSENNE, 1644a] que aparece varias veces citado en el libro de artillería de Mut. No son esos los únicos puntos en los que defiende la trayectoria parabólica en la *Arquitectura militar*. En el “Capitulo XXII De los caballeros sobre el terraplano y de los tiros desde lugar alto” [MUT, 1664, pp. 78-85] se discute sobre los tiros de lo alto diciendo:

En la figura 22 sea el tiro de puntería AB y saliendo della la bala va cayendo por BOMR que es línea parabólica en la mas recibida opinion (vease a Galileo in mechà. Gassendo de motu impres²⁴. Mersennio / in phisic mathe²⁵.) [MUT, 1664, pp.82-83].

En astronomía también propuso Mut [s.a., p. 14] en *Commetarum anni MD-CLXV enarratio physico-mathematica* una línea parabólica como posible trayectoria de un cometa, citando estos apartados de su *Arquitectura Militar*, lo que indicaría que, además de considerar la trayectoria parabólica como normal, Mut no diferenciaba entre las formas de las trayectorias de los movimientos celestes y terrestres.

Mut [1668, p. 37] explica algo más adelante en sus *Adnotaciones sobre los compendios de artillería* cómo dibujar la trayectoria que propone. Primero la bala recorrería en línea recta una longitud igual a la del tiro horizontal, con la dirección del arma al disparar. Luego, la trayectoria pasaría a ser parabólica sin un cambio brusco en la dirección al pasar de ser recta a curva. La parábola sería de tal forma que el disparo tendría el alcance encontrado para esa inclinación de la pieza. Para cumplir esas condiciones la parábola que describe la bala debe estar inclinada formando su eje un ángulo con la línea vertical. Con esa figura es más difícil calcular los valores de las alturas o de los alcances de la bala que con la parábola de Galileo; pero la figura se acerca más al movimiento real de un proyectil.

Hipótesis como la de Mut no eran extrañas en la segunda mitad del siglo XVII. Las teorías de Galileo Galilei eran muy atractivas porque eran coherentes y permitían un tratamiento matemático sencillo a los problemas del movimiento. Pero los resultados de las experiencias no siempre coincidían con lo que pronosticaban. A lo largo del siglo XVII muchos estudiosos propusieron otras soluciones al problema de

la caída de graves o a la composición de movimientos, tratando de mejorar las hipótesis de Galileo. Por ejemplo el español Juan Caramuel experimentó sobre la caída de los graves y publicó sus resultados en *Sublimum Ingeniorum Crux*, impreso en Lovaina en 1644, comparándolos con los obtenidos por Galileo, Mersenne o los jesuitas de Kennis y Dechalles, sin llegar a conclusiones claras. Ni Mersenne, ni Fermat, ni Descartes ni Roberval creyeron que la simplificación de Galileo fuera suficiente para explicar el movimiento de proyectiles [HALL, 1952, p. 106]. Sólo sin resistencia del aire hubieran salido en los experimentos los valores previstos por las teorías de Galileo.

En Inglaterra también se dudó de la exactitud de las teorías de Galileo aplicadas a la balística. Por un lado el escocés James Gregory en *Tentamina quaedam Geometrica motu penduli & Projectorum*, impreso en Glasgow en 1672, propuso que la resistencia vertical del aire se considerara despreciable, obteniendo como trayectoria de un móvil una parábola inclinada no muy diferente de la de Mut. Por otro, Robert Anderson publicó en 1674 en Londres *Genuine use and effects of the Gunne*, aplicando la dinámica de Galileo a las balas sin correcciones. Ambos fueron criticados por Wallis y por Newton por ser inexacta su forma de tratar el movimiento de un proyectil en el aire [HALL, 1952, pp. 121-122].

El problema principal de esa hipótesis de Mut, y otras similares, es que aceptando en general la dinámica de Galileo, daban una solución no conforme con su paradigma a la anomalía observada, sin tratar de buscar explicaciones dentro de la teoría de Galileo y sin pretender postular una nueva teoría. Mut podría haber justificado ese tramo recto al salir la bala del arma amparándose en que Galileo no incluye la influencia de la resistencia del aire, o en posibles efectos de la balística interna, o en otra de las muchas razones que aduce Blondel [1683, pp. 409-412]. O podía aceptar que existía esa anomalía, pero decir que no era importante, ni invalidaba la teoría de Galileo, dando un razonamiento como el que hace Blondel en otro capítulo de su libro:

Quoi qu'il en soit néanmoins, cette différence ne saurait tout au plus faire autre effet sur la ligne de projection des mobiles, que de les rendre peut être un peu plus droites au commencement de leur course qu'il ne faudroit pour être exactement paraboliques, ainsi que Galilée l'a fort bien remarqué [BLONDEL, 1683, p. 374].

Una solución parecida fue la adoptada por Tosca cincuenta años más tarde, quien criticaba a los “secuaces de Galileo” y consideraba que el ímpetu de las balas se destruía por la acción de la gravedad, en contra de Galileo²⁶. Pero, aceptaba sus teorías para calcular alcances y trayectorias, diciendo en un “Escolio” que los errores calculando con ellas no eran importantes:

El movimiento de los proyectiles no se hace realmente por línea parabólica, [...] pero supuesto que como advierte M. Blondel en su Arte de arrojar las bombas no puede dicha suposición falsificarlas de modo que puedan inducir a error notable en los tiros... [TOSCA, 1757, v. 5, p. 539].

Con esa justificación Tosca resuelve los problemas habituales de la balística externa siguiendo las teorías galileanas, como hace Blondel en *L'Art de jeter les bombes* [BLONDEL, 1683], lo que le facilita mucho los cálculos.

Mut, como se ha visto, presenta una nueva hipótesis para las trayectorias sin justificarla suficientemente y sin cuidar que fuera coherente con lo que había postulado para calcular los alcances según la elevación, pues con su regla los alcances eran una función de los ángulos de elevación al cuadrado y con esa gráfica los alcances por elevación dependerían de una función del seno y coseno del ángulo de elevación.

Desde el punto de vista de la física, el principal inconveniente de las explicaciones de Mut está en su tratamiento de la resistencia del aire y de la fuerza que frena las balas. La mayoría de los autores renovadores en esa época estaba de acuerdo en que la falta de precisión de los resultados obtenidos con la teoría de Galileo se debía a que no consideraba el efecto de la resistencia del aire en el frenado del proyectil. Mut, sin embargo, no mantuvo una postura clara, dando preferencia más bien a la gravedad, como causa de la pérdida de velocidad. Así por ejemplo, razonando sobre por qué las balas de menos de 8 lib. tienen el tiro horizontal más largo dice en su libro de artillería:

La causa es porque la bala de mayor peso (con su mayor carga) camina más, pero la mayor gravedad la tira hacia abajo. Y la razón matemática es evidente; porque la bala mayor halla menos resistencia en el aire para bajar a su centro [MUT, 1668, p. 34].

La bala de mayor tamaño, en igualdad de las demás condiciones, debería sufrir más la resistencia del aire por su tamaño y no menos, y si la fuerza de la gravedad sobre una bala de mayor peso es mayor también lo es su masa por lo que la aceleración de la gravedad es la misma que para la más pequeña. Tartaglia [1998, pp.77-83] decía que la gravitación frena el movimiento de los cuerpos. Mut no llega a decirlo, y admite en ese mismo razonamiento que a partir de las 8 libras el frenado por el peso no tiene variaciones importantes, lo que es contradictorio con lo que había dicho poco antes de que la gravedad curvaba más rápidamente la trayectoria del cuerpo que más pesa.

En su *Arquitectura Militar* también entendía que la gravedad hacía perder impulso a la bala:

11. Demuéstrase que la bala en comenzando a caer, va perdiendo sus fuerzas en duplicada razón (digo como los cuadrados) de los tiempos [MUT, 1664, p. 83].

No está claro que entendía Mut por perder fuerza; pero en el siguiente párrafo, en la misma línea de razonamiento, afirma que la bala pierde velocidad:

12. Siguese que la bala en passando de la distancia de la puntería, va perdiendo la velocidad, con la misma proporción que adquieren aceleración las cosas graves, quando caen naturalmente: pues es constante que estas ganan velocidad en la caída, en duplicada razón de los tiempos [MUT, 1664, p.83].

La frase “pasando de la distancia de la puntería” o la preferencia por la tabla de alcances de Gallé que muestra en otro apartado [MUT, 1664, p. 22] indican que Mut cuando escribió la *Arquitectura Militar* ya pensaba en una trayectoria parecida a la que propuso en el libro de artillería en 1668.

Por otra parte, Mut sí consideraba en *Anotaciones sobre los compendios de artillería* que el aire frena la bala y opinaba que “La resistencia del aire es según la superficie que le corta” [MUT, 1668, p. 36]. No introducía la velocidad de la bala, o el volumen del aire que desplaza en el cálculo de la resistencia. Sin embargo afirmaba que:

91. Es curiosidad bien notable, que en el tiro de toda caça, la bala va subiendo hasta el instante que ha cortado tanta cantidad de ayre, como pesa la bala: y desde entonces comienza à baxar de su mayor altura [MUT, 1668, p. 44].

No se ha podido encontrar de donde obtuvo Mut esa idea, o por qué la defendía. En todo caso no parece que tuviera unas ideas muy claras sobre el papel del aire en el movimiento de los proyectiles.

MUT Y LA FÍSICA ARISTOTÉLICA

A pesar de sus opiniones sobre el papel de la gravedad en la pérdida de ímpetus en los móviles o sobre alguna otra cuestión, Mut en sus escritos razona dentro de un paradigma galileano y critica claramente las principales ideas de la antigua física. Por ejemplo se opone a que la materia se considere compuesta por cuatro elementos con cuatro cualidades como decía la física de Aristóteles, o a que existan elementos ligeros que vayan hacia el cielo y pesados que tienden hacia la Tierra:

88. Es error pensar que el ayre y el fuego de la pólvora levanten la bala por ser elementos que suben arriba. El ayre de su naturaleza no sube, sino descansa en su región; solo el ayre más puro sube por ser más ligero que el mas baxo engrossado de vapores. El fuego de la pólvora, es cuerpo mixto y no va hacia arriba; ni nadie sabe ni ha visto que aya tal elemento; la llama no es más que ayre encendido; y sube por más puro y más ligero que el otro ayre. También sube el humo, y no hay elemento de humo; porque del mixto no se infiere que tenga cualidad elemental. Ni de haber cuatro cualidades se sigue haber cuatro elementos; porque no es cierto que haya cualidad positiva de sequedad y ningunos autores concuerdan en que cualidad sea propia de la tierra [MUT, 1668, p. 43].

En el tratado de *Arquitectura Militar* también critica la división de los cuerpos en ligeros y pesados y la idea de movimiento natural de un cuerpo:

8. Y para condenar los tiros de arriba à baxo, no es menester valernos de la Opinion comun de que los tiros inclinados al horizonte son mas flacos; como quieren persuadir los Artilleros con Christobal Lechuga, Pedro Sardi, y Julio Cesar Firrufino, con motivo que el movimiento violento solo es mas fuerte, quanto mas se aparta del natural; porque eso lo tengo por error grande [MUT, 1664, p. 81].

Tanto Firrufino, como Lechuga o el romano Pedro Sardi autor de varios libros de artillería y fortificación, defendían la teoría de los ímpetus de Tartaglia. Mut, como Galileo, no diferenciaba movimientos violentos y naturales. Además defendía que

las piedras cuando caen el espacio que recorren es proporcional al cuadrado del tiempo y que los movimientos en un cuerpo se componen sin obstruirse:

La bala o piedra quando va cayendo al suelo en cada espacio adquiere velocidad en duplicada razon de los tiempos; y la aceleracion le produce impetu violento. No es solo movimiento natural, sino que es mixto de natural y violento, sin incompatibilidad alguna [MUT, 1664, p. 81].

Pese a lo que en otras partes de su obra dice sobre la pérdida de impulso con la gravedad, Mut defiende en otros párrafos que la aceleración de la gravedad aumenta el ímpetu del disparo:

De donde se sigue que el ímpetu causado de la mayor velocidad se compone con el movimiento natural y no se le opone; y en la inclinacion del tiro el peso de la bala , quanto mas se inclina al descenso natural toma mas aceleracion con mas impulso : y assi los tiros despedidos de lugar / alto, no son flacos, por apartarse del movimiento violento; sino que por la misma causa son mas poderosos; porque el descenso natural toma mas fuerza de la violencia [MUT, 1664, pp. 81-82].

Mut sostenía la idea de la inercia. Así en el libro de fortificación discutiendo la dirección de los proyectiles lanzados desde un móvil dice:

Porque la bala toma la direccion de la linea, que forma el movimiento de quien la arroja; por eso tirando un pistoletazo vertical desde lo alto del arbol de una Galera, por mucho que ella camine, cae la bala al pie del arbol; porque va siguiendo la direccion del impulso. Vease à Galileo Dialo. 2. Mersenn. in Ballistic, Gassendi de mot. impress.²⁷ [MUT, 1664, p. 40]

Finalmente, Mut defendía en sus escritos la renovación de la filosofía natural. Así en la *Arquitectura Militar* a los que le decían que “si lo afirmamos así, ofendemos a los Maestros que nos precedieron”, por sus críticas a autores reconocidos, respondía:

Pero tal vez tropiezan los que van delante llevando la achá, y así solo nos ha de guiar la luz que llevan. Los pasados no pudieron testar todas las verdades, y es gran desdicha querer adquirir errores por sucesion [MUT, 1664, p. 41].

Resumiendo, tanto en su libro de fortificación como en el de artillería Mut critica repetidas veces la física antigua y justifica sus opiniones con citas a las obras de partidarios de un cambio radical en la física como Galileo, Mersenne y Gassendi.

CONCLUSIONES

La primera conclusión es que Mut fue un renovador de la física en España que estaba al tanto de los avances que se estaban dando en la filosofía natural en Europa y se opuso a la física escolástica, criticando su teoría del movimiento. Es notable el afán que tiene por dar explicaciones cuantitativas y matemáticas de los fenómenos, siguiendo en general teorías de autores partidarios de la nueva física, aunque conserve algunas ideas de la vieja.

En las cuestiones teóricas de la balística sigue a Marin Mersenne y en menor medida a Pierre Gassendi y Galileo Galilei. En la artillería práctica toma los datos en

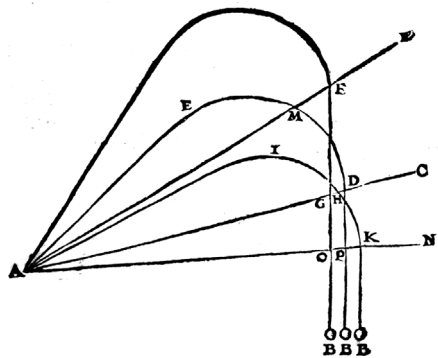
buena parte de Jean Gallé, a través del libro de Mersenne; pero, también utiliza valores de los libros de autores españoles de artillería, principalmente Ufano y Firrufino.

Mut realizó algunas experiencias con armas de fuego. Pero no parece que dedicara tanto tiempo a experimentar en balística como dedicó a sus observaciones astronómicas. Hay diferencia entre la orientación de sus escritos de astronomía y estos de arte militar. Si en astronomía Vicente Mut era un observador cuidadoso que trataba de precisar los valores ofrecidos, en artillería da valores sin cuidar de ajustarlos ni de evitar contradicciones, aunque hay que reconocer que la pirotecnia de la época no permitía demasiadas precisiones y que el libro de artillería no está tan elaborado como los de astronomía o el de fortificación.

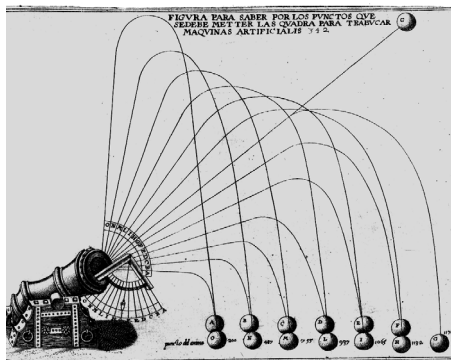
Otra diferencia entre el libro de artillería y los de astronomía está en los autores que cita y con los que parece coincidir. En astronomía seguía y se relacionaba con jesuitas como Zaragoza, Riccioli, o Kircher [NAVARRO BROTONS, 2009, pp. 41-66 y 309-311]. En balística es seguidor de Mersenne y de personajes de su círculo como Gassendi o Gallé y, en cuestiones prácticas, de la tradición artillera española. En eso se diferencia también el libro de artillería de su tratado de fortificación, en el que sigue de una forma crítica a autores holandeses [NAVARRO LOIDI, 2004, pp. 278-279].

Mut fue la expresión más clara de un movimiento renovador que existió en Mallorca en el siglo XVII, al que pertenecieron también sus colaboradores Miguel Fuster, Diego Desclapers y otros [NAVARRO BOTONS, 2009, pp. 61 y 64; LOPEZ PIÑERO, 1979, p. 439].

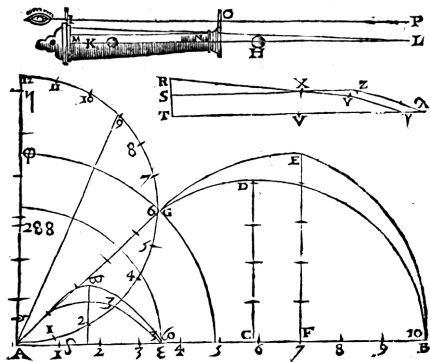
TRAYECTORIAS



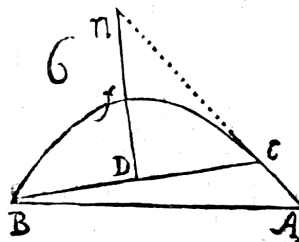
TARTAGLIA [1558, f. 11 v.]



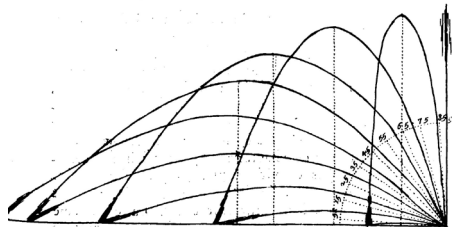
UFANO [1613, p. 342]



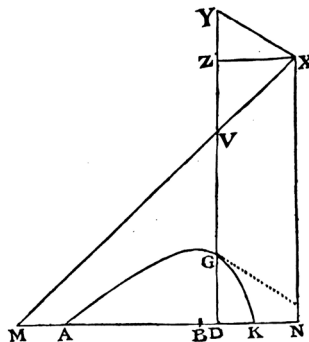
MERSENNE [1644a, p. 89]
Según las teorías de Gallé.



Mut [1668, p. 38]
El tiro sale de A.



BLONDEL [1683, p. 423]
Trayectorias para lanzamientos de mercurio.



NEWTON [1740, v. 2, p. 93]
AGK trayectoria del cuerpo.

NOTAS

1. El pasado año, se celebró el cuarto centenario del nacimiento de Mut y tuvieron lugar en Palma diversos actos organizados por el Govern de les Illes Balears, la Universitat de les Illes Balears y el Centro de Historia y Cultura Militar de Baleares, que permitieron conocer nuevos datos de su vida y su obra.
2. De los libros de astronomía hay una reedición facsímil con su traducción al catalán en NAVARRO BROTONS [2009, pp. 67-306]; de los impresos de arte militar se han estudiado los ejemplares de la Biblioteca Lluís Alemany de Palma. Agradezco a dicha biblioteca y al profesor Biel Alomar las facilidades que me han dado para consultarlos.
3. Se encuentra en la Biblioteca Lluís Alemany de Palma, signatura: E 2-77.
4. Probablemente se trate del general e historiador José Almirante (1823-1894), autor de un *Diccionario militar*, publicado en Madrid en 1869, y de *Bibliografía militar de España*, impreso en Madrid en 1879.
5. NEWTON [1987, pp. 288-456] trata de esta cuestión, en particular las secciones primera y segunda “Sobre el movimiento de cuerpos que son resistidos en razón de la velocidad” y “Sobre el movimiento de cuerpos que son resistidos como el cuadrado de su velocidad”.
6. No se ha encontrado en Mersenne un lugar en que trate de la densidad del salitre. Realizó varios experimentos para medir el peso del aire relacionándolo con el del agua [MERSENNE, 1644b, p. 147] y Mut dice que la pólvora fina tiene la densidad del agua por lo que es posible que en esa frase se refiera a la medida del peso del aire por Mersenne.
7. Explicaciones parecidas se pueden encontrar en el “Libro Terzo Sopra del Salnitrio” de *Quesiti et invenzioni diverse* [TARTAGLIA, 1546, f. 40 r-46 v.].
8. Debe de tratarse de Jean Errard de Bar-le-Duc matemático e ingeniero militar que trabajó para Enrique IV y Henri de La Tour d’Auvergne, vizconde de Turenne, duque de Bouillon, y señor de Sedan, quien destacó como general de Enrique IV de Francia.
9. “Yo he hecho la misma experiencia, también en una Casamata, y concuerda con aquellas” [MUT, 1664, p. 40]. Añade “ya sé que en esto padezco mucha objeción, pero de esa verdad tengo repetidas experiencias” [MUT, 1668, p. 40].
10. Compara para justificarlo: “como si sobre una pequeña mesa movemos con la pala una bola, aunque sea con muchísimo impulso no se retira la mesa” [MUT, 1664, p. 41].
11. “Luego que la bala comienza á sentir la fuerça de la pólvora empieza a recular, pero es tan poco mientras la bala está dentro de la pieza, que apenas cabe en la imaginación, con que el reculo violento viene a ser después de despedida la bala” [FERNÁNDEZ DE MEDRANO, 1724, p. 173]. El autor dice que en esto sigue al francés Maltus, que debe ser Francis Malthus, que publicó *Pratique de la guerre, contenant l’usage de l’artillerie, bombes et mortiers, feux artificiels et pétards* en París en 1646.
12. Ufano y Firrufino ya se han mencionado antes en este artículo. Lechuga fue un ingeniero militar español que trabajó en Lombardía y el norte de África y publicó en 1611 en Milán *Discurso del capitán Cristoual Lechuga: en que trata de la artillería*. Collado fue otro ingeniero militar español que combatió en Lombardía a finales del siglo XVI y publicó *Platica manual de artilleria* en 1586 en italiano en Venecia y en 1592 en castellano en Milán.
13. “5 as y as” indica que se cargaba pólvora con cinco partes de salitre por cada una de carbón y de azufre.
14. “Porque atacando mas o menos la recamara, o hyendose calentando el mortero, y estando mas o menos anivelado el terreno sin otros accidentes, se hazen mayores o menores los tiros, y luego se notara que las polvoras no son todas de una misma fuerza” [FERNÁNDEZ DE MEDRANO, 1723, p. 91] o “Y es cierta cosa que si se miran todos los Autores que hasta oy han escrito, y los que de aqui adelante escribieren, nunca sus tablas concordaran unas con otras” [FIRRUFINO, 1643, f. 57v.].
15. Se refiere al “Capitulo VII Privilegios concedidos por el Rey D. Jaime. Trátase de los pesos y medidas del Reyno” [MUT, 1650, pp. 214-221] de su *Tomo II de la Historia de Mallorca*.

16. En Ufano este alcance no es para 2 libras de bala sino para 2 ½.
17. Los datos de Mut están calculados siguiendo sus reglas el resto está tomado de FIRRUFINO [1642, f. 90 r.] y de UFANO [1613, pp. 35-36].
18. En el siglo XVII el ángulo de elevación del ánima de la pieza, lo daban muchos en grados, como en matemáticas. pero entre los artilleros prácticos era también corriente darlo por el punto del cuadrante que utilizaban para hallar la inclinación, que solía dividirse en 12 partes o puntos, por lo tanto cada punto era equivalente a 7 ½ grados.
19. En la “Epístola” dedicatoria y en el libro segundo proposiciones VIII y IX de TARTAGLIA [1998, pp. 61-62 y 107-116].
20. Ufano publicó su tratado en 1613 y Mersenne en 1644 por lo que Ufano no pudo valerse de las tablas del francés. Lo que sí es posible es que Ufano se sirvieran para sus tablas de alcances de unas experiencias hechas por Gallé porque Ufano peleó en Flandes en tiempos de los archiduques Alberto e Isabel, que fue cuando Gallé hizo sus pruebas.
21. Sobre Gallé y la identificación con el Galeus de Mersenne véase THIER [1888, pp. 502-506 y 544], también está en QUETELET [1864, p. 131] que escribe el apellido Gallet. Un resumen de su vida se puede consultar en Halleux y Bernes “L'évolution des sciences et des techniques en Wallonie”: http://www.wallonie-en-ligne.net/Wallonie_Histoire/hist-econom-sociale/index.htm (22-I-2015).
22. Pierre Gassendi, que en la cita anterior Mut llama Gassendo, fue un filósofo francés atomista y defensor de Epicuro. Su libro es probablemente *De Motu impresso a motore translato* impreso en París en 1642.
23. En sus primeros años Galileo impartió un curso de mecánica elemental que fue publicado en Rávena en 1649 después de su muerte con el título *Della Scienza Meccanica*. En él se trata de instrumentos como la palanca el plano inclinado o el tornillo de Arquímedes. Ese texto había sido traducido al francés y publicado en París en 1634 por Marin Mersenne, *Les Mécaniques de Galilée*. Pero Mut no debe referirse a ese libro porque Galileo no trata en él de trayectorias como en los *Discorsi*.
24. De Galileo se debe tratar de *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica* y de Pierre Gassendi *De Motu impresso a motore translato*.
25. El libro de Mersenne al que se refiere es el mismo de balística que ha citado anteriormente, porque el tratado de balística se editó en un volumen titulado *Cogita Physico Mthematica* en 1644 en París, en el que iban encuadrados juntos los tratados “De Mensuris”, “De Hydraulico-pneumaticis Phenomenis”, “De Arte Nautica”, “De Musica”, “De Mechanicis Phaenomenis” y el ya mencionado “De Ballsticis”.
26. “Estos impetus se destruiran mutuamente en parte y se retardaran entrambos movimientos: luego por esta causa se retarda tambien el movimiento por Ag y no solo por la resistencia del ayre como sienten los sequaces de Galileo. La averiguacion filosofica de todo esto, no es del intento presente” [TOSCA, 1757, t. 5, p. 529].
27. El libro de Galileo que cita probablemente sea *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano*, publicado en Florencia en 1632, el de Marin Mersenne, como otras veces, es *Ballistica et acontismologia* [MERSENNE, 1644a] y de Pierre Gassendi *De Motu impresso a motore translato* como en los casos anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- BLONDEL, F. (1683) *L'art de jeter les bombes*. Paris, l'auteur et N. Langlois.
- BOVER, J. (1868) *Biblioteca de escritores baleares*. Palma de Mallorca, P. J. Gelabert, 2 vols.
- CASANOVA, U. DE (1985) “Algunas anotaciones sobre el sistema defensivo de Mallorca en el siglo XVII: el <fondo de la fortificación>”. *Estudis*, 12, 97-124.
- DUGAS, R. (1988) *A history of mechanics*. Nueva York, Dover [1ª ed. francesa 1955].

- ESCOHOTADO, A. (1987) “Estudio Preliminar”. En: I. Newton. *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Madrid, Tecnos, XI-LXXXVIII.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO, S. (1723) *El Perfecto Artificio, Bombardero y Artillero*. Amberes, Verdussen [1ª ed. 1699].
- FIRRUFINO, J.C. (1642) *El Perfeto Artillero Theorica y Pratica*. s.l. [Las tasas están firmadas en 1648, por lo que probablemente fue esta la fecha de publicación y no 1642 como aparece en la portada].
- HALL, A.R. (1952) *Ballistics in the seventeenth century*. Cambridge, University Press.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M. (1979) *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. Barcelona, Labor.
- MERSENNE, M. (1644a) *Ballistica et Acontismologia*. Paris, Antonii Bertier.
- MERSENNE, M. (1644b) *Hydraulica pneumatica. arsque nauigandi, harmonia theorica, practica*. Paris, Antonii Bertier.
- MUT, V. (1649) *De Sole Alfonsino restituto, simul et de diametris et parallaxibus, luminarium, semidiametro que umbrae terrae*. Palma, Petri Guasp.
- MUT, V. (1650) *Tomo II de la Historia del Reyno de Mallorca*. Mallorca, Herederos de Gabriel Guasp.
- MUT, V. (1664) *Arquitectura militar: primera parte de las fortificaciones regulares e irregulares*. Mallorca, Francisco Oliuer.
- MUT, V. (s.a.; post. 1665) *Cometatum anni MDCLXV enarratio physico-mathematica*. s.l.
- MUT, V. (1666) *Observationes Motuum caelestium cum adnotationibus Astronomicis, et meridianorum differentiis ab eclipsis deductis*. Mallorca, Raphael Moya.
- MUT, V. (1668) *Adnotaciones sobre los compendios de artillería*. Mallorca, Rafael Moya.
- MUT, V. (1674) *Instrucciones para la milicia y sus oficiales que se ha de observar en caso de invasión o tocar arma en la isla de Mallorca de orden del Ilmo. Sr. D. Juan Francisco de Zebrian [...] Capitán General del Reyno de Mallorca*. Mallorca, Rafael Moya.
- MUT, V. (1676) *Compendio de la formación de escuadrones, reducidos à fácil y breve ejecucion dellos*. Mallorca.
- MUT, V. (1683) *Instrucción general para la gente y oficiales de guerra del presente Reyno de Mallorca [...] De orden del Ilmo. Sr. D. Manuel de Setmanat y de Lanuza Virrey y Capitan General del mismo Reyno*. Mallorca, Raphael Moya y Joaquín Basart.
- MUT, V. (1987) *Vicente Mut Armengol (1614-1687): bibliografía*. Palma de Mallorca, Biblioteca Luis Alemany.
- NAVARRO BROTONS, V. (1979) “Física y astronomía modernas en la obra de Vicente Mut”. *Llull*, 2(4), 23-43.
- NAVARRO BROTONS, V. (2001) “Galileo y España”. En: J. Montesinos y C. Solís (eds.) *Largo campo di filosofare. Eurosymposium Galileo 2001*. La Orotava, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 809-831.
- NAVARRO BROTONS, V. (2009) *Vicenç Mut Armengol (1614 - 1687) i l’Astronomia*. Palma, Govern de les Illes Balears.
- NAVARRO LOIDI, J.M. (2004) *Las Ciencias Matemáticas y las Enseñanzas Militares durante el Reinado de Carlos II*. Madrid, Ministerio de Defensa, 2 vols.
- NEWTON, I. (1740) *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Ginebra, Barrillot, 2 vols. [1ª ed. 1687].
- NEWTON, I. (1987) *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Madrid, Tecnos [Estudio preliminar, traducción y notas de Antonio Escohotado].

- QUETELET, J.A. (1864) *Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques chez les Belges*. Bruselas, M. Hayez.
- STEELE, B.D. (2005) "Military "Progress" and Newtonian Science in the age of Enlightenment". En: B.D. Steele y T. Dorland (eds.) *The heirs of Archimedes*. Cambridge, MIT Press, 361-390.
- TARTAGLIA, N. (1546) *Quesiti et invenzioni diverse*. Venecia, Ruffinelli.
- TARTAGLIA, N. (1558) *Nova Scientia*. Venecia [1ª ed. italiana 1537].
- TARTAGLIA, N. (1998) *La Nueva Ciencia*. Mexico, UNAM [Traducción castellana e introducción de J.R. Martínez y J.C. Guevara].
- THIER, L. DE (1888) "Notes pour servir à l'histoire des mathématiques dans l'ancien Pays de Liège". *Bulletin de l'Institut Archéologique Liégeois*, XXI, 457-557.
- TOSCA, T. V. (1757) *Curso Matemático*. Valencia, Bordázar, 9 vols. [1ª ed. 1707-1715].
- UFANO, D. (1613) *Tratado de la artilleria y uso della*. Bruselas, Momarte.
- VIGÓN, J. (1947) *Historia de la Artillería Española*. Madrid, CSIC-Instituto Jerónimo Zurita, 3 vols.