

El auge de la ingeniería militar y la mecánica. Galileo y el carácter utilitario de la matemática en la Italia del Siglo XVII.

Autora: Profesora Mara Zoraida Silva

Correo electrónico: msilvacmn2023@hotmail.com

C.V: Profesora Universitaria en Matemática, graduada en la Universidad Nacional de Formosa. Diplomada en Filosofía de la Ciencia y del Arte en la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Estudiante de la Maestría en Historia de la Guerra en la Escuela Superior de Guerra del Ejército y, en paralelo, del Doctorado en Epistemología e Historia de la Ciencia en la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Actualmente se desempeña como profesora del Colegio Militar de la Nación, entidad dependiente de la Facultad del Ejército y de la Universidad de la Defensa. Su campo de estudio es la Historia de la Ciencia, en particular, la Historia de la Matemática y el desarrollo histórico de la ciencia en instituciones militares de la República Argentina.

Resumen

El siglo XVII, periodo de profundos cambios e innovaciones, presenció un renacimiento de la ciencia y la tecnología que cambiaría el curso de la historia. Uno de los personajes más destacados de la época fue Galileo Galilei (1564-1642), un astrónomo y físico italiano que no solo desafió las concepciones tradicionales del universo, sino que también dejó un legado perdurable en la mecánica y la ingeniería militar. A lo largo de este siglo, Galileo llevó a cabo una revolución científica que no solo tuvo repercusiones en el campo de la física y matemática, sino que influyó en el desarrollo de la tecnología y las estrategias militares de su tiempo.

Desde este contexto, el presente artículo se propone explorar el desarrollo histórico de la mecánica y de la ingeniería militar en el siglo XVII, a través del prisma de la influencia y contribución de Galileo. A medida que se exploren su vida e investigaciones, no sólo se examinarán los avances técnicos y científicos que promueve, sino que también se analizarán las implicaciones sociales y culturales de sus logros.

Galileo no vivió ni trabajó en un vacío, su labor estuvo inmersa en el tejido de una sociedad en constante cambio y en una época de efervescencia intelectual. Por lo tanto, para entender su impacto en la ingeniería militar, es esencial poder comprender cómo la ciencia y la matemática se entrelazaron con la sociedad y la cultura del siglo XVII.

Abstract

The 17th century, a period of profound change and innovation, witnessed a renaissance of science and technology that would change the course of history. One of the most prominent figures of the era was Galileo Galilei (1564-1642), an Italian astronomer and physicist who not only challenged traditional conceptions of the universe, but also left a lasting legacy in mechanics and military engineering. Throughout this century, Galileo carried out a scientific revolution that not only had repercussions in the field of physics and mathematics, but also influenced the development of technology and military strategies of his time.

From this context, the present article aims to explore the historical development of mechanics and military engineering in the 17th century through the prism of Galileo's influence and contribution. As his life and research are explored, not only will the technical and scientific advances he promoted be examined, but the social and cultural implications of his achievements will also be analyzed.

Galileo did not live or work in a vacuum; his work was embedded in the fabric of an ever-changing society and a time of intellectual ferment. Therefore, to understand his impact on military engineering, it is essential to understand how science and mathematics were intertwined with 17th century society and culture.

Palabras clave

Historia de las ciencias; Ingeniería Militar; Mecánica; Matemáticas; Ciencia.

Antecedentes en relación a la Ingeniería Militar.

La ingeniería militar durante los siglos XVI-XVII, se basó más en un enfoque técnico y científico-práctico, ya que logró incorporar conceptos matemáticos avanzados en la planificación y toma de decisiones de los ejércitos y grupos locales. Tal es el caso del diseño de fortalezas, en donde los ingenieros militares de la época centraron su atención en construir estructuras defensivas avanzadas. Estos ingenieros lograron desarrollar técnicas para diseñar muros más resistentes y formas arquitectónicas para mejorar la capacidad defensiva de los castillos y ciudades. Estos sistemas de defensa estaban constituidos por conjuntos de murallas defensivas, en donde se formaron elementos como baluartes, fosos y torres de vigilancia.

Otro de los avances significativos en materia de ingeniería militar fueron los perfeccionamientos de la artillería. Gracias al estudio de las trayectorias de proyectiles y al perfeccionamiento de términos referidos a la física aristotélica, se logró mejorar el alcance y precisión del tiro de cañones, dando espacio a mejores ejercicios en las armas y a un análisis mucho más exacto de las distancias de impacto hacia el enemigo.

También se presenta el caso de la formación de militares profesionales. No se podría lograr un avance en las cuestiones anteriores si los oficiales de las armas no fueran poseedores de los conocimientos necesarios en ciencia y matemática. Cuando se habla de “*ingeniería de construcción*”, se refiere a los ingenieros militares, dado que estos, durante muchos siglos y hasta prácticamente el final del siglo XVIII, tuvieron que ocuparse no solo de la construcción de castillos en la Edad Media y posteriormente fortalezas, sino que también de divulgar la enseñanza de las matemáticas en Academias militares, de la construcción de infraestructura, etc. (Fernández Cánovas, 2014, p. 45). En efecto, Galileo Galilei, por ejemplo, fue profesor en la Universidad de Pisa, en donde se consolidaron los programas de formación especializada para ingenieros militares, basándose en teorías matemáticas y geométricas de aplicaciones prácticas y precisas para el desarrollo de estrategias de defensa y campo de batalla.

De igual manera, en estos procesos de formación estuvo muy presente la influencia de figuras históricas, como Maquiavelo, y autores antiguos, como el escritor romano Vegetius. Ambos nombres marcaron pautas dentro del estudio de la teoría militar y la planificación estratégica, proporcionando fundamentos concretos para el desarrollo de la ingeniería militar de la época. Niccolo Maquiavelo (1469-1527) fue un destacado político, diplomático y escritor italiano del Renacimiento, conocido por su obra “*El Arte de la Guerra*” (1513). Esta expone implicaciones referidas a la política y la estrategia militar y, a su vez, mecanismos de influencia destinadas a líderes y estrategas militares de la época. En efecto, Maquiavelo abogaba por un enfoque realista y pragmático en la toma de decisiones militares: instaba a los líderes a entender las circunstancias tal y como eran, y olvidarse de las antinomias basadas en ideales abstractos. De esta manera, influyó en la forma en que se planifican y se llevaban a cabo las campañas militares.

Por otro lado, Flavio Renato Vegecio, comúnmente conocido como Vegetius, (de quien se sabe poco de su vida), fue un escritor romano cuya obra más famosa fue el “*Epitoma Rei Militaris*”¹. Esta obra se refiere a un tratado en el que se describen los usos militares del ejército romano, motivo por el cual, Vegetius, en el prefacio de su obra, desarrolla una introducción del mismo tratado, a saber:

“El libro primero enseña a fondo sobre la elección de los más jóvenes, de qué lugares o cuáles han de ser aceptados como soldados, o con qué ejercicios de armas han de ser instruidos. El segundo libro contiene la costumbre de la antigua milicia en la que puede formarse al ejército de infantería. El libro tercero expone

¹ Epitome de la ciencia militar. Fecha de publicación original: Año 390

todas las clases de artes que parecen necesarias para el combate en tierra. El libro cuarto enumera todas las máquinas con las que se atacan o se defienden las ciudades; también añade los preceptos de la guerra naval.” (Vegetius, 1473. P. 9)

Durante el periodo signado entre los siglos XVI y XVII, este escrito marcó una importante influencia en el desarrollo de la ingeniería militar de la época: en la voz de Carlos María Fraquelli (2023) “*La obra de Vegecio toma un carácter formativo fundamental, ya que permite conocer los usos, las costumbres militares y las técnicas y tácticas aplicadas por los romanos*”. En efecto, la obra del presente autor abogaba por una disciplina militar estricta y un entrenamiento riguroso para las fuerzas armadas. Este foco de atención marcado en la formación y disciplina fue el punto de partida para configurar las características de las prácticas militares de la época, entre ellas, la ingeniería militar. Desde este lugar, el autor renacentista proporcionó directrices sobre la construcción de fortificaciones defensivas y el desarrollo de estrategias militares justificadas en la planificación previa. Para ello, prestó atención al estado continuo de los recursos militares, haciendo hincapié siempre en la necesidad de mantener y preparar adecuadamente a las fuerzas armadas.

Este pensamiento de Vegetius influye, además, en la formación de oficiales y líderes militares hasta tiempos modernos, dando lugar a mecanismos de enseñanza-aprendizaje en las academias militares y programas de entrenamiento en el contexto de la historia posterior al Renacimiento. Así, esta obra constituye el primer antepasado occidental conocido de lo que pueden haber sido los manuales de campaña y reglamentos militares que los ejércitos actuales utilizan para consolidar, exponer y difundir los diferentes aspectos doctrinarios empleados para hacer la guerra (Fraquelli, 2023, p.9).

Exploración de las contribuciones de Galileo a la mecánica e ingeniería militar.

Como dato previo para entender los desarrollos científicos de Galilei, resulta interesante comprender quiénes eran los intelectuales dedicados a los ámbitos de interés en materia de ingeniería militar. Así es como, durante el siglo XVI, los profesores universitarios en Matemática eran los encargados del estudio de la ciencia mecánica racional, mientras que el estudio del movimiento era de incumbencia de los filósofos. Desde este lugar, el movimiento de proyectiles se basaba en la filosofía aristotélica. La misma, sostenía que los cuerpos en movimiento estaban sujetos a fuerzas proporcionales a su velocidad, y que el movimiento natural solo ocurría en línea recta. Esto generó diversos problemas prácticos que no lograban dar respuesta a las demandas experimentales y las observaciones de la esfera sublunar. En efecto, uno de los primeros problemas mecánicos que cobró importancia con el desarrollo de las armas de fuego, era el de la naturaleza del movimiento de proyectiles. (Mason, 2002. P. 36). Esta situación motivó a Galileo a posicionarse desde otro lugar en relación a las ideas de Aristóteles, y lo que sostenían con respecto a los proyectiles.

A su vez, la creciente comprensión matemática del movimiento y las fuerzas también influyó en la ingeniería militar, donde se buscaba aplicar principios mecánicos para mejorar la eficacia de las armas y las fortificaciones.

El interés de Galileo por las ciencias militares se puede rastrear desde sus inicios como estudiante: el primer profesor de matemáticas de Galileo en Florencia fue Ostilio Ricci, un experto en matemáticas aplicadas e ingeniería militar. Esto daría la pauta para entender que Galileo pasó sus primeros años en Florencia inmerso en la cultura profesional de las matemáticas aplicadas a la mecánica y las fortificaciones.

A partir de 1588, Galileo comenzó a enseñar mecánica y técnica de fortificaciones en Pisa y, posteriormente, entre 1592 y 1610, en Padua; además de su rol de profesor universitario, se desempeñó como asesor del Arsenal Veneciano, dedicándose de lleno a los inventos mecánicos. Algo interesante de destacar es el surgimiento de una serie de prácticas profesionalizadas en ámbitos diferentes de las universidades del momento. Estas prácticas estaban dedicadas a temas que, desde la perspectiva heredada del mundo grecolatino, no serían estrictamente matemáticas, sino logísticas. De hecho, sería la

influencia –en parte- de autores heterodoxos dentro de la tradición griega los que sirvieron de motivación para la generación de nuevas perspectivas ligadas, no solo al mundo militar, sino también al comercio.

Para el caso de la ciudad de Venecia, quien poseía uno de los puertos más importantes del mundo, la actividad comercial portuaria mantenía a la ciudad como una potencia económica y política, lo que la hacía por lo mismo, muy vulnerable al ataque de otros reinos y apetecible para los saqueadores.

Todo esto impulsó a Galileo a trabajar con los problemas que se presentaban en mecánica, a razón de contribuir a la defensa en materia militar. En su obra más influyente sobre mecánica, las *Dos Nuevas Ciencias*, inicia con una evocación a los problemas derivados del estudio del arsenal de Venecia. En un fragmento de discusión entre Simplicio y Salvati, este último señala:

“Pienso que la constante 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, donde se construyen continuamente todo tipo de instrumentos y de máquinas por medio de gran número de artesanos, entre los que ha de haber alguno que, en parte, por experiencia heredada y en parte por observaciones propias, se han tomado muy expertos en las explicaciones.”

Lo que Galileo opinaba de estos “artesanos” era que no se caracterizaban concretamente como científicos, puesto que ignoraban los conocimientos matemáticos formales para justificar las construcciones mecánicas. En efecto, no podían desarrollar sus resultados teóricamente (Mason, 2002, p. 42).

Galileo y el telescopio militar

Un gran proceso de perfeccionamiento instrumental en el que Galileo tuvo un rol destacado, fue el vinculado con los telescopios. En efecto, en su obra *Sidereus Nuncius* explica la invención de los telescopios y las incipientes necesidades de las armas de tierra y mar:

“Hace ya alrededor de diez meses me llegó un rumor de que un cierto neerlandés² había fabricado un antejo, merced al cual los objetos visibles, aunque muy alejados del ojo del espectador, se veían nítidamente como si estuvieran cerca.”

Con respecto a la construcción del artefacto destaca el proceso:

“En primer lugar, procuré un tubo de plomo y en sus extremidades adapté dos lentes, ambas con parte plana, pero, por la otra una era esférica convexa y la otra, a vez, cóncava. Luego, acercando el ojo a la parte cóncava, vi los objetos bastante grandes y cercanos, pues aparecen tres veces más próximos y nueve veces más grandes que cuando se miran únicamente de forma natural. En seguida, me esforcé en hacer otro más exacto, que representaba los objetos más de sesenta veces más grandes. Al fin, sin ahorrar ningún esfuerzo ni coste, sucedió que fui capaz de construir un instrumento tan excelente que las cosas vistas por medio de él, aparecen casi mil veces mayores, y más de treinta veces más próximas que si se miraran solo con las facultades naturales. Estaría de más exponer en qué medida y que grande sería la utilidad de este instrumento, tanto en las necesidades terrestres como en las marítimas.”

Así, en la última frase se puede rastrear cómo el perfeccionamiento del telescopio por parte de Galileo no sólo revolucionó la astronomía, sino que tuvo una aplicación práctica a la ingeniería militar. En particular, los telescopios militares eran utilizados para la observación a larga distancia en campos de batalla, permitiendo a los oficiales evaluar las posiciones y movimientos del enemigo. A su vez, esta capacidad de observación a larga

² Hans Lipperhey. Había patentado el catalejo en 1608. (Vazquez-Manassero & Vazquez Alonso. 2017, p. 200).

distancia, facilitó la inspección y evaluación de las fortificaciones enemigas, lo que influyó en estrategias de asedio y defensa.

Desde este lugar, se aplicaron conceptos geométricos para mejorar la precisión de los lentes del telescopio. Esta aplicación de conceptos incluyó las mejoras que fueron otorgadas por el estudio de las formas geométricas para corregir aberraciones ópticas producidas por el diseño de los sistemas de lentes, como así también cálculos de ángulos para determinar de forma precisa la posición de los enemigos.

El hecho de que un instrumento mejorado gracias a aplicaciones prácticas de la ciencia matemática, en este caso, responda a necesidades militares, caracterizó de una manera particular a los desarrollos de elementos científicos, otorgándole un carácter pragmático y utilitario.

Todas estas mejoras que fueron introducidas por Galileo con respecto al telescopio, sentaron bases para el desarrollo posterior de técnicas en óptica y observación. Desde este lugar, el impacto en estrategias militares refiere a mejoras en artillería y planificación táctica: gracias a la observación de distancias, el telescopio militar permite visualizar de forma detallada la ubicación y los movimientos de las fuerzas contrarias, de la misma manera que contribuyan al análisis de fortificaciones y terrenos.

Teniendo en cuenta las ideas de Galileo en *Sidereus Nuncius*, se puede evidenciar que el perfeccionamiento del telescopio posibilitó el avance de los estudios tanto militares como navales. Para el primer caso, en el grupo militar terrestre, las mejoras en la artillería provocadas por el telescopio fomentaron la capacidad de calcular distancias de tiro con mayor exactitud. Los grupos de artilleros podían planificar y ajustar la trayectoria de los proyectiles con mayor precisión, mejorando la eficiencia de los cañones. Para el caso de los canales, al tratarse Venecia de una ciudad portuaria, la misma requería el perfeccionamiento en defensa marítima. Desde este lugar, el telescopio permitió una observación más detallada de los barcos enemigos, facilitando la planificación de estrategias navales y la defensa del puerto.

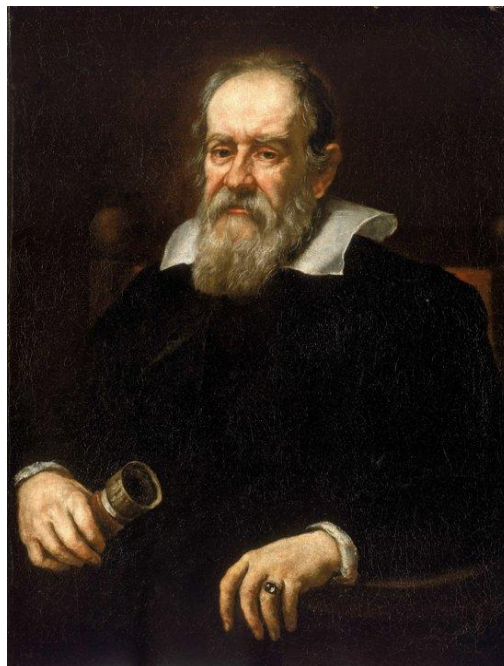


Figura 1. Retrato de Galileo Galilei con telescopio y el anillo de la *Accademia dei Lincei* (1640-1645). Óleo sobre lienzo. Florencia, Italia. *Galleria degli Uffizi* (inv. 1890, N° 5432). Galileo sostiene en su mano derecha un telescopio, que presenta notables similitudes con el construido por él mismo hacia 1610. Aquí, el científico pasó a entrar al servicio del Gran Duque de la Toscana, *Cosimo II de Medici*. Esta obra forma parte de las colecciones de los Medici conservadas en el *Istituto e Museo di Storia della Scienza de Florencia* (inv. N° 2428).

Fortificación y armas

Las mejoras introducidas por Galileo con respecto al telescopio posibilitaron encontrar mejoras en relación al perfeccionamiento de las armas. Esto se debió a que, gracias a la óptica, se pudieron estudiar de forma más eficiente la trayectoria de los proyectiles, abriendo espacios a nuevos desarrollos en balística y armamento: “*El advenimiento de las armas de fuego y los nuevos descubrimientos en balística y cañones dan lugar a una profunda revolución en el arte de las fortificaciones*” (Corradi & Vela Laina, 2013. P. 203). Comprender cómo se mueven los objetos en el espacio permite un diseño mejorado de cañones y balas y, en efecto, de las mediciones para la construcción de espacios de defensa como las fortificaciones.

La capacidad de observación militar avanzada que había generado Galileo gracias al telescopio dio pautas para responder a una necesidad específica en materia de obras defensivas y fortificaciones. De la misma manera, el mayor alcance de tiro proporcionado por las armas gracias a los aportes de la mecánica, evidenció una suma en el repertorio de actuación de los militares de la época, otorgando una herramienta para sus sistemas de defensa, que respondieron a una función objetiva que destinada a la defensa del puerto de Venecia.

Reflexión Sociocultural en relación a las innovaciones en la ingeniería militar.

Un aspecto inevitable de tratar desde una perspectiva histórica refiere a las características del contexto sociocultural dentro del cual Galileo pudo dar desarrollo a sus innovaciones.

Lo primero que se destaca es que los procesos de construcción de instrumentos destinados a determinados fines prácticos inauguraron una etapa de desarrollo en la Italia del Siglo XVI. Alexandre Koyré (1979) denomina a esa etapa *fase instrumental* (Koyré, 1979, p. 89). En efecto, el desarrollo de la ciencia estuvo íntimamente ligada al desarrollo de los instrumentos: el telescopio, invento como tal de Galileo, da inicio a un nuevo camino en el desarrollo científico de la época, marcando un punto de partida en relación a observaciones concretas y desde el cual se empezó a pensar nuevos sentidos de experiencia de la naturaleza.

Es posible rastrear que, dentro del desarrollo de la fase instrumental, los procesos de innovación referidos a la ingeniería militar y la mecánica, estuvieron relacionadas con una lógica de práctica cotidiana, enmarcada en una función concreta de defensa del Puerto de Venecia. Es decir, las actividades diarias configuraban un *habitus* (Bourdieu, 1980) particular, que se imbrican con la necesidad de generar estrategias cuyos fines estuvieran enfocados a un determinado objetivo. Este *habitus* estaba caracterizado por estrategias de acción en el contexto de defensa del puerto e incluía, en esas estrategias, la construcción y mantenimiento de estructuras defensivas como las fortificaciones y el uso de técnicas de navegación para detectar y enfrentar posibles amenazas.

Para el caso del telescopio y de los aportes matemáticos y científicos de Galileo, el sistema de conocimiento generado alrededor de estos, podría haber estado enlazado con el campo social y cultural que se desarrollaba en la Italia del siglo XVII, a razón de que respondía a una demanda práctica concreta; y esa demanda a su vez, era concomitante a la necesidad de perfeccionamiento de los grupos militares para la protección de los recursos.

Otro aspecto que resulta interesante de destacar es que más allá del carácter instrumental de las innovaciones de Galileo, el conocimiento generado a razón de estas invenciones marcaría un punto de partida en la construcción de una nueva forma de ver los cielos, más allá de destinar las observaciones al campo terrestre y marítimo. En efecto, estos desarrollos fueron la génesis de un cambio de paradigma astronómico que permitió a Galileo dar cuenta de sus descubrimientos en relación a los cielos y los astros.

No obstante, y volviendo al carácter instrumental del telescopio, los mecanismos desarrollados en materia de defensa permitieron conectar la ingeniería militar con una estructura social determinada, permitiendo a su vez que estos conocimientos se enmarcaran dentro de un determinado grupo cultural, inaugurando así un proceso de caracterización pragmática de la ciencia, en el sentido de su carácter utilitario. En este proceso, las matemáticas, la física y las observaciones astronómicas -en materia de instrumentos- permitieron dar soluciones concretas a un grupo social que estaba cargado de fines específicos, como lo eran los que se dedicaban a la defensa y actividades militares, y sobre todo además respondiendo a un carácter social y de utilidad para el mejoramiento de prácticas que en ese momento estaban en auge.

Consideraciones finales

A lo largo de estas páginas se ha intentado mostrar aspectos referentes a un carácter social y cultural de los desarrollos científicos enmarcados en la ingeniería militar y mecánica de la Italia de los siglos XVI y XVII.

De esta manera, se podría dar cuenta de que la invención del telescopio, en un primer momento, podría haber respondido a una demanda concreta de defensa del territorio, y que el perfeccionamiento de las estrategias militares fueron el resultado de mejoras en materia de ciencias básicas como la física y la matemática. En ambos casos, resaltó la figura de Galileo Galilei, quien marcó el inicio de un camino hacia el cambio de paradigma social y cultural en relación a la ciencia y la astronomía.

Lo más importante a destacar es el lugar que ocupa la ciencia en el desarrollo de estrategias específicas de respuesta a fines concretos. Para el caso del contexto militar y la necesidad de apropiarse de recursos efectivos para priorizar la defensa del territorio marítimo y terrestre, la ciencia de la mano de Galileo se encargó de dar respuesta, moldeando sus resultados a ese contexto específico y configurando un aspecto utilitario y pragmático de los desarrollos científicos.

Fuentes de consulta

Galileo Galilei (1610). *Siderius Nuncius magra longeque admirabilia specula pandens*.
Galileo Galilei (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno á due nuove scienze*.

Referencias bibliográficas

- Bordieu, P. (1980). *El sentido práctico*. Editorial Taurus. Madrid.
- Corradi, M & Vela Laina, V.E. (2013). El arte de la guerra: *l' Art de Jetter les Bombes*, o la ciencia de la balística y las teorías sobre las fortificaciones de los siglos XVI-XVII. Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de las Construcciones. Instituto Juan de Herrera. Pp. 201-203. Madrid.
- Elena, A. (1996). *Copérnico, Thomas Digges, Galileo Galilei: Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. Alianza Editorial. Madrid.
- Fernández Cánovas, M. (2014). *Lazos de unión entre la ingeniería civil y la ingeniería militar*. Discurso de ingreso como académico a la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Fraquelli, C.M. (2023). Flavio Renato Vegecio y su aporte sobre el arte militar. *Revista digital universitaria del Colegio Militar de la Nación*. Año 21 (53). Buenos Aires.
- Koyré, A. (1979). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Siglo Veintiuno Editores. México. D.F.
- Mason, S.F (2002). *Historia de las ciencias II. La revolución científica de los siglos XVI y XVII*. Alianza Editorial. Madrid.
- Miliner, N.P (2001). *Vegetius: Epitome of Military Science*. Traducción con notas e introducción. Liverpool University Press.

Szapiro, A. (2017). Influencias socioculturales en conceptos astronómicos: El caso del horizonte en la reforma copernicana. *Boletín de Artículos Científicos de la Asociación Argentina de Astronomía*. Vol. 59. Buenos Aires.