

EL MOVIMIENTO DE PROYECTILES EN LA *MECÁNICA* DE DIEGO HURTADO DE MENDOZA Y LA NUEVA DINÁMICA RENACENTISTA

Virginia Iommi Echeverría

Instituto de Historia, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

RESUMEN

Este artículo examina la traducción hecha por Diego Hurtado de Mendoza de la *Mecánica* aristotélica en el contexto del ambiente científico-humanista italiano de mediados del siglo XVI. A partir del análisis de los últimos problemas sobre dinámica, se demuestra su estrecha relación con las obras de Piccolomini y Cardano; sugiriéndose además la originalidad de la interpretación hecha por el autor español del problema XXXIV basada en la combinación de la física tardomedieval y la explicación aristotélica.

PALABRAS CLAVE: Hurtado de Mendoza. Mecánica. Ímpeto. Aire. Dinámica.

PROJECTILE MOTION IN DIEGO HURTADO DE MENDOZA'S *MECÁNICA* AND NEW RENAISSANCE DYAMICS

ABSTRACT

This article considers Diego Hurtado de Mendoza's translation of the Aristotelian *Mechanics* in relation to the humanistic and scientific Italian environment of the Renaissance. From the analysis of the last problems on dynamics, it demonstrates the affinity with the works of Piccolomini and Cardano. It also shows the originality of the exegesis made by the Spanish author of Problem XXXIV, in which he combines latemedieval physics with the Aristotelian explanation.

KEY WORDS: Hurtado de Mendoza. Mechanics. Impetus. Air. Dynamics.

1. LA *MECÁNICA* ARISTOTÉLICA EN EL RENACIMIENTO ITALIANO.

El matemático italiano Niccolò Tartaglia (c. 1500-1555) publicó en 1546 una colección de diversos diálogos titulada *Quesiti et inventione diverse*, en los que combinaba discusiones en torno a especulación matemática, estrategia militar y problemas de dinámica y estática. En el sexto libro el autor de Bres-

cia eligió a uno de sus estudiantes —a quienes enseñaba de forma privada en Venecia los elementos básicos de la disciplina euclidea— como interlocutor. El personaje escogido fue el Embajador Imperial en la Serenísima, el español Diego Hurtado de Mendoza (1503-1575)¹. Se trata de una opción significativa no sólo porque probablemente era el nombre más reputado de entre quienes aprendían matemáticas con él, sino particularmente por el carácter de la discusión abordada en el capítulo y el rol atribuido a Mendoza en ella.

El libro sexto de los *Quesiti* es considerado la primera oposición explícita a los planteamientos físicos de Aristóteles². En él, Tartaglia refuta los principios contenidos en la *Mecánica* y propone nuevos fundamentos para analizar e interpretar los fenómenos ligados a experiencias con balanzas³. Esta obra, tenida como original en el Renacimiento, era defendida por Mendoza, quien representaba en el diálogo a un aristotélico al que Tartaglia convencía con sus nuevos y claros argumentos⁴.

El protagonismo de la *Mecánica* en el debate científico de mediados del siglo XVI en la escena intelectual italiana está, en gran medida, ligado a la influencia ejercida por el Embajador y su interés en recuperar los principios

¹ Sobre Hurtado de Mendoza ver PALENCIA, A. G. y MELE, E. (1941), *Vida y obra de Don Diego Hurtado de Mendoza*, Madrid, Impre. de D. Mestre; SPIVAKOVSKY, E. (1970), *Son of the Alhambra: Don Diego Hurtado de Mendoza 1504-1575*, Austin, University of Texas Press.

² DRAKE, S. (1970), Early science and the printed book: the spread of science beyond universities, *Renaissance and Reformation Journal*, 6, pp. 43-52.

³ DE PACE, A. (1993), *Le matematiche e il mondo. Ricerche su un dibattito in Italia nella seconda metà del Cinquecento*, Milán, Francoangeli, pp. 248-256.

⁴ La atribución de la *Mecánica* aristotélica es un problema que ha interesado a los estudiosos por años y la mayoría coincide en la inexistencia de suficiente evidencia como para considerarla un original del Estagirita y optan por asignarla a alguno de sus discípulos. El principal argumento para negar su autenticidad se basa en la aceptación del movimiento combinado contenida en el texto, opuesta a la incompatibilidad del movimiento lineal con el circular descrita en *Física* VIII, 8, 261-262. En este artículo no discutiremos este tema y seguiremos la consideración de la obra como un tratado producido en el ambiente aristotélico. Entre aquellos que la atribuyen a Aristóteles ver CARTERON, H. (1923), *La notion de force dans le système d'Aristote*, París, Vrin; GOHLKE, D. (1957), *Aristoteles Kleine Schriften zur Physik und Metaphysik*, Paderborn, F. Schöningh; y KRAFT, F. (1970), *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der Antiken Mechanik*, Wiesbaden, F. Steiner. Para una postura contraria ver ROSS, D. (1923), *Aristotle*, Londres, Methuen; LLOYD, G. E. R. (1970), *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, Nueva York, Norton; BROWN, J. (1978), The Science of weights. En LINDBERG, D. (coord), *Science in the Middle Ages*, Chicago, The University of Chicago Press, pp.179-205 y KNORR, W. R. (1982), *Ancient Sources of the medieval tradition of Mechanics. Greek, Arabic and Latin studies of the balance*, Florencia, Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza.

desarrollados en la obra⁵. El texto fue publicado por primera vez en griego como parte del corpus aristotélico en la edición aldina de finales del siglo XV, hecho que permitió su extendida difusión durante el siglo siguiente⁶. Así, en 1517 apareció en París la primera traducción al latín, obra de Vittore Fausto (1480-1551), profesor de humanidades en Venecia. Al igual que la primera edición griega, esta versión no contenía las ilustraciones explicativas de los problemas tratados, lo cual inevitablemente limitaba la comprensión de los principios expuestos. Esta traducción parece haber sido extremadamente rara y prácticamente no tuvo impacto en las discusiones posteriores sobre la obra⁷.

En 1525 se publicó en Venecia *Conversio mechanicorum quaestionum Aristotelis cum figuris et annotationibus quibusdam*, la segunda traducción latina realizada por el importante humanista y estudioso de Aristóteles, Nicolò Leonico Tomeo (1456-1531). Tal como su título lo indica contenía, por primera vez en una versión impresa, las figuras que acompañaban al texto y además incluía algunas anotaciones del traductor⁸. Esta edición permitió, a diferencia de la primera, la efectiva divulgación y comprensión cabal de los postulados mecánicos contenidos en la obra. Puede considerarse entonces la exégesis de Leonico Tomeo como el texto a partir del cual la mecánica renacentista se conformaría como directa heredera del enfoque aristotélico⁹. Éste consistía principalmente en analizar el comportamiento de un peso estacionario (*pondus*) en relación con el de un cuerpo pesado (*grave*), entendiendo este último como un objeto que desciende en movimiento natural hacia la tierra¹⁰.

Este aspecto dinámico de la ciencia de los pesos del tratado aristotélico es abordado en detalle en las últimas secciones de la obra a partir de problemas tradicionales de balística. Allí el autor hace algunas interesantes considera-

⁵ Ver NAVARRO BROTONS, V. (2008), *Mechanics in Spain at the end of the 16th century and the Madrid Academy of Mathematics*. En LAIRD, W. R. y ROUX, S (coord.), *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, Dordrecht, Springer, pp. 239-258.

⁶ ROSE, P. L. y DRAKE, S. (1971), *The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics in Renaissance Culture*, *Studies in the Renaissance*, 38, pp. 65-104.

⁷ SCHRAMM, M. (1967), *The Mechanical Problems of the Corpus Aristotelicum, the Elementa Iordani super Demonstrationem Ponderum, and the Mechanics of the Sixteenth Century*. En TACCAGNI, C. (coord.), *Atti del primo convegno internazionale di ricognizione delle fonti per la storia della scienza italiana: i secoli XIV-XV*, Florencia, Barbèra, pp. 151-163.

⁸ SCHRAMM (1967), p. 154. La traducción está contenida en sus *Opuscula nuper in lucem aedita*, Venecia, Bernardino Vitali, 1525. Esta versión fue publicada luego en repetidas ocasiones en ediciones de la obra aristotélica.

⁹ LAIRD, W. R. (1986), *The Scope of Renaissance Mechanics*, *Osiris*, II Serie, 2, pp. 43-68.

¹⁰ BROWN (1978), p. 180.

ciones sobre el lanzamiento de proyectiles. En el problema XXXII alude a tres posibles razones para explicar el fin del ascenso de los objetos lanzados: la extinción de la fuerza que los expulsó, el peso y la resistencia. El autor no opta por ninguna de las tres y prefiere en cambio explicar por qué se mueve de hecho en primera instancia. Así, en el problema XXXIII afirma que el impulso inicial causa el movimiento de «algo más», lo que a su vez mueve «otra cosa» que se detiene cuando la fuerza que empuja el objeto pierde potencia y el peso del proyectil lo impele hacia abajo con más potencia que la fuerza que lo empuja hacia delante¹¹. Al aceptar tácitamente que ese «algo más» mueve el proyectil —es decir, que el medio que rodea al objeto lanzado permite su movimiento— el autor enfatiza que las razones para el término del ascenso son sólo dos: la extinción de la fuerza y el peso del proyectil.

En el problema siguiente, el autor analiza por qué el tamaño del objeto impulsado tiene una relación directa con la distancia que puede viajar. Afirma que éste debe siempre oponer resistencia en la dirección desde la cual viene el impulso, y si es muy grande o pequeño no puede ser ni lanzado ni empujado, atravesando en consecuencia una distancia considerablemente menor que un cuerpo con un peso medio. Luego prosigue afirmando que un objeto sólo puede transitar en la medida que atraviese las profundidades del aire, y aquel que no se mueve es incapaz de hacerlo¹². Aquí el autor omite cualquier referencia al impulso sucesivo del aire: una vez que ha sido atravesado, éste simplemente cede al proyectil. Esta aparente contradicción parece irrelevante para el autor, pues no había dado un rol explícito al aire y la alusión previa permanece ambigua.

Es justamente en relación a la interpretación renacentista de los últimos pasajes de la *Mecánica* que la figura de Hurtado de Mendoza cobra particular relevancia. Paul Lawrence Rose afirma que la estadía del Embajador imperial —primero en Venecia y Trento desde 1539 hasta 1546, y luego en Roma y Siena desde 1547 hasta 1552— constituye un factor sumamente significativo para explicar el protagonismo de la *Mecánica* en este contexto. No sólo sugiere que fue el mismo Hurtado de Mendoza quien introdujo la obra a Tartaglia, sino que gracias al interés en el tratado en sus primeros años italianos convenció al reconocido filósofo natural Alessandro Piccolomini para que escribiese una paráfrasis del texto¹³.

¹¹ ARISTÓTELES (1963), *Mechanica*, 858 a13-858 a23. En ARISTÓTELES, *Minor Works*, traducción al inglés de W. S. Hett, Cambridge, Cambridge University Press, p. 406.

¹² ARISTÓTELES (1963), 858 a23-858 b3, pp. 406 y 408.

¹³ ROSE, P. L. (1975), *The Italian Renaissance of Mathematics. Studies on humanists and mathematicians from Petrarch to Galileo*, Ginebra, Librairie Droz, p. 154.

El comentario de Piccolomini fue publicado en Roma en 1547 y se diferencia del de Tartaglia en incorporar en su estudio los últimos problemas del tratado y no centrarse únicamente en las secciones dedicadas a las balanzas. La edición, titulada *In mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, estaba particularmente orientada a enfatizar el carácter práctico de la obra, por lo que el autor sienés incluyó variadas alusiones a máquinas que él mismo había visto en algunas ciudades italianas, sirviéndose incluso de Vitruvio para ilustrar ciertos fenómenos. Su interés en la utilidad de la *Mecánica* queda evidenciado en el impulso que dio para la traducción de su comentario al italiano¹⁴.

En su paráfrasis Piccolomini hizo algunas adiciones teóricas a propósito de los problemas sobre el movimiento de proyectiles, lo que demuestra cómo el contenido de la *Mecánica* favoreció también una reflexión sobre dinámica. Es justamente en el problema XXXII donde incorpora un largo párrafo en defensa de la teoría del *impetus*. Esta explicación medieval sobre la continuación del movimiento de cuerpos alejados del motor inicial se basaba en la impresión de una cualidad en el objeto llamada *impetus*, que gradualmente desaparecía hasta detener el avance del proyectil. Esta teoría, desarrollada en el siglo XIV en la Escuela de París, se contraponía a la explicación tradicional de Aristóteles (*Física* IV, 8, 215a 14-18) según la cual el aire, al ser liviano, producía la elevación del proyectil luego de recibir un impulso por parte del motor en ondas de fuerza decreciente¹⁵. Piccolomini defiende la tesis parisina con la intención de criticar esta última teoría al enfatizar la diferencia entre el movimiento del aire y la continuación del movimiento del proyectil. Argumenta que aunque el aire pueda ser movido, éste no empuja al objeto y sólo llena los espacios vacíos dejados por el avance del proyectil. Para justificar la fuerza motriz del cuerpo lanzado, suscribe la idea del *impetus* impreso en el objeto¹⁶.

¹⁴ El comentario de Piccolomini fue publicado de nuevo en Venecia en 1565, mientras la versión italiana de Oreste Vanoccio Biringuccio apareció en 1582. Ver ROSE y DRAKE (1971), p. 83.

¹⁵ La idea de impresión de fuerza directamente en el proyectil no es original de los autores parisinos pues Filopono (s. VI) había ya desarrollado una teoría similar. Sobre las coincidencias entre ambas explicaciones y la dificultad de relacionarlas históricamente ver SORABJI, R. (1988), *Matter, Space and Motion. Theories in Antiquity and their sequel*, Londres, Duckworth, p. 237.

¹⁶ PICCOLOMINI, A. (1547), *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, Roma, Antonio Blado, fols. 64v-66v. Ver también DUHEM, P. (1984), *Études sur Léonard de Vinci*, París, Éditions des archives contemporaines, vol. I, p. 137.

Aunque la explicación difundida por Piccolomini se opone directamente a la planteada por Aristóteles, la estructura de su exposición es notoriamente similar al pasaje de la *Física* en el cual el Estagirita propone la suya. Allí el filósofo comienza por criticar abiertamente la teoría de la antiperístasis o de reemplazo mutuo, según la cual dos cualidades opuestas se excitan la una a la otra a través de un movimiento circular, produciendo una serie de fenómenos naturales. Aristóteles refuta esta teoría puesto que implica la simultaneidad de las acciones de «mover» y «ser movido»¹⁷. Su principal objetivo es criticar a Platón, quien había descrito en el *Timeo* (79b-80c) el proceso de la respiración valiéndose de este movimiento y sugerido que por el mismo se entendía la trayectoria de los cuerpos empujados. Inmediatamente después Aristóteles expone su teoría, en donde el aire empujado impulsa a su vez en movimiento ascendente el cuerpo luego de ser lanzado, pues recibe del motor original el poder de mover siendo naturalmente proclive a ello (*Física*, VIII, 10, 267a 3-8)¹⁸.

Ahora bien, la argumentación de Piccolomini recoge la parte inicial de la crítica aristotélica, pero reúne bajo la idea de antiperístasis toda explicación que se valga del medio para entender el movimiento del proyectil. De esta manera incorpora como alternativa la teoría del *impetus* en su comentario a aquel problema que en el tratado original está caracterizado por una gran ambigüedad. Dicho rasgo le permite sumar este párrafo sin temor a contradecir explícitamente los postulados de la *Mecánica*.

La opción por el *impetus* es confirmada por la paráfrasis del problema XIX. Allí el autor griego se refiere a la distinción entre la fuerza de un cuerpo en estado de reposo y la de un cuerpo en movimiento, para explicar por qué un hacha rompe un trozo de madera sólo cuando es golpeada contra él y no cuando es simplemente empujada hacia abajo. En su comentario el autor renacentista reproduce la descripción del problema dinámico tratado hacia el final de la obra, y afirma que la fuerza de los cuerpos en movimiento es más vehemente que la de los cuerpos en reposo porque son movidos no sólo por su gravedad y el impulso inicial, sino también por el nuevo ímpetu que adquieren¹⁹. El valor dado por Piccolomini a la potencia del objeto es enfatizado en su análisis del problema

¹⁷ Sin embargo Aristóteles adoptó esta teoría para explicar el origen del granizo y la lluvia durante el verano en *Meteorologica*, I, 12, 348a. Es en este tipo de análisis de efectos climáticos que la idea platónica tuvo su mayor fortuna durante la Edad Media tardía, ver CLAGETT, M. (1967), *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics*, Nueva York, AMS Press, pp. 92-100.

¹⁸ Sobre la solución aristotélica ver KOYRÉ, A. (1966), *Études Galiléennes*, París, Hermann, p. 22.

¹⁹ PICCOLOMINI (1547), fols. 42v-43r.

XXXIV, en donde incorporó con gran detalle y rigor filosófico la idea de resistencia interna del proyectil, minimizando la importancia de la resistencia externa del medio²⁰.

Si bien la defensa de la teoría del *impetus* está ligada en el comentario de Piccolomini a la disminución del rol del aire en los fenómenos de dinámica, este principio adquiere un matiz diverso en una de sus más importantes obras, la *Filosofía Naturale*, publicada entre 1551 y 1554²¹. En ella el humanista no sólo se refiere a la fuerza que puede adquirir el aire al ser impulsado —señalando que cuando los cañones expulsan una bala empujan también el aire contiguo, el cual *per l'impeto che gli è stato dato* hace temblar sólidos edificios²²—, sino que también alude al poder del aire para impeler los proyectiles. Piccolomini señala que en el descenso de una piedra o en el ascenso del fuego, éstos no se mueven sólo por sí mismos, sino que tienen constantemente la ayuda del aire o de otro medio, por la cual son sucesivamente llevados en su movimiento²³. Esta afirmación, que podría ser considerada como una modificación en los planteamientos del autor, nos parece más bien una evidencia del peculiar aristotelismo de la física imperante en el medio científico humanista italiano, del cual Hurtado de Mendoza constituye también un interesante ejemplo. Es justamente a través de la lectura de su traducción de la *Mecánica* que pretendemos aclarar esta afirmación.

2. LA VERSIÓN DEL PROBLEMA XXXIV DE HURTADO DE MENDOZA.

El humanista español probablemente revisó el manuscrito griego del tratado conservado en la Biblioteca de la República de Venecia proveniente de la colección del Cardenal Bessarión²⁴, para luego redactar su versión española en 1545²⁵. Junto con esto, se apoyó para su estudio del texto en la traducción

²⁰ PICCOLOMINI (1547), fols. 67r-68r.

²¹ Es sumamente significativo el que Piccolomini escribiese esta obra sobre filosofía natural en lengua vernácula, y en su dedicatoria al papa Julio II señalase que se trataba del primer libro dedicado exclusivamente a este tema en italiano. Ver SUTER, R. (1969), *The Scientific Work of Alessandro Piccolomini*, *Isis*, 60, pp. 210-222.

²² PICCOLOMINI, A. (1554), *La seconda parte della Filosofia Naturale di M. Alessandro Piccolomini*, Venecia, V. Valgrisi, pp. 423-424.

²³ PICCOLOMINI, A. (1551), *La prima parte della Filosofia Naturale di M. Alessandro Piccolomini*, Roma, V. Valgrisi, pp. 383-384.

²⁴ ROSE (1975), p. 99.

²⁵ FOULCHÉ-DELBOSC, R. (1898), *Mechanica de Aristotiles*, *Revue Hispanique*, 5, pp. 365-405. Ver p. 366.

de Leonico Tomeo, como lo demuestran las anotaciones en griego hechas por Mendoza en su copia de los *Opuscula*²⁶. Justamente en esta versión latina, el traductor incorporó un breve párrafo al problema XXXIII, en el cual exponía las principales teorías dinámicas antiguas. En primer lugar aludía a la posibilidad de impresión de una fuerza superior a la inclinación natural del proyectil en la parte inicial del movimiento, para luego referirse a la explicación centrada en el rol del aire como impulsor del proyectil²⁷. Hurtado de Mendoza parece haber recogido esta incorporación de una manera sumamente particular en su versión del problema XXXIV:

Porque en las cosas demasiado de chicas ni las demasiado de grandes van lexos siendo arrojadas, mas es menester que tengan una cierta medida y respecto al que las arroja? Por ventura porque es neçessidad lo que es arrojado contrastar y contravenir a la parte donde fuere echado, mas lo que por su grandeza no se vençe ni da lugar, o por su livianeza no resiste no haze impetu o fuerça de arrojar ni de rempujar, luego lo que excede mucho a la fuerça que rempuja no se dexa vençer, y lo que es mucho mas liviano no resiste; o por ventura porque tanto es llevado lo que es llevado quanto ayre moviere hazia baxo, mas lo que no es movido no mueve nada, pues si aconçe tener qualquiera destas cosas o demasiada grandeza o demasiada pequenez, sera como cosa immovible, porque ni esto mueve nada ni aquello es movido nada²⁸.

²⁶ HOBSON, A. (1999), *Renaissance Book Collecting. Jean Grolier and Diego Hurtado de Mendoza, their books and bindings*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 176.

²⁷ LEONICO TOMEIO, N. (1525) *Opuscula nuper in lucem aedita. Conversio mechanicarum quaestionum aristotelicis cum figuris et annotationibus quibusdam*, Venecia, B. Vitali, fol. 53r-v.

²⁸ FOULCHÉ-DELBOSC (1898), p. 404. Foulché-Delbosc publicó la versión contenida en el MS Biblioteca del Escorial f-III-15, obra de un secretario o copista, que contiene numerosas correcciones y modificaciones de la mano del propio Hurtado de Mendoza. El problema original afirmaba: «¿Por qué no son llevadas muy lejos cuando son lanzadas ni las cosas bastante pequeñas ni las grandes, sino que es preciso que haya cierta correlación con lo que lanza? ¿Acaso porque por fuerza lo lanzado y empujado ofrece resistencia en el punto en el que es empujado? No produce lanzamiento ni empuje lo que por su magnitud no cede en absoluto o lo que por su falta de fuerza no ofrece resistencia. Lo uno, sobrepasando en mucho a la fuerza que empuja, no cede en absoluto; lo otro, siendo mucho menos fuerte, no ofrece ninguna resistencia. ¿O es que lo transportado es transportado tanto cuanto aire desplace en profundidad? Lo que no se mueve nada, tampoco pondrá nada en movimiento. Y a estos objetos les ocurren ambas cosas. Lo muy grande y lo muy pequeño son como si no se movieran en absoluto: pues lo uno no mueve nada y lo otro no se mueve nada». ARISTÓTELES, *Mecánica*. En ARISTÓTELES y EUCLIDES (2000), *Sobre las líneas indivisibles, Mecánica, Óptica, Catóptrica, fenómenos*, traducción de Paoloma Ortiz García, Madrid, Gredos. pp. 114-115.

Este fragmento contiene dos importantes elementos que a nuestro juicio demuestran la influencia del contexto científico italiano en el pensamiento de Hurtado de Mendoza. El primero dice relación con la interpretación de la fuerza inicial de empuje. Siguiendo al autor, el comentador señala que el cuerpo arrojado debe tener un tamaño proporcional respecto del que lo arroja, pues debe contrastar «a la parte donde fuere echado» —es decir, el lanzador— para así moverse. En efecto, lo demasiado grande no cede y lo excesivamente liviano no resiste y, añade, «no hace impetu o fuerza de arrojar ni de rempuxar». Esta adición revela que la lectura hecha por Hurtado de Mendoza comparte el análisis de Piccolomini. Quizás sería apropiado suponer que el autor sienés recogió alguna sugerencia del español, puesto que éste ya trabajaba en su versión en Trento en 1545, como una carta a Juan Páez de Castro del 10 de agosto de ese año confirma²⁹. Por otra parte, la paráfrasis de Piccolomini contiene adiciones más extensas y explicativas que la traducción anotada de Hurtado de Mendoza, por lo cual sería probablemente injusto reducir la originalidad de su interpretación. En efecto nos parece que ambos autores reflejan un escenario intelectual más amplio que propició una exégesis de la obra aristotélica basada en el concepto de *impetus*.

Hacia finales del siglo XV e inicios del XVI la mayoría de las obras de los autores de la Escuela de París habían sido publicadas en Italia. Los editores más importantes de estos libros fueron los venecianos Octavianus Scotus y Bonetus Locatellus, quienes sin lugar a dudas favorecieron la popularidad de la física medieval en el ambiente intelectual italiano³⁰. Una muestra de esto son los casos de Agostino Nifo, en cuyo comentario a la *Física* publicado en 1506 se alude al *impetus* como motor, y el de Hieronymus Picus, quien en su *Questio de motu gravium et levium* se refería al *impetus* en términos similares a Jean Buridan³¹. A estos nombres es posible agregar el de Giorgio Valla (1447-1500), quien, apropiándose de la teoría tardomedieval, atribuyó el movimiento ascendente de los proyectiles a una fuerza impresa en el cuerpo que llamó *vis indita*³². Como observó Charles B. Schmitt, los maestros parisinos fueron frecuentemente editados en el norte de Italia antes de 1520, fecha después de la cual la tradición fue paulatinamente absorbida

²⁹ FOULCHÉ-DELBOSC (1898), p. 366.

³⁰ CLAGETT, M. (1979), *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, The University of Wisconsin Press, p. 652.

³¹ CLAGETT (1979), pp. 659-660.

³² DUHEM (1984), vol. III, p. 128.

en los escritos³³. Los autores recién mencionados constituyen los primeros ejemplos de este proceso.

Creemos, sin embargo, que la adopción de la idea de *impetus* presenta algunas particularidades que merecen ser destacadas. Marie Boas señala que los nuevos bríos de la explicación de la Escuela de París en el Renacimiento fueron originados por las observaciones empíricas del lanzamiento de proyectiles y por el creciente espíritu anti-peripatético de la época, que insistía en enfatizar los errores inherentes a la discusión aristotélica del movimiento³⁴. Si bien esta explicación pueda ajustarse a cierto tipo de tratados técnicos, para el caso de la obra que aquí nos ocupa la situación parece ser diversa. Efectivamente, Hurtado de Mendoza utiliza el concepto de *impetus* para describir y justificar la trayectoria de los objetos lanzados, pero esto no está ligado a una negación absoluta de los principios aristotélicos, como lo demuestra la continuación del problema XXXIV.

Inmediatamente después de aludir al *impetus* como fuerza motriz, señala que «tanto es llevado lo que es llevado» —es decir, el proyectil— «quanto ayre moviere hacia abaxo». Luego precisa que aquel que no es movido inicialmente no mueve nada y por lo tanto permanece inmóvil. Esta afirmación constituye una negación de la teoría tardomedieval defendida líneas más arriba, lo que demuestra la dificultad de compartir la explicación de Boas sobre las causas de la difusión renacentista de la idea de *impetus*, puesto que la conservación de la alusión al aire en el texto demuestra que ciertos principios de la física aristotélica estaban lejos de ser abandonados.

En su tratado *Sobre el cielo*, Aristóteles afirma que el aire ayuda en el movimiento natural de los objetos (III, 2, 301b 24-26). Esto significa que, tal como en su explicación del movimiento violento o ascendente de un proyectil, el medio tiene la función de facilitar el descenso. Esta aseveración, que no encuentra mayor profundización en el *corpus aristotelicum*, favoreció una serie de especulaciones e interpretaciones en la filosofía posterior. Averroes, por ejemplo, concluyó que el aire cumplía el rol de empujar el cuerpo en descenso, idea que fue ampliada posteriormente por Walter Burley en el siglo XIV³⁵. Tal concepción era defendida por aquellos seguidores de la doctrina

³³ SCHMITT, Ch. (1970), A fresh look at Mechanics in 16th century Italy, *Studies in History and Philosophy of Science*, 1, pp. 161-175.

³⁴ BOAS, M. (1962), *The Scientific Renaissance 1450-1630*, Nueva York, Harper & Brother, p. 215.

³⁵ DIJKSTERHUIS, J. (1971), *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, Milán, Feltrinelli, p. 235 y DUHEM (1984), vol. I, p. 134.

aristotélica del movimiento mecánico, es decir, compartían la creencia en la necesidad de un contacto directo entre el objeto movido y el motor externo.

Sin embargo el pasaje era lo suficientemente ambiguo como para dar pie a otras lecturas. El mismo Aristóteles afirmaba, algunas líneas más arriba en la misma obra, que el rol del peso del objeto en descenso equivalía al de la fuerza ejercida en el movimiento violento (III, 2, 301a 22-24). El peso en este contexto era interpretado como la tendencia interna del cuerpo a moverse en dirección al centro del universo, su lugar natural³⁶. Esta tendencia demostraba que el lugar natural era un punto de referencia que condicionaba el descenso³⁷. La ambigüedad de la explicación aristotélica permitió que durante el Medioevo se desarrollara una línea interpretativa que combinaba ambas afirmaciones. Pierre Duhem afirma que una importante tradición en este sentido puede ser reconstruida considerando las distintas teorías formuladas sobre el rol del aire como acelerador del movimiento descendente. Para él, la *Expositio in libros Aristotelis de caelo et mundo* (libro II, lect. VIII) de Tomás de Aquino y el tratado *De ratione ponderis*, atribuido al matemático Jordanus Nemorarius, constituyen los referentes más importantes de la prolongación medieval de la idea basada en el enunciado del *De caelo*, según el cual cuanto más aire es empujado, más rápido atraviesa el proyectil el medio. Desde esta perspectiva el cuerpo caía por su peso, y era ayudado por el aire que desplazaba y que se ubicaba en la parte posterior del proyectil³⁸. Según Duhem esta explicación parece haber sido desconocida para los antiguos, pues Simplicio, quien enumera distintas teorías sobre la caída acelerada de los graves, no la menciona³⁹.

Los casos de Piccolomini y Hurtado de Mendoza, si bien revelan la permanencia del criterio ambiguo de Aristóteles, no constituyen ejemplos evidentes de la transmisión de las interpretaciones medievales de ésta. Mientras el autor sienés opta por una defensa tradicional de la teoría del *impetus* y sólo en su *Filosofía Naturale* revela su comunión con el rol activo del aire en el

³⁶ COHEN, M. R. y DRABKIN, I. E. (1975), *A source book in Greek Science*, Cambridge, Harvard University Press, p. 207.

³⁷ Esta afirmación en *Física* IV, 1, 208b, que de alguna manera es desmentida en IV, 1, 209a 19-24 —donde afirmaba que el lugar no es una de las cuatro causas— es considerada por Richard Sorabji como parte de un puzzle y sostiene que «the most likely explanatory role, although he never says it, is a final cause or goal (not consciously sought) of motion». SORABJI, R. (1987), John Philoponus. En SORABJI, R. (ed.), *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science*, Londres, Duckworth, pp. 1-40. Ver p. 16.

³⁸ DUHEM, P. (1959), *Le Système du monde*, vol. VIII, París, Hermann, p. 251.

³⁹ DUHEM, P. (1905), *Les origines de la statique*, París, Hermann, vol. I, p. 138.

movimiento de proyectiles, el español combina ambas explicaciones en su traducción de la *Mecánica*, proponiendo una versión explícita de aquello que en el original es sólo enunciado. En este sentido, la lectura de Hurtado de Mendoza constituye un claro ejemplo del intento por combinar la teoría parisina con el pensamiento de Aristóteles, posibilidad que en el tratado de mecánica encontraba fértil terreno debido a la aceptación de la función del medio en la continuación del movimiento del proyectil y la importancia atribuida a la fuerza que da el impulso.

Una interpretación similar del tratado fue dada por el médico, matemático y filósofo milanés Girolamo Cardano en su *De subtilitate*, publicado en Núremberg en 1550. En el segundo libro presenta un interesante y original análisis de dinámica, exponiendo tres tesis tradicionales sobre el movimiento de proyectiles y proponiendo una personal interpretación de la función atribuida por Aristóteles al aire. El autor comienza por describir brevemente la teoría del *impetus*, la cual rechaza utilizando como ejemplo los efectos que los rayos tienen en los árboles sin tocarlos, lo que, según él, sólo puede ser comprendido por la transmisión del movimiento a través del aire ubicado entre ambos⁴⁰. En seguida se refiere a la teoría de la antiperístasis, la cual refuta repitiendo la idea del Estagirita, para quien el aire no puede originar el movimiento por sí mismo, requiriendo de un motor que lo impulse⁴¹. Luego menciona la explicación de «algunos antiguos», según quienes el aire precede al proyectil y «por sucesión, para evitar la formación de vacío», avanza delante del cuerpo lanzado, el cual le sigue con impetuosidad. Para Cardano, esta tesis, «atribuida falsamente por algunos al Filósofo», no puede ser aceptada puesto que no explicita qué mueve al aire: si fuese el proyectil, se moverían entre sí, lo que es imposible; y si tuviese el principio de movimiento en sí mismo, tendría una velocidad perpetua y constante, lo que es falso por experiencia⁴².

Según Elio Nenci, es posible que Cardano estuviese aludiendo a la *Mecánica*, en particular al problema XXXIII en donde las referencias al «algo más» movido en la trayectoria del proyectil era interpretado por el autor milanés como el medio. Nenci señala además que Cardano había expresado sus dudas sobre la atribución del tratado a Aristóteles, lo que coincidiría con las aseveraciones hechas en la exposición de la tercera tesis⁴³. Para Nenci, la

⁴⁰ CARDANO, G., (2004), *De subtilitate*, editado por E. Nenci, Milán, Francoangeli, pp. 202-203.

⁴¹ CARDANO (2004), pp. 203-204.

⁴² CARDANO (2004), pp. 204-206.

⁴³ CARDANO (2004), nota 135, p. 206.

presentación de esta explicación revela el ingenio y la profundidad de la reflexión de Cardano sobre el concepto de materia. Desde la perspectiva del editor, esta lectura de la *Mecánica* responde a la idea de elementos sublunares desarrollada en el *De subtilitate*, según la cual éstos conservan su forma a través de la afinidad natural que permite la unión de los cuerpos y la inexistencia de vacío. Así, Nenci explica que para Cardano en la *Mecánica* el motor inicial empuja al mismo tiempo el proyectil y el aire delante de él, el cual, al ser más rápido que el cuerpo grave, tiende a rarificarse. Puesto que el proceso de extensión del medio es limitado éste mantiene su forma, acarreado consigo al proyectil⁴⁴.

A partir de los puntos no resueltos por esta última tesis, Cardano propone su propia interpretación de la explicación aristotélica, centrada en el concepto de *impetus acquisitus*, o la fuerza que aumenta su intensidad en la medida que el aire se rarifica a lo largo de la trayectoria⁴⁵.

La interpretación de Cardano fue considerada por Duhem como una tercera alternativa a las ideas medievales de balística. Si hasta entonces podían identificarse, de una parte, quienes defendían la teoría de la agitación del aire como motor y, de otra, aquellos que contraponían el principio del *impetus*, la combinación de ambas concepciones en la noción de *impetus acquisitus* se levantaba como una teoría independiente⁴⁶. Alexandre Koyré, por su parte, afirma que la posición de Cardano puede ser definida como semiaristotélica en comparación con la de su contemporáneo Piccolomini, quien —según él— profesaba estrictamente la doctrina del *impetus*⁴⁷.

La exposición de Cardano, orientada a proponer explícitamente una nueva explicación de Aristóteles recogiendo el legado medieval, constituye un referente esencial de la dinámica renacentista italiana. Si bien Piccolomini puede haber aceptado el rol del aire en su *Filosofía Naturale*, en la paráfrasis de la *Mecánica* descartaba cualquier rol del medio en la conservación del movimiento, por lo que la apreciación de Koyré parece justa. Creemos en ese sentido que el caso de Hurtado de Mendoza es de especial relevancia, puesto que

⁴⁴ CARDANO (2004), nota 135, p. 206.

⁴⁵ CARDANO (2004), pp. 207-209.

⁴⁶ DUHEM (1984), vol. I, pp. 134-136.

⁴⁷ KOYRÉ, A. (1958), *La Physique au XVIe siècle*. En TATON, R. (coord), *Histoire générale des sciences*, París, Presses Universitaires de France, vol. II, pp. 91-97. Para una interpretación similar de la postura de Cardano ver MARGOLIN, J. C. (1976), Cardan, interprète d'Aristote. En AQUILONE, P. (1976), *Platon et Aristote à la Renaissance: XVIe Colloque international de Tours*, París, Vrin, pp. 307-333. Ver p. 327.

en su traducción incorpora la teoría del *impetus* a la función del aire en la prolongación de la trayectoria del proyectil.

Nos parece que la importancia de la versión de Hurtado de Mendoza debe ser destacada en la medida que propone una concepción dinámica similar a la de Cardano algunos años antes. Puesto que su traducción no fue publicada en la época, parece difícil afirmar que el milanés pueda haberse inspirado en ella. Sin embargo, dada la relación del Embajador Imperial con los círculos científicos de la época, no parece del todo improbable que Cardano pueda haber sabido de su interpretación.

Más allá de la originalidad de la explicación, es significativo que en ambos casos la posibilidad de combinar las soluciones tradicionales haya surgido del análisis de los problemas finales de la *Mecánica*, lo cual demuestra su importancia en el desarrollo de una nueva dinámica en el contexto italiano de mediados del siglo XVI.

* * *

En conclusión podemos afirmar que la traducción de Diego Hurtado de Mendoza de la *Mecánica* revela la relación interpretativa existente entre el español y dos de las figuras científicas más importantes del Renacimiento italiano: Alessandro Piccolomini y Girolamo Cardano. Esta afinidad se evidencia en el intento por resolver las ambigüedades contenidas en los últimos problemas del tratado, valiéndose de las más influyentes teorías de dinámica con el propósito de insertar la obra en la tradición filosófica codificada. Dentro de este proceso la versión de Hurtado de Mendoza del problema XXXIV constituye un fragmento sumamente relevante, pues combina la explicación de Aristóteles sobre la función central del aire en el movimiento del proyectil con la interpretación contraria de los parisinos del siglo XIV fundamentada en la impresión de fuerza motriz en el cuerpo lanzado. Esto demostraría que la noción de *impetus acquisitus* de Cardano, más que una innovación individual, probablemente revela una inquietud intelectual compartida por sus contemporáneos.

Recibido: 6 de junio de 2009.

Aceptado: 6 de septiembre de 2010.