

**El encuentro entre René Descartes e Isaac Beeckman (1618-1619):
El tratado hidrostático ***

*(The Meeting between René Descartes and Isaac Beeckman (1618-1619):
The Hydrostatic Treatise)*

Jorge MORENO

Recibido: 04.10.2012

Versión final: 17.05.2013

BIBLID [0495-4548 (2014) 29: 79; pp. 149-166]

DOI: 10.1387/theoria.6646

RESUMEN: El tratado hidrostático fue uno de los primeros textos de Descartes, fruto de su decisivo encuentro con Isaac Beeckman. En este artículo, analizaremos cómo fue concebido y los motivos que llevaron a Descartes a cuestionar alguno de los aspectos fundamentales de la *física matemática* de Beeckman. Este episodio está íntimamente relacionado con la independencia de las disciplinas matemáticas y su aplicación a cuestiones propias de la filosofía natural.

Palabras clave: Beeckman; Descartes; física matemática; atomismo; continuo; paradoja hidrostática; neumática.

ABSTRACT: Descartes' hydrostatic treatise was one of his first text, fruit of his crucial meeting with Isaac Beeckman. In this article, we will analyse how it was conceived and the reasons which led Descartes to question some fundamental aspects of Beeckman's Physico-mathematics. This subject is closely connected with the autonomy and implementation of mathematical sciences to typical matters of natural philosophy.

Keywords: Beeckman; Descartes; Physico-mathematics; atomism; continuum; hydrostatic paradox; pneumatics.

Descartes tenía 22 años cuando, a finales de 1618, llegó a Breda, por aquel entonces un enclave estratégico de la guerra de los treinta años, donde se alistó en el ejército, algo que le permitiría viajar por el norte de Europa y que era compatible con su interés por las matemáticas y las artes mecánicas. No obstante, después de conocer fortuitamente a Isaac Beeckman (1588-1637), un ingeniero holandés que se encontraba de paso en esta ciudad fronteriza,¹ su vida tomaría un nuevo rumbo. Antes de abandonar Breda y partir de viaje por Alemania, Descartes escribió una carta a Beeckman en la que señalaba la crucial influencia que su amistad había ejercido para que se despertara en él un renovado interés por el estudio de la naturaleza y las artes al que dedicaría su vida. Educado en la filosofía neoescolástica, las matemáticas, la poesía y retórica hu-

* Tres colaboradores anónimos de *Theoria* han leído y aportado valiosas opiniones sobre este artículo. Por ello, les estoy muy agradecido. Me gustaría señalar la ayuda inestimable de José Muñoz, sin la cual, hubiera sido imposible acercarme al tratado hidrostático de Descartes.

¹ A continuación citaremos el *Journal de Beeckman* mediante la palabra *Journal* seguido del volumen en romanos y las páginas en arábigos (excepto en el caso de la introducción del editor, en romanos). Las *Oeuvres de Descartes* 1964-1966 se citarán mediante las siglas AT, seguidas del volumen en romanos y las páginas en arábigos. Una pequeña biografía de Beeckman se encuentra como introducción a la edición del *Journal de Beeckman* a cargo de C. de Waard (*Journal*, I, I-XXXIX). Véase también Van Berkel (1983).



manistas en el colegio jesuita de La Fleche, trabajó junto a su nuevo amigo en cuestiones propias de la física y la filosofía natural desde una perspectiva matemática. El modo en el que Beeckman aplicaba la física y las matemáticas conjuntamente al estudio de la naturaleza impresionó profundamente a su joven amigo (*Journal*, I, 244). Tanto fue así que seis semanas después de conocerse, Descartes le obsequió con un tratado sobre la armonía musical en el que determinaba la razón matemática de la consonancia di-tonal, expresada según la fórmula del músico italiano Gioseffo Zarlino. Hacía tiempo que Beeckman, inspirándose en planteamientos como los de Benedetti, venía trabajando en una explicación físico-matemática del monocordio que se alejaba del análisis de un instrumento mediante nociones naturalistas como la de temperamento (Pallisca 1961, 91-137).² Descartes, para impresionar a su nuevo amigo, trabajó día y noche en la concepción de un *Compendio de Música* en el que trata geoméricamente cuestiones planteadas tradicionalmente desde la numerología.³

Durante los primeros meses de 1619, Descartes y Beeckman abordaron los fenómenos de la caída de los cuerpos y de la paradoja hidrostática de Simon Stevin. Dos problemas que, tal como veremos, resultarían fundamentales para el estilo físico-matemático que ambos amigos asumieron a pesar de sus diferencias filosóficas. A lo largo de este artículo, tan sólo señalaremos sucintamente los diferentes términos en los que Beeckman y Descartes calcularon la velocidad de un cuerpo en caída libre,⁴ ya que sus diferencias resultarán ser una de las claves fundamentales para entender el tratado hidrostático de Descartes, el asunto del que nos ocuparemos en profundidad. Como hipótesis fundamental con la que representar geoméricamente la caída libre de un cuerpo, Descartes adopta el principio de conservación del movimiento que le propuso Beeckman, pero lo asume desde la perspectiva de sus diferentes nociones y principios filosóficos.⁵ Tanto Beeckman como Descartes postulan que, en función de la fuerza

² Compartimos en gran medida el punto de vista de De Buzon (1985). Advertiremos que las nociones de *fluere e ictus*, tal como las entendió Beeckman, fueron motivo de discusión en el tratado hidrostático de Descartes.

³ Hay una pequeña bibliografía de estudios sobre Zarlino en Dear (1988), 144, n. 103. Sobre el *Compendium* véase De Buzon (1983).

⁴ Sobre este problema tal como lo abordaron Descartes y Beeckman véase Koyré (1990); Dijksterhuis (1961), 330-335; P. Damerow et al. (1991).

⁵ Beeckman concibe el movimiento y su conservación como la traslación de un cuerpo en el vacío y, por tanto, lo relaciona con los principios atomistas que aprendió de Lucrecio. Es decir, allí donde hay vacío se mantiene siempre un mismo movimiento que no cesa hasta que otro cuerpo se lo impida o lo impela a moverse, un argumento con el que refuta la física del *impetus* (*Journal*, I, 24-5). De hecho Beeckman considera que no es posible el movimiento sin que exista el vacío en la naturaleza. Véase el fragmento titulado "*Vacuum probatur per motum*" (*Journal*, I, 23). En 1613 Beeckman discute en profundidad estos temas con J. Van Laren, compañero suyo en la escuela latina de Middelbourg, su ciudad natal. En esta discusión, Beeckman intentaba demostrar que si se supone el continuo no es posible el movimiento en la naturaleza: "In continuo aut undique contiguo, nihil movetur. In aere autem aves, in aquâ pisces moventur, ergo non sunt undique contigua". Por lo que le fue posible demostrar la proposición más general: "In quo movetur aliquid, id cedit; at undique contiguum non cedit; ergo in undique contiguo nihil movetur". Véase la carta de Beeckman a J. Van Laren de noviembre de 1613 (*Journal*, IV, 27-30. Cfr. Lucrecio 1993, Lib. I, vs. 329-67). La respuesta de Van Laren rechazaba el razonamiento de Beeckman: "Non potest—le contestaba Van Laren—ex unâ praemissâ particulari

conferida por la atracción natural de la Tierra en cada momento de su descenso, un cuerpo recorrería en un segundo momento el doble de espacio que el atravesado en un primer momento y ambos consideran que el movimiento de un cuerpo está compuesto de indivisibles matemáticos. No obstante, mientras que Beeckman entiende la relación entre el espacio y el tiempo, compuestos de indivisibles matemáticos, y la materia, compuesta de átomos físicos, en los términos de la escuela epicúrea (*Journal*, II, 102; Gemelli 2002, 21 y ss.; Lucrecio 1993, lib. I, vs. 551-564), Descartes, tal como había explicado Aristóteles, concibe el *continuo* como una magnitud sin la que no es posible considerar la velocidad de un móvil, ya que sin movimiento no hay ni tiempo ni, por lo tanto, instante alguno que considerar del tiempo (Galluzzi 1979, 119-125; 139. Cfr. Koyré 1990, 106). Cuando Descartes consideró cada instante del descenso de un cuerpo como un indivisible matemático (*minimo vel puncto motus*), acabó comparando la cantidad de movimiento (*motus*) con la que una piedra descendía en cada momento del espacio ya recorrido, es decir, fijada la distancia recorrida de antemano. En cambio, Beeckman no tuvo problema en comparar el espacio recorrido en un tiempo determinado de un cuerpo en caída libre, incluso después de hacer indivisibles, de cantidad nula (*nullus quantitas*), cada momento de espacio (*momentum spatii*) que compone la línea recorrida por un cuerpo en movimiento. En definitiva, Descartes consideró los instantes que componen *trayectorias* recorridas de un movimiento ya terminado en un tiempo determinado, mientras que su amigo llegó a la conclusión de que *la proporción entre el espacio recorrido* por una piedra en una primera hora de su descenso y la siguiente hora era de 1 a 4, en una tercera de 1 a 9, etc.

Esta proporción resultaría ser la fórmula correcta, la que está en los fundamentos de la dinámica moderna. Por aquel entonces, la preocupación de Descartes y Beeckman se centraba en los principios atomistas con los que el segundo de ellos dio cuenta matemáticamente a un fenómeno que tradicionalmente se había abordado desde una perspectiva aristotélica. Beeckman y Descartes tenían cada uno sus razones para defender su fórmula. Mientras que Beeckman consideró un cuerpo moviéndose por un espacio y un tiempo matemáticos (*Journal*, II, 102), su joven amigo concibió un movimiento concluido de la *trayectoria* de un cuerpo sobre el que considerar un espacio ya recorrido en un tiempo determinado. Estas dos diferentes perspectivas desde las que plantear matemáticamente un fenómeno natural seguirían estando presentes en el tratado hidrostático de Descartes.

inferri conclusio universalis”. Tal como le explicaba a Beeckman, si se considera que el continuo o el contiguo es de una materia elástica que como el aire podía *ravesere et densari* en cada momento en el que un cuerpo comenzara a atravesar el medio, en consecuencia, el aire podría apartarse debido a su cualidad elástica, de modo que un cuerpo podría atravesarlo. Para entender la respuesta de Van Laren véase Grant (1981), 69-74. La réplica de Beeckman se centró en el problema de la rarefacción y “omitía” su argumento más general sobre el movimiento. En un principio, la discusión tomaba como referencia la obra de Bartholomeo Kerckemann (*Journal*, I, 215; II, 253; IV, 26-27). Tal como veremos, Beeckman también desarrolló la crítica del planteamiento escolástico de su amigo tomando como referencia a Girolamo Cardano, aunque teniendo en cuenta la especificidad de la obra del médico italiano. En general, sobre el atomismo durante el Renacimiento véase Lüthy et al. eds. (2001). Para el caso de Beeckman véase Cosmo (1962); Canone (1991); Gemelli (2002).

Previamente a que Beeckman y Descartes se propusieran calcular la velocidad de un cuerpo en caída libre, ya se habían desarrollado técnicas con las que representar las diferentes magnitudes intensivas (entre ellas la velocidad) y se habían incluido los axiomas de Arquímedes en el marco general de la física aristotélica. Las ciencias mixtas, tales como las artes mecánicas, se consideraban disciplinas prácticas que dependían tanto de la filosofía natural, como de la geometría y la aritmética.⁶ Sin embargo, el desarrollo de las disciplinas matemáticas durante el Renacimiento propició que se pensara en una aplicación y un aprendizaje de las artes independiente de concepciones filosófico-naturales. Uno de los autores que llevó a cabo este programa fue Simon Stevin (1548-1620) con *El Arte de Pesar*, su obra sobre estática e hidrostática. Más tarde, la *física matemática* de Beeckman, apoyándose en las matemáticas de dicho autor, se apropiaría de la neumática alejandrina de forma independiente a la cosmología aristotélico-medieval. Gracias a esto, Descartes descubriría de la mano de su nuevo amigo “un modo de estudio” con el que cuantificar fenómenos naturales que la filosofía aristotélica explicaba tan sólo cualitativamente.

En conclusión, para abordar el problema de la caída de los cuerpos, Beeckman adoptó en los términos atomistas de su *física matemática* el principio de conservación del movimiento, alejándose radicalmente del planteamiento tardo-medieval de la física del *impetus* (*supra* n. 5). De manera que propuso a su joven amigo aplicar las disciplinas matemáticas al estudio de la naturaleza independientemente de la filosofía natural escolástica. En su tratado hidrostático, Descartes sentaría las bases de un planteamiento similar que, sin embargo, cuestionará los principios atomistas que adoptó Beeckman. En este artículo analizaremos el programa de Stevin, la neumática de Beeckman y los principios mecánicos de Descartes (el tratado hidrostático) para dilucidar los motivos que llevaron a Descartes a cuestionar los principios físico-matemáticos que Beeckman estaba desarrollando.

1. Una apropiación en clave atomista de la paradoja hidrostática de Stevin: la neumática de Beeckman

El *Journal* de Beeckman es un material difícil de interpretar para el historiador, debido a su estructura fragmentaria y al celo con el que su autor guardaba el secreto de su filosofía, en su opinión, “útil para el estado pero peligrosa para la religión si caía en unas manos que no fueran las adecuadas” (*Journal*, II, 377). Al comenzar su lectura, la primera pregunta que nos asalta es cuáles eran las fuentes de sus máximas y principios filosóficos durante sus primeros años de trabajo, entre 1612 y 1619. Sin embargo, si nos ceñimos a las artes mecánicas, se aprecia claramente que las fuentes fundamentales de su *física matemática*, el marco científico en el que se desarrolló proviene de los trabajos de los matemáticos y humanistas italianos que conoció en la obra de Stevin. Recien-

⁶ Entendemos, como lo hace Dear, que la diferencia entre el *Arte de Pesar* de Stevin y las “ciencias mixtas”, radica en su independencia de la filosofía natural escolástica (Dear 1995, 39-40; Cfr. Schuster y Gaukroger 2002, 537-539). Los trabajos de Schuster y Gaukroger nos han permitido situar el tratado hidrostático de Descartes en su contexto histórico. Este artículo intenta responder importantes cuestiones formuladas por estos autores sobre la *física matemática* de Beeckman y los principios mecánicos de Descartes. A continuación se citarán las cuestiones en las que hemos profundizado, así como aquellos puntos en los que nos alejamos de su interpretación.

temente, John Schuster y Stephen Gaukroger han relacionado la *física matemática* de Beeckman con la estática de Stevin a partir de un análisis del tratado hidrostático de Descartes (Schuster y Gaukroger 2002). De hecho, Beeckman estudió en Leiden las matemáticas y la estática de Stevin y preparó la edición de la parte dedicada a la mecánica en su obra póstuma. En su *Journal*, analiza y desarrolla algunos de los debates sobre matemáticas y artes mecánicas que se produjeron en Italia durante las últimas décadas del siglo XVI y en los que participó Stevin. Uno de los primeros libros de Stevin aborda la definición y clasificación de los sólidos regulares ciñéndose a los axiomas y postulados euclídeos del matemático jesuita Christophoro Clavio, edición que también conocía Beeckman (*Journal*, I, 26; 43). Asimismo, Stevin estaba al tanto de las publicaciones de los matemáticos italianos Tartaglia, Commandino y Benedetti y de los debates en torno a estas disciplinas, que, entre otros, estos autores propiciaron⁷. De Benedetti, tomó los argumentos para desacreditar a las ciencias mixtas y el uso de las cualidades aristotélicas con las que determinar el peso o levedad de un cuerpo y de Clavio adoptó el principio fundamental sobre el que desarrollar su *Arte de Pesar*, un arte que, independientemente de que hiciera uso de la geometría y la aritmética, se deducía a partir de principios propios.

En un reciente libro, Peter Dear ha analizado a lo largo de la llamada Revolución Científica, la aplicación de diferentes técnicas de inducción con las que se podían considerar científicamente las *observaciones* individuales que aportaban diferentes artefactos y que *a priori* no formaban parte de una reflexión filosófico-natural.⁸ A lo largo del siglo XVI, multitud de autores se plantearon un desarrollo y aprendizaje autónomo de las disciplinas matemáticas y en el siglo XVII, las ciencias mixtas, partiendo de principios evidentes y *universalmente aceptados*, alcanzaron un estatus desde el que el conoci-

⁷ Stevin se refiere explícitamente a la obra de Clavio, Tartaglia, Cardano y Commandino. La de Tartaglia y Commandino para discutirlos y acabar por subrayar la superioridad de sus principios matemáticos y estáticos que reconoce haber aprendido de la obra de Clavio, mostrando por el matemático de Urbino el respeto que le merecía su obra (Stevin 1953-66, vol. II-A, 6; vol. II-B, 123). Por otro lado, también Clavio estaba al tanto de las obras de Stevin (Clavio 1611, vol. II, 417). Que Stevin conoció la obra de Benedetti directa o indirectamente a través del “plagio” de Taisnier está fuera de discusión (Drake y Drabkin 1969, 39). No obstante, debemos matizar que Stevin nunca tuvo la intención de criticar la filosofía aristotélica, sino de hacer de la estática un “arte liberal”. Tras criticar a Cardano y Taisnier, mediante argumentos similares a los de Benedetti, por usar principios de la filosofía natural aristotélica con los que explicaban el movimiento de un cuerpo a través de un medio, Stevin encuentra satisfactorio el principio propuesto por Clavio para el desarrollo de las disciplinas matemáticas. En palabras de Stevin: “quin omnia ista quae *Cardanus 5 Proport. lib.* in variis propositioribus, aliique quam plurimi hinc deducunt, falsa et veri vana habenda sunt. Et solus motus et movendi aequilibrio contenti simus, quippe quae his abunde satisfaciar” (Stevin 1608, vol. II, tom. IV, 152-153). Sobre los problemas en la traducción de los conceptos estáticos de Stevin y la traducción de Dijksterhuis véase Stevin (1953-66), vol. I, 38, 520-523. En este fragmento, Stevin proponía un principio que considerara la igualdad o desigualdad de los “pesos aparentes” y rehusaba utilizar, e insistimos en que después de refutarlos del mismo modo que lo había hecho Benedetti, cualquier otra noción o concepto físico que el del equilibrio o desequilibrio de los pesos. Después de lo cual, pasaba a defender el estatus de “arte liberal” de su *Arte de pesar*, debido a que era independiente de la geometría y la aritmética y se deducía a partir de sus propios principios (Stevin 1953-66, vol. I, 516 y ss.).

⁸ Sobre el uso de artefactos por parte de una comunidad de expertos artesanos y matemáticos y el significado de la noción de *observación* véase Dear (1995, 46-58).

miento que aportaban podía considerarse científico (Dear 1995, 42-46). Las matemáticas fueron una pieza clave para poder comunicar y establecer experiencias dentro del marco de la comunidad de matemáticos y expertos artesanos. El desarrollo de algunas disciplinas artísticas y el estatus científico que adquirieron, frente a la etiqueta de subordinadas o mixtas que habían recibido hasta entonces, permitió que las peritas experiencias de ópticos, astrónomos e ingenieros mecánicos entraran a formar parte de las teorías surgidas en el seno de una nueva y pujante comunidad de matemáticos (Dear 1995, 40, 168-179). La problemática planteada para la filosofía escolástica se aprecia en los procesos de apropiación y reinterpretación de estas experiencias (Dear 1995, 63-92).⁹

A continuación veremos que Stevin, siguiendo una tradición concordista platónico-aristotélica, dedujo su *Arte de Pesar* a partir de un principio evidente y propio de la estática y, por tanto, lo consideró un “arte liberal” independiente de la filosofía natural. Por otro lado, también advertiremos que Beeckman se apoyó en las matemáticas de Stevin y en los principios atomistas de su *física matemática* para explicar fenómenos que no aceptaban una descripción cuantificable a partir de los conceptos físicos de Aristóteles. Tras su fortuito encuentro, Descartes y Beeckman mantuvieron una discusión sobre la universalidad de los principios físico-matemáticos de Beeckman; es decir, se cuestionaron si considerarlos principios universales, evidentes y tan ciertos como los de la geometría.

Los trabajos antes mencionados de Schuster, Gaukroger y Dear subrayan importantes aspectos de la *física matemática*, tales como el valor de las matemáticas como instrumento de investigación del mundo natural o la formalización de las técnicas con las que dar crédito a las nuevas observaciones que *a priori* no formaban parte de una *experiencia universalmente aceptada*.¹⁰ Además de estos aspectos, heredados del Renacimiento,

⁹ En su parte práctica de la hidrostática, Stevin propuso la paradoja hidrostática, varias versiones prácticas de artefactos derivados de la neumática de Herón de Alejandría y Ctesibio (Grant 1981, 77-94), a los que se refería como “hechos que podían parecer antinaturales”. Para explicarlos teóricamente se apoyaba en los principios de la estática, el orden geométrico de Euclides y las matemáticas de Arquímedes, interpretando su “arte liberal” en los términos de Clavio. Véase al respecto Dear (1995), 18-21, 48. Sobre el desarrollo en las comunidades de artesanos de un *saber práctico* véase Rossi (1966); Shapin (1994, 355-408); Schaffer (1993).

¹⁰ Schuster y Gaukroger distinguen estrictamente entre la presencia de la filosofía aristotélica y platónica en las matemáticas de Stevin, Beeckman y Descartes (Schuster y Gaukroger 2002, 537). Aunque reconocemos la importancia que, en su artículo, atribuyen a la “claridad” de las “pruebas algebraicas” de Descartes (Schuster y Gaukroger 2002, 538; 561; 568-570), no entraremos a discutir la importante cuestión sobre la relación entre la cantidad aritmética y la forma geométrica de la materia, debido a que entraña una gran complejidad y sobrepasaría la extensión de este artículo. Este problema estaba íntimamente relacionado con el debate sobre el estatus de las disciplinas matemáticas y la certeza de sus demostraciones antes de ser abordado por Descartes (De Pace 1993, 75-91; 148-150; 272-292; Napolitano 1988, 11-40). De hecho, a diferencia de Stevin quien consideraba su estática un “arte liberal” e independiente de la geometría y la aritmética, el matemático jesuita Giuseppe Biancani concibió las disciplinas matemáticas formando parte de la física gracias a una reflexión previa sobre la materia, la cantidad y la forma aristotélicas (Dear 1995, 40; 168-170; De Pace 1993, 304, n. 91). Biancani presentaba las disciplinas matemáticas, a diferencia de Stevin, supeditadas a la geometría y a la aritmética. En su proyecto apologético de las matemáticas, éstas formaban parte indispensable de la filosofía, algo que Tartaglia ya había defendido antes (Maffioli 2010, 63-66; De Pace 1993, 242-260). Descartes

durante el siglo XVII, confluyeron de diferente manera e incluso en un mismo autor, tanto principios filosóficos de Aristóteles, Platón o Demócrito, como axiomas y elementos de las matemáticas de Arquímedes y Euclides. Todos ellos, puesto que se referían a una experiencia científica, formulados como hipótesis, forman parte del proceso de cuantificación de los fenómenos neumáticos que de un modo u otro, Stevin, Beekman y Descartes abordaron.

La *física matemática* apareció en Italia como reflejo de la tensión entre las disciplinas matemáticas y la filosofía natural escolástica, una *vis polemica* que cambió los términos con los que la física determinaba el desarrollo y aplicación de las artes mecánicas, consideradas ciencias menores o mixtas (Dear 1995, 38-39). Entre 1554 y 1585, Giovanni Battista Benedetti escribió varios libros en los que la voz de los grandes matemáticos de la antigüedad se oponía a las opiniones de la filosofía natural defendida en las universidades por los aristotélicos más ortodoxos (Maffioli 2008, 91 y ss.). Benedetti emprendió a finales del siglo XVI el estudio del movimiento local de un cuerpo aplicando la hidrostática. Su polémica obra abordaba una cuestión física basándose en enunciados “evidentes por ciencia común” y de carácter apodíctico derivados de Euclides y Arquímedes, de modo que sustituyó los conceptos de *peso* y *levedad* aristotélicos por la noción de empuje arquimediano (Giusti 1997, 51-55). Sin embargo, los escritos *de motu* del matemático veneciano carecían de una estructura lógico-deductiva; no definían de un modo claro la noción de “densidad” de un cuerpo y, a consecuencia de esto, los principios sobre los que se construyó su *física matemática* acabaron por no ser compatibles. Este polémico intento de Benedetti mereció los elogios de Clavio; sin embargo, su *física matemática* seguía dos principios que no eran homogéneos en el vacío. Para el matemático veneciano, el movimiento (*motus*) y su velocidad dependían de su peso en un sentido arquimediano y de la resistencia del medio en un sentido aristotélico. Supuestas estas hipótesis y llevando el límite al infinito, en un medio cada vez menos denso, de ambos principios no se deducía la misma velocidad del descenso de un cuerpo (Giusti 1997, 91-92). En cambio, Clavio, en su edición de los *Elementos* de Euclides, asumía que las disciplinas mecánicas de Arquímedes y Herón de Alejandría debían postular que donde hay equilibrio no hay movimiento y la causa del movimiento es el desequilibrio de los pesos.¹¹ Este sería el principio sobre el que se desarrolló *El*

abordaría esta cuestión desde un punto de vista gnoseológico, atribuyendo a la deducción matemática la certeza derivada de una intuición simple y evidente mediante una relación nemotécnica (AT, X, 370; Rossi 1983).

¹¹ En el comentario a su edición de los *Elementos* de Euclides, Clavio establecía que toda disciplina mecánica que versara sobre los pesos, incluidas las de Ctesibio y Herón, debía establecerse sobre el principio arquimediano del equilibrio, el reposo y el movimiento. Véase el párrafo titulado *Disciplinarum mathematicarum divisio* de los *Prolegomena* en Euclides y Clavio (1574): “Alia autem ponderibus, quorum motus quidem inaequilibrium, status verum equilibrium esse causam cesendum est”. En manos de Stevin, este principio, aplicándolo mediante un sencillo silogismo, acabaría por distanciar su *Arte de Pesar* de un tratamiento “mixto” de la mecánica. Dear señala este aspecto de las disciplinas matemáticas, de hecho, la diferencia entre la noción de *gravitas secundum situm*, propia de las “ciencias mixtas” y la noción de “peso aparente” permitía un tratamiento de la mecánica de Arquímedes independiente de la filosofía natural escolástica en la obra de Stevin (*infra* n. 14. Cfr. Dear 1995, 42-43, n. 39; De Pace 1993, 121-139, 164-185, 318-336). Para la opinión de Clavio sobre la obra de Benedetti véase Wallace (1984, 137).

Arte de Pesar de Simon Stevin, la neumática de Beeckman y la hidrostática de Descartes.

El Arte de Pesar de Simon Stevin y su paradójica hidrostática

Stevin describe en su hidrostática un sorprendente fenómeno, según el cual un recipiente lleno de agua pesa lo mismo en una balanza aunque contenga menor cantidad de agua, siempre y cuando la altura que alcance la superficie del agua, en ambos casos, sea la misma. Concretamente, el agua contenida en el recipiente M pesa lo mismo en una balanza aunque se introduzca el émbolo fijo P y, por tanto, M contenga menor cantidad de agua (Stevin 1953-66, vol. I, 487-91; fig. 1). En opinión de Stevin, aunque pueda parecer “un hecho antinatural” que una pequeña porción de agua ejerza una presión similar que una mayor cantidad, cualquiera “puede verlo y comprobarlo con sus propios ojos” en razón de esta y otras cuatro versiones de la paradoja hidrostática. Todas ellas muestran que, independientemente del agua que contenga un recipiente, la presión que ésta ejerce sobre el fondo del recipiente depende de la superficie de la base y de la altura que el agua alcanza (Stevin 1955-66, vol. I, 414-521).

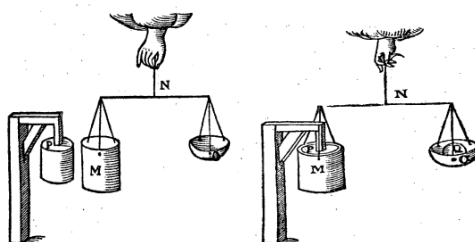


Figura 1: Stevin (1955-66, vol. I, 487-491)

Para aplicar el principio estático de equilibrio arquimedianiano a un fluido, Stevin considera que si un “cuerpo [geométrico] de agua” cualquiera, es decir, parte del agua incluida en un recipiente, “desciende” hacia la base, se produce un movimiento perpetuo de “cuerpos de agua”. En su opinión, esto se debe a que el lugar que ocupaba el cuerpo de agua antes de descender debería ser ocupado por otro que ascendiera desde el fondo, una situación absurda desde el punto de vista de Stevin, tal y como mostraba el principio fundamental al que aludía Clavio.¹² En la hidrostática de Stevin, puesto que no se puede producir un movimiento perpetuo en el interior de una cubeta llena de agua, los distintos cuerpos de agua se mantienen en equilibrio interaccionando unos con otros como en una balanza:

¹² Schuster y Gaukroger han señalado la diferencia entre las “matemáticas prácticas” de Stevin y la tradición de las *Cuestiones Mecánicas* pseudo-aristotélicas (Schuster y Gaukroger 2002, 547-550). Sin embargo, no han reparado en el carácter “liberal” del *Arte de Pesar* de Stevin, fundamentado sobre sus propios principios e independiente de las cualidades aristotélicas. Únicamente teniendo en cuenta los principios teóricos de su *Arte* es posible entender en toda su dimensión su actitud crítica con el carácter “mixto” de las *Cuestiones Mecánicas*, postura que posteriormente también adoptarían Beeckman y Descartes (*infra* n. 15; 28).

El agua que se considere se mantiene en el lugar que ocupa en el agua. [...] Sea el agua A (si ello fuera posible) de manera que no permanezca en su lugar, sino que descienda donde está D. Supuesto esto, el agua que ha ocupado el lugar A descenderá también por la misma razón a D, por lo que una cierta cantidad de agua también lo hará, de tal manera que dicha agua (porque se trata de la misma razón siempre) formará un movimiento perpetuo, lo cual es absurdo. (Stevin 1955-66, vol. I, 401)

En su *Arte de Pesar*, Stevin propone diferenciar entre los conceptos de “peso propio” y “peso aparente”, debido a que el estado de equilibrio en una balanza no se produce porque dos cuerpos tengan un mismo “peso”, sino porque el “peso aparente” es el mismo. Una balanza se mantiene en reposo porque dos cuerpos interaccionan compensando su “peso aparente”.¹³ Esta noción, aplicada al problema del plano inclinado, le permitió a Stevin demostrar la fórmula de Jordano de Nemore sin tener que recurrir para ello a las nociones de *gravitas secundum situm* y *velocidad virtual*, las cuales se definían a partir de la levedad o gravedad de un cuerpo, tal como las entendió la tradición aristotélica.¹⁴ También en su hidrostática, la interacción entre los supuestos “cuerpos de agua” produce el estado de equilibrio y el reposo. Es decir, por la misma razón que en una balanza o en un plano inclinado dos cuerpos se mantienen en equilibrio el uno al otro, los “cuerpos del agua” contenidos en un recipiente se mantienen del mismo modo en reposo. Dicho de otro modo, el agua contenida en dos ramas de un sifón, ABCD y EFCD (fig. 2), se mantiene en reposo aunque uno tenga más capacidad que otro y, en tal caso, contenga más agua que el otro en su interior. Según la hidrostática de Stevin, este fenómeno se produce porque, obviamente, el orificio CD que los une, haciendo las veces de la base de un recipiente, mide lo mismo y la altura que alcanza el agua de una y otra rama es la misma.

¹³ Tal como lo explica Dijksterhuis: “The word *evestaltwichtig* denotes that two bodies balance each other through the medium of an instrument, through they do not have equal weight, i. e. in the literal sense of the word are not *evenwichtig* (of equal weight)” (Dijksterhuis 1961, 325). El mismo significado se puede encontrar en el uso que Maurolico hacía del término *momento* en un contexto puramente mecánico y matemático (Galluzzi 1979, 64-65, 153).

¹⁴ La noción de velocidad virtual se reducía al absurdo en la obra de Stevin según un sencillo silogismo que ponía de manifiesto que en una balanza en equilibrio, no se puede considerar la velocidad de lo que no se mueve (Stevin 1953-66, vol. I, 509; Dijksterhuis 1961, 324 y ss.). Stevin interpretó la noción de equilibrio de Arquímedes tal como propuso Clavio: allí donde hay equilibrio no hay movimiento y el desequilibrio es la causa del movimiento (*supra* n. 7; 11). Explicando una de las “experiencias prácticas” propuestas para ilustrar la paradoja hidrostática, Stevin considera evidente que si vertemos el agua en el plato M de manera que cubra el espacio dejado por el émbolo fijo P y con 10 libras como contrapeso en el otro plato, “ita 1 lb aquae in lancem infusa hanc deprimet, reliquamque attollet” (Stevin 1608, vol. II, tom. IV, 146; fig. 1; cfr. Stevin 1953-66, vol. I, 489, n. 1). Sobre la tradición que se desprende del *De ponderibus* véase Clagett (1959); Dijksterhuis (1961, 248-271); Galluzzi (1979, 74-89). Galluzzi (1979) distingue entre la noción de *momento* en tanto que eficacia y el concepto de *gravitas secundum situm*. Mientras que una necesita de las cualidades aristotélicas de pesado y leve, la primera de ellas tan sólo tiene en cuenta la tendencia a descender de un cuerpo.

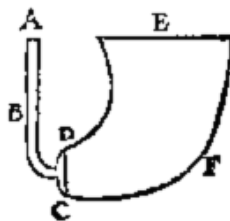


Figura 2: Stevin (1955-66, vol. I, 493-494)

La neumática de Beeckman: aer incumbens

Beeckman entiende la noción de presión del agua tal como la propuso Stevin y la aplica a la neumática para describir y formalizar matemáticamente el funcionamiento de los sifones hidráulicos que Cardano había explicado a partir del *horror vacui*, un principio que se apoya en la *natura universalis* del cosmos escolástico para explicar que el agua, situada en un medio aéreo, primero ascienda por una de las ramas de un sifón invertido y posteriormente descienda por la otra (Journal, I, 26).¹⁵ Pero Beeckman, al igual que Stevin, muy crítico con el planteamiento de Cardano, describe el funcionamiento de artilugios en los que se produce el movimiento debido a la diferencia de presión en lugares contiguos. Mientras que Stevin sólo había contemplado *teóricamente* situaciones en las que dos cuerpos reposaban en estado de equilibrio, Beeckman considera que si dos cuerpos no se mantienen en el estado de equilibrio, se produce el movimiento (Journal, I, 36).¹⁶ La noción de *aer incumbens*, fundamental para la neumática de Beeckman, le permitió aplicar la hidrostática de Stevin para explicar el fenómeno del *horror vacui* con independencia de la filosofía natural escolástica (Journal, I, 200).¹⁷

¹⁵ De éste como de otros fragmentos del *Journal* que Beeckman escribió entre 1615 y 1616 se deduce que Beeckman manejaba una noción matemática de la presión como la de Stevin. Beeckman consideraba que “*aer enim non ideò gravis non descendus est, quia in eo absque dolore incedimus: sic enim pisces in aquâ, nullam compressionem passi, moventur*” (Journal, I, 36; Cfr. Stevin 1955-66, vol. I, 499). Así como Stevin criticó el uso de las cualidades aristotélicas de *leve* y *pesado* en las artes mecánicas, Beeckman iba a extender esta crítica a la explicación que Cardano hizo del sifón de Herón y de la *fuga vacui*. La explicación de Cardano hacía del ascenso del agua un movimiento natural. Se trataba de una apropiación de la mecánica de Tartaglia desde el ámbito de la filosofía que el médico italiano aplicaba a la explicación del sifón invertido (Maffioli 2010, 63-70; Grant 1981, 69-70). Sin embargo Beeckman antepuso la razón matemática descrita por Stevin a los principios cosmológicos del *De subtilitate* (Journal, I, 47-48).

¹⁶ Beeckman supone un cuerpo pesado apoyado en el fondo o en un lateral de un recipiente lleno de agua que el agua presionara por un lado y el aire por el otro, la diferencia de presión produciría su movimiento (*infra* n. 19).

¹⁷ Véanse también los fragmentos titulados “*Aer incumbens est causa fuga vacui*” y “*Aeris nonnihil exsugitur ex vase undique clauso*” (Journal, I, 47-48, 200). Sobre los fenómenos de *horror vacui* y *fuga vacui* durante la Edad Media y su recepción en el Renacimiento véase Grant (1981, 67 y ss). Para la noción de *horror vacui* galileana y su carácter matemático véase Maffioli (2008, 159-182). A diferencia de Descartes y Beeckman, Galileo consideraba que el poder de succión de una bomba de agua estaba limitado por una *razón natural*, la del vacío, que fue capaz de medir. Para Beeckman y Descartes una bomba de suc-

Beeckman estima que el aire reposa sobre el agua presionándola. De modo que si una mole de aire ejerce una presión diferente en algún punto, siempre y cuando el agua encuentre un lugar vacío que ocupar, ésta se mueve elevándose impulsada por el peso del aire.¹⁸ Para ilustrar el poder del *aer aut aquâ incumbens*, Beeckman recurría al *De rerum natura* de Lucrecio, a la descripción de cómo una piedra magnética atrae al hierro movido “como por un martillo” que produce una emanación de átomos. En este sentido, del mismo modo que el “espíritu magnético” que fluye de un imán mueve al hierro, empujado hacia un lugar vacío “presto a recibirlo”, el agua asciende por una de las ramas de un sifón invertido empujada por el peso del aire. Por lo tanto, el aire presiona reposando hasta que se produce una situación de desequilibrio, es decir, una mole de átomos de aire presiona con diferente empuje en un lugar contiguo, y el agua encuentra un lugar vacío que ocupar.

Como en el caso del magnetismo, Beeckman opina que la presión del aire, un elemento de naturaleza siempre *vehemens et violentus*, poseía una sola causa, su peso. En un sentido puramente matemático, para Beeckman no tiene sentido definir el aire como leve (*levis et imbecillis*) respecto del agua o la tierra, dos de los cuatro elementos de la *Física* de Aristóteles; si no se aprecia su peso es porque, tal como había explicado Stevín, las diferentes partículas de aire se mantienen en equilibrio unas con otras, siendo, por tanto, su peso relativo imperceptible (*Journal*, I, 26; cfr. Stevín (1955-66), vol. I, 495-6). Sin embargo, en un sentido físico tampoco, siguiendo a Lucrecio, Beeckman atribuye a los átomos un peso que los precipita al descenso a través del vacío por lo que el aire reposa presionando hasta que en algún lugar se produzca una diferencia de presión, un desequilibrio. De esta manera Beeckman desechaba la explicación del *horror vacui* en los términos escolásticos que Cardano había utilizado. Para Beeckman, estudioso del atomismo antiguo, este fenómeno nada tenía que ver con un principio universal de continuidad de la materia. Más aun, si se trataba de establecer cierto orden universal según el cual la tierra permaneciera en su centro, Beeckman lo atribuía a la acción atractiva (*trabo*) que la materia ejerce sobre sí (*Journal*, I, 26).¹⁹

Desde 1615, Beeckman atribuye a los corpúsculos de aire, tal como lo hacía Herón en su *De spiritalibus*, la propiedad de comprimirse y dilatarse (*comprimi et dilatari possunt*),

ción tenía un potencial infinito (Maffioli 2008, 176, 334). Sobre la naturalización de las matemáticas véase Maffioli (2008, XI-XIII, 158-159, 180-182).

¹⁸ Esta noción de Beeckman se encuentra expuesta con claridad en su *Journal* entre abril de 1614 y enero de 1615. En una primera anotación, Beeckman explica la *fuga vacui* a partir del “aire que reposa presionando” sobre el agua y que por tanto lo impele a moverse. Véase “*vacui fuga explicatur*” (*Journal*, I, 36). Otro fragmento de Beeckman que seguía al anterior proponía una analogía entre su noción de “aire que reposa presionando” y la explicación que Lucrecio hacía del magnetismo en el *De Rerum Natura*, interpretando el *spiritus* magnético *cum sit corporalis* (*Journal*, I, 36. Cfr. Lucrecio 1993, lib. VI, vs. 1022-1033).

¹⁹ El fragmento “*Terra in mundi medió*” sigue a otro en el que Beeckman rehúsa la definición de aire como un elemento en los términos de Aristóteles. Lo interpretamos en el contexto de su neumática, nada tiene que ver con el debate astronómico. Más bien se relaciona con el debate aparecido en el ámbito de las matemáticas y la filosofía natural sobre geología, circunscrito al globo terrestre, en el que Beeckman se interesó años antes, tras la lectura del *De subtilitate exercitationum* de Scaligero (*Journal* I, 8-9). Sobre este debate véase Maffioli (2010, 91-149, esp. 101, n. 37).

de modo que tras comprimirse, vuelven a su estado natural (*naturalem statum*) con violencia suficiente como para hacer estallar un tubo de cristal.²⁰ A partir de 1618, para explicar estos fenómenos, Beeckman traza una analogía entre la caída de un cuerpo a causa de la *attractrix vis Terrae* y la violencia con la que los corpúsculos de aire recuperan su estado natural (*Journal*, I, 278-9).²¹ Del mismo modo en que la tierra atrae los cuerpos que luego rebotan hasta recuperar la altura desde donde habían descendido, los corpúsculos de aire vuelven a su estado natural, extendiéndose o comprimiéndose, con una velocidad similar a la del descenso de un cuerpo y produciendo un efecto análogo al chocar con otro que impida su movimiento.

2. Una corrección de la paradoja hidrostática de Stevin: El tratado hidrostático de Descartes

Como colofón de su colaboración después de su fortuito encuentro, Beeckman planteó a Descartes el problema de la paradoja hidrostática de Stevin en los términos de su *física matemática*. Pero Descartes, al igual que en el problema de la caída libre de un cuerpo, no estaba de acuerdo con los principios atomistas con los que Beeckman se apropió de las experiencias neumáticas. Debido a sus diferencias filosóficas, Descartes envió un pequeño tratado sobre hidrostática a su amigo que se encontraba en Dordrecht desde finales de enero. Es posible que lo enviara a finales de marzo, antes de partir de viaje a Alemania, junto con una carta donde le pedía su opinión sobre los principios mecánico-geométricos en los que se había basado. En esa misma carta, otorgaba a Beeckman el honor de ser el “auténtico promotor” de todos sus logros.²² Por su parte, Beeckman opinaba que su nuevo amigo poseía un gran talento matemático, sin embargo, consideraba que Descartes planteaba el problema parcialmente en su tratado, ya que no tenía en cuenta ni la propiedad de comprimirse o dilatarse del aire ni la naturaleza atómica del agua, dos aspectos que le eran necesarios para entender el funcionamiento de los artilugios neumáticos (*Journal*, I, 305-6).

Descartes comienza su pequeño tratado estableciendo los “fundamentos de su mecánica” y, tras enunciar la paradoja hidrostática según los principios físico-matemáticos de Beeckman, propone una dificultad que, para concluir, resuelve me-

²⁰ El atomismo de Lucrecio aportaba a Beeckman los principios con los que explicaba el corpuscularismo heroniano. De modo que “*corpuscula aeris composita esse ex multis atomis solidis minimumque aere in se vacuum continere*” (*Journal*, I, 278; *supra* n. 18. Cfr. Schuster y Gaukroger 2002, *passim.*, esp. 549, 556-558). Beeckman había aplicado ya esta idea de un modo práctico a bombas de succión que funcionaban a causa de la presión del aire a pesar de estar tapadas y, por tanto, fuera del alcance del peso del aire de la atmósfera. Véase el fragmento titulado “*Aeris nonnihil exsugitur ex vase undique clauso*” (*Journal*, I, 200), una nota en la que Beeckman relaciona la *densitas* con el *aer incumbens* y con el movimiento en el vacío. Sería precisamente a partir de su encuentro con Descartes cuando Beeckman trató de plantear matemáticamente la cuestión (*infra* n. 21).

²¹ Véase “*Aer in aequeductibus cur fistulas rumpit*” (*Journal*, I, 200-201) donde Beeckman también se pregunta porqué una pelota no alcanza la misma altura desde la que comenzó a descender si, análogamente, la causa con la que el aire recupera su estado natural es producto de su compresión. En su respuesta, Beeckman tiene en cuenta el efecto de “atracción de la Tierra y el aire que impide su movimiento”. De no ser así, se entiende, la pelota volvería al lugar desde el que descendió.

²² Véanse las cartas de Descartes a Beeckman del 26 de marzo y del 23 de abril de 1619 (AT, X, 159, 162).

diante sus propios principios mecánicos antes enunciados. Beeckman había planteado el problema a partir del principio físico-matemático del choque de los átomos (*ictus*), tal como lo recoge Descartes en su tratado: “si un único átomo de agua desciende dos veces más rápido que otros dos átomos, aquél solo, pesará lo mismo que los otros dos” (AT, X, 69). Este principio, del mismo modo que el principio de conservación del movimiento y la compresibilidad del aire, era fruto de la aplicación de un modelo mecánico, el de la balanza, al mundo invisible de las partículas de agua.²³ El modelo de Beeckman era compatible con su neumática, según la cual el movimiento se produce debido al desequilibrio de dos cuerpos. Además, su potencial explicativo abarcaba desde una justificación del funcionamiento de la balanza independiente de la tradición aristotélica, hasta una hipótesis con la que describir matemáticamente los fenómenos de su neumática. En definitiva, incluido en su *física matemática*, este principio le permitió formalizar matemáticamente las nociones de espíritu magnético (*magnete spiritus, cum sit corporalis*) y de *ictus* o choque de los átomos (De Buzon 1985). En la *física matemática*, tal como hemos señalado, la paradoja hidrostática representa un fenómeno con el que mostrar el potencial explicativo de sus principios; pertrechada con la hidrostática arquimediana de Stevin, la *física matemática* explica desde una perspectiva mecánica y a partir del atomismo que Beeckman aprendió de Lucrecio, fenómenos que la filosofía natural escolástica atribuía a causas meramente cualitativas. Los fenómenos de rarefacción, condensación y presión del agua representaban tradicionalmente el fracaso de la física de Aristóteles como fundamento de las artes mecánicas, debido a que las cualidades y categorías aristotélicas no eran capaces de aportar una explicación que pudiera ser cuantificable y que se ajustara a las matemáticas (Grant 1981, 71-74).²⁴

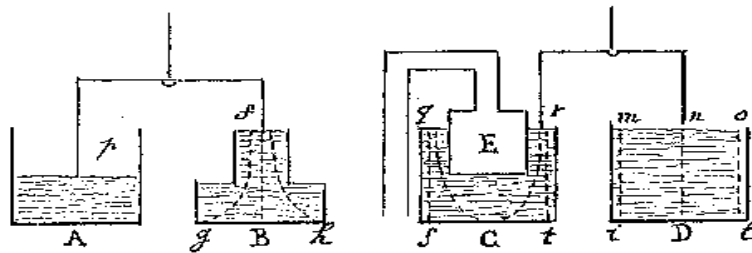


Figura 3: Descartes (AT, X, 69)

²³ No sabemos cuáles fueron las vías de información por las que Beeckman incorporó este principio a su *física matemática*. Sea como fuere, el modelo que adopta Beeckman le permitió definir mediante una analogía (*supra* n. 22) la noción de *ictus* matemáticamente y reinterpretar metafóricamente el funcionamiento de la balanza de manera independiente a la explicación de las *Cuestiones Mecánicas*. Véanse especialmente los fragmentos “*Punctum aequalitatis cadentium invenire*” e “*Impetum cadentium ponderare*” (*Journal*, I, 265-266; 267-268; III, 133-134; Dijksterhuis 1961, 332-333, 335). Palmerino (2011) ha defendido que Beeckman pudo tener acceso a las ideas de Galileo durante su viaje a Bélgica (*supra* n. 5; *infra* n. 24). Sobre el modelo de Galileo del que puede que partiera Beeckman véase Maffioli (2010, 159-162).

²⁴ Beeckman se había enfrentado a este problema, discutiéndolo junto con su amigo J. Van Laren, después de regresar de un viaje por Bélgica (*supra* n. 5).

En su tratado, Descartes plantea el problema suponiendo que el recipiente A pesa lo mismo que el B, debido a que contiene la misma cantidad de agua, y siguiendo el planteamiento de Stevin, los recipientes C y D también. Sin embargo, al contrario de lo que Stevin había propuesto, aunque el agua contenida en B, C y D “presiona con igual fuerza (*vis*)” el fondo, Descartes considera que el recipiente B no pesa lo mismo que C y D (AT, X, 69). Según los principios físico-matemáticos de Beeckman, si se abre algún orificio en el fondo de los recipientes, la presión que ejerce el agua contenida en B, C y D ocasiona que el agua del fondo de cada recipiente salga con la misma velocidad (AT, X, 70; 228). Sin embargo, ambos amigos interpretaban la presión hidrostática de forma distinta. Para Beeckman, el agua está compuesta por átomos que se mantienen unidos por una fuerza interatómica que, a raíz de la presión ejercida por el *aqua incumbens*, cuando se abre un orificio, provoca que tanto el agua del fondo del recipiente como la de la superficie, arrastrada por la del fondo, salga de cada recipiente a la misma velocidad e independientemente de la cantidad de agua que hubiera superpuesta. Para Descartes, en cambio, la presión que sufre el fondo de un recipiente depende tan sólo del peso del agua que la superpone, de manera que rehusó considerar que el agua estuviera compuesta por elementos discretos, unidos por una fuerza extraña y exterior (*vis extranea et externa*) y que, según la hipótesis de Beeckman, los impele (*impello*) a descender atraídos (*attrabo*) por el agua que hubiera salido por un orificio del fondo (AT, X, 71).²⁵ Descartes considera que la hipótesis de Beeckman es “absurda, errónea e irreflexiva”, ya que la superficie de agua no influye sobre el peso total del recipiente B del mismo modo que en el C. Así pues, debía demostrar que el agua de la superficie del recipiente B presiona tres veces más de lo que presiona la del C y el D.²⁶ Es decir, en palabras de Descartes, mostrar “que el punto *f*, en solitario, presiona los tres puntos *g*, *B*, *h*, con igual fuerza (*vis*) con la que tres puntos diferenciados *m*, *n*, *a*, presionan a otros tres *i*, *D*, *l*” (AT, X, 70; fig. 3).

²⁵ Tras recibir el tratado hidrostático de Descartes, Beeckman siguió insistiendo en la analogía entre el *spiritus* o flujo tenue de partículas de Lucrecio y las fuerzas de atracción (*supra* n. 18).

²⁶ A Stevin no le preocupaba que la forma del recipiente pudiera influir en la presión que el agua de la superficie ejerce sobre el fondo. Tan sólo consideraba recipientes con distinta capacidad pero con igual altura y superficie. Por eso en el ejemplo I de la proposición II de la parte práctica de la hidrostática de Stevin, los recipientes B y C pesan lo mismo (Stevin 1955-66, vol. I, 486-491). Para Descartes, en cambio, como la presión era tan sólo el producto del empuje de la superficie del agua sobre el fondo del recipiente, apropiarse de la experiencia hidrostática de Stevin suponía que el recipiente B pesara menos en su conjunto que los recipientes C y D, porque había menos cantidad de agua empujando en su superficie. Por otro lado, para Descartes el agua ejerce una misma presión en el fondo de los recipientes B, C y D porque al contrario que en su superficie, su fondo era de igual longitud en todos los vasos (AT, X, 73). El problema era, por tanto, probar (*probo*) porqué el agua de la superficie de los recipientes B, C y D ejercía la misma presión en cada uno de sus fondos, aunque hubiera menor cantidad de agua presionando en B que en C y D. Es decir, las diferentes hipótesis que manejaba Descartes determinaban una u otra apropiación de la experiencia práctica antes propuesta por Stevin. Mientras que Beeckman había formulado un principio físico-matemático con el que explicar la paradoja hidrostática de Stevin, Descartes no trataba de salvar las apariencias de un fenómeno sino de corregir una experiencia mediante una hipótesis cuyos efectos fueran cuantificables y tan ciertos como los de la geometría (Dear 1995, 132-150; *supra* n. 3).

Descartes establece dos “fundamentos de su mecánica”: primero propone distinguir entre dos modos diferentes del peso (*gravitandi modis*), uno con el que el recipiente y el agua pesan de manera conjunta y otro con el que solamente el agua presiona al fondo de éste. En segundo lugar, para entender cómo el agua presiona el fondo de un recipiente, Descartes propone imaginar o representar (*imagino*) el primer momento del descenso de un punto de agua (*primo instante motus*). Por lo tanto, mientras que el punto *f* descende con igual velocidad que los puntos *m, n, o*, también presiona tres veces más que cada uno de estos tres puntos determinados en la superficie del recipiente D. Es decir, según este planteamiento, mientras que *in motu* todos los cuerpos “descienden lo más rápido que pueden hacerlo”, si se tiene en cuenta el primer instante del movimiento, el punto *f* se dispone a descender con tres veces más *propensionem ad motum* que cada uno de los puntos *m, n, o* (AT, X, 72). Al abrir tres orificios en el fondo de los recipientes B y D, cada uno de los puntos *m, n, o* puede ocupar los correspondientes lugares que abandonen los puntos de agua *i, D, l*, sin embargo “el punto *f* puede tener triple propensión, porque son tres los puntos por los que puede descender” (AT, X, 72; fig. 3).²⁷ Mientras que *in motu* puede considerarse la velocidad con la que un cuerpo descende, *in primo instante motu*, puesto que no hay movimiento, “no debe considerarse la velocidad” sino que deben considerarse las posibles trayectorias (*linea mathematica*) por las que cada punto puede descender (*possum descendere*). Siendo esto así, Descartes considera que el punto *f* presiona tres veces más que los puntos *m, n, o*, puesto que le es posible descender por tres trayectorias distintas, aunque pese lo mismo que cada punto *m, n, o*. Esto se debe a que, en el caso de que se produjera alguno de estos tres movimientos posibles, *f* descendería por alguna de las posibles trayectorias que pudiera seguir en su imaginado movimiento (*motus imaginabilis*) con la misma velocidad que cada uno de los puntos *m, n, o* (AT, X, 72-73).

3. Conclusión

Tanto Beeckman como Descartes plantearon una analogía con el fenómeno de la caída de los cuerpos para probar la paradoja hidrostática de Stevin. De modo que rehusaron una explicación de los fenómenos neumáticos a partir de los principios probables de la escolástica utilizados por Cardano.²⁸ Sin embargo, mientras que Beeckman resol-

²⁷ Schuster y Gaukroger han interpretado la noción de *propensionem ad motum* como la velocidad instantánea de una de las lanzas de una balanza. Sin embargo, tal como ocurría con el problema de la caída libre de los cuerpos, Descartes eliminaba el tiempo y pensaba las líneas geométricas como *trayectorias*, tres para *f* y una para *m, n, o* (*infra* n. 28). Estos autores han leído el tratado hidrostático como el desarrollo de un sistema dinámico de corpúsculos en un nivel micro que explicaría la paradoja hidrostática. Según nuestro punto de vista, la clave no reside en preguntarse “porqué Descartes rechazó una filosofía natural aristotélica y porqué la substituyó por una filosofía natural corpuscular” (Schuster y Gaukroger 2002, 550), sino más bien en cómo Descartes intentó explicar, mediante una analogía, tal como lo aprendió del propio Beeckman, los problemas derivados de la mecánica de Herón. Leyendo así el tratado hidrostático, la discusión se centraba en los principios atomistas de la física matemática de Beeckman, los cuales, para Descartes, nunca resultaron ser evidentes (*infra* n. 29; 30).

²⁸ El final del tratado hidrostático propone una *experiencia común* con la que considerar la noción de interacción propuesta por Stevin y Clavio. Descartes la diferencia de la de peso eficiente (*gravitare*), de ma-

vió el problema mediante sus principios físico-matemáticos, Descartes mantuvo una interpretación neoescolástica del continuo. Por otro lado, Beeckman atribuyó a los cuerpos un peso atómico en el vacío y explicaba mediante su noción de *spiritus* material los fenómenos de dilatación y condensación del aire, por lo que su *física matemática* establecía máximas filosóficas para enfrentarse a cuestiones que para Stevin tenían un carácter meramente fenomenológico. El modelo teórico y ptolemaico que seguía la estática de Stevin pretendía hacer de ella un “arte liberal” basado en principios propios e independientes de la filosofía natural. No obstante, las experiencias neumáticas de Beeckman no podían considerarse una prueba que pusiera en duda principio científico alguno, ya que sus principios atomistas no podían aceptarse como “conclusión universal” de un razonamiento. Descartes en cambio, concibió la noción de *propensionem ad motum* para sustituir la idea de fuerza interatómica por la de *gravitare*, buscando de este modo partir de un principio tan cierto y evidente como los de la geometría con el que explicar la paradoja hidrostática. El inconveniente de los principios mecánicos de Descartes, desechada la física del *impetus*, residía en atribuir un sentido físico a esta noción, además del puramente matemático de indivisible, sin magnitud, y por tanto, sin velocidad (*primo instante motû*). Una cuestión que, mediante diferentes analogías, Descartes reformularía durante toda su carrera científica, en *El Mundo*, *La Dióptrica* y *Los Principios de la Filosofía*, queriendo siempre mantenerse fiel a una disciplina en la que el movimiento y el reposo serían los principios de su nueva física (AT, VI, 87; XI, 83-97).²⁹ Beeckman no supo hacer de su física matemática una ciencia que fuera deducida de principios matemáticos y universalmente aceptados, algo que Descartes le reprocharía en 1630.³⁰ Sin embargo, en 1619, siempre a la vanguardia, pese a que por aquel entonces estos principios no resultaran tan evidentes como lo exigía una experiencia científica, Beeckman planteó a su nuevo amigo una de las cuestiones fundamentales de la

nera que no explica el fenómeno de la paradoja hidrostática tan sólo en el plano de las apariencias (AT, X, 74; *supra* n. 26). Schuster y Gaukroger leen el tratado hidrostático como una reflexión sobre las fuerzas de un sistema dinámico latente en la estática de Arquímedes con la que Descartes adoptaba el concepto de velocidad instantánea. Por lo que no tienen en cuenta el enfoque fundamental que Descartes compartía con Beeckman, ambos buscaban explicar fenómenos físicos apoyándose en la certeza que aportaban las matemáticas de Stevin. En el tratado hidrostático, Descartes supone que junto con las nociones de indivisible o *primo instante motû* no se debe contemplar el tiempo ni, por tanto, la velocidad (*supra* pp. 3-4; cfr. Schuster y Gaukroger 2002, 563 y ss.). Paolo Rossi ha apuntado algunas cuestiones muy interesantes sobre el proyecto cartesiano en Rossi (1966, 106-109). Para el uso de analogías durante este periodo de la ciencia, véase Dear (1995, 151-161).

²⁹ Descartes nunca compartió el atomismo de Beeckman, no obstante, no se propuso *refutarlo* hasta que su método quedó definitivamente enraizado en la metafísica y se vio envuelto en discusiones de este calado (Roux 2000). Desde el punto de vista de la historia de la ciencia, la cuestión sobre los principios mecánicos de Descartes (conservación del movimiento y choque de dos cuerpos) y su concepción de la materia en *Le Monde* y en sus *Essais* podría retomarse en el marco que permitió a ambos amigos una colaboración de más de diez años sobre el que, por otro lado, identificar los motivos que le llevaron a *cuestionar* la física matemática de Beeckman (*infra* n. 30; Roux 2000, 222, n. 29, 229 y ss.).

³⁰ Durante una discusión entre los correspondientes de Mersenne, Descartes acabaría reprochándole a Beeckman que sus principios no eran tan evidentes como lo eran los razonamientos claros de la geometría. Carta de Descartes a Beeckman del 17 de octubre de 1630 (AT, I, 156-167; Dear 1995, *passim*).

ciencia del siglo XVII, la de la descripción matemática de fenómenos aparentemente paradójicos y su explicación física en los términos del atomismo.

REFERENCIAS

- Beeckman, Isaac. 1939-1953. *Journal Tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634*, 4 vols., ed. C. de Waard, La Haya: Martinus Nijhoff.
- Canone, E. 1991. Il *catalogus librorum* di Isaac Beeckman. En *Nouvelles de la République des Lettres* 11: 131-159.
- Clagett, Marshall. 1959. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Clavio, Christophoro y Euclides. 1574. *Elementorum Libri XV: accesit XVI de solidorum regularium comparatione...* Roma: Apud Vicentium Accoltum.
- Clavio, Christophoro. 1611. *Operum Mathematicorum*. Maguncia: Anton Hierat.
- Cosmo Alex, Gordon. 1962. A Bibliography of Lucretius. En *The Sobo Bibliographies XII*. Londres: Rupert Hart – Davis.
- Damerrow, P., G. Freudenthal, P. McLaughlin y J. Renn. 1991. *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics*. Springer-Verlag.
- De Buzon, Frederic. 1983. Sympathie et antipathie dans le *Compendium Musicae*. *Archives de Philosophie* 46: 647-653.
- . 1985. Science de la nature et théorie musical chez Isaac Beeckman. *Revue d'Histoire des Sciences* 38: 97-120.
- De Pace, Anna. 1993. *Le Matematiche e il Mondo: Ricerche su un dibattito in Italia nella seconda metà del Cinquecento*. Milán: Francoangeli.
- Dear, Peter. 1988. *Mersenne and the Learnig of the Schools*. Ithaca: Cornell University Press.
- . 1995. *Discipline and Experience: The mathematical way in the Scientific Revolution*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.
- Descartes, René. 1964-1976. *Oeuvres de Descartes*, eds. Charles Adams y Paul Tannery. París: J. Vrin.
- Dijksterhuis, E. J. 1961. *The Mechanization of the World Picture: Pythagoras to Newton*, trad. C. Dikshoorn. Oxford: Oxford University Press.
- Drake, Stillman e I. E. Drabkin. 1969. *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*. Madison: University of Wisconsin.
- Galluzzi, Paolo. 1979. *Momento: Studi Galileiani*. Florencia: Edizione dell'Ateneo & Bizzarri.
- Gemelli, Benedino. 2002. *Isaac Beeckman: Atomista e lettore critico di Lucrezio*. Florencia: Leo S. Olschki.
- Giusti, Enrico. 1997. Gli scritti “de motu” di Giovanni Battista Benedetti. En *Bolletino di Storia delle Scienze Matematiche* XVII: 51-104.
- Grant, Edward. 1981. *Much ado About Nothing: Theories of Space and Vacuum from the Middle Age to the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koyre, Alexander. 1990. *Estudios Galileanos*. México D. F.: Siglo XXI.
- Lucrecio, Tito. 1993. *De rerum Natura. De la Natureza*, trad. Eduard Valentí Fiol. Barcelona: Bosch.
- Lüthy, Christoph, John E. Murdoch y William R. Newman. 2001. *Late Medieval and Early Modern Corpuscular Matter Theories*, Leiden: Brill.
- Maffioli, Cesare S. 2010. *La Via delle Acque (1500-1700): Apropiazione delle arti e trasformazione delle matematiche*. Florencia: Leo S. Olschki.
- Napolitano, Linda M. 1988. *Le Idee, i Numeri, l'Ordine: La dottrina della mathesis universalis dall'Accademia antica al neoplatonismo*. Bibliopolis.
- Palisca, C. V. 1961. Scientific Empiricism in Musical Thought. En *Seventeenth Century Science and the Arts*, ed. H. H. Rhys, 91-137. Princeton.
- Palmerino, Carla Rita. 2011. La fortuna della scienza galileana nelle Province Unite. En *Galileo e la scuola galileana nelle Università del Seicento*, cord. Luigi Pepe, 61-80. Bologna: CLUEB.
- Rossi, Paolo. 1966. *Los filósofos y las máquinas (1400-1700)*, trad. Joaquín Carreras. Barcelona: Editorial Labor.

- . 1989. *Clavis Universalis: El arte de la memoria y la lógica combinatoria de Lulio a Leibniz*, trad. Esther Cohen. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.
- Roux, Sophie. 2000. Descartes Atomiste?. En *Atomismo e Continuo nel XVII secolo: atti del convegno internazionale Atomisme et continuum au XVIIe siècle*, eds. Festa, Egidio y Romano Gatto, 211-274. Nápoles: Istituto Italiano per gli Studi Filosofici.
- Schaffer, Simon. 1984. Making Certain. En *Social Studies of Science* 14: 137-152.
- . 1993. Glass Works: Newton's Prisms and the Uses of Experiment. En *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, eds. Gooding, Pinch, y Simon Schaffer, 67-104. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schuster, John, y Stephen Gaukroger. 2002. The hydrostatic paradox and the origins of Cartesian dynamics. *Studies in History and Philosophy of Science* 33: 535-572.
- Shapin, Steven. 1994. *A Social History of Truth: civility and science in Seventeenth-Century England*, Chicago: University of Chicago Press.
- Stevin, Simon. 1608. *Hypomnemata Mathematica*, vol. 2, trad. Willebrord Snellius. Lugodini Batavorum.
- . 1955-1966. *The Principal Works of Simon Stevin*, trad. E. J. Dijksterhuis et al. Lisse: Swets & Zetlinger.
- Van Berkel, Klass. 1983. *I. Beeckman (1588-1637) en de Mechanisering van het Wereldbeeld, (With a summary in English)*, Amsterdam: Rodopi.
- Wallace, William A. 1984. *Galileo and His Sources: The heritage of the Collegio Romano in Galileo's science*, Princeton: Princeton University Press.

JORGE MORENO es Licenciado en Matemáticas (UR, 2004) y estudiante de doctorado en el departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia de la Universidad Complutense de Madrid. En su proyecto de investigación analiza las posibles vías de transmisión de ideas entre los matemáticos italianos y holandeses que propiciaron el desarrollo de las disciplinas matemáticas y estudia el marco científico y socio-cultural de su posterior recepción entre los primeros filósofos naturales de corte mecanicista durante el siglo XVII.

DIRECCIÓN: Toledo, 77, 6º A, int. 28005, Madrid, España. E-mail: parajg@hotmail.com