

# *Domingo de Soto en el origen de la ciencia moderna*

JUAN JOSÉ PÉREZ CAMACHO  
(C.S.I.C.)

IGNACIO SOLS LUCÍA  
(Universidad Complutense)

Ha transcurrido casi un siglo desde que Pierre Duhem escribiera sus ensayos sobre «Domingo de Soto y la Escolástica de París»<sup>1</sup>. Duhem fue pionero en el análisis de la influencia de Soto en el origen de la ciencia moderna. Desde entonces han sido escasos los trabajos que han tratado la aportación a la física del ilustre segoviano.

Alexandre Koyré, en un ensayo sobre la ciencia en el Renacimiento<sup>2</sup>, se refirió al enigma de Domingo de Soto. Soto, en el pasaje más citado de sus *Quaestiones*<sup>3</sup> sobre los ocho libros de la física de Aristóteles, asocia el concepto de movimiento uniformemente acelerado (*uniformiter disformis*, según la expresión derivada de los *Calculatores* de Oxford) con la caída de los cuerpos, e indica que la distancia recorrida por el grave puede ser calculada a partir del tiempo transcurrido empleando el Teorema de la Velocidad Media del Merton College. El enigma de Domingo de Soto se puede expresar en dos preguntas: ¿cómo supo que el movimiento de los cuerpos pesados en caí-

---

<sup>1</sup> P. Duhem, «Dominique Soto et la escolastique parisienne», *Bulletin Hispanique*, vol. 12 (1910), vol. 13 (1911) y vol. 14 (1912).

<sup>2</sup> A. Koyré, en René Taton (editor), «*Historie générale des sciences*», vol. II, p. 96; edición inglesa: «*History of Science*», traducido por A. J. Pomerans, Nueva York, Basic Books, 1964.

<sup>3</sup> D. Soto, «*Super Octo Libros Physicorum Aristotelis*», *Comentarios y Cuestiones*. La primera edición se publicó incompleta en 1545; faltaban las cuestiones al libro octavo, y dos cuestiones al libro séptimo, que aparecieron en la edición de 1551. Citaremos empleando la edición tercera, de 1572.

da libre es uniformemente disforme con respecto al tiempo?, ¿cómo pudo ser transmitido este conocimiento a Galileo, quien es celebrado por haber mantenido una enseñanza similar al menos cincuenta años después de Soto?

La primera cuestión interesó a Koyré y fue objeto de una investigación que William A. Wallace —siguiendo su orientación— publicó <sup>4</sup> en 1968. La segunda no fue formulada por Koyré, pero es el marco que sitúa el contenido de sus *Études Galiléennes* <sup>5</sup>.

Con las dos caras de este enigma nos enfrentaremos en la primera parte de este ensayo. En la segunda parte destacaremos otro aspecto de la física de Domingo de Soto, que ha sido pasado por alto hasta ahora, pero que a la luz de sus conocimientos sobre el movimiento uniformemente acelerado adquiere una significación más profunda. Nos referimos al concepto de «*Resistentia Interna*». Como explicaremos, constituye un antecedente indudable de la *Resistenza Interna* de Galileo, y se encuentra muy próximo a la masa inercial de Newton. En este trabajo nos limitaremos a las *Quaestiones* de Soto sobre el séptimo libro de la Física de Aristóteles. Esperamos poder realizar un tratamiento más amplio de su Física en otro lugar.

### Descripción de las *Quaestiones* sobre el séptimo libro de la Física

Soto formula cuatro cuestiones. La primera, «Si en el universo es necesario que el motor y lo movido sean simultáneos» <sup>6</sup>, es respondida de forma negativa al recordar que el fuego calienta el agua sin tocarla, el imán atrae al hierro a distancia, y *el grave es movido por la tierra* sin estar en contacto con ella, al igual que la flecha no está en contacto con quien la lanzó. Las dos últimas afirmaciones adquieren su verdadero relieve dentro de la teoría del *impetus* que Soto explica y defiende en las cuestiones al libro octavo.

En la segunda, «Si cualesquiera dos movimientos son comparables entre sí» <sup>7</sup>, recuerda que la velocidad del movimiento recto atiende a la longi-

<sup>4</sup> W. A. Wallace, «The Enigma of Domingo de Soto: *Uniformiter Disformis* and Falling Bodies in Late Medieval Physics», *ISIS* 59 (1968), pp. 384-401.

<sup>5</sup> A. Koyré, «*Études Galiléennes*», París: Herman & Cie, 1939; versión inglesa: «Galileo Studies», J. Mephan, Atlantic Hihglands, N. J. Humanities Press, 1978.

<sup>6</sup> «Utrum in universum nessesarium sit movens & motum esse simul», D. Soto, *Quaestiones lib. VII q. I*, fol. 87, col. c.

<sup>7</sup> «Utrum motus quicunque alii motui sit comparabilis» *Quaestiones lib. VII q. II*, fol. 89, col. a.

tud del espacio recorrido en cierto tiempo, mientras la velocidad del movimiento circular atiende a la cantidad de ángulo descrito en cierto tiempo alrededor del centro.

Los fragmentos más citados de la física de Soto se encuentran en la tercera cuestión. Aparece precedida de una digresión aritmética sobre las proporciones, al modo de una introducción matemática sobre la que basará gran parte de sus argumentos. Al definir el concepto de proporción sigue a Boecio, quien en el siglo VI recopiló trabajos elementales de Geometría, Aritmética, Astronomía y Música, basándose en Euclides, Nicómaco y Ptolomeo. Proporción no es sino la razón entre las cantidades.

Como son dos las vías del conocimiento –según la doctrina aristotélica–, dos deben ser los aspectos estudiados acerca del movimiento. La primera vía de conocimiento es por el efecto, y al efecto del movimiento dedica Soto el primer lugar en la cuestión tercera, «Si la velocidad del movimiento respecto al efecto es alcanzada según la distancia recorrida»<sup>8</sup>, ya que nuestro conocimiento empieza por los sentidos. La cuestión cuarta investiga sobre la causa del movimiento, «Si la velocidad del movimiento por parte de la causa es alcanzada según la proporción entre la fuerza motriz y su propia resistencia»<sup>9</sup>, ya que al orden natural se llega por la causa, en cuyo conocimiento consiste la razón de la ciencia.

### **La cinemática de Soto: Velocidad del movimiento respecto al efecto**

Para enmarcar la importancia de la aportación del dominico español, conviene reseñar los aspectos más destacados en la evolución de la cinemática.

#### *La cinemática en la Edad Media*

El estudio cinemático del movimiento parece haber comenzado con Gerardo de Bruxelas, cuyo importante estudio «De Motu» fue escrito probablemente

---

<sup>8</sup> «Utrum velocitas motus ab effectu attendatur penes quantitatem spatii, quod pertransitur», Quaestiones lib. VII, q. III, fol. 92, col. b.

<sup>9</sup> «Utrum velocitas motus attendatur ex parte causa penes proportionem proportionum, quae sunt velocitatum ad suam ipsarum resistentias», Quaestiones lib. VII, q. IV, fol. 94, col. b. Hemos corregido el texto latino en la traducción, ya que evidentemente presenta una errata: donde dice «velocitatum» debe decir «virtutum motricium», como se desprende del contenido de la cuestión.

te <sup>10</sup> entre 1187 y 1260. Aunque Gerardo de Bruxelas no llegó a definir la velocidad como razón entre dos cantidades no comparables (espacio y tiempo), su trabajo implicaba el concepto de velocidad, que llegó a expresarse como magnitud que adquiere valores numéricos. La obra de Gerardo influyó notablemente en el desarrollo de la física matemática. Por ejemplo, al tratar el movimiento de rotación propuso representar la velocidad no uniforme mediante una velocidad uniforme. Este enfoque ha sido característico de la cinemática moderna.

Pero sin duda la mayor influencia de Gerardo de Bruxelas se hizo sentir a través de la Universidad de Oxford. Allí, Thomas Bradwardine (hacia 1295-1349) hizo alusión al tratado «De Motu» en 1328. La atención de los matemáticos de Oxford del siglo XIV, herederos de la tradición de Robert Grosseteste y Roger Bacon, se dirigió hacia la descripción matemática del movimiento, y hacia la definición precisa de los conceptos de velocidad y aceleración en términos abstractos, sin ninguna referencia al mundo físico. Bradwardine empleó un álgebra de palabras en su tratado «De Proportionibus» <sup>11</sup>. En este método fue seguido por un grupo del *Merton College* durante la década de 1330 a 1340, conocidos como los *Calculatores*. Este grupo estaba formado por William Heytesbury (hacia 1313-1372), Richard Swineshead (fl. entre 1344-1354) y John de Dumbleton (fl. entre 1331-1349). Richard Swineshead, autor del «Liber Calculationum», era llamado expresamente el *Calculator*.

William Heytesbury definió con nitidez <sup>12</sup> el movimiento uniformemente acelerado (*uniformiter disformis* con respecto al tiempo) como aquel en el que se adquieren incrementos iguales de velocidad en períodos iguales de tiempo. Definió la velocidad instantánea de forma análoga a como haría Galileo tres siglos más tarde. De hecho, durante mucho tiempo se pensó que el estudio con cierto detalle matemático del movimiento uniformemente acelerado no fue realizado antes de Galileo. Fue Pierre Duhem quien en su monumental estudio sobre Leonardo da Vinci <sup>13</sup> demostró a principios de este siglo que las investigaciones sobre el movimiento acelerado fueron realizadas en la Edad Media, principalmente en las Universidades de Oxford y París.

En Oxford, Heytesbury y sus contemporáneos del *Merton College* dieron descripciones matemáticas de varias clases de movimiento: uniforme y dis-

<sup>10</sup> Para una excelente revisión: M. Clagett, «The Science of Mechanics in the Middle Ages», Madison, Univ. Wisconsin Press, 1959.

<sup>11</sup> L. Crosby (editor), «Thomas of Bradwardine: His Tractatus De Proportionibus; Its significance for the Development of Mathematical Physics», Univ. Wisconsin Press, Madison, 1955.

<sup>12</sup> W. Heytesbury, «Regulae Solvendi Sophismata», 1335.

<sup>13</sup> P. Duhem, «Etudes sur Leonard de Vinci», vol. III, París, 1913.

forme. Los términos *uniformis*, *disformis* y *uniformiter disformis* llegaron a adquirir una significación cinemática. Descubrieron el Teorema Fundamental de la Cinemática, o Teorema del *Merton College*, que establece: «*en iguales períodos de tiempo, un móvil con velocidad uniformemente acelerada y otro con velocidad igual a la media entre las velocidades inicial y final del movimiento uniformemente acelerado, recorrerán espacios iguales*». Heytesbury ofreció una prueba aritmética del Teorema en su «*Regulae*» de 1335. Posteriormente sería demostrado por Swineshead en el «*Liber Calculationum*», y por Dumbleton en la «*Summa*».

La regla de la Velocidad Media pasó a la Universidad de París, pues las relaciones con la de Oxford eran fluidas durante el siglo XIV. Con Nicolás Oresme (hacia 1325-1382), futuro obispo de Lisieux, la escuela física de Jean Buridan (muerto probablemente en 1358) se inclinó hacia el uso de coordenadas. Oresme dio una prueba geométrica al Teorema de la Velocidad Media <sup>14</sup>, la misma que ofrecería Galileo. Oresme introdujo en la clasificación de los tipos de movimiento un esquema de dos variables (espacio y tiempo) que influyó en escritores posteriores. Alberto de Sajonia (hacia 1316-1390) prefirió los términos regular e irregular para referirse al movimiento.

Los físicos italianos del siglo XV siguieron las huellas de ambas escuelas, pues aunque prefirieron el enfoque de los lógicos ingleses, conocieron también el sistema de coordenadas de Oresme <sup>15</sup>. Giovanni Marliani (muerto en 1483) es un buen ejemplo de la tendencia general en Italia. En su tratado «*Probatio cuiusdam sententis Calculatoris de motu locali*», escrito en 1460, Marliani propone su propia demostración del Teorema para aclarar la prueba ofrecida por el *Calculator* <sup>16</sup>. Entre los escritores italianos destacan una serie de autores asociados con Pablo de Venecia (muerto hacia 1429), algunos de cuyos discípulos escribieron comentarios sobre las «*Regulae*» de Heytesbury. Estos comentarios se conservan en una edición <sup>17</sup> de Venecia de 1494, que contiene contribuciones de Gaetan de Thiene, Messinus, Angelo de

<sup>14</sup> La prueba de Oresme se conserva en dos obras: «*De Configuratione Potentiarum*» y «*Tractatus de Latitudinibus Formarum*»; la primera es más completa. Ambas se describen en: P. Duhem, «Domingo de Soto et...», *op. cit.*, vol. 14 (1992), p. 60. Sobre la relevancia de Oresme ver: M. Artigas, «Nicolás Oresme, Gran Maestro del Colegio de Navarra, y el Origen de la Ciencia Moderna». Príncipe de Viana (Suplemento de Ciencias), n. 9, Navarra, 1989.

<sup>15</sup> Este es el caso por ejemplo de Blas de Parma («*Questiones super tractatus de latitudinibus formarum*») y Gaetan de Thiene (Comentarios a «*Tria Predicamenta*» de Heytesbury).

<sup>16</sup> Para un estudio detallado ver: M. Clagett, «Giovanni Marliani and Late Medieval Physics», Tesis Doctoral, Columbia University Press, Nueva York, 1941, capítulo V, pp. 101 y ss.

<sup>17</sup> «*Hentisberi de Sensu compositio et divisio*», Venecia: Bonetus Locatellus, 1494.

Fombrosona y otros. La tradición de los *Calculatores* se mantuvo en el continente gracias a estos comentarios, conocidos durante el siglo xvi. A través del Renacimiento podían encontrar muchas de las obras más importantes de la física medieval en las bibliotecas de las universidades.

También Galileo, al final del siglo xvi, conoció las principales doctrinas que recorrieron Europa. En sus «Juvenilia», tres ensayos de juventud basados en lecciones impartidas por jesuitas en el Colegio Romano, Galileo menciona a Burley, Heytesbury, *Calculator* y Marliani, así como a Ockam, Filopón y Avempace. Pero no aparecen Buridan, Albert de Sajonia y Oresme, aunque se refiere genéricamente a los Doctores de París. En dos ocasiones cita Galileo a Domingo de Soto <sup>18</sup>, aunque no en el marco de la cinemática. Como veremos, Domingo de Soto desempeñó un papel clave en el origen de la ciencia moderna. Soto rompe totalmente con sus predecesores inmediatos, rechazando el esquema de división de los tipos de movimiento según dos variables, volviendo al esquema de una variable de Heytesbury. No sólo ofrece una explicación completa de la división, sino que ofrece ejemplos del mundo físico para cada tipo de movimiento. Es entonces cuando asocia la caída de los cuerpos con el movimiento *uniformiter disformis*, tomado éste en el sentido preciso de movimiento uniformemente acelerado en el tiempo, al que aplica correctamente el Teorema de la Velocidad Media del *Merton College*.

### *Soto, el movimiento uniformemente acelerado y la caída de graves*

En un modelo de claridad, Soto ofrece una división exhaustiva, con definiciones y ejemplos, la mayoría de los cuales ya habían sido usados por sus predecesores. No ofrece ninguna prueba empírica.

«El movimiento sin embargo es de dos tipos: uniforme y disforme. Y otra distinción se puede considerar respecto al sujeto [respecto al espacio] y respecto al tiempo. Respecto al sujeto, se dice uniforme el movimiento en el que todas las partes se mueven con la misma velocidad, como se ve en el movimiento continuo por un plano. Pues si arrastras una piedra de un pie de longitud sobre un plano, todas sus partes se mueven de la misma manera. El movimiento disforme con respecto al sujeto es aquel movimiento en el que no todas las partes del móvil se mueven por igual, y puede ser a su vez de dos

<sup>18</sup> «Le Opere di Galileo Galilei», ed. Antonio Favaro, 20 vols. en 21, Florence, G. Barbèra Editrice, 1890-1909, reimpresso 1968 (citaremos esta obra como Opcre); véase vol. I, pp. 144 y 146.

formas: *uniformiter disformis* y *disformiter disformis*. Uniformemente disforme es el movimiento del sujeto movido disformemente de tal modo que, [la velocidad en] el punto medio de cada porción de línea es excedida por [la velocidad en] el extremo más veloz de tal *porcioncilla* en la misma proporción en que excede al extremo más lento. De entre los movimientos locales, sólo éste conviene al movimiento circular, y a él totalmente: como aparece en la rueda de moler, cuyo indivisible centro permanecería estático, si el movimiento fuera perfectamente circular. (...) El movimiento disformemente disforme con respecto al sujeto, es el movimiento del sujeto de tal modo disforme, que no ocurre en cada porción que el punto medio según la extensión igualmente excede [en velocidad] lo que es excedido»<sup>19</sup>.

No encontrando ningún ejemplo de movimiento local que satisfaga este tipo, expresa un ejemplo sobre cambios de cualidad (alteración), como el calentamiento: un objeto que tiene diversos grados de calor, no uniforme, en las diversas partes. Soto continúa:

«Esta misma división tiene lugar respecto al tiempo. Por consiguiente, el movimiento uniforme respecto al tiempo es aquel por el que el mismo móvil en iguales intervalos de tiempo recorre iguales distancias, como se da perfectamente en el movimiento extremadamente regular del cielo. (...) El movimiento disforme con respecto al tiempo es aquel por el cual, en partes iguales de tiempo son recorridas distancias desiguales, o en [tiempos] desiguales, [espacios] iguales. Y como el anterior, es uniformemente disforme o disformemente disforme. *Movimiento uniformemente disforme con respecto al tiempo es el movimiento de tal modo disforme, que si dividimos según el tiempo (a saber, según anterior y posterior), [la velocidad de] el punto medio de la proporción excede [la velocidad de] el extremo más lento lo que es excedida por el más rápido*»<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> «Motus autem est duplex, uniformis, & disformis. Et utraque differentia potest considerari respectu subiecti, & respectu temporis. Respectu subiecti motus uniformis est, cuius omnes partes aequa inter se velocitate moventur, ut est videre in continuo recte moto per planum. Si enim pedalem lapidem trahas super planitiem, omnes eius partes moventur aequaliter. Disformis vero motus quo ad subiectum, est, quo non omnes partes mobilis moventur aequaliter, qui duplex est: uniformiter disformis, & disformiter disformis. Uniformiter ergo disformis, est motus subiecti, ita disformiter moti, ut cuiuscunque portionis lineae secundum talem extensionem punctum medium ea proportione exceditur ab extremo intensissimo talis portiunculae, qua excedit alterum eius extremum remisissimum. Qui quidem inter motus locales solum convenit circulariter motis, & illis omnibus: ut apparet in mola frumentaria. Cuius centrum indivisibile, immobile staret, si motus esset perfecte circularis: (...) Motus disformiter disformis quo ad subiectum, est motus subiecti, ita disformiter moti, ut non cuiuscunque portionis secundum talem extensionem punctum medium aequaliter excedit, & exceditur», *Questiones lib. 7, q. III, fol. 92, col. c.*

<sup>20</sup> «Eadem locum habet divisio respectu temporis. Motus igitur uniformis quo ad tempus,

A continuación Soto escribe la sentencia que le ha concedido un puesto de honor en la historia de la física:

«Este tipo de movimiento [uniformemente disforme con respecto al tiempo] propiamente sucede en los [graves] naturalmente movidos y en los proyectiles. Donde un peso cae desde lo alto por un medio uniforme, se mueve más veloz en el fin que en el principio. Sin embargo el movimiento de los proyectiles es más lento al final que al principio: el primero aumenta de modo uniformemente disforme, y el segundo en cambio disminuye de modo uniformemente disforme»<sup>21</sup>.

Con estas afirmaciones Dominto de Soto recorrió la enorme distancia que separa la abstracción matemática de la realidad física, proporcionando la clave de acceso para una matematización de las leyes de la naturaleza. De este modo —como indica Duhem— unió dos ideas que se transmitieron paralelas: la aceleración de la caída de graves, y el movimiento uniforme disforme<sup>22</sup>. Es el principio que Galileo buscaba<sup>23</sup> en 1604 para establecer el fundamento de la cinemática.

El último tipo de movimiento también es recordado: «El movimiento disformemente disforme con respecto al tiempo es el movimiento en tal modo disforme, que si es dividido según el tiempo, no ocurre que el punto medio de cada parte en la misma proporción excede [en velocidad] a un extremo cuanto es excedido por el otro<sup>24</sup>. Este tipo de movimiento —indica el pensador segoviano— es el que esperamos en los animales, donde se observa el aumento y la disminución.

Al discutir el movimiento uniformemente disforme con respecto al tiempo manifiesta su completa comprensión de este tipo de movimiento. Cualquier posible ambigüedad es aclarada al proponer la cuestión: «Si la velocidad de un móvil que es movido uniformemente disforme ha de ser denominada

---

est ille: quo idem mobile aequis portionibus temporis: equas itidem pertransit longitudines spatii, ut in regulatissimo motu caelorum perfectum est. (...) Motu vero disformis quo ad tempus est ille: quo partibus aequalibus temporis inaequalia pertranseuntur spatia: vel inaequalibus: aequalia. Et est: uti superior, vel uniformiter disformis, vel disformiter disformis», Quaestiones lib. 7, q. III, fol. 92, col. d.

<sup>21</sup> «Haec motus species proprie accidit naturaliter motis: & proiectis. Ubi enim moles ab alto cadit per medium uniforme: velocius movetur in fine: quam in principio. Proiectorum vero motus: remissior est in fine, quam in principio: atque adeo primus uniformiter disformiter intenditur secundum vero uniformiter disformiter remittitur», Quaestiones lib. 7, q. III, fol. 92, col. d.

<sup>22</sup> P. Duhem, *op. cit.*, vol. 14 (1912), cap. XVIII, p. 70.

<sup>23</sup> Carta de Galileo a Paolo Sarpi, 16-X-1604: Opere vol. X, po. 115-116.

<sup>24</sup> «Motus vero disformiter disformis quo ad tempus: est motus taliter disformis: ut si dividatur secundum tempus non cuiuscunque partis medium ea proportione excedit unum extremum quo exceditur ab alio», Quaestiones lib. 7, q. III, fol. 92, col. d.



por su velocidad máxima, como en el caso de un grave que cayera durante una hora desde velocidad nula hasta 8, ¿ha de decirse movido con velocidad 8?»<sup>25</sup>. Responde en términos del Teorema de la Velocidad Media, ya que es partidario de nombrar la velocidad del movimiento uniformemente disforme por la velocidad media, y no por la máxima. Su ejemplo termina de aclarar el asunto: «Si el móvil A, durante una hora, va aumentando siempre su velocidad de 0 a 8, recorre precisamente tanto espacio como [otro móvil] B que se mueve con velocidad uniforme de magnitud 4 en el mismo [período de] tiempo»<sup>26</sup>. No cabe la duda sobre su correcta comprensión del término *uniformiter disformis*, y de cómo se aplica a un objeto que cae libremente.

La forma aparentemente casual en la que Soto introduce esta asociación de *uniformiter disformis* con la caída de graves llevó a Pierre Duhem<sup>27</sup> a especular que era ésta una doctrina generalmente aceptada a principios del siglo XVI en la Universidad de París, donde Soto estudió<sup>28</sup> alrededor de 1516-1520. Duhem se basa en el hecho de que Soto no presenta su aportación como una idea original suya. Conviene recordar que el énfasis sobre la prioridad en los descubrimientos científicos surgió en tiempos de Galileo Galilei, un hombre espoleado en parte por la fama. El dominico español no encaja en este esquema, y termina su obra (basada en sus lecciones de la Universidad de Alcalá en el curso 1522-23, y escrita para ofrecer un libro de texto útil a petición de la Universidad de Salamanca<sup>29</sup>) cuando ya había desempeñado un importante papel en la Historia, como teólogo influyente en el Concilio de Trento. Su deseo a los treinta años era apartarse del mundo, pero siguió los consejos que le indicaban la conveniencia de emplear sus cualidades intelectuales dentro de la orden de predicadores. Además, si Duhem estuviese en lo cierto —se pregunta Koyré<sup>30</sup>— «¿por qué fue Soto el único en dejar esta visión por escrito?».

William Wallace ha procurado responder a esta pregunta de Koyré para

<sup>25</sup> «Utrum velocitas mobilis uniformiter disformis moti sit denominanda a gradu velocissimo, ut si grave decadat in una hora velocitate a non gradu usque ad .8. descendus sit moveret ut .8.», Quaestiones lib. 7, q. III, fol. 93, col. d.

<sup>26</sup> «si .a. mobile una hora moveatur intendendo semper motum non a gradu usque ad .8. tantundem spatii transmittet, quantum .b. quod per simile spatium eodem tempore uniformiter moveretur, ut .4.», Quaestiones lib. 7, q. III, fol. 94, col. a.

<sup>27</sup> P. Duhem, «Dominique Soto et...», vol. 12 (1910), cap. VIII, p. 357; vol. 14 (1912), cap. XXIII, p. 376.

<sup>28</sup> B. de Heredia, «Domingo de Soto. Estudio Biográfico Documentado», Cultura Hispánica, Madrid, 1961.

<sup>29</sup> B. Heredia, *op. cit.*, p. 597.

<sup>30</sup> A. Koyré en: René Taton (editor), «Histoire generale des sciences», vol. II, p. 97.

desentrañar el «Enigma de Domingo de Soto». En un artículo <sup>31</sup> publicado en 1968 estudia a diecinueve autores anteriores y contemporáneos a Soto, destacados por sus estudios de los tipos de movimiento. De entre estos autores, encuentra Wallace, sólo Soto proporciona sistemáticamente ejemplos para el más simple de los esquemas de división empleados –al que considera sólo una variable independiente en cada momento–. Los demás autores interesados en proporcionar ejemplos –principalmente escritores de finales del siglo xv o principios del xvi– trabajaron con esquemas de dos variables (espacio y tiempo) simultáneas, lo que generalmente impidió la posibilidad de considerar el caso del movimiento uniformemente disforme respecto del tiempo <sup>32</sup>.

Junto a Domingo de Soto, el también español Diego Diest <sup>33</sup> es el único que asigna una modalidad cuantitativa precisa al movimiento de caída. La variable independiente en la discusión de Diest es espacial y no temporal. El mismo error inundará los primeros escritos de Galileo en su intento de formular la ley correcta de caída de los cuerpos <sup>34</sup>. También Alberto de Sajonia defendió esta postura, contrariamente a lo que explica Duhem <sup>35</sup>. Duhem afirma que Alberto de Sajonia indicó el movimiento uniformemente acelerado como una de las suposiciones que podrían proponerse acerca de la caída de los cuerpos. Marshall Clagett ha analizado en detalle <sup>36</sup> los textos de Alberto de Sajonia para mostrar que ninguno identifica explícitamente el movimiento de caída como uniformemente disforme, de manera que pueda ser aplicado el Teorema de la Velocidad Media de forma inequívoca.

La conclusión de Wallace es sencilla de formular: «*La contribución del dominico español no fue producto de la época, sino que fue por el contrario significativa*» <sup>37</sup>. Soto destaca sin duda como un magnífico profesor, el mejor simplificador en la clasificación de los movimientos, y quien más interesado estaba en unificar las formulaciones abstractas con el mundo físico real.

<sup>31</sup> W. A. Wallace, «The Enigma of Domingo de Soto...», *op. cit.*

<sup>32</sup> A excepción del portugués Alvaro Thomaz («Liber de triplici motu proportionibus annexis... philosophicas Suiseth calculationes ex parte declarans», Paris, 1509) que mencionó el movimiento uniformemente disforme con respecto al tiempo en el contexto de su esquema de dos variables. Como los ingleses del Merton, Alvaro Thomaz estaba más interesado en las descripciones cinemáticas que en dar ejemplos.

<sup>33</sup> D. Dies, «Questiones phisicales super Aristotelis textum, sigillatim omnes materias tangentes in quibus difficultates que in theologia et aliis scientiis ex phisica pendant discusse suis locis inseruntur» (Zaragoza, 1511).

<sup>34</sup> Véase A. Koyré, «Études Galiléennes», *op. cit.*, Fas. II: «La loi de la chute de corps –Descartes et Galilée».

<sup>35</sup> P. Duhem, «Dominique Soto et...», *op. cit.*, vol. 13 (1911), cap. XI, p. 160.

<sup>36</sup> M. Clagett, *ISIS*, vol. XLIV (1953), p. 401.

<sup>37</sup> W. Wallace, «Domingo de Soto...», *op. cit.*, p. 401.

Sobre la cinemática de Soto queda aún un aspecto por tratar: cómo llegaron sus ideas hasta Galileo.

### *La herencia de Domingo de Soto: El Colegio Romano de los Jesuitas*

Domingo de Soto publicó por primera vez su enseñanza sobre la aceleración uniforme con respecto al tiempo y la caída de graves en su obra «*Quaestiones super octo libros physicorum Aristotelis*» en 1551, de la que apareció una edición incompleta en 1545. Por una carta a Paolo Sarpi<sup>38</sup> sabemos que Galileo no conocía esta enseñanza antes de 1604. Entonces escribió que la velocidad aumentaba con el espacio (en lugar de con el tiempo) de caída: «El cuerpo que cae naturalmente va incrementando continuamente su velocidad a medida que la distancia desde el punto de partida aumenta»<sup>39</sup>. En 1609 su formulación ya era correcta<sup>40</sup>, y tal vez ya lo era poco después de 1604.

Galileo cita en dos ocasiones a Soto en su «*Tractatus de Elementis*» (Manuscrito MS46), aunque no en el contexto de la caída de cuerpos<sup>41</sup>. Es conocido que ese tratado, así como otros escritos por el joven Galileo en Pisa alrededor de 1589-1591, está basado en lecciones impartidas por jóvenes jesuitas, contemporáneos de Galileo, en el Colegio Romano<sup>42</sup> fundado por Ignacio de Loyola en 1551 (ahora la Universidad Gregoriana).

Las enseñanzas de los *Calculatores* de Oxford y los Doctores de París recibieron una atención particular en las lecciones del Colegio Romano, basadas en autores escolásticos y renacentistas a los que citaban extensivamente. Algunas de estas lecciones, claramente orientadas a la enseñanza, fueron publicadas, pero la mayoría sobrevive sólo en forma manuscrita. El pensamiento de los *Calculatores* se introdujo en el Colegio Romano a través de dos jesuitas españoles: Francisco de Toledo y Francisco Suárez. Ambos fueron discípulos de Soto en Salamanca. Toledo enseñó filosofía natural en 1560 y publicó sus *Comentarios y Cuestiones a la Física de Aristóteles*<sup>43</sup>, donde destaca la importancia de considerar cuidadosamente los términos como *uni-*

<sup>38</sup> Carta de Galileo a Paolo Sarpi, 16-X-1604: *Opere* vol. X, pp. 115-116.

<sup>39</sup> *Opere* vol. VIII, p. 373.

<sup>40</sup> G. Galilei, Manuscrito MS72, fol. 91v; *Opere* VIII, p. 281.

<sup>41</sup> *Opere* vol. I, pp. 144 y 146.

<sup>42</sup> Para una discusión de la influencia del Colegio Romano sobre Galileo, véase: W. A. Wallace, «Galileo and his Sources: The Heritage of the Colegio Romano in Galileo's Science», Princeton: Princeton Univ. Press. 1984.

<sup>43</sup> F. Toledo, «*Commentaria: una cum Quaestionibus, in octo libros Aristotelis de Physica auscultatione*», Coloniae Agripinae 1574; Roma, 1591; Marsil, 1581.

*formiter disformis* para entender muchos asuntos de la física <sup>44</sup>. Francisco Suárez enseñó teología (1580-1585) y también consideró en detalle *uniformiter disformis* en sus influyentes «Disputationes Metaphysicae» de 1597. El ejemplo por ambos del lenguaje de los *Calculatores* ha sido analizado por Christopher Lewis <sup>45</sup>.

Otros profesores del Colegio Romano merecen atención en relación a Galileo. Antonio Menu enseñó durante un largo período desde antes de 1582 continuando la orientación de Toledo. Tuvo enorme influencia en otros dos jesuitas: Paolo Valla, Muzio Vitelleschi y Ludovico Ruggiero. Menu se encuentra, pues, encabezando una tradición que empleó la terminología de los *Calculatores*, aplicada a las enseñanzas de la Universidad de París. Estos cuatro profesores proporcionaron la materia prima sobre la que se basaron los apuntes de juventud de Galileo <sup>46</sup>. Como indica Wallace, «hay poca duda de que todos estos materiales están derivados de lecciones impartidas en el Colegio Romano algún tiempo antes de 1591. El autor concreto es difícil de identificar, sin embargo, ya que se pueden establecer correspondencias entre las notas de Galileo y pasajes en Ruggiero, Vitelleschi, Valla y Menu, y también en toda la trayectoria hasta Pereyra y Toledo» <sup>47</sup>. Valla parece ser el candidato más probable. Es de resaltar que Ruggiero sugiere a sus estudiantes acudir a los escritos de Toledo y Soto para un tratamiento más satisfactorio de las formas en que la velocidad varía al principio, en la mitad y al final del movimiento <sup>48</sup>.

Posteriormente, entre los filósofos de la naturaleza que enseñaron en el Colegio Romano antes de 1626, dos mostraron un vivo interés por la tradición de los *Calculatores*: Stephano del Bufalo y, sobre todo, Andreas Eudae-mon-Ioannis. De ellos sólo se conservan manuscritos, por lo que no es extraño que hayan pasado inadvertidos durante mucho tiempo <sup>49</sup>. Eudae-mon-Ioannis explicó física en 1597-1598. Destaca su gran atención a los *Calculatores*, como se deduce de los manuscritos que se conservan: lecciones sobre la «Physica», «De Caelo» y «De Generatione»; un «Tractatus» en

<sup>44</sup> F. Toledo, *op. cit.*, lib. 4, q. 12.

<sup>45</sup> C. Lewis, «The Merton Tradition and Kinematics in Late Sixteenth and Early Seventeenth Century Italy», Padua, Editrice Antenora, 1980, pp. 61-114.

<sup>46</sup> W. Wallace, «Galileo and his Sources», *op. cit.*, pp. 54-96; «Prelude to Galileo», pp. 129-299.

<sup>47</sup> W. Wallace, «Galileo, the jesuits, and the medieval Aristotle», Hampshire, 1991: cap. VI, «The Early Jesuits and the Heritage of Domingo de Soto», p. 6.

<sup>48</sup> Manuscrito SB Bamberg, Cod. 62-4, fol. 101 r-v (citado por Wallace).

<sup>49</sup> Los manuscritos están listados en: W. Wallace, «Galileo and his Sources», *op. cit.*, pp. 351-352.

dos libros sobre la acción y la pasión, y una Cuestión sobre el movimiento de los proyectiles, ambos escritos al estilo *Calculator*<sup>50</sup>. La importancia de Eudaemon radica en que discutió el experimento del mástil del barco con Galileo en Padua<sup>51</sup>, junto con otro jesuita que estaba enseñando allí, Giuseppe Biancani —discípulo de Clavius—. Ambos podrían haber influido en el uso por Galileo de los términos de los *Calculatores* en su «De Motu Accelerato», y en escritos posteriores.

Eudaemon intentó desarrollar una física matemática de la acción natural, en la que la distribución *uniformiter disformis* de las magnitudes jugaba un papel decisivo. Puesto que Eudaemon conocía la doctrina de Soto<sup>52</sup>, sus discusiones con Galileo en Padua alrededor de 1604 adquieren una significación especial. Por entonces Galileo buscaba un principio sobre el que construir su nueva ciencia del movimiento, como dice en su famosa carta a Paolo Sarpi. Ya había descubierto que el espacio recorrido por un cuerpo en caída libre estaba en relación con el cuadrado de los tiempos (en la terminología actual,  $e=(1/2).a.t^2$ ). Pero éste era sólo un efecto, una consecuencia del principio fundamental que Domingo de Soto había formulado más de cincuenta años atrás: que el movimiento de caída era un movimiento uniformemente acelerado, *uniformiter disformis* con respecto al tiempo. Y ése era el principio que Galileo necesitaba.

### *Galileo y la caída de graves*

Lo que requería la ciencia que Galileo buscaba instituir era explicar los hechos concretos observados, demostrando que eran consecuencia de leyes generales. Su encuentro con el telescopio retrasó sus investigaciones cinemáticas. Habrían de pasar más de treinta años antes de que un anciano Galileo, confinado en su villa de Arcetri, formulase en su «Discorsi» de 1638 «algunas de las propiedades del movimiento acelerado (cualesquiera que pueda ser la causa de esta aceleración); entendiendo por tal un movimiento en que el momento de su velocidad va aumentando después de su salida del reposo en proporción simple al tiempo, que es lo mismo que decir que en intervalos iguales de tiempo el cuerpo recibe incrementos iguales de velocidad; y si hallamos que las propiedades [del movimiento acelerado], que serán demostra-

<sup>50</sup> Universidad Gregoriana, Roma, APUG-FG, Cod. 713, sin paginar (citado por Wallace).

<sup>51</sup> La evidencia es indirecta: Carta de M. Guiducci a Galileo, 13-IX-1624, Opere, vol. XIII, p. 205; véase también: Galileo and his Sources», pp. 269-271.

<sup>52</sup> W. Wallace, «Galileo, the Jesuits...», *op. cit.*, cap. VI, p. 10.

das más tarde, se realizan en los cuerpos que caen libremente y acelerados, podemos concluir que la definición supuesta incluye ese movimiento de los cuerpos pesados y que su velocidad va aumentando con el tiempo y la duración del movimiento»<sup>53</sup>.

Originalmente, en 1604, Galileo pretendió haber demostrado su teorema del espacio,  $e=(1/2).at^2$ , a partir del axioma de que la velocidad instantánea era proporcional a la distancia de caída —la misma idea defendida por Alberto de Sajonia—. Como demostró Duhem, lo que en realidad sucedió es que, por un curioso error, supuso Galileo en su razonamiento, sin advertirlo, que la velocidad instantánea era proporcional al tiempo (es decir, ¡la fórmula de Soto!). Ese mismo «error» fue cometido años más tarde por Descartes. Es probable que Galileo hubiera descubierto su error y formulado correctamente la ley de la aceleración y el teorema del espacio hacia 1609, aunque no lo publicó hasta 1638 en su «Discorsi».

Observamos, pues, que la influencia de las ideas de Soto sobre Galileo pudo ser decisiva, no sólo a través de la Compañía de Jesús. Domingo de Soto pudo haber tenido una influencia independiente sobre el pensamiento científico del Norte de Italia: él mismo estuvo presente en el Concilio de Trento, desde diciembre de 1545, y asistió en 1546 al Capítulo General de su Orden en Roma. Su obra fue publicada no sólo en Salamanca, sino también en Venecia en 1582 y en Duaci en 1613. Incluso existe la posibilidad de que Soto haya tenido algún efecto sobre Giovanni Battista Benedetti<sup>54</sup>, de quien Galileo tomó algunas ideas muy importantes acerca de la independencia de la velocidad de caída respecto del tamaño de los cuerpos.

Como dato significativo, podemos indicar las circunstancias de la verificación de los experimentos de Galileo sobre caída de cuerpos, realizada por el también jesuita Giambattista Riccioli —discípulo de Biancanni— en Parma<sup>55</sup>. Riccioli inició el trabajo experimental sobre caídas de graves en 1629. Obtuvo permiso para leer a Galileo después de su condena<sup>56</sup>. En un primer momento pensó que Galileo estaba en un error, aunque luego encontró que acertaba en sus afirmaciones: «En aquel tiempo yo no había llegado todavía a

<sup>53</sup> G. Galilei, «Discorsi e dimostrazione matematiche intorno à due nuove scienze», Leyden, 1638, Tercera Jornada.

<sup>54</sup> Wallace explora esta cuestión en su ensayo «Science and Philosophy at the Collegio Romano in the Time of Benedetti», Acts of the International Congress «G. B. Benedetti e il suo tempo», Venecia, 3-5 oct. 1985.

<sup>55</sup> Estos experimentos se describen en: A. Koyré, «Methaphysics and Measurements: Essays in the Scientific Revolution», Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press, 1968, pp. 102-108.

<sup>56</sup> Sobre el proceso a Galileo: I. Sols y J. J. Pérez Camacho, «El Proceso al Copernicanismo y a Galileo. Contrapuntos», Atlántida n. 15 (1993), pp. 5-19.

los mejores y más evidentes experimentos que manifiestan no sólo la desigualdad en el movimiento de los cuerpos pesados, sino el verdadero incremento de sus velocidades, aumentando *uniformiter disformiter* hacia el final del movimiento»<sup>57</sup>. Riccioli emplea la terminología de los *Calculatores*, enseñada por Domingo de Soto, al interpretar los resultados experimentales. Sin duda la tradición de Soto se mantuvo viva en Italia hasta la mitad del siglo xvii, en los ambientes que Galileo respetaba y frecuentaba.

### **La dinámica de Domingo de Soto: velocidad del movimiento por la causa**

#### *La ley peripatética del movimiento*

Galileo afirma en su tratado «De Motu Antiquora»<sup>58</sup> que nadie hasta entonces se había atrevido a cuestionar la regla de Aristóteles empleada para calcular velocidades de caída de graves en diversos medios. Tal vez fuese su deseo de remarcar la independencia de su descubrimiento lo que le movió a esta declaración. De hecho esta regla fue discutida, y con frecuencia modificada, por los comentaristas medievales y renacentistas del filósofo<sup>59</sup>.

La dinámica de Aristóteles establece el movimiento como resultado de la interacción de dos fuerzas: la fuerza motriz y la resistencia del medio. En el séptimo libro de la física establece, con carácter general, la velocidad de los cuerpos como proporcional a la fuerza motriz e inversamente proporcional a la resistencia del medio. En notación actual:  $v \propto f/r$ . El cociente no fue expresado por Aristóteles, de modo que sus comentaristas posteriores interpretaron y modificaron la ley original para intentar un acuerdo con lo observado. Esta ley indica que en ausencia de medio, el movimiento sería instantáneo al no existir resistencia (fue un argumento empleado por el estagirita para rechazar la posibilidad del vacío). Propuso que en un medio dado los cuerpos de distinta materia, pero de la misma forma y tamaño, caerían con velocidades proporcionales a sus pesos diferentes.

Tres eran los grandes problemas que no explicaba la ley: 1) Para cualquier valor de fuerza (por pequeña que sea) y para cualquier valor de la resistencia (por grande que sea) se obtendría una velocidad finita, contra la expe-

<sup>57</sup> G. Riccioli, «Almagestum novum», 1661, p. 385.

<sup>58</sup> Opere vol. I, p. 284.

<sup>59</sup> Véase, por ejemplo, M. Clagett, «Giovanni Marliani and Late Medieval Physics», Tesis Doctoral. Columbia Univ. Press, Nueva York, 1941, cap. VI, pp. 125 y ss.

riencia; 2) ¿Cuál sería el motivo del aumento de la velocidad en la caída de los cuerpos?; 3) ¿Cuál sería la fuerza motriz que mantiene los proyectiles en movimiento? Las diversas modificaciones posteriores de la ley iban encaminadas a superar estos obstáculos.

En el siglo vi Juan Filopón de Alejandría defendió que en el vacío un cuerpo caería con la velocidad característica de su gravedad. En el aire esa velocidad se reduciría en proporción a la resistencia del medio. El árabe español Avempace siguió esta formulación, que podemos expresar:  $v \propto f \cdot r$ . Así el movimiento en el vacío podría realizarse a velocidad finita.

Averroes, Alberto Magno, Gil de Roma y otros autores medievales criticaron la expresión de Avempace. Pretendiendo restaurar la ley original de Aristóteles, Averroes afirmaba que la velocidad se seguía del exceso de la fuerza sobre la resistencia del medio. El término «exceso» fue empleado durante la Edad media de dos formas diferentes: exceso aritmético, diferencia entre lo mayor y lo menor,  $f-r$ ; y exceso geométrico, proporción entre lo mayor y lo menor,  $f/r$ . Averroes se refería al segundo: proporción entre la fuerza y la resistencia. Algunos autores del siglo xiii defendieron que el movimiento sólo se produciría si  $f/r > 1$ .

Thomas Bradwardine, en su «Tractatus Proportionum» (1328), propuso una nueva expresión:  $v \propto \log(f/r)$ , según la cual si la resistencia y la fuerza son iguales, no hay movimiento. Su influjo fue notable, y su ecuación fue acetada en el siglo xiii por Heytesbury, Dumbleton, Swineshead, Buridan, Alberto de Sajonia y Oresme. Se aceptó casi universalmente como la verdadera ley de Aristóteles. Pero hubo también importantes partidarios de Avempace, como Tomás de Aquino, Roger Bacon y Duns Scoto. El mismo Galileo, siglos más tarde, defendería en sus primeros escritos esta postura, estableciendo para la velocidad de caída:  $v \propto \text{peso}_{\text{cuerpo}} - \text{peso}_{\text{aire}}$ .

Ya en el siglo xvi, destaca la crítica de Giambattista Benedetti (1530-1590), sin duda el más interesante de los físicos italianos del renacimiento —junto con Leonardo—, expresada en su «Demonstratio Proportionum Motuum localium contra Aristotelem» (Venecia, 1554). Aplicando la expresión a la caída de los cuerpos, Benedetti afirma que en la ley correcta para la velocidad de caída no es el peso el que entra en juego, sino el peso específico del cuerpo (su peso por unidad de volumen). Podríamos expresarlo como:  $v \propto \text{peso específico} = \text{peso/volumen}$ . La consecuencia de esta ley es la afirmación, realizada expresamente por el italiano, de que todos los cuerpos de la misma materia, grandes y pequeños, caen a la vez. Su influencia es palpable en las obras de Galileo.



*La ley del movimiento según Soto: Resistencia Interna*

Tres años antes del libro de Benedetti, en 1551, Soto había publicado una modificación de la ley aristotélica que merece nuestra atención. Es expresada por Soto en la cuestión cuarta al libro séptimo: «Si la velocidad del movimiento, por parte de la causa, es alcanzada según la proporción entre la fuerza motriz y su propia resistencia.» Con su claridad habitual expone la terminología:

*«Y tanto la fuerza activa como la que resiste puede ser o inherentemente interna al móvil, o [de modo] adyacente extrínseca; como cuando un grave cae, la misma gravedad es una fuerza interna, y la que algo arroja es extrínseca. El mismo medio por el que cae, sea agua o sea aire, es una resistencia extrínseca»*<sup>60</sup>.

*«La velocidad del movimiento es alcanzada en cuanto a la causa según la proporción de los agentes sobre sus propias resistencias»*<sup>61</sup>. «Esta proporción (como indicamos en el tratado de las proporciones) se dice *proporcionalidad geométrica*. La conclusión es la de Pablo de Venecia, Heytesbury, y como ciertamente afirman los comentadores de Aristóteles consintiendo. Y aunque nunca hubiere sido expresada en estos términos por Aristóteles, se colige así de sus siete reglas»<sup>62</sup>.

La expresión de Soto sería:  $v \propto f_{\text{motriz}}/r_{\text{interna}}$ . Y supone que la regla sólo es válida cuando  $f/r > 1$ .

Poco antes aclaraba: *«Lo que es movido es una resistencia, que ha de ser superada por la fuerza motriz»*<sup>63</sup>. Sobre el carácter de esa resistencia no hay lugar a dudas: Soto concibió la resistencia 1) como interna (hoy diríamos masa

<sup>60</sup> «Atque tam virtus activa: quam quae resistit esse potest, aut interne inherens mobili, aut extrinsecus adiacens ut dum grave cadit, gravitas ipsa est interna virtus. Et si quis illud expellat, est extrinseca», Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 94, col. c.

<sup>61</sup> «Velocitas motus penes causam attenditur penes proportionem proportionum agentium super suas ipsarum resistantias», Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 95, col. a. La expresión «proportionem proportionum» no está libre de confusión. En la tradición de Bradwardine la «proporción de proporciones» se entendió como una progresión geométrica, que conduce a la citada expresión  $v \propto \log(f/r)$ . Sin embargo, no todos los autores medievales y renacentistas entendieron esto. Un ejemplo es Marliani, quien por «proportionem proportionum» entendió la simple razón entre el motor y lo movido. Nos hemos inclinado por esta interpretación en el caso de Soto, a la luz de sus ejemplos numéricos, que eliminan toda posible duda de que se refiere a la ley:  $v \propto f_{\text{motriz}}/r_{\text{interna}}$ .

<sup>62</sup> «Conclusio est, quam Paulus Venet. Hentisber. & ferme enarratores Aristotelis consentientes affirmant. Nam & si nusquam fuerit ab Aristotele sub his terminis constituta, colligi eam tamen existimant ex suis regulis septem», Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 95, col. a.

<sup>63</sup> «Quod movetur est resistentia quae a virtute motrice superanda est», Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 93, col. c.

inerte) y no sólo resistencia externa del medio; 2) como proporcional al peso, «Si Pedro lanza una piedra con proporción doble entre su fuerza motriz y la resistencia de la piedra, en el caso de [que lance en cambio] *lana doblemente menos pesada, sobre la que posee una proporción doblemente mayor (...)*»<sup>64</sup>. El término «resistencia» formaba parte de todas las expresiones propuestas, durante la Edad Media y el Renacimiento, para la ley del movimiento. Con frecuencia se refería claramente a la resistencia del medio. En otras ocasiones se mencionaba de modo confuso, junto a la resistencia del medio, otra resistencia interna. No hemos encontrado una expresión tan clara del concepto de resistencia interna en ningún autor anterior a Soto. Esta *resistencia interna* es proporcional al peso, y debe ser superada para producir el movimiento. Sin duda es un claro antecedente de la *resistenza interna* de Galileo, cuyo concepto expresa Salviati:

«Si no hay en el móvil, además de la inclinación natural, hacia la dirección opuesta otra cualidad intrínseca y natural que la hace resistir al movimiento, dime pues, una vez más: ¿No crees que la tendencia de los cuerpos pesados a moverse hacia abajo, por ejemplo, es igual a su resistencia a ser movido hacia arriba?»<sup>65</sup>.

Como observa Crombie, la distinción entre peso y masa «estaba implicada en la hipótesis de Galileo de que en el vacío todos los cuerpos caerían con la misma aceleración, estando las diferencias de peso contrabalanceadas exactamente por las diferencias iguales de la masa. Era imposible que Galileo hiciera esta distinción claramente, porque el peso era para él todavía una tendencia intrínseca hacia abajo, no algo que dependía de una relación extrínseca con otro cuerpo atrayente, tal como había sido sugerido por Gilbert y Kepler por analogía con el magnetismo e iba a ser generalizado por Newton en la teoría de la gravitación universal. Sin embargo, la teoría de que había una resistencia intrínseca (*resistenza interna*) al movimiento, igual al peso o cantidad de materia del cuerpo, dio a Galileo su definición y medida del momento y le permitió abordar el problema de la persistencia del movimiento de una manera que hacía inevitable el concepto de inercia»<sup>66</sup>.

El concepto de resistencia interna (que Newton llamaría masa inercial) es claro en Domingo de Soto: «¿Por qué no es absurdo [no es ineptitud] decir

<sup>64</sup> «Et si Petrus iaciat lapidem a proportione dupla inter vim suam motricem, & lapidis resistantiam, tñ lana duplo leuiorem, super quam habet duplo maiorem proportionem (...)», *Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 94, col. b.*

<sup>65</sup> G. Galilei, «Diálogo en torno a los Sistemas Principales del Mundo» (1632), Segunda Jornada.

<sup>66</sup> A. Crombie, «Historia de la Ciencia: de Agustín a Galileo», Alianza Universidad (1974), vol. II, p. 140.

que a mayor mole, mayor resistencia?»<sup>67</sup>. Y tiene para él una expresión cuantitativa: es proporcional al peso, como se deduce de sus ejemplos. Aún más claramente es expresado por su discípulo Francisco de Toledo:

«La velocidad del movimiento consiste en el exceso de la fuerza sobre la resistencia: (...) porque la resistencia está en el cuerpo [Quia resistentia est in corpore]»<sup>68</sup>. «El caballo no es fuerza motriz pura, sino que a la vez tiene resistencia, pues su cuerpo le resiste, y no sólo el peso. (...) No sólo la piedra tiene resistencia, sino la densidad del aire, (...), por las que resisten a la fuerza motriz»<sup>69</sup>.

### *La Resistencia Interna: de Soto a Galileo*

El rastro de esta doctrina enseñada por Soto puede seguirse a través de las lecciones de los jesuitas del Colegio Romano.

Antonio Menu —en lecciones anteriores a 1582— afirma que «El movimiento de un cuerpo, simple o compuesto, a través del vacío será sucesivo; concedido que no encontrase una resistencia extrínseca, habría todavía una resistencia intrínseca que superar»<sup>70</sup>. Para Menu,  $v \propto f/r$ , y la proporción entre el motor y lo movido genera una resistencia intrínseca. Al rechazar los argumentos de Aristóteles contra la existencia del vacío, explica que todos ellos están basados en la resistencia extrínseca del medio, y por tanto no son válidos al considerar la resistencia intrínseca. Rechaza sin embargo que dos móviles (uno ligero y otro pesado) puedan tener la misma velocidad en el vacío, o que puedan tener la misma velocidad en un medio.

Ludovico Ruggiero, profesor del Colegio Romano en 1591, sugiere que para la discusión de las reglas de Aristóteles del libro séptimo de la Física, sobre las relaciones entre velocidad, fuerza y resistencia, el alumno debe acudir a los escritos de Toledo y Domingo de Soto, entre otros»<sup>71</sup>.

Como contrapunto, y también en el Colegio Romano, Muzio Vitelleschi rechaza expresamente la existencia de una resistencia interna, y es contrario a la posibilidad del movimiento en el vacío. Acepta la ley de proporcionalidad simple, y supone que al caer los graves, se aceleran debido a la disminución de la resistencia del medio.

<sup>67</sup> «Quare non dicretur inepte quod maior mole maior est quodammodo resistentia», *Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 95, col. d.*

<sup>68</sup> F. Toledo, *op. cit.*, p. 447.

<sup>69</sup> F. Toledo, *op. cit.*, p. 448.

<sup>70</sup> Cod. Ueberlingen, 138 (sin paginar), tract. 4, disp. 2, cap. 10 (citado por Wallace).

<sup>71</sup> Cod. SB. Bamberg, G2-4, fol. 101r-v (citado por Wallace).

De mayor interés es la figura de Stephano del Búfalo, que enseñó en el Colegio en 1597. Existen paralelismos notables de las lecciones de Del Búfalo <sup>72</sup> y el contenido de las «Cuestiones Físicas» de Galileo <sup>73</sup>. Los dos parecen haber usado una fuente común, tal vez la obra de Paolo Valla. Del Búfalo escribió: «Decimos que la resistencia es la permanencia de la cosa en su *esse* contra la acción contraria. (...) La potencia es la causa de la resistencia; (...) sin la cual no hay resistencia». Galileo afirmó: «La resistencia es la permanencia en el propio estado contra la acción contraria (...) La potencia natural o la impotencia siempre está en la cosa, la cosa no siempre resiste, sino solamente cuando está presente la acción contraria.»

¿Ejerció un influjo real sobre Galileo la concepción de Domingo de Soto sobre la resistencia interna? Es difícil por el momento una respuesta taxativa, pero hemos aportado evidencias que apuntan en esa dirección.

### Soto y la velocidad de caída en el vacío

Soto propuso su ley,  $v \propto f_{\text{motriz}}/r_{\text{interna}}$ , con carácter general; sería válida para todo tipo de movimiento. Sin embargo, como Newton demostrará, no es necesaria una fuerza para la persistencia del movimiento. La ley de Soto será válida sólo para una fuerza que actúa constantemente. De modo que el ejemplo natural a considerar en la aplicación de su ley es el movimiento de caída de graves. Soto no la consideró expresamente, pero nosotros vamos a formular una pregunta a la que trataremos de responder empleando las ideas de Soto. La cuestión será: «¿cuál es la expresión de la velocidad de caída de los cuerpos en el vacío?»

Puesto que el profesor segoviano afirma: «en el movimiento de graves y leves por el vacío, donde no hay resistencia [extrínseca] (...), también son movidos en el tiempo por una fuerza finita» <sup>74</sup>; no tenemos que considerar más que la resistencia interna. Soto tendría dos respuestas:

$$1 \quad v \propto t$$

<sup>72</sup> Biblioteca Nacional de Lisboa, Fundi General, Cod. 2382, fols. 129v-130r (citado por Wallace).

<sup>73</sup> G. Galilei, Manuscrito MS46, «Juvenalia», Opere vol. I, pp. 7-177; para la comparación de textos véase: «Galileo and his Sources», pp. 87-88.

<sup>74</sup> «In motu vero gravium aut levium per vacuum ubi nulla est resistantia (...), nempe quod tunc etiam movebuntur in tempore propter finitam virtutem», Quaestiones lib. 7, q. IV, fol. 95, col. d.

donde t=tiempo

$$2 \quad v \propto \frac{P}{r_{\text{interna}}}$$

donde P=peso (fuerza motriz para el grave)

La unión de estas dos partes de la ley daría un resultado simple:

$$v = \left( \frac{P}{r_{\text{interna}}} \right) \cdot t$$

Se deduce de sus ejemplos que entendía la resistencia interna (masa) como proporcional al peso. Si llamamos «g» a la constante de proporcionalidad:  $P = r_{\text{interna}} \cdot g$

$$v = \left( \frac{r_{\text{interna}} \cdot g}{r_{\text{interna}}} \right) \cdot t = g \cdot t$$

Por tanto, la velocidad de caída de los graves en el vacío aumenta proporcionalmente con el tiempo. Este aumento será explicado en las cuestiones al libro octavo: el ímpetu que recibe el grave al caer hace aumentar su velocidad. Para Soto, *una mayor resistencia implica una mayor capacidad de recibir el ímpetus*<sup>75</sup>. Este es un dato más que sostiene la sugerencia de que esa resistencia interna es lo que Newton llamaría masa inercial. Otra consecuencia es que la velocidad de caída de los cuerpos no dependerá de su tamaño, ni tampoco de su naturaleza. Por tanto, *Soto habría respondido así a nuestra pregunta: «Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma velocidad, que aumenta de modo uniformemente disforme con el tiempo de caída.»*

Ante el resultado de nuestro análisis de las aportaciones de Domingo de Soto a la física, proponemos esta consideración: es en la década que abraza las obras de Copérnico (1543), Soto (1551) y Benedetti (1554) donde debemos situar la línea divisoria entre la ciencia del Renacimiento y la ciencia moderna. Tras una lenta maduración, al fin sus ideas contaron con un magnífico aliado en Galileo Galilei.

<sup>75</sup> Quaestiones lib. VIII, vol. 101, col. a.