

Aceleración y caída de los graves en Oresme. Sobre la inaplicabilidad del teorema de la velocidad media (Parte II)

Autor:

Daniel Di Liscia

Revista:

Patristica et Mediævalia

1993, 14, 41-56



Artículo

ACELERACION Y CAIDA DE LOS GRAVES EN ORESME

Sobre la inaplicabilidad del teorema
de la velocidad media

(Parte II) **

DANIEL A. DI LISCIA *

eración e *impetus*

Este apartado voy a exponer la teoría oresmiana del movimiento natural de los graves. Mi propósito es tanto determinar el concepto de *impetus* en sí mismo como, sobre todo, especular acerca del tipo de aceleración que se aplica a la caída.

En el análisis de dónde se encuentra la velocidad máxima, advierte que en general se acostumbra distinguir entre movimientos naturales (más veloces al fin), violentos (más veloces al comienzo) y voluntarios (más veloces en el medio). No obstante, una clasificación más acertada de los movimientos locales, "du commencement et fin" sería ⁴⁰:

La primera parte de este artículo se publicó en *Patristica et Medievalia* XIII (1992).

Centro de Estudios de Filosofía Medieval. CONICET, Beca de perfeccionamiento.

L'enault dire que les mouvemens naturelz son plus isnelz en les violens ou commencement et les volontaires ou milieu. Mais proprement entendre, l'en doit savoir que des mouvemens localz commencement et fin sont .iiii. manieres: les uns sont purement comme quant la chose pesante descent droit en bas; les autres violens si comme quant chose pesante monte droit en haut; les violens non pas purement, si comme quant chose est gectee ou travers come seroit une secte; les autres sont faiz par vertu

1. Puramente naturales: una piedra descende rectamente. La velocidad va siempre aumentando y “reforzándose”.

2. Puramente violentos: una piedra lanzada rectamente hacia lo alto. Al comienzo va en aumento y al fin va retardando y “debilitándose”.

3. Violentos pero no puramente: una flecha o un objeto lanzado lateralmente. Es igual a 2 salvo que el aumento de velocidad dura más y, por tanto, su velocidad máxima se encuentra más lejos del comienzo que aquél pero, presumiblemente, no está todavía en el centro.

4. Producidos en virtud del alma del animal o del hombre: correr, nadar, volar, etc. Su velocidad mayor se encuentra en el medio.

Nos ceñiremos al caso 1 y a un aspecto de los casos 2 y 3 que veremos luego. La caída de los graves es un caso ejemplar de movimiento puramente natural. Me referiré a ella desde el final del “primer intervalo”, i. e. cuando la gravedad ya se ha aplicado en su totalidad.

Una vez que la gravedad —motor interno, i. e. *causa*, del movimiento *deorsum* del grave— es aplicada en toda su magnitud, se convierte en una fuerza constante. Es un hecho que la velocidad aumenta y se trata de dar cuenta de ello. Para tal fin debe aumentar la fuerza. La motivación de la aplicación de la teoría del ímpetus a la caída de los cuerpos, reside en la doble exigencia de que la fuerza debe aumentar pero, a su vez, de que la única fuerza disponible —la gravedad— no puede aumentar. Ella es una cualidad esencial de los cuerpos graves y la diferencia de su magnitud distingue a un grave de otro. Sin embargo, la gravedad produce a causa de su aplicación “parte tras parte”, un movimiento inicial acelerado. Ese movimiento inicial produce una nueva cualidad motriz llamada *force, impetuosité* o *reueur*. Según Oresme, ella “ayuda” en la continuación del movimiento de los proyectiles y crece tanto como crece la velocidad, i. e. es proporcional —podríamos decir— a la aceleración.

d'ame de beste ou de honme, si comme aller, voler, noer. Les premiers ou le premier, qui es pur naturel, va tousjours en enforçant et en cresance de ysneleté se les autres choses sont pareilles, si comme quant une pierre descent tout droit par le aer. Le secont, si comme d'une secte traicte droit en haut, va au commencement en enforçant et vers la fin en afflebliant et retardant; et le tiers aussi, fors que il va plus longuement en enforçant et est sa grant vertu ou force plus loing du commencement que en celui qui est pur violent. Et le quart es plus fort vers le milieu” (LCM II, 13, 61-75, p. 414).

Item, par l'acressement de ceste isneleté est acquise et causée en la chose meue une qualité motive nouvelle laquelle nous poons nommer *force* ou *reueur*, et ceste qualité ou reueur fait aide en mouvement naturel et meut la chose meue violement quant elle est separee du premier moteur ou motif. Item la generacion de ceste qualité ou reueur crest et enforce tousjours tant comme l'acressement de l'isneleté crest et enforce ⁴¹.

Notemos que la gravedad no causa por sí misma un *impetus*. Este es un producto del *movimiento*, el cual, a su vez, resulta de un primer intervalo en el cual la gravedad es la única fuerza positiva. Dado que este movimiento es acelerado —según el principio que explicamos antes—, el *impetus* será proporcional a la aceleración ⁴².

Si, por un lado, la aceleración *causa* un *impetus*, también es cierto a la inversa: el *impetus* causa una variación de velocidad. Oresme no subraya este lado de la cuestión en el *LCM*, quizá porque aquí se conforma con emplear la noción de *impetus* para establecer que no es la gravedad esencial la que aumenta sino una cierta *gravedad accidental*. Pero en otros textos habla claramente del *impetus* como causa de la aceleración, i. e. como causa de la velocidad mayor *in fine* ⁴³.

Ahora bien, si la suma de G (= gravedad) más I_1 ($I = \textit{impetus}$) provoca un aumento de velocidad en relación a la velocidad V_1 producida por la acción completa de G sola, el total de los factores dinámicos debe aumentar de alguna manera para que siga existiendo aceleración; de lo contrario $G + I_1$ producirían una $V_2 > V_1$, pero V_2 seguirá constante. La solución para esto es aumentar el único factor que puede aumentar en el total de las fuerzas o factores dinámicos involucrados: la *gravitas accidentalis* o *impetus*. Entonces, $V_3 > V_2$ es producida por $G_0 + I_2 > I_1$, y así en adelante manteniendo constante G y aumentando I .

Según esta reconstrucción, el aumento del total de las fuerzas mediante el aumento del *impetus* provoca un aumento de la velocidad. Si intentamos determinar más precisamente cómo es

⁴¹ *LCM* II, 13, 94-100, p. 414, énfasis mío. Oresme emplea *reueur*, *force* e incluso *impetuosité* para lo que aquí expresaremos de manera más sencilla como *impetus*.

⁴² Es probable que sólo en esto resida la diferencia entre Buridán y Oresme en relación al *impetus* como proporcional a la velocidad o a la aceleración. Si así fuera, para Buridán la relación causa-efecto o, en la dinámica, la aplicación de la fuerza a la resistencia que produce una velocidad, sería instantánea. Como quiera que sea, no hay *impetus* en el reposo.

⁴³ Cf. A. Maier, *Zwei Grundprobleme*, op. cit. (*supra* n. 29), p. 244 y ss.

este aumento de velocidad según el LCM nos encontramos con dos afirmaciones difíciles de compatibilizar. Arriba hemos citado un texto en el que leíamos que el *impetus* aumenta en tanto haya aumento de velocidad, incluso si disminuye la proporción de aumento. Este es, según Oresme, un criterio rector para establecer las tres fases de todo movimiento violento ⁴⁴:

a) El motor y el móvil están juntos: aumenta la velocidad y aumenta asimismo la aceleración. En consecuencia, aumenta el *impetus*.

b) El motor y el móvil se separan: la velocidad sigue aumentando, pero disminuye progresivamente la cantidad de aumento hasta cesar. Cuando cesa la aceleración cesa el aumento de *impetus*.

c) La gravedad natural del móvil hace disminuir el *impetus*, de suerte que el movimiento se retarda y aquél disminuye hasta desaparecer.

Como sabemos, el *impetus* es "causa del movimiento violento y ayuda además en el movimiento natural". Ahora bien, el movimiento natural es análogo a la primera fase del violento en la que el motor está junto con el móvil. La diferencia consiste —descontando el medio— en que en el movimiento violento la gravedad del móvil actúa *contra* el movimiento, mientras que en el natural ella es el motor principal aliado al *impetus*. Pero notemos:

Item, en mouvement naturel, si comme quant une pierre descent, ceste qualité est touzjours conjointe avecques la pesanteur naturelle, et ce est la cause pourquoy la generacion de l'isneleté et de ceste qualité viennent tousjours en cressant, car la pesanteur et la nouvelle qualité tendent a un terme ⁴⁵.

⁴⁴ "Et pour ce, en mouvement violent a .iii. estas ou .iii. parties; une est quant la chose meue est conjointe avecques l'instrument qui fait la violence et lors l'isneleté va en cressant, <et la generacion ou acressement de isneleté va aussi en cressant> se il n'i a empeeschement par accident. Et par ce que dit est s'ensuit que l'acressement de ceste qualité ou redeur va aussi en cressant. Secondement, quant la chose meue violentement est separée de tel instrument ou premier motif, encore va l'isneleté en cressant, mais la generacion, enforcement ou cressance de ceste isneleté vient en appetizant et finalement cesse, et lors l'isneleté ne crest plus ne celle qualité ou redeur. Et commence le tiers estat.. Et lors la qualité naturelle de la chose meue, si comme est pensanteur, fait appeticier ceste qualité ou redeur qui enclinoit contre le mouvement naturel de la chose, et va le mouvement en retardant et la violence en appetizant et finalement cesse" (LCM II, 13, 102-14, p. 416). Menut advierte al pie de página que el ms. A. (Paris, Bibl. Nat., ms. franç. 1082) omite el pasaje entre <>.

⁴⁵ LCM II, 13, 140-3, p. 418.

El hecho de que Oresme diga aquí “la generacion de l’isneleté” y no simplemente “l’isneleté”, permite interpretar que aumenta la aceleración y no meramente la velocidad. Si éste fuera el caso, estaríamos en presencia de un aumento divergente del tipo descrito antes como l.b.i., lo cual parece compatible con la descripción de la velocidad en la primera fase del movimiento violento, en el cual “l’isneleté va en cressant, <et la generacion ou acressement de isneleté va aussi en cressant>”⁴⁶. A la vez, coincidiría con el texto inmediatamente siguiente, cuyo propósito es establecer que si un grave descendiera sin fin y su velocidad aumentara sin fin, la gravedad que aumenta sin fin es una “pesanteur accidentele” y no la gravedad original que “encline a descendre”⁴⁷. Sin embargo, Oresme introduce una cláusula que, cuando menos, mueve a confusión: “car la pesanteur et la nouvelle qualité tendent a un terme”. Este “terme” es mencionado más abajo como *velocidad límite* cuando Oresme comenta un pasaje del *De caelo* que, en su propia traducción, dice:

Mais encore n’est ce pas possible que l’isneleté du ciel creust et enforçast tousiours perpetuelment, car ainsi le mouvement du ciel seroit infini et non déterminé. Et nous avons autre fois dit que *tout mouvement est déterminé et est de aucum terme et en aucum terme*⁴⁸.

Nada hace pensar que Aristóteles esté haciendo referencia a algo distinto de los términos *a quo* y *ad quem* de todo movimiento⁴⁹. No obstante, Oresme interpreta estos términos —haciendo además referencia a la *Física*— como límites de velocidad. Al menos sin duda con respecto al término final que es el relevante aquí:

De ce fu dit ou sixte de Phisique et est a entendre quant a isne-

⁴⁶ Cf. *supra* n. 44.

⁴⁷ “Item, et pous ce dist Aristote ou xviii.^e chapitre du premier que se une chose pesante descendoit touzjours sanz fin, l’isneleté de elle cressoit <tousjours> sans fin et aussi la pesanteur de elle; et par ceste pesanteur doit estre entendue ceste qualité nouvelle, car elle est comme pesanteur accidentele pour ce que en ce cas elle encline a descendre, combien que en aoutre cas elle inclinast en haut ou en travers ou autrement” (*ibidem*, 143-9, p. 418).

⁴⁸ LCM II, 14, 114-5, p. 424, énfasis mío.

⁴⁹ El texto traducido corresponde al *De caelo* II, 6, 288b 27-30 y en la traducción francesa que empleamos (cf. *supra* n. 26) dice: “Mais il n’est pas possible qu’il s’accélère toujours ou qu’il ralentisse toujours, car, alors, ce mouvement serait infini et indéterminé. Or nous avons dit que *tout mouvement mène d’un lieu dans un autre et est déterminé*” (p. 70, énfasis mío). Si el cuerpo acelerara o desacelerara al infinito, se perdería la determinación *local* de su movimiento.

leté, car il convient que elle soit terminee a aucun certain degré ou autrement elle procederoit en cressant sanz fin ou en appetçant sanz fin ⁵⁰.

Contrariamente a las *questiones*, Oresme no dice expresamente en el LCM cómo aumenta la velocidad de los graves. En rigor parece interesado tan sólo por dar cuenta causalmente de la velocidad mayor *in fine*. En algunos pasajes hemos visto que la aceleración produce *impetus* y, a la inversa, éste causa aceleración. Asimismo, Oresme dice que en la primera fase del movimiento violento el motor está junto con el móvil y que, en tal caso, aumenta la "generación" del *impetus* y de la velocidad, es decir aumenta la aceleración. De aquí parece seguirse un aumento exponencial de la velocidad sin término tal que toda velocidad dada sería excedida si el movimiento continuara al infinito. Esta forma de aceleración sería asimilable a aquella l.b. de las *questiones* y, de ninguna manera, podría corresponder al teorema de la velocidad media.

Por otra parte, y en aparente incompatibilidad con lo recién dicho, tenemos la clara mención de Oresme a un *terme* o límite de velocidad. En tal caso debemos preguntarnos: ¿cómo acelera el grave hasta ese término? Si respondemos "uniformemente", debemos tener en cuenta: a) en este caso, será necesario concebir que el cuerpo acelera uniformemente hasta un límite y luego, presumiblemente, se mantiene con velocidad uniforme. Por ello la aceleración uniforme de la que se hablaría aquí diferiría radicalmente de la mencionada en las *questiones*, pues en éstas tal tipo de aceleración estaba incluida dentro de aquellas que siguen *in infinitum* excediendo toda velocidad dada. Además, b) ello significaría que el teorema no sería aplicable a toda la caída sino tan sólo al trayecto comprendido entre el instante en que G actúa sola y el *terme*. Así pues, parece aconsejable descartar que la aceleración uniforme sea un resultado natural de la dinámica oresmiana del *impetus*. Finalmente, podemos todavía especular que la velocidad no aumenta uniformemente en relación al *terme*: la velocidad aumentaría disminuyendo su magnitud de aumento de suerte tal que la velocidad máxima nunca supere un límite. Esta explicación tiene la ventaja de su aparente compatibilidad con la concepción del *impetus* no permanente o autofatigable generalmente atribuida a Oresme,

⁵⁰ LCM II, 14, 116-8, p. 424, énfasis mío. La referencia según Menut corresponde a *Física* VI, 4, 234b 10-18 y 5, 235b 6-17, donde Aristóteles argumenta sobre la continuidad del movimiento a partir de los términos *a quo* y *ad quem*.

pues a medida que se agota el *impetus* disminuye la generación o *enforcement* de velocidad⁵¹. Pero Oresme ha negado en sus *questiones* que esta forma de aceleración corresponda a los graves.

Resumiendo: 1) si la acción del *impetus* no lleva a una velocidad límite, aumenta no sólo la velocidad sino también la aceleración; 2) si hay un término de velocidad: a) la aceleración sería uniforme sólo en el trayecto intermedio o, b) disminuirá el aumento de velocidad sin alcanzar el término. En cualquier caso no parece posible aplicar el teorema de la velocidad media a la caída de los graves. Los argumentos que siguen a continuación pretenden mostrar que incluso cuando Oresme hubiera aceptado que el grave acelera uniformemente, en todo su trayecto o en su parte intermedia, el teorema es inaplicable. Para ello será necesario recurrir a algunos de los puntos antes mencionados pues sostendré que la forma en que resultaría una posible aceleración uniforme mediante la dinámica de Oresme, hace que sin embargo ella no sea representable en una *configuratio*.

4) Proporcionalidad y aceleración

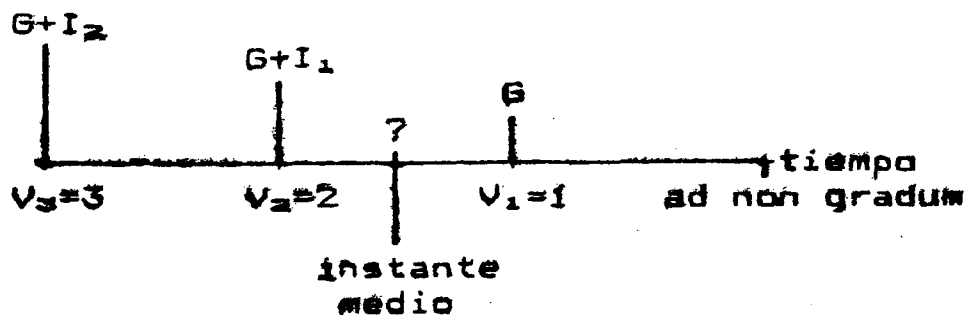
En el punto 1) hicimos mención a la aplicación no instantánea de las "fuerzas" con especial referencia al primer intervalo de la caída. Pusimos de relieve, además, que se encontraba allí una dificultad para la aplicación del teorema de la velocidad media a ese primer momento.

Ahora bien, dado que Oresme enuncia ese principio con notable grado de generalidad, estamos en condiciones de interpretar que él tiene validez no sólo para el primer instante sino para todo el recorrido. Si ello es así, cada vez que se apliquen fuerzas a resistencias, esa aplicación no será instantánea sino *in tempore*; lo cual debe trasladarse no sólo al momento inicial en que actúa.

⁵¹ No abundan los textos de Oresme sobre la naturaleza no permanente o autoagotable del *impetus*, y mucho menos sobre la naturaleza del *impetus* en general, pues "cum quaeritur, quae res est, dico quod non spectat ad naturalem sed ad metaphysicum", aunque "potest dici quod est quaedam qualitas de secunda specie" (en A. Maier, *Zwei Grundprobleme*, op. cit., supra n. 29, p. 248). No obstante, tal concepción es adjudicada comúnmente a Oresme. Cf. por ejemplo el libro citado recién de Maier y, para la noción de *impetus* en la escolástica, "Das Wesen des impetus", en *Zwischen Philosophie und Mechanik*, Roma, Edizioni di Storia e Letteratura, 1958, pp. 343-73; M. Clagett, *The Science of Mechanics*, op. cit. (supra n. 1), p. 552; W. Wallace, *Prelude to Galileo. Essays on Medieval and Sixteenth-Century Sources of Galileo's Thought*, Dordrecht-Boston-London, Reidel, 1981, p. 43, para mencionar sólo algunos ejemplos.

la gravedad sola, sino también cada vez que actúen juntos la gravedad y el *impetus*. En cada momento en que nos encontremos con $G + I$, ambos factores constituyen un único factor dinámico que empuja al cuerpo hacia su lugar natural, pero cada vez la aplicación de ambos "lleva un tiempo". En este lapso, no están garantizadas las proporciones de las velocidades instantáneas. Ellas pueden ser establecidas entre un instante en el cual la fuerza actúa plena y otro instante en que también la fuerza actúa plena. Si ello ocurriera siempre así, y si cada vez que la fuerza mayor actuando plenamente produjera un grado de velocidad mayor cuyo exceso es siempre el mismo, se podría establecer una *linea summitatis* y consecuentemente el área de la figura necesaria para representar la *quantitas qualitatis*. Sin embargo, dado el proceso causal *in tempore* de aplicación parcial de la fuerza, una velocidad instantánea V_3 no tiene como antecedente inmediato a V_2 sino a una velocidad intermedia entre ambas, producto de la aplicación todavía parcial de $G + I_2$. Un proceso tal tendría que ser representado sólo con intensidades, sin llegar a formar una *linea summitatis* y, por tanto, sin poder configurar una superficie.

Tomemos por ejemplo el siguiente diagrama, representando las velocidades 1, 2, 3 perpendiculares al tiempo. Para facilitar la lectura, anotemos las velocidades abajo y los factores dinámicos que las producen arriba. Las velocidades 1, 2, 3 aumentan uniformemente, pues sus excesos mutuos se mantienen para los mismos intervalos de tiempo. Ahora bien, G actúa parcialmente desde el instante inicial hasta el instante inmediatamente anterior en que produce V_1 . En el instante inmediatamente posterior actúan conjuntamente $G + I_1$. Pero lo hacen "parte tras parte", de suerte que la velocidad que ellos son capaces de producir es obtenida luego de un cierto intervalo. Así, podemos indicar con $G + I_1$ la fuerza que en un instante determinado produce V_2 , recordando sin embargo que en los instantes anteriores también actuaron G e I_1 , sólo que lo hicieron parcialmente. Y lo mismo en adelante:



Dado que no sabemos en qué forma tiene lugar la aplicación de las fuerzas, no sabemos si hay uniformidad entre cada velocidad. Pero debemos hacer de nuevo la misma observación que hicimos oportunamente: no se trata de una cuestión epistemológica de "indeterminación", sino de la imposibilidad de establecer relaciones proporcionales. No es que las proporciones no son cognoscibles o representables; es que no existen, pues todo movimiento comienza *ad non gradum* y, entonces, no se puede establecer una proporción entre una velocidad y la inmediatamente anterior.

Supongamos incluso que la aplicación de las fuerzas fuera uniforme, ¿qué magnitud correspondería inmediatamente antes que V_2 ?, ¿qué proporción guarda la V_3 con la primera velocidad parcialmente producida luego por $G + I_3$? En nuestro anterior análisis de la *qualitas uniformiter difformis* hemos visto que la proporción entre los aumentos se mantiene para toda latitud en cualquier parte del sujeto o del tiempo. En este caso, la proporción uniforme debiera mantenerse entre todas las velocidades que corresponden a un mismo factor dinámico y, además, entre la última correspondiente a un factor dinámico y la primera del siguiente.

La "ley de Bradwardine", que Oresme estudió minuciosamente pero que nunca aplicó a la caída de los cuerpos, se desarrolló originalmente para establecer la proporción de las velocidades en los movimientos⁵². Dicho en términos generales, el problema consistía en hacer frente matemáticamente a la disminución y al aumento de la velocidad. Ahora bien, el mismo problema de proporcionalidad que tiene lugar en la "ley de Aristóteles" $V = F/R$ cuando $R = 0$ tiene lugar en la proporción entre V_2/V_1 cuando V_1 es *ad non gradum*. El problema se plantea en principio para el intervalo inicial, pero a causa de la exigencia de la aplicación "parte tras parte" de la fuerza (i. e. $G + I$) ocurrirá cada vez lo mismo: la fuerza —sea la gravedad sola o ella más el *impetus*— produciría velocidad y no aceleración si actuara constantemente con la misma magnitud cuando es aplicada en

⁵² Se acostumbra a expresar la "ley de Bradwardine" como $(F_2/R_2) = (F_1/R_1) V_2/V_1$. El análisis más completo de Oresme se encuentra en el *De proportionibus proportionum*, editado, traducido y estudiado minuciosamente por E. Grant: *Nicole Oresme. De proportionibus proportionum and Ad pauca rescipientes*, Madison, Milwaukee and London, The University of Wisconsin Press, 1966. Excedería los límites que nos hemos propuesto incursionar en esta cuestión. Anotemos solamente que —hasta donde sabemos— Oresme no analizó la caída de los cuerpos en términos de esta relación proporcional, aunque sí la menciona en su crítica a Aristóteles del LCM I, 12, pp. 110-114.

su totalidad. La "continuidad proporcional" que caracteriza a la cualidad *uniformiter difformis* sólo sería posible para las velocidades 2, 3, 4, etc., pero no para la inicial ni para las intermedias.

Todavía persiste otro problema que hemos querido señalar en el diagrama: ¿qué magnitud corresponde al instante medio del tiempo? La discontinuidad en la explicación dinámica de la caída de los cuerpos no garantiza que la velocidad en el instante medio del tiempo sea siempre el grado medio de velocidad, soporte fundamental del teorema. Lo que sin duda garantiza esta dinámica es que al final se verifique una velocidad mayor.

5) Movimiento y descenso

A estas observaciones podemos agregar todavía otra que dificulta considerablemente la aplicación del teorema de la velocidad media. La caída de un cuerpo es tratada generalmente como un caso de *descenso*, cuya velocidad no se mide igual que la del *movimiento*. En el DC Oresme se ocupa *de diversis modis velocitatis*, estableciendo los distintos modos de considerar la velocidad en un mismo movimiento. Con respecto al movimiento local, Oresme distingue según la trayectoria entre movimiento circular y recto. En el primer caso, a su vez, diferencia *moveri de circuire*, cuyas respectivas velocidades se consideran según el espacio lineal o según el ángulo descrito en torno del centro. De manera semejante distingue en el movimiento recto entre la velocidad del *movimiento* y la velocidad del *descenso*:

Item in motu recto, verbi gratia, in motu descensus, velocitas motus attenditur penes spatium pertransitum. Velocitas autem descensus attenditur penes appropinquationem ad centrum. Ideo possibile est quod A et B equevelociter moveantur et tamen non equevelociter descendant, eo quod A movebitur per lineam rectam ad centrum et B per lineam transversalem, et ideo A descendet velocius quam B et tamen B equevelociter movetur. Similiter cum descensus attendatur penes proportionem approximationis ad centrum, continget quod illud quod uniformiter movebitur sive regulariter per lineam directam a centro difformiter descendet, quia velocius appropinquabit centro de prope quam de longe, semper tamen stante equali velocitate motus⁵³.

⁵³ DC II, 4, 19-29, p. 278. Este párrafo, que no es el único en Oresme (cf análoga consideración en LCM II, 14, 167-94, p. 428), plantea un problema que sólo podemos tocar superficialmente ahora: ¿para la escolástica la velocidad en la caída libre es proporcional al tiempo o al espacio? Se ha mencionado el hecho de que, por ejemplo, para Alberto la veloci-

En cualquier caso, el *espacio* es la *perfectio* específica que distingue todo movimiento local de los otros dos, pero en el *moveri* el espacio es medido desde el punto de partida, mientras que en el *descendere* lo es por el punto de llegada obligatorio de todo movimiento natural de descenso: el centro de la tierra. Así, podríamos decir que el espacio es la *perfectio adquirida* en el *moveri*, mientras que es la *perfectio por adquirir* en el *descendere*. Sólo en el primer caso sería posible en principio la aplicación del teorema, pues se dispone del intervalo de tiempo necesario para establecer el espacio recorrido. Pero ¿cómo establecer el espacio por recorrer como medida de la velocidad —del *descendere*— sin disponer del intervalo de tiempo, pues se trata correspondientemente de un tiempo todavía no transcurrido? Paralelamente, y a pesar de la cita aislada de las *questiones de celo*, la dinámica del *impetus* es una explicación de la aceleración en el *descenso* de los graves y no de su mero movimiento. Esto último permanece como un tratamiento general y abstracto, mientras que aquél es el punto de vista apropiado para la determinación específica de la tendencia del grave a su lugar natural.

6) La utilidad de las *configurationes*

Las razones esgrimidas en los puntos anteriores nos permiten dar cuenta de la no-aplicación⁵⁴ del teorema de la velocidad media sin recurrir a exigencias o requisitos epistemológicos sino, más estrictamente, reparando en la incompatibilidad entre la noción *quoad effectus* de aceleración "*secundum configurationem*" y aquella otra resultante de la dinámica de la caída de los cuerpos⁵⁵.

dad es proporcional al espacio, mientras que tal vez para Oresme sería proporcional al tiempo (cf. A. Maier, *An der Grenze*, op. cit., *supra* n. 23, p. 214). Sin embargo, el texto recién citado es un ejemplo bastante contundente de proporcionalidad de la velocidad con el espacio recorrido; sea éste medido desde el punto de partida (en el caso general del *moveri*) o desde el punto al cual el cuerpo *debe* llegar (en el caso particular del *descendere*).

⁵⁴ En todo el artículo, nos referimos a la "aplicación" o "no-aplicación" sin implicar control empírico, medición, testeo, planos inclinados o cualquier procedimiento semejante. Sólo indagamos las razones por las cuales no se enunció de manera clara y definitiva el teorema de la velocidad media en relación directa al movimiento natural de descenso de los graves.

⁵⁵ Nuestro enfoque general sobre esta incompatibilidad y algunos aspectos de nuestra argumentación en el punto 4 son similares a los soste-

Si mis argumentos no han sido suficientemente convincentes para mi "tesis fuerte", creo que al menos se pueden apreciar los motivos por los cuales la caída de los cuerpos exige una explicación que atenta contra la simplicidad de las *configurationes*, y que estas dificultades sobrevienen de ciertos problemas físico-matemáticos.

En el capítulo 4 de la parte I, Oresme reivindica las ventajas de las *configurationes* para comprender los procesos de *intensio et remissio formarum*, poniendo de relieve la *claridad* y *simpleza* que las caracteriza como así también la *rapidez* con la que podemos acceder al conocimiento de aquellos fenómenos, virtudes todas que Oresme hace depender de la capacidad inherente a las *configurationes* de poner *ad sensum* aquello que, podríamos decir, se encuentra en cierta forma oculto:

Sed quod per hoc debeamus ymaginari qualitatem ut eius dispositio levius cognoscatur apparet quia eius uniformitas atque difformitas *citius, facilius, et clarius* perpenduntur quando *in figura sensibili* declaratur. *Satis enim difficile videtur quibusdam intelligere que sit qualitas uniformiter difformis. Sed quod facilius quam quod trianguli rectanguli altitudo est uniformiter difformis? Certe hoc apparet ad sensum (...)*. Multum enim iuvat ad cognitionem rerum ymaginatio figurarum...⁵⁶.

Esta afirmación es general para todas las *configurationes*, aunque conviene observar que Oresme subraya el caso de las cualidades uniformemente disformes. No parece haber aquí, sin embargo, ninguna restricción epistemológica basada en el carácter "meramente imaginativo" de las representaciones geométricas para prohibir la aplicación de éstas a la caída real de los cuerpos; más bien parece al contrario. Se asume en general que Oresme no lo ha hecho, o al menos no de manera definitiva e inobjetable, y que la razón de ello reside en el hecho de que las

nidos por S. Drake en su breve *History of Free Fall*, op. cit. (*supra* n. 1) y en algunos de sus brillantes trabajos especialmente dedicados a Buridán: "Impetus Theory and Quanta of Speed Before and After Galileo", en *Physis* 16 (1) (1974), pp. 47-65; "Impetus Theory Reappraised", *Journal of the History of Ideas* 26 (1) (1975), pp. 27-46. No obstante, a pesar de algunas penetrantes observaciones (cf. por ejemplo n. 26 en el inmediatamente anterior), Drake casi no se ha ocupado de Oresme ni mucho menos del problema de la imaginación en el siglo XIV. La omisión es importante —aunque no desmerece lo hecho por Drake—, porque Oresme es el más cercano a la proporcionalidad entre fuerza y aceleración, y porque su texto de las *questiones* parece involucrar las dos nociones esenciales para la ley de la caída de los cuerpos: proporcionalidad con el tiempo y aceleración uniforme.

⁵⁶ DC, I, 4, 11-24, p. 174, énfasis mío.

configurationes fueron concebidas como meros "cálculos de la imaginación". El párrafo citado, sin embargo, nos obliga a elucubrar otras razones para esa omisión, pues nada parece indicar que si las nociones de aceleración presentes en las *configurationes* y en la explicación dinámica de la caída real de los cuerpos hubieran sido compatibles, Oresme se hubiera privado de tal aplicación.

III. Consecuencias posibles

Finalmente, quisiera mencionar un aspecto relativo a las posibles implicaciones históricas de esta interpretación. Si lo esencial de ella es correcto, i. e. si fueron razones físico-matemáticas las que impidieron la aplicación de las *configurationes* a la caída de los cuerpos y no razones "externas" tales como ciertos prejuicios epistemológicos, sería conveniente revisar el punto de vista dominante sobre el proceso conceptual que conduce hasta su aplicación⁵⁷. Hasta donde sabemos, la aplicación del teorema de la velocidad media a la caída de los cuerpos tuvo lugar por primera vez con Domingo de Soto⁵⁸.

Gran parte de nuestro conocimiento de Domingo de Soto y en general del camino que conduce hasta Galileo desde las fuentes escolásticas del siglo XVI se lo debemos a William Wallace⁵⁹.

⁵⁷ El hecho de que la determinación físico-matemática de la caída de los graves constituye un interés prioritario de la física post-escolástica y que, por tanto, no es legítimamente exigible en el siglo XIV, es una explicación cierta pero también externa. A este enfoque (cf. A. Maier, *An der Grenze*, op. cit., *supra* n. 23, pp. 212-218) podemos decir: incluso cuando el siglo XIV hubiera estado interesado en ello, la empresa hubiera sido imposible dentro de esa dinámica.

⁵⁸ En sus *Super octo physicorum questiones*, ed. de Salamanca, 1555, VII, q. 3, f. 92v y ed. de Venecia, 1582, p. 339. Nótese, sin embargo, que ambos textos dicen "uniformiter difformis intenditur" cuando debiera decir directamente "uniformiter intenditur" o una expresión equivalente. Pero muy probablemente se trata de un desliz en las ediciones, pues un poco más abajo se encuentra la mención al teorema de la velocidad media (Salamanca, 1555, f. 93v y 94r). Cf. Clagett, *The Science of Mechanics*, op. cit. (*supra* n. 1) pp. 555-556 y Wallace, "The Enigma of Domingo de Soto: *Uniformiter difformis* and Falling Bodies in Late Medieval Physics", *Isis* 59 (1968), pp. 384-401, recogido en *Prelude to Galileo*, op. cit. (*supra* n. 51), pp. 91-109.

⁵⁹ La voluminosa obra histórica de Wallace se extiende desde trabajos sobre Tomás de Aquino hasta, más recientemente, Newton. Mencionemos aquí solamente su imponente estudio de las fuentes jesuíticas de Galileo en *Galileo and His Sources: The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*, Princeton University Press, 1984; y su nuevo *Galileo's Logic of*

Sobre la base de sus propias investigaciones, aunque recogiendo muchas veces el punto de vista tradicional, Wallace ha aducido fundamentalmente razones que aquí hemos llamado "epistemológicas" para esta transformación. En *Prelude to Galileo*, el siglo XIV es esencialmente visto como una "critical and skeptical reaction" motivada por intereses teológicos y el edicto de 1277⁶⁰. Luego, surgieron frente al nominalismo de Ockham escuelas alternativas que no estaban dispuestas a sujetarse en filosofía natural a las premisas del *Venerabilis Inceptor*. La decadencia del nominalismo llegó de la mano con un debilitamiento e incluso cuestionamiento de todo prejuicio tendiente a poner en tela de juicio la posibilidad de conocer la naturaleza. Nuevas vías se abrieron a través del "realismo" o de nominalismos matizados no sujetos al mero lenguaje sea de la lógica o de la geometría. El concepto de movimiento se liberó de las cadenas nominalistas del siglo XIV y la geometría abandonó poco a poco sus prejuicios epistemológicos limitativos.

Paulatinamente se acentuó el enfoque "realista" en el continente hasta, en un último estadio de desarrollo, alcanzar "the preparation for an experimental mentality"⁶¹. Wallace muestra cómo Domingo de Soto reconoce elementos de verdad con relación al concepto de movimiento tanto en el punto de vista realista como en el nominalista, pero remite su aplicación del teorema de la velocidad media, en definitiva, a una toma de posición realista⁶².

Sin embargo, nos preguntamos, ¿fue ésta la razón que llevó a la aplicación del teorema de la velocidad media y a la geometrización del movimiento de los graves? ¿O es ésta una "causa remota" para algo explicable por otra "causa próxima"? Así

Discovery and Proof. The Background, Content, and Use of His Appropriated Treatises on Aristotle's Posterior Analytics, Dordrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers, 1992. En lo referente específicamente a nuestra cuestión, cf. especialmente *Prelude to Galileo*, op. cit. (*supra* n. 51).

⁶⁰ W. Wallace, op. cit., pp. 18-22. Lamentablemente no podremos hacer justicia tan brevemente a la profundidad y los diferentes matices presentados por Wallace. Me limitaré a algunas observaciones aisladas que sólo tienen el propósito de sugerir hipotéticamente una nueva vía de interpretación de esta compleja transformación.

⁶¹ *Prelude*, op. cit., p. 57.

⁶² "This is the standard kinematical treatise of the Mertonians, only with this difference, that Soto presents it, *not* as an abstract and imaginative mathematical exercise, but rather as an analysis that applies to motion in the physical universe" (*Prelude*, p. 73). Con respecto a la misma cuestión Wallace dice antes "realistic (as opposed to ymaginary) examples" (p. 58).

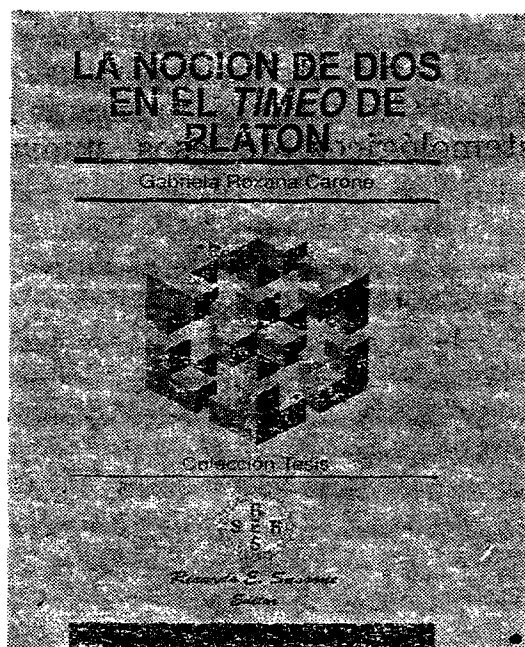
como no cuestionamos el hecho de la existencia y el peso del nominalismo del siglo XIV, tampoco es necesario cuestionar el "realismo", creciente en el siglo XVI. Pero, ¿la aplicación del teorema en Domingo de Soto y otros, tuvo lugar *a causa* de un cambio en el contexto filosófico-epistemológico o por cambios físico-matemáticos en la explicación de la caída de los graves? Así como pretendemos haber demostrado que Oresme no hubiera aplicado el teorema de la velocidad media incluso si las *configurationes* no hubieran sido *secundum imaginationem*, consideramos al menos posible que, a la inversa, si los cambios físico-matemáticos tuvieron lugar, si la dinámica y el manejo de las proporciones se ha transformado en época de Domingo de Soto, el teorema hubiera sido aplicado incluso contra una epistemología *secundum imaginationem*⁶³. Dicho de manera positiva, la extensión de nuestra conclusión propone hipotéticamente que en Domingo de Soto, y en general en el siglo XVI, se han operado transformaciones importantes en la mecánica de la caída libre y que son estas transformaciones las que hicieron posible la aplicación del teorema de la velocidad media a la caída de los graves. Estas transformaciones pueden, a su vez, haber abierto el camino para que el realismo —de larga data— se desarrollara ampliamente en el campo de la filosofía natural proveyendo un análisis de los fundamentos epistemológicos de esos nuevos conceptos físico-matemáticos.

⁶³ A pesar de todo realismo, la "aplicación" de Domingo de Soto sigue siendo meramente retórica y, tal vez, asimilable a lo que se ha llamado "experimentos pensados". "But —observa Wallace— he seems not to have done any measuring or experimenting himself" (*Prelude*, p. 58).

SUMMARY

This paper deals with the free fall of bodies in Oresme's dynamic and his mean speed theorem, that was not applied till Domingo de Soto. It intends to explain why Oresme did not perform this application to free fall without recurring to "external" reasons such as the epistemology *secundum imaginationem*. On the contrary, it maintains that there are physico-mathematical reasons —internal reasons— which turn incompatible the dynamical and the kinematical notion of acceleration. On one hand, the oresmian explanation of *velocitatio in fine* through the impetus theory does not seem to provide uniform acceleration, which is necessary to the theorem. On the other hand, uniform acceleration did not fulfill the essential condition of continuity. To sum up: the mean speed theorem would not have been applied even though it would not have been demonstrated *secundum imaginationem*. Finally, on the base of this interpretation it is proposed an hypothesis on the possible foundations of the application in Domingo de Soto.

APARECIO



PEDIDOS A

PEDRO GOYENA 72
1424 BUENOS AIRES (Rep. Argentina)
FAX: (54-1) 922-1329