



## CUANTIFICACIÓN Y REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DEL MOVIMIENTO

### A. La cuantificación

Actualmente, la aplicación de las matemáticas al problema del movimiento no requiere ninguna justificación y nos parece obvia. Las teorías del movimiento que surgen con la ciencia moderna son matemáticas por definición y seguramente nos parecería inconcebible aproximarnos al problema del movimiento desde una perspectiva que no fuera cuantificable. Sin embargo, por más evidente que nos parezca, es importante saber que no siempre fue así, y que la descripción matemática de fenómenos naturales no es una respuesta a las preguntas básicas de la filosofía del mundo antiguo. La locomoción o movimiento en términos de lugar es sólo un tipo de cambio (de entre cuatro tipos posibles), así como lo podía ser el cambio de la enfermedad a la salud, del bien al mal o del calor al frío, cambios que no parecen tan fácilmente medibles o expresables numérica o geoméricamente. Empezar a cuantificar los problemas físicos requirió de cambios conceptuales radicales, y es un tema central para entender la ciencia moderna.

Aunque a lo largo del periodo antiguo la descripción de los fenómenos naturales se hizo de una manera más cualitativa que cuantitativa, la matematización de la naturaleza tuvo importantes exponentes como los pitagóricos, Platón, Arquímedes, entre otros, quienes hicieron aportes en esa dirección, en especial en el campo de la astronomía. Inclusive en el mismo Aristóteles se puede ver algún esfuerzo por cuantificar el problema de la locomoción en donde la distancia y el tiempo fueron usados como medidas de movimiento.

Entre los siglos XIII y XIV en la Universidad de París y en la Universidad de Oxford, varios estudiosos retomaron este tema generando aportes importantes en esta misma línea. El primer impacto lo produce un texto llamado *El libro sobre el movimiento* escrito por Gerard de Bruselas. Existen dos formas de estudiar el movimiento de un cuerpo: podríamos dar una explicación de los agentes o fuerzas que causan el movimiento, o podríamos ocuparnos del movimiento desde un punto de vista descriptivo, sin preocuparnos por la causa. La primera forma –es decir, el estudio de las causas del movimiento– la llamamos “dinámica”, y la segunda –la descripción del movimiento– la llamamos “cinemática”. La importancia del trabajo de Gerard radica en que genera una tradición que busca explicar el movimiento desde una perspectiva distinta a la tradicional.

Tal tradición florecería en todo su esplendor en el siglo XIV (entre los años 1325 y 1350) en medio de un grupo de destacados

matemáticos y lógicos asociados con el Merton College de la Universidad de Oxford. Este grupo, que incluía a nombres como Thomas Bradwardine, posterior arzobispo de Canterbury, William Heytesbury y Richard Swineshead, hizo explícita la diferencia entre dinámica y cinemática y desarrolló el marco conceptual y el vocabulario para estudiar el movimiento en términos puramente descriptivos, introduciendo los conceptos de “velocidad” y “velocidad instantánea”, conceptos a los cuales se les podía asignar una magnitud. Se establecerían las diferencias entre movimiento uniforme (movimiento con velocidad constante) y movimiento no uniforme (movimiento acelerado), así como la definición precisa del movimiento uniformemente acelerado, definición que aun hoy en día se maneja en la física básica: un movimiento es uniformemente acelerado cuando su velocidad tiene incrementos iguales en unidades de tiempo iguales.

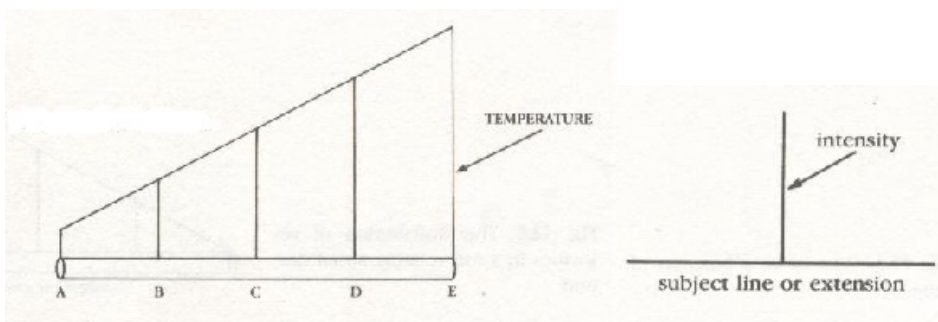
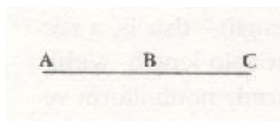
Es común la idea de que las cualidades o formas pueden existir en diversos grados o intensidades; no hay un único grado de calor o frío, sino que algo puede ser muy caliente, tibio, frío, helado, y así sucesivamente. Así mismo estas cualidades pueden sufrir procesos de incremento, intensificación o disminución. Esta discusión llevada al terreno de la locomoción nos dice que la intensidad de movimiento no es otra cosa que su velocidad.

Para estos estudiosos medievales era indispensable hacer una diferenciación clara entre la intensidad y la cantidad de una cualidad determinada. Para entender el problema podemos tomar como ejemplo el calor. La intensidad que tenemos de calor es la temperatura de un objeto. La cantidad de calor, por otro lado, puede variar así tengamos la misma temperatura. En un galón de agua a diez grados centígrados hay menos calor que en diez galones de agua a la misma temperatura. Si pensamos en el peso de los objetos también encontramos una diferencia similar. La intensidad de peso de un objeto es eso que llamamos densidad, mientras que la cantidad de peso es la masa distribuida en él. De esta manera, si tenemos dos objetos de diferente tamaño que pesan lo mismo, sabemos que la densidad o intensidad de peso del más pequeño es mayor que la del más grande.

## **B. La representación**

La tradición del Merton College asumió, pues, que cualquier cualidad, incluido el movimiento, podría ser investigada tanto en términos de intensidad como de cantidad. Las propuestas originales de la tradición mertoniana fueron promulgadas verbalmente, sin recurrir a formas de representación gráfica. Sin embargo, pronto se transmitieron a otros centros intelectuales europeos en donde se empezaron a desarrollar elaborados sistemas de representación geométrica. El caso más significativo, sin lugar a dudas, fue el de Nicolás Oresme en la Universidad de

París. Aunque Aristóteles ya había usado la línea para representar el tiempo y Euclides para representar magnitudes numéricas, se desarrollan sofisticadas formas gráficas de representación de la intensidad de una cualidad. Por ejemplo, tomemos el segmento AC de la figura. Si el segmento AB representa la intensidad dada de una cualidad, el segmento AC representa el doble de esa intensidad. El siguiente paso crítico fue usar estos segmentos para representar la intensidad de la cualidad en cualquier punto de un cuerpo. Tomemos un tubo AE cuya temperatura en uno de sus extremos es mayor que en el otro. Si dibujamos una línea que determine la magnitud del calor en diferentes puntos del tubo y si la temperatura aumenta uniformemente entre A y E, entonces la magnitud de las líneas verticales también aumentará uniformemente.



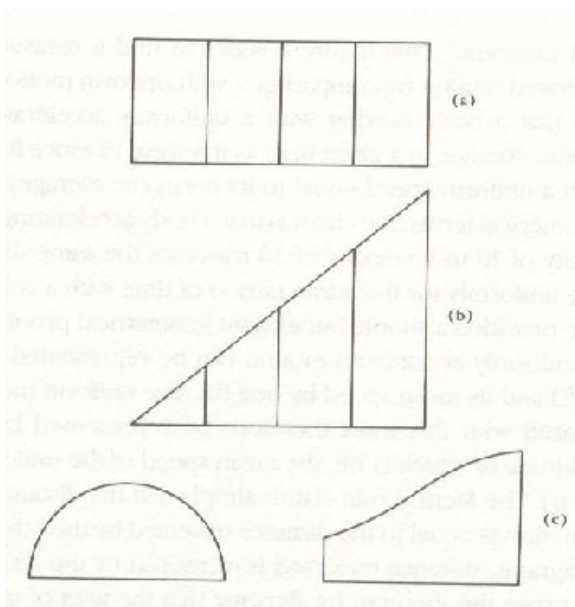
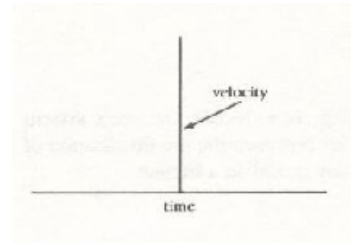
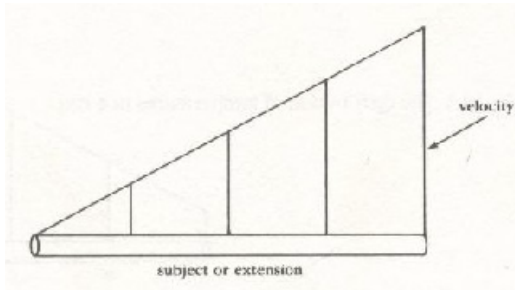
Luego, Oresme haría de este tipo de representaciones algo más abstracto en donde, en vez de dibujar un tubo, lo reemplazaría por una línea. Así se generaría un sistema de representación generalizado en donde la línea horizontal representa cualquier objeto y la vertical la intensidad que tiene éste de cierta cualidad

en un punto cualquiera. Lo que Oresme hace es una forma de representación geométrica en donde la forma de una figura representa el cambio de una cualidad.

Pero, ¿cómo hacemos la transición del problema de representación de las cualidades en general a la representación del movimiento? Podemos imaginar una vara que gira con uno de sus extremos fijos, como las manecillas de un reloj. En este caso, podemos dibujar la vara horizontalmente de tal manera que cada línea vertical nos indique la velocidad que tiene el objeto un punto determinado. Si ahora consideramos que un cuerpo se mueve como una unidad, esto es, que todas sus partes tienen la misma velocidad, pero que su velocidad varía con el tiempo, entonces será evidente que se requiere de formas de representación con un mayor grado de abstracción.

La manera de comprender esto, afirma Oresme, es ver que aquí la línea del sujeto –línea que antes representaba la extensión del objeto– ahora va a representar la duración del movimiento. Así, se genera un sistema de coordenadas en donde el movimiento se ve como una función del tiempo. Oresme, además, nos presenta una serie de configuraciones en las cuales la velocidad se relaciona con el tiempo gráficamente. La velocidad uniforme se representa con una figura en la cual todas las líneas verticales son de igual longitud, es decir, con un rectángulo. El movimiento uniformemente acelerado requiere líneas verticales de tamaño variable que crecen de manera uniforme. Por último, tenemos el

movimiento de aceleración y velocidad no uniforme en donde la figura puede ser desde un semicírculo hasta una forma completamente irregular.



*Representación de varios movimientos:*

- a) *Velocidad uniforme*
- b) *Velocidad uniformemente disforme*
- c) *Velocidad disformemente disforme*

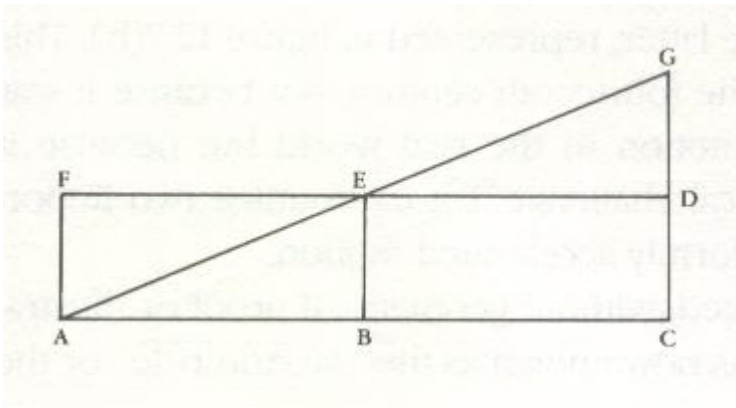
## ***La ley de Merton o el teorema de la velocidad media***

Pero, ¿cuál es la utilidad de estas formas de representación abstracta? Oresme y sus seguidores las convertirían en herramientas fundamentales para el desarrollo de importantes teoremas de la cinemática. Entre estos, quizás el más importante es la llamada “ley de Merton”. Ésta, aunque había sido planteada por los estudiosos del Merton College, fue demostrada geométricamente de una manera simple y elegante por Oresme. El teorema dice que un cuerpo que tiene movimiento uniformemente acelerado y que cubre cierta distancia en un tiempo dado, cubriría la misma distancia si se moviera por el mismo lapso de tiempo con una velocidad uniforme igual a la velocidad promedio. Es decir, si un automóvil tiene un movimiento uniformemente acelerado entre 0 y 100 kilómetros por hora en un tiempo determinado, entonces recorrería la misma distancia en el mismo tiempo con velocidad uniforme de 50 kilómetros por hora.

El movimiento uniformemente acelerado puede ser representado por un triángulo ACG y su velocidad media por la línea BE. El movimiento uniforme que queremos representar está dado por el rectángulo ACDF cuya altura es BE. La ley de Merton nos dice que la distancia recorrida por uno es igual a la otra. Como en los diagramas de Oresme la distancia recorrida es medida por el área de las figuras, podemos demostrar el teorema probando que el



área del triángulo ACG es igual al área del rectángulo ACDF. Una mirada a las dos figuras nos permite confirmar esto.



Para terminar, debemos recordar que la cinemática medieval era una empresa fundamentalmente abstracta, al igual que las matemáticas puras. Afirmar que un movimiento uniformemente acelerado existe y que por lo tanto es aplicable la ley de Merton se hace de manera meramente hipotética y ningún estudioso de la Edad Media encontraría la forma de ponerlo a prueba en el mundo real. Los monjes medievales, al igual que gran parte de los filósofos y científicos pertenecientes a la tradición griega, no son experimentalistas. Por el contrario, son más bien matemáticos y lógicos.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.