

# El inicio de las representaciones gráficas en el campo de la física



J. M. Rivera-Juárez<sup>1</sup>, J. Madrigal-Melchor<sup>1</sup>, T. Saucedo-Anaya<sup>1</sup>,  
E. Cabrera-Muruato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Física, Universidad Autónoma de Zacatecas,  
Calzada Solidaridad esq. Paseo a la Bufa s/n, CP 98060, Zacatecas, México.

<sup>2</sup>Unidad Académica de Preparatoria, Universidad Autónoma de Zacatecas

**E-mail:** jmadrigal.melchor@fisica.uaz.edu.mx

(Recibido el 9 de Septiembre de 2013, aceptado el 23 de Febrero de 2014)

## Resumen

La estructura de la ciencia, la naturaleza de la metodología científica y la validación de los juicios de los científicos, son algunos de los aspectos en los que la historia y la filosofía de la ciencia en general y de la física en particular pueden representar un componente de alta motivación en el binomio enseñanza – aprendizaje de las ciencias. Para diversos autores es importante hacer un paralelismo entre las ideas históricas de los conceptos físicos y las de los alumnos, pues ello puede arrojar luz sobre diversos obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la física. Por tal razón esta investigación entre otros fines, tiene el de acercar a los profesores de física de los diferentes niveles educativos a lo que se considera el inicio de la representación gráfica en el campo de la física.

**Palabras clave:** Historia de la Ciencia, Representación Gráfica, Física.

## Abstract

The structure of science, the nature of scientific methodology and validation of the judgments of scientists, are some of the ways in which the history and philosophy of science in general and physics in particular may represent a component high motivation in the dual education - learning of science. For several authors is important to make a parallel between historical ideas and physical concepts of students, as this may shed light on various epistemological obstacles in learning physics. For this reason, this research is aimed at bringing physics teachers from different educational levels to what is considered the beginning of the graphic representation in the field and physics.

**Keywords:** History of Science, Graphic Representation, Physics.

**PACS:** 01.65.+g, 01.40.-d,

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de esta investigación serán analizados los comienzos de la representación gráfica de datos, su evolución y su estrecha relación con los avances del conocimiento científico, así como remarcar las influencias socio-culturales en el transcurso de su historia de estas representaciones.

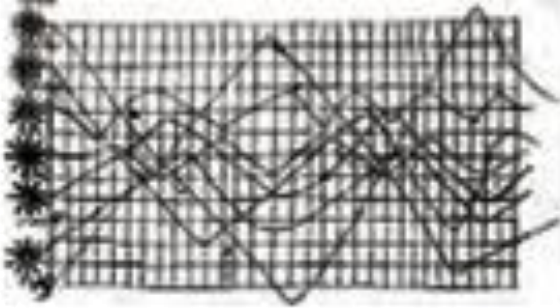
Villafane [1] en su estudio de la cultura egipcia muestra que lo que hoy conocemos como coordenadas, fue empleado en la Agrimensura por los egipcios antiguos, los romanos y por los griegos en el levantamiento de mapas; así tenemos por ejemplo, lo que se considera el “primer mapa mundial” elaborado por Aniximander en el año de 550 a.C. De especial interés para este trabajo es el mapa del geógrafo Claudius Ptolemy (90-160 d.C.) que data del 150 d.C., que fue uno de los primeros en utilizar el principio de coordenadas para la construcción de mapas.



**FIGURA 1.** Imagen del mapa que se considera el más antiguo. Actualmente se encuentra en el museo Konya de Turquía. (Friendly, Michael. Denis, Daniel J. Milestones in the History of Thematic Cartography, Statistical Graphics, and Data Visualization. York University, Canada).

Los primeros ejemplos de representación gráfica de datos a lo largo de la historia están orientados a diagramas geométricos, tablas de posición de las estrellas y otros cuerpos celestes, etc. Funkhouser [2], considera que alrededor de 950 d.C. aparece lo que él considera la primera <http://www.lajpe.org>

construcción gráfica. Estaba estructurada en una cuadrícula y acompañaba una descripción de los movimientos planetarios a través del zodiaco en función del tiempo. Por el contrario para el historiador Paul Mijksenaar (1944 - ) [3], el trabajo de Nicole Oresme (1322 – 1382) constituye la primera representación gráfica de datos.



**FIGURA 2.** Esta imagen representa gráficamente los movimientos planetarios a través del zodiaco. Lo interesante de este gráfico es que está estructurado dentro de una cuadrícula que permite crear una organización visual de los elementos. A la izquierda, están ordenados verticalmente los planetas del sistema solar: Venus, Mercurio, Saturno, Sol, Marte, Júpiter, Luna. Para Funkhouser este gráfico, que data del año 950 DC, constituye la primera construcción gráfica. (Beautiful Evidence, Edward Tufte).

Hasta mediados del Siglo XIV las representaciones gráficas de datos correspondían a conocimientos que el ser humano tenía del mundo, sin basarse en explicaciones científicas o teóricas, no es aventurado considerar que correspondían a un conjunto de normas sistemáticas o patrones preestablecidos.

En el marco de la controversia entre Funkhouser y Paul Mijksenaar, todo hace suponer que en el siglo XIV fue Nicole de Oresme el primero que se anticipó a otro aspecto de la geometría al representar ciertas leyes físicas mediante el gráfico de una variable dependiente, a la que llamo *latitud*, contra una variable independiente a la que llamo *longitud*, cuando a esta última se le permite tomar ciertos incrementos pequeños. En este Siglo, se crearon técnicas e instrumentos para precisar la observación y la medición de cantidades físicas.

## II. LAS VARIACIONES DE INTENSIDAD DE LAS CUALIDADES

La cuantificación de las cualidades, es uno de los logros más importantes del Siglo XIV y se le ha considerado como el primer paso hacia el surgimiento de la Física Matemática. Lo que hacía falta era encontrar un método que permitiera la cuantificación de las cualidades, el trabajo fue realizado por los “Calculadores de Oxford”.

El primer método para la cuantificación de las cualidades no es mas que el “álgebra de palabras” de Bradwardine en la que se empleaban las letras del alfabeto

para sustituir a las cantidades de las variables, mientras que las operaciones se describen con palabras. El “álgebra de palabras” de Bradwardine, representa uno de los primeros intentos concientes de introducir un formalismo algebraico, si bien a niveles aún muy elementales.

Los “calculadores” perfeccionan el método, con lo que pretenden demostrar la forma en que aumenta o disminuye una cualidad respecto de una escala que ha sido fijada previamente. Laman *forma* a cualquier cualidad o cantidad variable de la naturaleza y suponen que la *intensio* (intensidad) de una *forma* es el valor numérico que hay que asignarle. Hablan de la velocidad con que cambia la *intensio* con respecto a otra *forma* conocida, a la que llaman *extensio* (extensión). Respectivamente en el esquema de Oresme son la, latitud y longitud.

En el segundo método utilizado para cuantificar cualidades, Nicole Oresme es uno de los principales expositores del mismo. Era básicamente un método geométrico que recurría al uso de gráficas. La *extensio* se representaba mediante una línea recta horizontal (longitud) y cada grado de la *intensio* se representaba mediante una línea vertical de altura determinada (latitud). La línea que une los extremos de estas líneas verticales determina la velocidad y el modo de cambio de la *intenso*. Lo que se pretende con este método gráfico es construir gráficas que representen la cantidad de cualidad, de manera que las propiedades del gráfico (equivalencia, etc.) representen propiedades características de la cualidad.

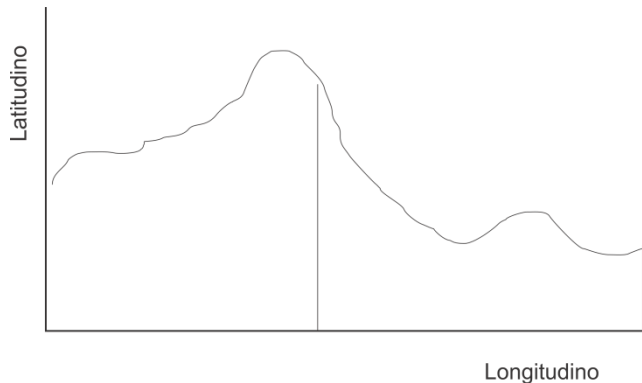
Ambos métodos, y el intento de cuantificar las cualidades son una muestra clara de un cambio de paradigma en el Siglo XIV con respecto a la época. Son el antecedente de muchos de los planteamientos que apuntalaron la construcción de la ciencia moderna. A diferencia de los trabajos de los Siglos XVI y XVII son absolutamente teóricos, no hay ninguna referencia en los trabajos de Oxford y Paris a experimentos que no sean imaginarios.

## III. LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN LA OBRA DE ORESME

En el siguiente apartado se mostrarán algunos ejemplos del método de representación gráfica de las variaciones de las cualidades de Oresme. Señala que las propiedades de la cualidad se estudian con mayor claridad y facilidad cuando se representan en una figura plana. En cada una de las figuras planas que obtiene de las variaciones de las cualidades realiza transformaciones geométricas simples en la búsqueda de propiedades invariantes, lo que lo conduce a una clasificación de las curvas.

Oresme trata de dar una aplicación práctica del método de representación gráfica de las variaciones de las cualidades en varios campos. Así por ejemplo, en el caso de la biología plantea que el calor natural de un león actúa de forma diferente al de un burro o un buey. “Le da más energía, no sólo porque es más intenso, sino también porque su representación gráfica es muy diferente”.

En la figura 3 se muestra la representación gráfica de las variaciones del calor en un cuerpo. En palabras de Oresme “la figura geométrica hace que resulte más fácil estudiar las variaciones del calor, así la variación no es homogénea, sino que varía dependiendo del lugar en donde se haya realizado la medición”.



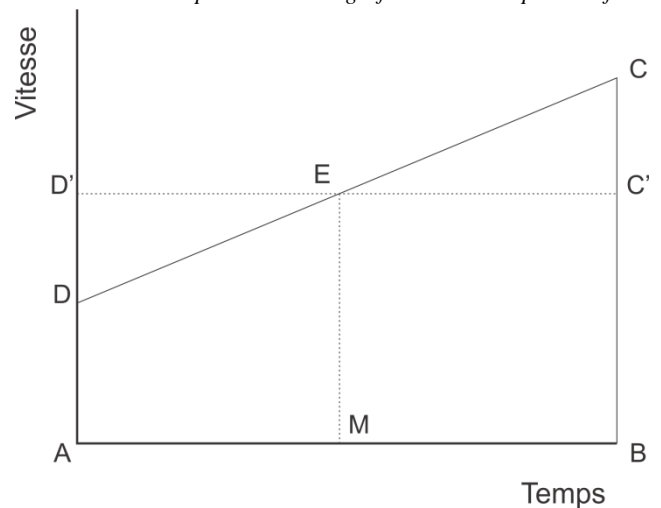
**FIGURA 3.** Representación gráfica de las variaciones del calor en un cuerpo.

Al aplicar este método al estudio del movimiento Oresme da una muestra de su genialidad. Para estudiar y describir el movimiento tuvo la idea de representar la velocidad del móvil en función del tiempo. En la línea horizontal coloca graduaciones proporcionales a la velocidad del móvil en el momento correspondiente. Lo que enfatiza en las construcciones gráficas es el área de la superficie barrida, llegando a la conclusión de que el área de la superficie barrida por las perpendiculares es proporcional a la distancia recorrida por el móvil durante ese intervalo de tiempo, como lo sabemos hoy en día. Sin embargo, Koyre plantea que Oresme no fue capaz, a pesar de tener todos los elementos, de llegar a esa conclusión [4].

En el marco de la controversia entre Duhem y Koyre de si Oresme llegó o no a esa conclusión, mostramos y analizamos, en la Figura 4, la representación gráfica de la velocidad en función del tiempo de acuerdo con la doctrina de Oresme.

Si M es el punto medio de AB, el área del trapecoide ABCD es igual al área del rectángulo ABC'D'. Basándose en la premisa anterior concluye que la distancia recorrida por el móvil en el intervalo AB es la misma que si se moviera a una velocidad constante e igual a la que tenía al llegar al punto M. Esto representa un resultado particular de su trabajo de gran importancia para la física, conocido como el teorema de la velocidad media (teorema de Merton). “Toda cualidad uniformemente diforme tiene la misma cantidad total que si afectase uniformemente al sujeto según el grado de su punto medio”[4].

*El inicio de las representaciones gráficas en el campo de la física*



**FIGURA 4.** Representación gráfica de la velocidad en función del tiempo

En la notación actual el teorema se refiere a un movimiento uniformemente acelerado con velocidad inicial  $v_0$  y final  $v$  durante un tiempo  $t$ . El teorema establece que la distancia recorrida es la misma que recorrería el móvil en el mismo tiempo con una velocidad constante e igual a la velocidad media entre  $v_0$  y  $v$ . Logró Oresme, valiéndose de la regla del grado medio, relacionar el movimiento “uniformemente diforme” (o de aceleración Uniforme) con el “uniformemente uniforme” (o uniforme). Sin embargo todas las conclusiones que se derivaron de ello no pasaron de ser meros ejercicios mentales permaneciendo en un plano teórico, sin conectarse con la realidad [5].

Desde nuestra perspectiva, y analizando solamente los trabajos de Koyre y Duhem, creemos que Oresme, si llegó a la conclusión correcta con estas representaciones gráficas.

#### IV. LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN LA OBRA DE GALILEO

Galileo conservó algunas ideas de los trabajos de los mertonianos como la “regla del grado medio” y la representación del triángulo que le sería de gran ayuda para la elaboración de su ley de caída.

No hay que olvidar que el álgebra comienza a desarrollar sus aplicaciones hasta finales del siglo XVII y que antes de ello las relaciones entre las magnitudes se expresaban en forma de proporciones siguiendo los lineamientos dados por Euclides.

Al estudiar el movimiento “naturalmente acelerado” (uniformemente acelerado), Galileo hace una representación abstracta de tipo geométrico del mismo, dicha representación aparece en la figura 5, la línea vertical corresponde al tiempo transcurrido, mientras que la horizontal son las velocidades en cada instante. Así, transcurrido un tiempo AE, el “grado de velocidad” (valor de la velocidad en lenguaje moderno) es PE y en el momento inicial A, el “grado de velocidad” es cero.

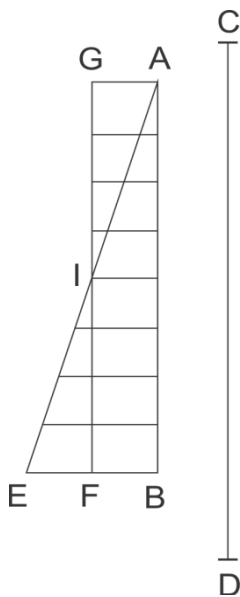


**FIGURA 5.** Representación gráfica del movimiento “naturalmente acelerado”.

El triángulo rectángulo permite deducir fácilmente la relación de proporcionalidad que hay entre la velocidad y el tiempo. Así, para dos intervalos de tiempo cualesquiera AE y AD, con sus respectivos grados de velocidad PE y OD, se cumple que  $PE/OD = AE/AD$ , en notación algebraica moderna  $v_2/v_1 = t_2/t_1$ .

La forma como Galileo expresó la relación entre velocidad y tiempo no corresponde al modo griego de pensamiento que intentaba establecer relaciones entre cualidades de la misma especie y no relaciones entre cualidades de especie diferente. Las relaciones del último tipo entraron en uso en el siglo XVI, momento en el que por primera vez se presenta una definición consistente de velocidad por parte de los matemáticos escolásticos [6].

Una vez aclarada la relación  $v-t$ , Galileo obtiene la correspondiente relación  $s-t$ , relacionando el movimiento “uniformemente diforme” (o de aceleración uniforme) con el movimiento “uniformemente uniforme” (o uniforme) valiéndose de la “regla del grado medio”. La figura 6 es la representación gráfica del planteamiento de Galileo para obtener la relación  $s-t$ .

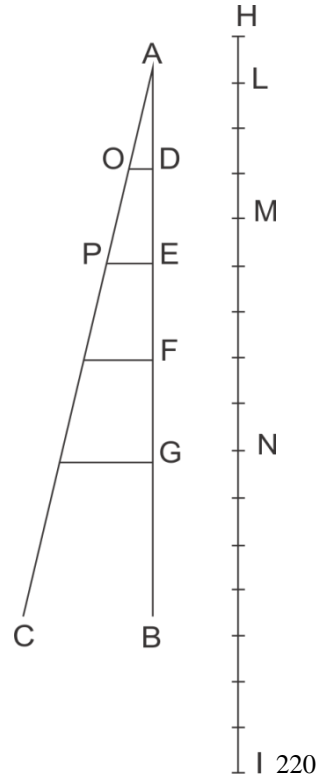


**FIGURA 6.** Representación gráfica del planteamiento de Galileo para obtener la relación  $s-t$ .

Todas las líneas horizontales (como EB) que se tracen desde cada punto de AB y limitadas por el triángulo AEB, representan los grados de velocidad en incremento del movimiento “uniformemente diforme”. De manera análoga, todas las líneas horizontales (como FB), limitadas por el rectángulo AGFB, representan los grados de velocidad invariables del movimiento “uniformemente uniforme”.

A pesar de que las áreas de las figuras dan cuenta del espacio recorrido, Galileo puso el énfasis en las líneas que muestran los grados de velocidad, limitados por los triángulos y rectángulos. Según Koyré [7] esto se debió a que Galileo estaba consciente de que la representación de la distancia por una superficie era poco natural e iba a ser origen de críticas. Por ello en la figura 6 aparece a la derecha una línea CD, que es el espacio recorrido en la caída.

Una vez establecida la equivalencia entre el movimiento “uniformemente diforme” y “uniformemente uniforme” a Galileo sólo le restaba establecer la relación  $s-t$ , para lo que se auxilió de la representación gráfica que aparece en la figura 7.



**FIGURA 7.** Representación gráfica del planteamiento de Galileo para obtener la relación  $s-t$ .

A partir de la figura 7 y tomando en cuenta el teorema IV del libro I para el movimiento “uniformemente uniforme” y la proporción que se obtiene de la figura 2,  $PE/OD = AE/AD$ , obtiene finalmente la siguiente proporción:  $HM/HL = AE.AE/AD.AD$ , que en notación algebraica moderna se escribe de la siguiente forma:  $s_2/s_1 = t_2^2/t_1^2$ , donde se expresa claramente la relación de proporcionalidad entre los espacios recorridos y los cuadrados de los tiempos.

#### IV. COMENTARIOS FINALES

Oresme estudió el movimiento uniformemente acelerado, representó gráficamente la velocidad en función del tiempo (diríamos en coordenadas cartesianas unos 250 años antes que Descartes) y en el triángulo que obtuvo al hacerlo llegó a descubrir que la velocidad media es la velocidad del tiempo medio (preparando con ello el camino a Galileo).

Además de esto, a manera de conclusión, podemos decir que las representaciones gráficas han jugado y juegan un papel fundamental en el análisis y entendimiento de los fenómenos físicos, así como, en todas las ciencias exactas y sociales.

#### REFERENCIAS

- [1] Villafañe Gallego, J., *Fundamentos metodológicos de la teoría de la imagen (referidos a la imagen fija)*, Tesis Doctoral. (Editorial de la Universidad Complutense de Madrid, 1981).
- [2] Funkhouser, H. G. *Historical Development of the Graphical Representation of Statistical Data*. *Osiris* **3**, 272-464 (1937).
- [3] Mijksenaar, P., *Una introducción al Diseño de la información*, (Ediciones GG, Barcelona, 1997).
- [4] Serres, M., *Historia de la Ciencia*, (Cátedra, París, 1989) <http://es.escribd.com>
- [5] Grant, E., *La Physique au moyen age*, (Presses Universitaires de France, Paris, 1995).

- El inicio de las representaciones gráficas en el campo de la física*
- [6] Sepúlveda Soto, A., *Los conceptos de la física – evolución histórica –*, (Editorial Universidad de Antioquía, Colombia, 2003).
- [7] Koyré, A., *Études galiléennes*, (Hermann, Paris, 1966).
- [8] Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M A., y Acevedo-Romero, P., *Revista EUREKA sobre Enseñanza y Divulgación Científica* **4**, 202 (2007).
- [9] Cleminson, A., *Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science*, *Journal in Science Teaching* **27**, 429-445 (1990).
- [10] Duschl, R. A., in *Improving Science Education- The contribution of Research*, edited by Millar, R. Leach, J. and Osborne, J., (Open University Press, Buckingham, 2000), pp. 187-206.
- [11] Matthews, M. R., *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, (Routledge, Nova Iorque, 1994).
- [12] McComas, W. F., Clough, M. P. and Almazora, H. in *The Nature of Science in Science Education*, edited by. McComas, W. F., (Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2000), pp. 3-39.
- [13] Rudge, D. and Home, E., *The history of the concept of electromotive force in electrical circuits and the choice of the learning indicators*, *The Science Teacher* **71**, 52 (2004).
- [14] Wandersee, J. H., *The historicity of cognition: Implications for science education research*, *Journal of Research in Science Teaching* **29**, 423 (1992).
- [15] Solano, I., Jiménez, E., Marín, E., *Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno no sabe” sobre fuerza*, *Enseñanza de las Ciencias* **18**, 309-328 (2000).