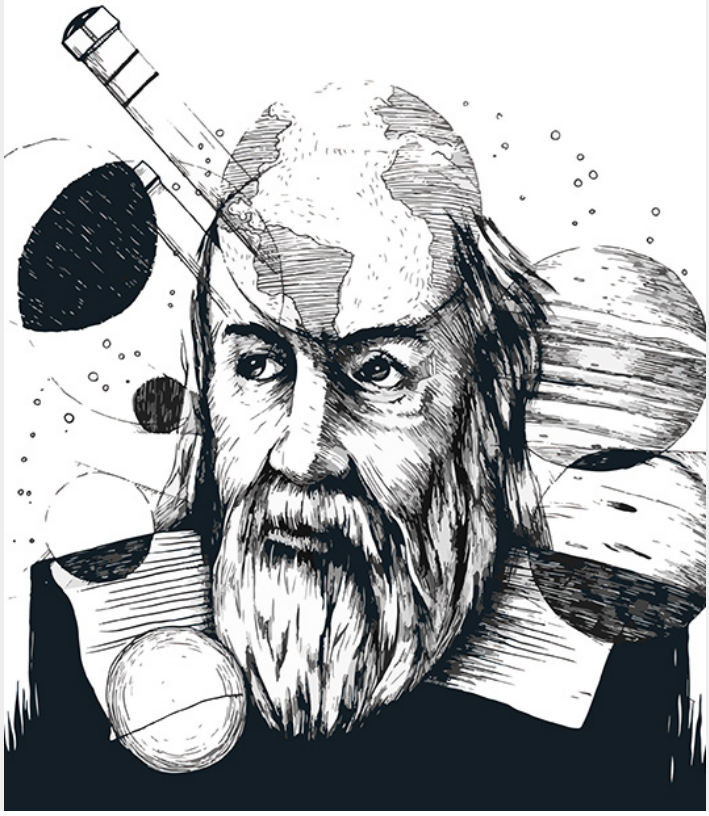
EL MÉTODO DE GALILEO GALILEI

Posted on 2 mayo, 2014 by Claudio A. Estrada Gasca



El 15 de febrero de 2014 se cumplieron 450 años del nacimiento de Galileo Galilei (1609-1642). Sin lugar a dudas, esto es motivo suficiente para recordar y celebrar a quien se considera el primer científico moderno de la historia. Su pensamiento, después de más de cuatro siglos de su nacimiento, sigue vigente...

Category: Ciencia

Tag: Ciencias Exactas

“En lo tocante a la ciencia, la autoridad de un millar no es superior al humilde razonamiento de una sola persona.”

Galileo Galilei

Parte I: Caracterización

El 15 de febrero de 2014 se cumplieron 450 años del nacimiento de Galileo Galilei (1564-1642). Sin lugar a dudas, esto es motivo suficiente para recordar y celebrar a quien se considera el primer científico moderno de la historia. Su pensamiento, después de más de cuatro siglos de su nacimiento, sigue vigente. Galileo hizo muchas contribuciones al conocimiento universal, pero tal vez la más importante fue su método de investigación. Si me lo permiten, en tres apartados presentaré en qué consistía dicho método. Este texto está basado en el que publiqué sobre el Método de Galileo en 1991 en la revista *Ciencia y Desarrollo* del Conacyt. En esta primera parte daremos la caracterización del procedimiento empleado por Galileo. Empecemos con una nota biográfica. Galileo Galilei nace en Pisa, en el Gran Ducado de Toscana el 15 de febrero de 1564 y muere en Florencia el 8 de enero de 1642;

> *Fue astrónomo, filósofo, matemático y físico que estuvo relacionado estrechamente con la revolución científica.*

fue astrónomo, filósofo, matemático y físico que estuvo relacionado estrechamente con la revolución científica. Fue un eminente hombre del Renacimiento y mostró interés por casi todas las ciencias y artes (música, literatura, pintura). Entre sus logros más sobresalientes se encuentran la mejora del telescopio; una gran variedad de observaciones astronómicas, la primera ley del movimiento y un apoyo determinante para la teoría heliocéntrica de Nicolás Copérnico. Es considerado como el «padre de la astronomía moderna», el «padre de la física moderna» y el «padre de la ciencia». La obra de Galileo es amplia y variada. Entre sus textos más importantes se encuentran: la *Balanza Hidrostática*, de 1586; *Sobre el Movimiento*, de 1590; la *Mecánica*, de 1600; la *Operación del Compás Geométrico y Militar,* de 1606; el *Mensajero Sideral*, de 1610; el *Discurso sobre el Flujo y Reflujo de las Mareas*, de 1615; *El Ensayador*, de 1623; el *Diálogo sobre los Principales Sistemas del Mundo*, de 1632 -que le causó el famoso juicio por el cual lo condenan a prisión domiciliaria por el resto de su vida-, y su famoso libro *Discursos y Demostraciones Matemáticas sobre Dos Nuevas Ciencias* (*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali*), de 1638.

Los autores que han escrito sobre Galileo Galilei y su libro *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, consideran que esta es su obra de mayor importancia, al afirmar que la

Tercera y Cuarta Jornadas son fundamentales para el surgimiento y desarrollo de la ciencia moderna. Se dice lo anterior porque en esta parte de la obra, Galileo propone los fundamentos de la futura descripción del mundo físico, al estructurar la nueva ciencia del movimiento. Su valor e importancia radica no solo en haber establecido por primera vez, con toda claridad, las leyes de la caída libre y el tiro parabólico, junto con todos los conceptos y principios que esto implica (velocidad, aceleración, principio de inercia, etc., sino además, y para algunos investigadores sobre todo, por haber utilizado por primera vez el método que hoy conocemos como "método experimental".


DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue scienze
Attenenti alla
MECANICA & I MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.
Con vna Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.
IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

Portada del libro Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, de 1638

Se puede afirmar que el método que Galileo exhibe en sus *Discursos* consiste, *grosso modo*, en establecer definiciones y axiomas; discutir los conceptos de movimiento (velocidad, aceleración, etc.), y enunciar teoremas y corolarios que se demuestran matemáticamente. Estos constituyen las leyes del movimiento, que al ser interpretadas físicamente, conducen a predicciones que podrán contrastarse empíricamente con las mediciones de distancias y tiempos en un experimento. Por ello se dice que el método de Galileo está constituido por dos partes: una matemática y otra experimental. La parte matemática (elemento racional del método), tiene una estructura axiomática, misma que tiene la geometría de Euclides o la estática de Arquímedes. La parte experimental (elemento empírico del método), no es la simple observación del mundo o de los fenómenos, sino consiste, ante todo, en preguntar a la naturaleza algo. Al emplear medios adecuados se produce un suceso físico, cuyo resultado responde afirmativamente al cuestionamiento; para ello, hay que formular adecuadamente la pregunta y también descifrar y comprender la respuesta. Galileo formula las preguntas en términos matemáticos y de la misma manera interpreta las respuestas.

Sin embargo, analizando con mayor cuidado este método, se encuentran varios elementos filosóficos: uno, que Galileo da por supuesto que el mundo se comporta matemáticamente. Otro más se desprende inmediatamente de su afirmación al inicio del estudio sobre el movimiento acelerado en la Tercera Jornada de sus *Discursos*, "… a la investigación del movimiento acelerado, nos llevó como de la mano, la observación de la costumbre y modo de proceder de la naturaleza misma en todas sus restantes obras, en cuya realización suele valerse de los medios más apropiados, simplísimos y en extremo fáciles…" Es decir, que la naturaleza realiza en sus leyes relaciones simples, a lo que se le ha llamado *Principio de Economía*. Este principio tiene evidentemente un carácter filosófico-especulativo porque ¿quién garantiza que la naturaleza se comporta de acuerdo con leyes simples? Así pues, existe un sustento filosófico en el método de Galileo y solamente con su comprensión se podrá entender qué importancia le daba a cada uno de los elementos que constituyen su método.



Busto de Galileo Galilei en Villa Il Gioello, Florencia, Italia

> *"El gran libro de la naturaleza está escrito en símbolos matemáticos."*
> *Galileo Galilei*

Parte II: Fundamento filosófico

En la primera parte de este ensayo caractericé el procedimiento empleado por Galileo Galilei en su método de investigación. Ahora se analiza el fundamento filosófico empleado por él en dicho método.

Alexandre Koyré (1892-1964), historiador del pensamiento científico dice:

> *En las obras de Galileo las alusiones tan numerosas de Platón, la mención repetida de la mayéutica socrática y de la doctrina de la reminiscencia (anamnesia), no son adornos superficiales que provienen del deseo de amoldarse a la moda literaria surgida del interés que siente por Platón el pensamiento del Renacimiento. Tampoco están encaminadas a ganar para la nueva ciencia, la simpatía del "lector medio" cansado y asqueado de la aridez de la escolástica aristotélica, ni a revertirse contra Aristóteles de la autoridad de su maestro y rival, Platón. Muy al contrario, estas alusiones son perfectamente serias y deben ser tomadas tal cual .*

Tomar de esa forma estas alusiones de Galileo significa considerarlo platónico. Pero, ¿qué es el

platonismo? Veamos:

> La filosofía de Platón está basada en su teoría de las ideas. De acuerdo con una interpretación moderna del platonismo, esta teoría surgió como una explicación a la posibilidad del conocimiento matemático, así como de la conducta moral.

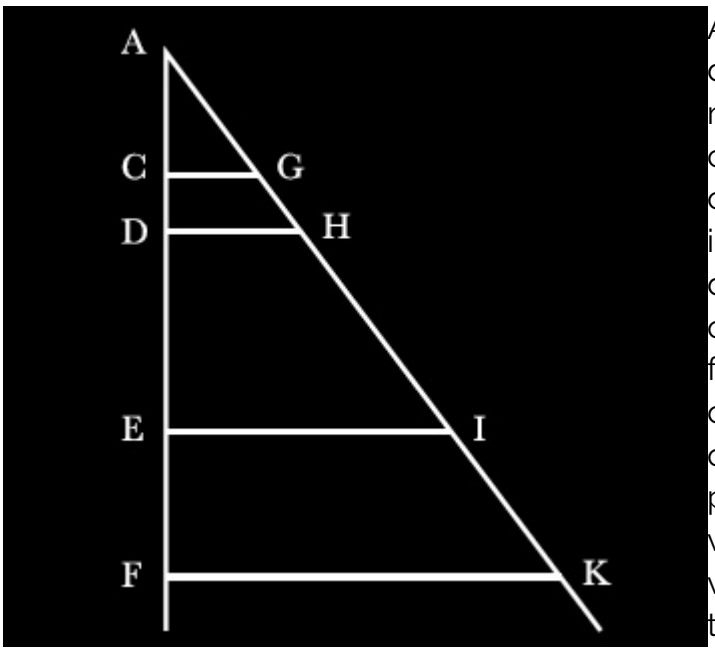
Nos interesa el platonismo en Galileo, en particular en el método que este construyó, por lo que dejaremos de lado al aspecto moral. Platón, para quien la demostración matemática satisfacía las más altas normas de verdad, consideraba que esta disciplina era la forma más desarrollada del conocimiento; sin embargo, desde el punto de vista lógico, el estudio de la matemática, en particular la geometría, condujo a ciertos problemas, y precisamente la solución de estos originó su teoría de las ideas. Recordemos que la geometría ocupaba gran parte del trabajo de los matemáticos griegos.

Siguiendo la línea de pensamiento dada por Hans Reichenbach en su libro *La Filosofía Científica* editado por el Fondo de Cultura Económica (1973), el autor de esta moderna interpretación del platonismo, asegura que el problema que surge de tal estudio expresado en forma y términos lógicos modernos, sería el siguiente: todos los teoremas geométricos son juicios sintéticos *a priori*, pero estos juicios, ¿cómo son posibles?, es decir, ¿cómo es posible el conocimiento matemático? Expliquemos esto: el juicio es la afirmación de una relación entre un sujeto y un predicado. Si un juicio es verdadero, entonces, o está fundado en la experiencia, en cuyo caso se llama a posteriori, o no lo está, denominándose a priori. Por otra parte, si el predicado le añade algo al sujeto, el juicio se llama *sintético* (nos da información, es informativo); si no le añade nada nuevo, entonces se llama *analítico* (se explica a sí mismo, es auto-explicativo). Así, se concluye que hay juicios sintéticos a posteriori, como: "la silla está rota" o "los metales al calentarse se dilatan". También existen juicios analíticos *a priori*, como: "el triángulo tiene tres ángulos" o "la circunferencia es el conjunto de puntos del plano que equidistan de un punto fijo, llamado centro". Estos dos tipos de juicios no presentan dificultad alguna. En cuanto a los juicios analíticos *a posteriori*, se deduce con facilidad que son inútiles e inexistentes, ya que no vale la pena volverse hacia la experiencia con el fin de formar juicios analíticos a los que se podría acceder sin la experiencia. Nos faltan los juicios sintéticos *a priori*, como: "la suma de los ángulos interiores de un triángulo da 180 grados". Analicemos este juicio: Es claro que este es un juicio sintético, ya que no está en el concepto de triángulo el hecho de que la suma de sus ángulos interiores valga 180 grados; podría sumar 179 o 160 grados o cualquier otro valor. Por otro lado, puede ser *a priori* porque esta propiedad del triángulo la podemos obtener sin recurrir a la experiencia, pero en este caso, ¿cómo sabemos que el juicio es verdadero? La respuesta es clara, existe una demostración matemática. Hans Reichenbach, nos dice a propósito de esta demostración:

"Para esta prueba (el matemático) traza líneas en un papel y nos explica ciertas relaciones con referencia a su dibujo, pero no mide los ángulos. Acude a determinadas verdades generales llamadas axiomas, de las que deriva el teorema, lógicamente. Por ejemplo, se refiere al teorema de que dada

una línea recta y un punto fuera de ella, hay una y solo una paralela a esa línea que pase por ese punto. Este axioma está ilustrado en su diagrama, pero no lo prueba por medio de medidas, no mide las distancias entre las líneas para demostrar que las líneas son paralelas".

De tal modo, Reichenbach nos expresa brevemente en qué consiste el método axiomático y señala una de las cualidades del método matemático, que consiste en no recurrir a la experiencia y considerar por tanto el conocimiento geométrico como producto de la mente (por lo menos así lo consideraban los matemáticos griegos). Lo importante de estos juicios sintéticos *a priori* es que se obtiene información sin recurrir a la experiencia. Si trazamos un triángulo sabemos de antemano, por deducción lógica, que la suma de sus ángulos interiores es de 180 grados. De ahí su importancia, pues resulta que la razón se muestra en la posibilidad de descubrir propiedades generales de los objetos físicos. ¿Cómo puede la razón hacer esto?, es decir, ¿cómo puede formular los juicios sintéticos *a priori*? Este es el problema que se planteó Platón y cuya solución es precisamente su teoría de las ideas. Platón afirma que paralelamente al mundo de los cuerpos físicos existe un mundo de las ideas; así, existe la idea de triángulo, y los triángulos que dibujamos pertenecen al mundo físico. Las ideas son superiores a los objetos físicos porque muestran las propiedades de estos objetos de un modo perfecto, de tal manera que conocemos más sobre el objeto físico conociendo su idea que al objeto mismo. En geometría, se tienen líneas rectas, pero una línea recta dibujada tiene grosor, elemento que no tiene la idea que maneja el geómetra; así pues, el dibujo, que es el objeto material, no es más que una burda "imagen material" de la idea recta. Esta discrepancia entre el significado del concepto geométrico y su realización en objeto físico conduce a Platón a la creencia de que debe existir un objeto ideal o representación ideal de este significado. Así construye su mundo ideal en el cual no solo hay ideas geométricas o matemáticas, sino incluye todo tipo de ideas, como por ejemplo la idea de mesa, de República, de virtud, etcétera.



Ahora bien, una vez que Platón construye el mundo de las ideas, de los objetos ideales paralelo al mundo físico, resuelve el problema del conocer, y con él contesta la pregunta que se planteó originalmente, afirmando que las propiedades de las ideas se obtienen en actos de visión, de recuerdo y de este modo se adquiere un conocimiento de los objetos materiales. Esta visión, este recuerdo, es fuente de conocimiento como lo es la percepción u observación sensorial, pero superior a esta, porque obtenemos propiedades necesarias de las ideas y por tanto del objeto físico, que es imagen de dicha visión. Los axiomas geométricos se presentan como verdades necesarias e infalibles, así como los teoremas deducidos de ellos, por lo que no pueden

Dibujo geométrico para deducir las propiedades del movimiento uniformemente acelerado. Los segmentos en la línea AF representan intervalos de tiempos y los segmentos paralelos a FK representan velocidades.

ser derivados de la experiencia sino que se conocen por actos de visión o de recuerdo. De tal manera, el conocimiento geométrico es posible y con él, los juicios sintéticos *a priori*.

Esto es, en síntesis, la teoría de las ideas de Platón. Ahora se entiende por qué consideraba el conocimiento matemático como superior a los demás (ver Platón, *Diálogos*; estudio preliminar, Ed. Porrúa, 1972). Solamente falta precisar que para un platónico, el conocimiento matemático debe ser utilizado en el estudio de la física; es decir, ser platónico significa reivindicar para las matemáticas un estatuto superior y atribuirle un valor real y una posición decisiva en la física. Además, ser platónico es reconocer que la única manera de aprehender la esencia del objeto, no es por medio de la percepción de los sentidos (como afirmaban los aristotélicos), sino a través del conocimiento intelectual, del conocimiento sintético a priori, del conocimiento matemático. Pues bien, esto es precisamente lo que Galileo acepta. Su obra científica así lo indica, en particular, la *Tercera y Cuarta Jornadas* de sus discursos no son otra cosa que la matemática aplicada al movimiento de los cuerpos.

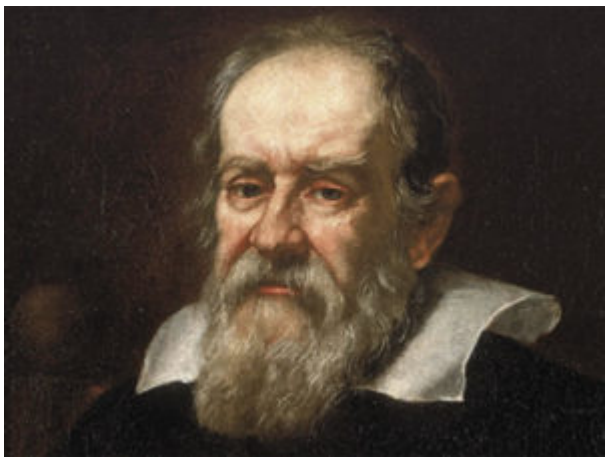
Pero, si es cierto que Galileo Galilei es un platónico, entonces ¿qué papel juega el elemento empírico en su método?

> *"Estoy seguro sin observaciones que el efecto sucederá tal como digo, porque debe suceder así."*
> *Galileo Galilei*

Parte III: Elemento empírico, filosofía y física

Para responder esta pregunta debemos insistir en que el elemento empírico no es la experiencia, sino la experimentación, que consiste, como ya se mencionó, en preguntar metódicamente a la

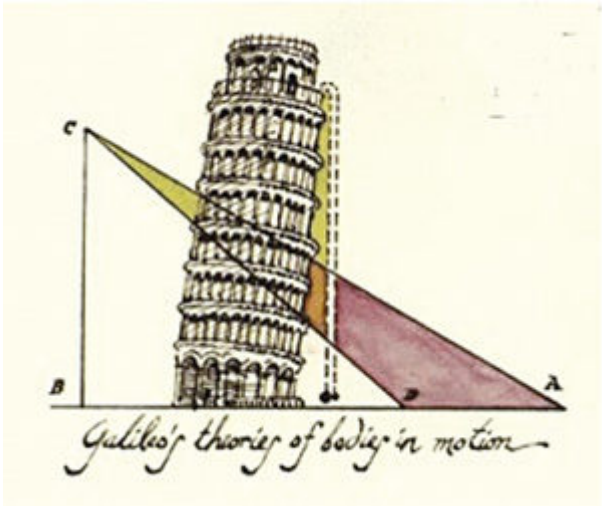
naturaleza; pero estas preguntas se deben realizar con un cierto lenguaje y tener, como en todo lenguaje, un diccionario, un descifrador que permita leer e interpretar los resultados del experimento. Para Galileo, este lenguaje es el de la geometría euclideana, el cual contiene su propio diccionario; hay que preguntarle a la naturaleza usando triángulos, círculos, parábolas, etc., puesto que la naturaleza es matemática y la respuesta se interpretará también en esos términos. Por cierto, Ludovico Geymonat, otro investigador contemporáneo de la historia del pensamiento científico, considera que el lenguaje de la geometría euclideana es el primer lenguaje científico que se construye, y que Galileo se empeñó por ello en reducir el problema físico del movimiento de los cuerpos a un problema geométrico (ver L. Geymonat, *El Pensamiento Científico*, Ed. Universidad de Buenos Aires, 1971).


Retrato de Galileo Galilei pintado por Justus Sustermans en 1636.

Se comprende pues, que no se puede separar el experimento del lenguaje, y con él, del método axiomático de la geometría euclideana. Esto permite contestar la pregunta que se formuló anteriormente, es decir, ¿qué papel juega el elemento empírico en el método galileano? Cuando se hace un experimento es porque se tiene algo qué preguntar a la naturaleza, y este algo se ha obtenido con inferencias racionalmente necesarias a partir de premisas verdaderas, lo que permite afirmar que es la razón la que rige al experimento; en consecuencia, la experimentación desempeña un papel totalmente subordinado al elemento racional. Más aún, como Galileo es platónico, este algo que se ha obtenido ya es verdadero, puesto que supone verdaderas sus premisas; entonces ¿cuál es la razón de ser del experimento? Simplemente corroborar empíricamente lo que se demostró racionalmente. El método galileano parte, ante todo, de la idea de que la naturaleza es gobernada por leyes matemáticas, de tal manera que estas tienen que estar de acuerdo necesariamente con los experimentos que se realicen, o más precisamente, los experimentos deben de estar de acuerdo con las leyes. Además, las leyes de la naturaleza son deducidas de los postulados, y estos a su vez, se obtienen a partir de la abstracción y de la intuición matemáticas sobre las observaciones directas de los fenómenos (para Galileo esta intuición matemática sería la visión o el recuerdo platónico), por eso, las leyes no necesitan los experimentos. Es oportuno señalar que en los

Discursos el método de investigación se confunde con el método de exposición; es decir, la manera como Galileo presenta su material parecería ser la misma que como él lo descubrió.

Con lo anterior, se ha mostrado que no es el elemento empírico del método galileano el fundamental, como nos han hecho creer los estadunidenses (Alexandre Koyré después de mostrar que Crew y De Salvio se equivocaron al traducir los *Discursos* de Galileo, dice: "No es de extrañar que la leyenda de un Galileo empirista y experimentador esté tan firmemente establecida en América, pues, desgraciadamente los historiadores americanos, incluso los mejores, citan a Galileo, o por lo menos los *Discursi*, a partir de la traducción inglesa"), sino el elemento racional dado por la estructuración axiomática.



Teoría de los cuerpos en movimiento de Galileo.

Resulta claro que actualmente no se entiende el método científico a la manera galileana, porque es el experimento el que le otorga certeza o falsedad a la formulación racional, y por tanto, a las premisas de las que se parte, esto es, porque no se es platónico, pero Galileo sí lo era y se comete un error al tratar de atribuirle esta interpretación moderna.

Parte III: Elemento empírico, filosofía y física

Finalmente señalamos otra característica de orden filosófico que tiene el método galileano. Descartes refiriéndose a Galileo dice: "Encuentro en general que filosofa mucho mejor que el vulgo, en que deja lo más que puede los errores de la escuela y trata de examinar las materias físicas por razones matemáticas. En esto, concuerdo enteramente con él y sostengo que no hay ningún otro medio de encontrar la verdad. Pero me parece que falla mucho en que hace continuamente digresiones y no se detiene a explicar del todo una materia, lo cual indica que no las examinó por orden, y, que sin haber considerado las primeras causas de la naturaleza, solo buscó las razones de algunos efectos particulares, y así, que ha edificado sin cimiento" (ver R. Blanché, *El Método Experimental y la Filosofía de la Física*, Breviarios del FCE, 1975).

Esta crítica que hace Descartes a Galileo a la luz del desarrollo posterior del pensamiento científico, habla en favor de Galileo más que de Descartes. Fue precisamente el no considerar las causas primeras de la naturaleza y buscar solamente las razones de algunos efectos particulares, lo que llevó a Galileo a encontrar las leyes del movimiento sobre la superficie terrestre (caída libre y movimiento de proyectiles), cosa que Descartes no pudo hacer (recuérdese que la teoría de los torbellinos lejos de representar un avance científico significó un retroceso, ya que era una explicación cualitativa al modo aristotélico y no cuantitativa al modo galileano del movimiento de los cuerpos, porque en tanto que Galileo se conformaba con describir el movimiento, Descartes quería explicarlo. Esta es la característica del método galileano que se quería señalar; Galileo no se pregunta la causa, el porqué del movimiento sino el cómo de su desarrollo. Galileo dice en sus discursos:

"No me parece ocasión oportuna para entrar, al presente, en investigaciones sobre la causa de la aceleración del movimiento natural, en torno a la cual han sido diversas las opiniones emitidas por los filósofos, reduciéndola algunos a la atracción hacia el centro de la tierra, otros a que van quedando sucesivamente menos partes del medio que ha de ser hendido, otros a cierta impulsión de parte del medio ambiente al que volver a reunirse por detrás del móvil, lo va oprimiendo y empujando continuamente". Sería interesante, aunque de poca utilidad, ir examinando y resolviendo todas estas fantasías y otras más. Por ahora, a nuestro autor le basta con que comprendamos que él quiere investigar y demostrar algunas propiedades de un movimiento acelerado, cualquiera que sea la causa de su aceleración.

De esta manera Galileo separa el pensamiento filosófico (el de las causas últimas) del pensamiento científico, al permitir con ello que surgiera y se desarrollara la ciencia moderna, en particular la física. Esto no significa que la física no explique el fenómeno, sino que lo explica precisamente porque lo describe. Esta modificación del punto de vista cualitativo al punto de vista cuantitativo abrió la posibilidad de una confrontación entre la teoría que se formula y la realidad, lo que no es otra cosa que la experimentación. Aquí está la genialidad de Galileo.

Termino estas reflexiones sobre Galileo Galilei y su método de investigación afirmando que las dos características más relevantes que se han discutido del pensamiento galileano son las siguientes: la primera corresponde a la aceptación de Galileo de la epistemología platónica y con ello del uso de las matemáticas como lenguaje científico; la segunda característica corresponde a la separación que realiza al estudiar la naturaleza entre el pensamiento filosófico, el cualitativo, el de las causas últimas, del pensamiento científico, el de la descripción cuantitativa de los fenómenos. Junto con la aplicación exitosa de su método, estas características son, creo yo, el fundamento del método científico moderno. Es por estas razones que a Galileo Galilei se le considera el fundador de la ciencia moderna. C^2