

24
2ej.



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Facultad de Ciencias

**ALGUNOS ASPECTOS DE LA ASTRONOMIA DE
CARLOS DE SIGUENZA Y GONGORA**

Tesis Profesional
Que para obtener el título de
LICENCIADO EN MATEMATICAS

presenta

Mónica Pérez Linares

México, D.F.

1992

FAJLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción	3
¿Cuál es el problema?	4
Capítulo I. La gravedad.....	7
El problema del movimiento.	7
Aristóteles	7
El movimiento.....	8
El movimiento circular	19
Universo Aristotélico	22
Galileo Galilei.....	24
¿Quién era Galilei?	26
Problemas heredados.....	27
La inercia	35
La gravedad	40
La gravitación y Newton.....	41
Algunos efectos de la gravedad	42
Capítulo II. Carlos de Sigüenza y Góngora.....	51
La época barroca	51
¿Quién era Carlos de Sigüenza y Góngora?.....	55
La obra de Sigüenza	58
La Libra astronómica y filosófica	61
¿Qué implicaciones tiene la Libra?	70

El apartado sobre gravedad	72
Discusión	77
La tesis de Trabulse	80
El astrólogo	84
El astrónomo.....	86
El matemático	88
El paradigma.....	89
Conclusiones.....	93
Bibliografía	95

Introducción

En el intento de esbozar un segmento de la cultura científica de Nueva España se encuentran varias e interesantes cuestiones. Una primera puede ser, aunque un tanto irrespetuosa, la duda acerca de la existencia de tal cultura científica.

Las razones de proponer esta duda no están emparentadas de manera alguna con ninguna clase de menosprecio. Más tiene que ver con el número de cejas levantadas que surgen al hablar de la cultura científica de Nueva España en el siglo XVII, pero más sólidamente de la posibilidad de hablar de la cultura científica de una colonia un tanto aislada de los focos fértiles de culturas en ebullición.

Un segundo planteamiento se refiere a los grados de originalidad y avance de la cultura científica novohispana, en caso de aceptar su existencia.

Estas cuestiones en sí mismas desencadenan una serie de implicaciones que resultan muy interesantes de desentrañar. La búsqueda de los antecedentes europeos de la ciencia colonial, fuentes de los científicos coloniales, censura y tráfico de libros son algunos de los temas que se relacionan con la cultura científica novohispana.

Dentro de todo este torbellino cultural, la elección de un personaje, que a nuestro juicio resulta un excelente representante del siglo XVII, es ciertamente limitada y aún más si se considera un solo aspecto de la vastedad de su vida, obra y virtudes. En el trazo que se intenta dar de la personalidad científica de Don Carlos de Sigüenza y Góngora, encajada en la amplitud de su cultura y de su tiempo, seguramente quedarán muchas lagunas que requerirán ser cubiertas. Parcialmente es esa la intención, provocar cuestiones, proponer opiniones alternativas y mostrar un aspecto de una cultura, aún no sabemos si propiamente científica o no, pero rica en intentos y en curiosidades que en algún momento resultaron fallidos los unos y no colmadas las otras.

La inspiración primigenia de este trabajo se debe a un proyecto sobre la Historia de la Ciencia en México que se lleva a cabo en la Facultad de Ciencias y que está en su tercer año de vida. La idea de mostrar un poco de la riqueza histórica que se generó en el desarrollo de este trabajo fue tentadora y de nuevo, Carlos de Sigüenza era una oportunidad envidiable. A Don Carlos no hubo que sacarlo de los polvos del desconocimiento porque desde hace muchos años mal que bien, su nombre no ha dejado de aparecer intermitentemente en algún libro de poesía, historia o geografía. Además, ha sido sujeto de varios interesantes estudios

sobre su obra científica, histórica y geográfica. Pero si bien a muchas personas les resulta conocido este personaje, parte de esta tesis se preocupó por investigarlo de manera local; Don Carlos como un buen número de intelectuales de su época, incluso anteriores y posteriores, permanecen parcial o totalmente desconocidos y descuidados como los libros que contienen sus obras en bibliotecas desorganizadas, sin recursos o bien extranjeras o privadas.

Pero la idea no es quejarse sino compartir las motivaciones de este trabajo que intentará mostrar los antecedentes de un problema concreto, el de la gravedad.¹ En este intento se hace necesaria una introducción al problema que intentamos resolver, pero también dada la naturaleza del problema de la gravedad, el proporcionar elementos de la teoría de la cual se deriva este problema resultan centrales.

Precisamente la finalidad de esta sección es proveer un antecedente a este problema tratando a tiempos aspectos aparentemente desconectados entre si como pudieran parecer las teorías aristotélicas o la caída libre de Galilei. Pero todo esto tiene la finalidad de proporcionar antecedentes necesarios para la comprensión de este trabajo.

Cuando se encuentran tantos temas ricos para explorar, resulta un error común intentar abarcar demasiado en un solo trabajo y con tan poca experiencia, así que aunque el deseo hubiera sido hacer un merecido relato del estado de la ciencia y específicamente del problema de la gravedad en la Nueva España, previos a la introducción directa a la tesis histórica de este trabajo, nos concretaremos a establecer solamente algunos elementos.

¿Cuál es el problema?

La curiosidad por el pasado es una gran tentación por si misma, pero reconsiderar algunas opiniones formadas sobre ese pasado resulta aún más tentador. La gran ventaja de la historia, (y la historia de la ciencia no es la excepción) es que no hay nunca una última palabra. Siempre se descubren datos, obra inédita, correspondencia, archivos personales y tantos otros recursos que ayudan a armar un rompecabezas que toma mayor forma a medida que se descubren más cosas. Aunque los descubrimientos evidentemente, no son todo. También las aproximaciones a los hechos cambian, así como las formaciones, las nuevas

¹ A lo largo de todo este trabajo, nos referiremos como *gravedad* al concepto actual de *gravitación*.

teorías y los recursos tecnológicos que contribuyen al estudio del pasado se modifican y forzosamente aparecen nuevos modos de considerar los hechos.

Precisamente este trabajo pretende ser una aproximación alternativa a un hecho de la historia de la ciencia en México: *la idea de gravedad en Carlos de Sigüenza y Góngora*. Las razones para haber elegido algo tan específico como este concepto en la obra de Sigüenza y Góngora tiene su inspiración en el tratamiento realizado por Elías Trabulse con respecto a la Ciencia y la Religión en México en el siglo XVII. En esta obra se analizan las posibles influencias y consecuencias de la cambiante ciencia europea del XVII sobre la ciencia novohispana. El cometa del año 1680 se propone en la obra de Trabulse como un buen ejemplo para evidenciar la introducción de las nuevas teorías astronómicas en la ciencia de la Colonia. Las conclusiones que arroja este estudio se basan en el análisis de algunos aspectos de las obras científicas de Carlos de Sigüenza y de Eusebio Kino. Puede decirse que la tesis de Trabulse consiste en descubrir en el trabajo de Carlos de Sigüenza algunos "síntomas de modernidad científica"² en su tratamiento acerca del tema cometario. Para Elías Trabulse es posible considerar la obra de Sigüenza como precursora de los adelantos científicos que se desarrollaron en Europa en el siglo XVII.

Para fundamentar sus ideas, Trabulse nos introduce en la disputa que generó la aparición en los cielos del cometa en 1680 y los tratados que se publicaron con este motivo. Trabulse se detiene en algunos aspectos de la obra de Carlos de Sigüenza que considera inequívocos síntomas de modernidad científica. Uno de los aspectos analizados es la idea de la gravedad en Sigüenza.

Poseemos la idea de que el concepto de la gravedad entraña en sí mismo una concepción del universo y sus fenómenos. A la gravedad se le asocia el movimiento y siendo éste un fenómeno que se da en la Tierra como en los planetas y estrellas, ahondar en su concepto puede aportar datos importantes de las ideas científicas de Sigüenza. En torno a su concepto de gravedad se puede reconstruir una parte fundamental de su pensamiento científico. Esto se debe a que en él se incorporan como ya se dijo, ideas cosmológicas y acerca del movimiento que permiten descubrir la tradición cultural con la que se identificó realmente Carlos de Sigüenza.

² Trabulse 1974, 1-2.

Es precisamente descubrir esta tradición lo que constituye la tesis de este trabajo. Para realizar esto, se hace una breve historia del movimiento y de la evolución del concepto de gravedad para proporcionar elementos de comparación con las corrientes que se consideraron más importantes en torno al tema. Posteriormente se confrontan las ideas de Sigüenza con aquellas de la tradición newtoniana con la intención de mostrar las diferencias que descubrimos entre ambas. Por último, con los anteriores elementos, se presentan nuestras propias conclusiones respecto a la personalidad científica de Carlos de Sigüenza y Góngora.

Capítulo I. La gravedad

El problema del movimiento.

Desde épocas tempranas, el movimiento suscitó gran curiosidad en el hombre por conocer sus causas y sus efectos. La interrogante del cambio y del movimiento estaba presente en la mudanza de los astros en el cielo, así como en el hecho natural de arrojar objetos sobre los alrededores de la superficie terrestre. La intención de esta exposición es presentar algunas ideas al respecto de la gravedad.

El concepto actual de gravedad abarca, entre otros, desde la explicación de la caída de los cuerpos en la tierra hasta la manera en que giran los planetas alrededor del Sol. Pero esta noción tan amplia de la idea de gravedad posee poco más de trescientos años, desde que Newton propuso su ley de la gravitación universal, aproximadamente en 1685. Antes de este tiempo la gravedad se asociaba con teorías que trataban la caída de los cuerpos, mientras que el movimiento de planetas y otros cuerpos celestes se estudiaban de manera independiente.

Debido a los conceptos tan distintos de la gravedad, se ha elegido presentar las tradiciones intelectuales que se consideraron de mayor presencia y relación con el tema de este trabajo.

En una primera aproximación se tratarán las explicaciones aristotélicas al porqué de la caída de los cuerpos. Posteriormente se presentarán algunos de los hallazgos de Galilei en relación a la caída para concluir con los desarrollos newtonianos de la dinámica y la ley de la gravitación universal.

Aristóteles

Tal vez el primero que concibió el problema de la caída de los cuerpos como tal fue Aristóteles.

Aristóteles nació en Estagira hacia el año 384-383 a.C. Desde muy joven, aproximadamente a los dieciocho años ingresó a la Academia de Platón en Atenas. Esta estadía que se prolongó por 20 años tuvo gran trascendencia ya que fue durante este período cuando las ideas filosóficas de Aristóteles maduraron y se consolidaron. La influencia de Platón no impidió que Aristóteles desarrollara una doctrina con divergencias importantes en relación a la de su maestro, aunque también coincidente con ella en algunos aspectos.

Las teorías aristotélicas en relación a la astronomía y las matemáticas, según Dijksterhuis, siguen claramente el camino trazado por Eudoxio y Platón. Aristóteles, como ya se ha dicho, fue en una época seguidor decisivo de Platón e incluso defendió por escrito algunas posturas platónicas.³ A la muerte de Platón aproximadamente 347 a.C., Aristóteles dejó la Academia. Una de las posibles razones de su salida fue que la nueva dirección a cargo de Espeusipo se alejaba sensiblemente de sus convicciones.

Posteriormente, hacia 335-334 a.C., fundó su propia escuela, el Liceo, que se contrapuso a la Academia e incluso llegó a tener un papel más dominante que ésta. La etapa del Liceo fue la más fecunda en la vida de Aristóteles y se considera que fue cuando sus tratados filosóficos y científicos se consolidaron en un cuerpo coherente que es lo que ha llegado hasta nuestras manos. Aristóteles falleció en 322 a.C. exiliado de Atenas por razones políticas.

El movimiento

El nombre de Aristóteles sugiere de alguna forma un proceder intelectual imperecedero, amplio y sobre todo dominante en el pensamiento de Occidente. Esta influencia no es poco fundada ya que Aristóteles incursionó en física, química, astronomía, biología, medicina, lógica, metafísica, política, retórica y crítica literaria. La importancia que tuvo durante períodos históricos prolongados, aunque puede no ser bien vista, es insoslayable. Precisamente estos prolongados períodos contemplan, desde la gran influencia que tuvo durante la Edad Media (aproximadamente a partir del siglo XII) hasta algunas concepciones intuitivas de origen aristotélico que hoy en día podemos poseer respecto, tanto del universo como de las leyes del movimiento que rigen nuestro mundo.

En una primera aproximación esto puede resultar un tanto increíble, pero no lo es. La razón que se ofrece es que las teorías aristotélicas relativas a ciertos aspectos físicos como la caída de una piedra, por ejemplo, están impregnadas fuertemente de sentido común, no en balde la física de Aristóteles se suele llamar la física del sentido común.⁴

Ahora bien, no se quiere decir que las teorías físicas de Aristóteles sean mejores que las que poseemos o peor aún, que sean correctas. De ninguna manera. De hecho la física aristotélica esta superada, pero hay que reconocer que intuitivamente sus concepciones no carecen de

³ Aristóteles, El grillo o De la retórica, citado por Reale 1988, 161.

⁴ Cohen 1985, 25.

lógica y más aún, algunas parecen verificarse dentro del contexto de nuestra vida diaria. Bien dice Kuhn⁵ que a pesar de que sabemos que dos cuerpos de distinto peso llegan al mismo tiempo a la tierra después de dejarlos caer desde una misma altura, la experiencia diaria nos muestra que las cosas muy pesadas parecen caer más rápido que las muy ligeras. ¿Qué sucede entonces? Se puede decir que se trata de una cuestión de percepción pedestre de la realidad que se confirma con los sentidos. Las leyes que sustituyeron a estas percepciones primitivas, como la ley de Galilei que nos explica que cuerpos de distinto peso llegan al mismo tiempo a la tierra, resultan más útiles a la ciencia que las que propuso Aristóteles debido a que van más allá de la experiencia sensorial y descubren un aspecto menos obvio pero tal vez más esencial del movimiento. Precisamente un logro aristotélico lo constituye el haber descubierto muchas percepciones espontáneas del universo del hombre y haberlas expresado de una manera consistente en un cuerpo coherente, lógico y de amplitud inmensa. Por estas razones, esbozadas de manera breve, la influencia de Aristóteles sobre la cultura de occidente no puede ser desdeñada, ya que estaba fundada en bases nada triviales.

No resulta entonces raro el considerar algunos elementos de la teoría del movimiento de Aristóteles para ilustrar el horizonte cultural de muchas figuras que le sucedieron. Para hacer esto se debe comprender la dificultad de extraer únicamente aquellos puntos que se relacionan de manera directa con el interés del trabajo, porque precisamente el carácter sistemático y coherente del cuerpo de sus doctrinas no permite a tiempos desencajar conceptos del tejido al que pertenecen. La naturaleza de su trabajo es oscura y es frecuente encontrar una palabra a la que se asignan distintos significados. Los posibles significados del ser en Aristóteles, divididos en cuatro grupos fundamentales de concepciones constituyen un ejemplo de este caso. La obra aristotélica entonces requirió de comentarios, los cuales con el paso del tiempo se confundieron con la obra original algunas veces llegándola a modificar seriamente. De tal suerte que puede resultar engañoso atribuir cierta opinión a Aristóteles o a algún comentador, o bien no poder disociar entre uno y otros.

Tomando en cuenta lo anterior para intentar explicar el movimiento en la teoría aristotélica se hace necesario comentar algunos elementos de su filosofía.

⁵ Kuhn 1957, 94.

Para algunos autores⁶ la influencia platónica en Aristóteles resultó muy importante, no solo la del mismo Platón sino de figuras que estuvieron asociadas a la Academia, como Eudoxio y Calipo cuyas teorías astronómicas influenciaron fuertemente a Aristóteles.

Los aspectos que diferencian a Platón y Aristóteles y que gozan de una aceptación relativamente general son los siguientes:⁷

Platón concedía demasiada importancia a la idea de que el mundo percibido con los sentidos era una mera ilusión de otras formas ideales y perfectas. Dada la naturaleza perfecta y abstracta de los objetos matemáticos es comprensible que el pensamiento platónico estuviese muy ligado a las matemáticas.

Esto se explica ya que consideró que el pensamiento puro era lo único que podía acceder al mundo más allá de los sentidos, del tiempo y del espacio, en donde las formas ideales de las que se habló llevaban de hecho, una existencia independiente. Ahora bien, de las actividades intelectuales el pensamiento matemático es el que se asemeja de manera importante a las concepciones platónicas.⁸

Quando se hace uso de diagramas o esquemas imperfectos en el proceder matemático, se pretenden obtener relaciones de validez universal que no tienen que ver específicamente con esa precisa figura, la cual constituye una burda imitación de formas ideales que existen realmente. La figura constituye un apoyo para un razonamiento que tiene que ver en verdad con formas geométricas ideales o en el caso de la aritmética con agregados de cosas y aunque la observación de estas abstracciones puede inspirar resultados de exactitud perfecta, el análisis empírico que se realiza debe ser abandonado eventualmente ya que existirán resultados o proposiciones alcanzadas, que será imposible verificar en el mundo material.

En este sentido se vislumbran semejantes el proceder matemático y el platónico en la manera de considerar la experiencia de los sentidos con las cosas del mundo material, es decir, del conocimiento empírico.

⁶ Reale 1988, 163; Dijksterhuis 1986, 35.

⁷ Existen filósofos como Jaeger quien no parece estar muy de acuerdo con el rasgo de sistematizador que se le aplica a Aristóteles como contrastante a Platón. Prefiere asignarle a la filosofía aristotélica un significado más abierto que el poner juntos elementos de conocimiento disperso, ya que más que esto, fue Aristóteles quien elaboró un sistema de investigación viviente. Jaeger 1962, 373-374.

⁸ Dijksterhuis 1986, 13.

Ahora bien, aunque Platón consideró el empiricismo como una ayuda para alcanzar el verdadero conocimiento, cómo la observación de la figura imperfecta permite obtener información de alguna forma ideal, este empiricismo tenía que ser abandonado eventualmente ya que para Platón, como se dijo, la manera de acceder al conocimiento real era por medio del pensamiento.

Hasta aquí lo expuesto no indica nada que pueda ser considerado como impedimento al quehacer científico, pero una de las posibles formas del desarrollo de la ciencia se lleva a cabo tanto con los hechos empíricos como con la ayuda de conceptos y métodos matemáticos que permitan crear teorías físicas. En esta etapa temprana los filósofos, no sólo los platónicos, aún no habían aprehendido el balance entre conocimiento empírico y construcción matemática, de tal forma que la escuela platónica le concedió poca importancia al conocimiento empírico. Muy diferente del proceder de Aristóteles quien no solamente se inclinó por ese modo de aproximación, sino que mostró un interés muy vivo por recoger y clasificar datos empíricos.

Según Reale,⁹ Aristóteles abandonó el elemento místico religioso presente en la obra de Platón y siguió un discurso filosófico más riguroso que el platónico. Aristóteles distinguió entre temas y problemas según su respectiva naturaleza, así como también hizo una diferenciación de los métodos con que se afrontaban y se solucionaban los diversos tipos de problemas.

Aristóteles hizo una división de las ciencias en tres grandes grupos:

1. Ciencias Teóricas, que buscan el saber por sí mismo
2. Ciencias Prácticas, que son un instrumento por el cual se llega a la perfección moral
3. Ciencias Creadoras, buscan el saber para producir ciertos objetos.

De esta clasificación lo que más nos interesa es el primer grupo, que también es considerado como el de mayor valor y dignidad y que es donde caben la metafísica, las matemáticas y la física, incluye además a la psicología.¹⁰

⁹ Reale 1988, 163.

¹⁰ Reale 1988, 164.

Aristóteles consideraba la metafísica la ciencia más elevada porque no estaba vinculada con las necesidades materiales. Para responder a la pregunta de que era la metafísica, Aristóteles propuso las siguientes definiciones. La ciencia que:

1. Indagaba sobre las causas, los principios primeros o supremos.
2. Indagaba el ser en cuanto ser.
3. Indagaba la substancia.
4. Indagaba a Dios y la sustancia suprasensible.

Estas definiciones pueden parecer complicadas pero lo que sucede es que el principio guía en la visión de la naturaleza en Aristóteles era la teleología, es decir, el hecho que todo lo que sucedía se debía a un cierto propósito y que todo el cosmos o universo con todo lo que contenía era el resultado de una planeación previa. Así las definiciones anteriores se referían a la búsqueda de las causas primeras, que estaban asociadas con Dios, que era el primer principio por excelencia y que a su vez estaba relacionado con la pregunta misma de que era el ser. Era posible preguntarse posteriormente el tipo de substancia que podía tener o aún más preguntarse por cuantos tipos de substancias existían, si sólo las sensibles, las de más allá de lo sensible y las divinas. Al llegar a este punto se habían escalado las cuatro definiciones que se complementaban y que estaban en armonía.

Pero surge la pregunta inevitable de la utilidad de la metafísica y esta cuestión solamente era posible responderla en términos de las inquietudes espirituales que surgían después de haber resuelto las necesidades físicas, una necesidad por saber y conocer lo verdadero. Este tipo de motivaciones tenían tal vez un rasgo curioso pero en realidad estaban en armonía con una tradición griega precedente a Aristóteles, quien tuvo la virtud de sintetizarla de manera poderosa. Claro que también hay que comentar que la metafísica no tenía ningún objetivo práctico porque no se contemplaba ninguna relación de esta con las necesidades materiales.

Se habló de las causas y principios, por lo que se hace necesario establecer cuales y cuantas eran estas causas. Las causas eran cuatro, causa formal, material, eficiente y final. Servían para explicar de alguna manera las condiciones de la realidad, las dos primeras se referían a la visión estática de algo, ya que la causa formal y la material aunque tenían un significado oscuro y un tanto complejo pueden quedar más claras si se relacionan con la consideración de un hombre determinado. Este desde un punto de vista simple o estático, como se dijo, podía ser considerado como la unión de carne, huesos y alma. Precisamente estos elementos,

la carne y los huesos, constituían la causa material, mientras que el alma era la causa formal.¹¹

Mientras que la causa eficiente preguntaba cómo había nacido ese hombre o quien lo había engendrado; el objetivo al cual se encaminaba constituía la causa final. Estas dos últimas causas poseían una perspectiva del hombre más dinámica que las causas material y formal, porque su análisis iba más allá de la explicación de la constitución de una cosa.

De entre las definiciones de metafísica se encontraba aquélla que estudiaba al ser y sus propiedades. Pero era dominio estricto de la metafísica estudiarlo por entero es decir, considerándolo como un todo, dejando las características consideradas de manera específica a las ciencias particulares.

La definición del ser para Aristóteles no era unívoca, precisamente la múltiple asignación de significados del ser es considerada¹² una gran innovación porque para corrientes anteriores a Platón y Aristóteles, por ejemplo Parménides y los eleáticos, el ser tenía un solo concepto y era único.

Como se expresó, Aristóteles propuso abarcar todas las posibles explicaciones del ser y las agrupó en cuatro conjuntos de significados. El ser como categorías, el ser como acto y potencia, el ser como accidente y el ser como verdadero. Todos tenían la finalidad de dar una definición del ser, que de manera ingenua se referían al deseo de explicar las cosas que existían. Nos concretaremos al segundo grupo de definiciones, relativos a la potencia y al acto, ya que el movimiento aristotélico estaba definido en términos de estos conceptos del ser.

En palabras relativamente simples una cosa o ser era potencialmente en lo que se podía convertir y era actualmente lo que era en ese momento. Un ejemplo tan útil como trillado es aquel del bloque de mármol que es potencialmente la estatua que se formará de él, pero ésta no existirá en realidad o en actualidad hasta que no se realice el trabajo de esculpir en ella. El movimiento fue definido como una transición entre potencialidad y actualidad. En la

¹¹ Materia se debe entender en el sentido en que se opone a forma. La forma en la teoría aristotélica es lo que le da unidad a una porción de la materia. Las cosas, para Aristóteles, deben ser limitadas y el límite constituye la causa formal o forma. De manera estricta la causa formal de una cosa es su esencia y es independiente de la materia. Russell 1980, 187-187.

¹² Reale 1988, 166.

transición de potencia a acto podían darse las siguientes modificaciones: generación o decaimiento de una cosa, alteración de sus cualidades, aumento o disminución de volumen o bien, cambio de posición. Este último era llamado movimiento local y constituye un punto de nuestro interés.

El movimiento era un problema filosófico que ya había sido tratado con anterioridad. Los eleatas se distinguían porque su posición fue la de la negación del movimiento, atribuyendo a la ilusión el hecho que las cosas se movieran. Aristóteles pensó que la física tenía como tarea principal aquella de la explicación del movimiento. Para abordar esta tarea hizo referencia a los más sencillos principios que explicaban una serie de hechos complicados, éste fue una genuina herencia de Eudoxio que lo utilizó en la explicación de los movimientos planetarios usando círculos. Pero la explicación del movimiento estaba ligada a las razones del movimiento, el porqué se mueven las cosas.

Como se dijo, Aristóteles pensaba que todas las cosas tenían un fin determinado, éste es básicamente el principio teleológico. Pero junto con éste, Koyré¹³ plantea que la concepción del mundo de Aristóteles establecía como primer punto la creencia de naturalezas bien determinadas y como segundo aspecto la creencia en la existencia de un cosmos, es decir, una serie de principios de orden en virtud de los cuales el conjunto de los entes reales formaba un todo bien ordenado.

También sería importante señalar el principio teleológico como el que proveyó a la teoría de un fin determinado. La naturaleza en si, era considerada como una fuente de seres inmóviles o móviles. Según Russell, las cosas tienen "una naturaleza" si tienen un principio interno de este género, puesto que la naturaleza de una cosa es su fin, aquello que atención al fin, existe.

Siguiendo a Koyré, ese orden cósmico hacía que las cosas estuvieran en su lugar y aquellas que no lo estaban deberían estarlo. Dicho lugar no podía ser cualquiera, era un lugar especial, un lugar naturalmente asignado a cada cosa. Pareció necesario plantear casi como una exigencia en la teoría aristotélica el concepto de lugar natural debido a que traducía una concepción del orden puramente estática en la cual, los conceptos de movimiento surgían de manera natural. Con esto se quiere decir que todas las cosas al tener un lugar específico conforme a su naturaleza, permanecían en reposo hasta que algo ajeno a la cosa intentara

¹³ Koyré 1988, 8-9.

echarlas de su lugar natural. Solamente la violencia podía alejarlas de ese lugar determinado al cual regresarían en cuanto fuera posible.

Así es posible visualizar que el movimiento, considerado como cambio de posición, dejaba ver una idea de falta de equilibrio. El desorden que causaba la aplicación de una fuerza exterior, el esfuerzo que ejercía el ser para recuperar su equilibrio perdido, requerían de un retorno al orden, el cual es llamado por Aristóteles el movimiento natural, al cual se regresará posteriormente en este trabajo.

Para Aristóteles el cambio en la naturaleza era, como se dijo, una transición de la potencialidad a la actualidad y era de alguna forma un estado pasajero: cuando el movimiento natural alcanzaba su meta cesaba y de manera similar el movimiento que causaba desorden, el violento, no podía prolongarse indefinidamente porque iba en contra de la idea aristotélica del cosmos ordenado. Admitir que el desorden causado por el movimiento violento se pudiera prolongar indefinidamente era abandonar, de hecho, la misma idea del cosmos.¹⁴ Para Aristóteles había jerarquías en los elementos del universo, y en la medida que se ascendía en la escala del cosmos, el movimiento expresaba más puramente la forma o el ser de cada cosa, y para el estrato que nos asignó Aristóteles a los humanos en su teoría, seres sublunares, el movimiento era tanto pasajero como finito, mientras que para seres superiores como los cuerpos celestes el movimiento era eterno y además circular.

Esta concepción encerraba la idea del orden como un estado estable y que se prolongaba de manera indefinida.

Aristóteles pensaba que todo objeto en movimiento requería de algo que lo moviese, a ese algo lo llamó motor. El motor podía estar presente en el objeto que se movía, o bien estar en contacto con lo que se movía. Aristóteles no admitió la acción a distancia; la presión y la tracción eran las únicas formas de transmisión de movimiento que siempre implicaban contacto. No existió la fuerza de atracción en la física aristotélica.¹⁵ Cada cuerpo se concibió como algo que poseía la tendencia a estar en su lugar natural, y cuando era sacado de él por medio de algún movimiento violento su tendencia era regresar. De aquí se sigue que todo movimiento natural se efectúa en línea recta y que todo cuerpo se dirige a su lugar natural

¹⁴ Koyré 1988, 10.

¹⁵ Koyré 1988, 12.

tan rápidamente como puede, es decir, tan rápidamente como el medio ambiente se lo permite.

Pero, ¿qué era lo que determinaba el lugar natural de cada cosa? Para Aristóteles todas las cosas estaban formadas por al menos dos de los elementos básicos que constituían el universo. Estos elementos eran la tierra, el aire, el agua y el fuego, donde alguno de ellos predominaba en la constitución de alguna cosa. De estos cuatro elementos, el fuego se consideraba absolutamente liviano y la tierra absolutamente pesada. Los elementos anteriores eran llamados los elementos extremos; los restantes, el agua y el aire eran más bien considerados como medios por donde circulaban los cuerpos pesados, característica que no admitían la tierra y el fuego.

De esta manera si el elemento extremo tierra predominaba en la constitución de un objeto, éste era considerado un elemento pesado o un *GRAVE*. De manera similar, un objeto cuyo elemento de predominio era el fuego, absolutamente liviano, era pues un *LEVE*.

Estos graves y leves estaban sujetos a los dos tipos fundamentales de movimiento de los cuales hemos hablado, movimiento natural y violento. La caída de un grave como una piedra o la ascensión del humo, son ejemplos de movimientos naturales. Mientras que el lanzamiento de una piedra o el disparo de una flecha son a su vez, ejemplos de movimientos violentos. A los cuerpos graves y leves, Aristóteles les asignó un lugar natural en el cosmos. Esta asignación estaba basada en la observación de fenómenos que indicaban que los cuerpos graves recorrían trayectorias rectas hacia el centro de la Tierra, mientras que los cuerpos leves como el fuego y el humo, siempre se elevaban hacia la esfera lunar.

Así, los graves tenían como lugar natural en el cosmos el centro de la tierra y los leves fueron confinados en la periferia. Esta teoría estaba concebida en torno a la idea de un universo esférico en cuyo centro se localizaba la tierra, el elemento más pesado, rodeada de once esferas, de las cuales las tres siguientes a la de la tierra correspondían a los tres elementos agua, aire y fuego, en ese orden.¹⁶

El movimiento natural no requería de una explicación detallada porque su causa, su motor era la naturaleza misma del cuerpo. Esa naturaleza trataba de llevar un objeto de nuevo a su

¹⁶ Las esferas restantes correspondían a las esferas de los planetas, Luna, considerada planeta, Mercurio, Venus, Sol (considerado planeta), Marte, Júpiter y Saturno. Todas estaban envueltas en el sistema de las estrellas fijas que giraban en torno al eje de los cielos.

lugar y era la que mantenía el movimiento. Muy al contrario del movimiento violento que requería de la acción continua del motor exterior que lo había puesto en marcha.

En cuanto a las razones del porqué del movimiento, parece interesante retomar las preguntas específicas que plantea Dijksterhuis¹⁷ respecto a él, porque su especificidad proporciona un esbozo del tipo de respuestas que propuso Aristóteles a estas cuestiones. Estas mismas preguntas acerca del movimiento se tratarían de responder en tiempos posteriores. Las diferencias entre unas y otras respuestas, se consideran de importancia porque aportan elementos para comprender la evolución de la ciencia del movimiento. Las cuestiones planteadas son :

1. ¿Qué era aquello que ponía y mantenía a un cuerpo en movimiento de caída?
2. ¿Cómo era que un cuerpo caía una distancia dada en un tiempo más corto que otro cuerpo?
3. ¿Cuál era la causa de la aceleración¹⁸ de los cuerpos que caían?

La primera respuesta se apoyaba en la acción del motor sobre el móvil, ya que era una condición necesaria y evidente que se diera el contacto motor-móvil para que se efectuara el movimiento. El hecho de que todos los cuerpos tuvieran un lugar natural y que una de las razones del movimiento fuera llegar a él, podría hacer pensar en la existencia de un tipo de atracción entre el lugar natural y el móvil, pero esto no se da en absoluto, ya que para Aristóteles cualquier tipo de acción a distancia estaba descartada. En la teoría aristotélica toda transmisión de movimiento implicaba contacto y el motor que había producido el movimiento en el cuerpo era el que lo mantenía. La respuesta de Aristóteles no proporcionó explícitamente las causas de porqué se mantenía el movimiento, lo que ocasionó que los comentaristas escolásticos posteriores buscaran respuestas a esta cuestión.

Con respecto a la velocidad de un grave al caer, se tiene que aclarar que Aristóteles no dijo específicamente algo al respecto de la diferencia de velocidades de dos cuerpos cuando

¹⁷ Dijksterhuis 1986, 26.

¹⁸ Es difícil saber cómo consideraba Aristóteles el hecho de que la velocidad de un grave aumentara durante la caída. Es probable que Aristóteles pensara que el peso de un cuerpo aumentara a medida que éste se aproximaba a su lugar natural. Dijksterhuis 1986, 27.

caían, pero su opinión se ha extraído de diversos pasajes en los cuales se refirió al fenómeno.¹⁹

Tomando en cuenta lo anterior, en lo que se conoce como la ley aristotélica de caída se supone que la velocidad era directamente proporcional al peso del cuerpo en movimiento natural e inversamente proporcional a la densidad del medio a través del cual se movía. Esto significa que a mayor peso mayor velocidad de caída y que a mayor resistencia del medio por el cual circulaba el móvil menor era la velocidad, cuando el peso se mantenía constante. También esta ley afirmaba que la duración del movimiento era directamente proporcional a la densidad del medio e inversamente proporcional al peso del móvil. Estas afirmaciones tenían como consecuencia la posible duplicación de la velocidad de caída de un cuerpo si se duplicaba su peso, o bien, si se dividía a la mitad la densidad del medio.

Un efecto similar se daba con la duración o el intervalo de caída, si se duplicaba la densidad del medio a través del cual caía un móvil, era posible duplicar el lapso que tardaba en caer el cuerpo que permanecía con un peso constante. Asimismo, si la densidad del medio era mantenida constante, según Aristóteles, el lapso de caída se duplicaba si el peso se reduce a la mitad.

Todas estas consideraciones, cabe aclarar, son falsas y parten de la suposición de que el peso o la liviandad eran la causa inmediata de la velocidad uniforme de ascenso o descenso de un cuerpo.

Las opiniones anteriores se referían al movimiento natural, como el de la caída de un grave, pero en relación al movimiento violento, según Grant,²⁰ las reglas no están establecidas directamente en términos de velocidad.

La velocidad de un cuerpo en movimiento violento es inversamente proporcional al poder de resistencia que poseía, noción que no se definió, y directamente proporcional a la fuerza que se aplicaba. Utilizando símbolos actuales, de los cuales Aristóteles no hizo uso, la relación puede escribirse de la siguiente forma:

$$V \propto \frac{F}{R}$$

¹⁹ Dijksterhuis 1986,26.

²⁰ Grant 1983, 84-84.

Donde V es la velocidad, F la fuerza impulsora y R la resistencia que ofrecía el cuerpo a la fuerza que se le aplicaba, que incluía presumiblemente el medio externo en el que se producía el movimiento así como el objeto o cuerpo resistente.²¹

No resulta muy claro si las consideraciones anteriores de la teoría aristotélica se consideraban válidas para todos los casos ya que resultan una constatación limitada, y no universal, sobre las condiciones del movimiento. Con esto se quiere decir que además de las limitaciones que planteaba (no consideraba el movimiento acelerado), la ley aristotélica del movimiento presentaba dificultades en la consideración de algunos casos.

Cuando se consideraba que la fuerza motriz o peso del cuerpo, F , era igual a la resistencia, R , la ecuación no proporcionaba el resultado de que la velocidad, V , era igual a cero. Es decir, se tenía una fuerza a la cual se le oponía una misma resistencia por lo que no había movimiento, pero la ecuación que responde a la teoría proporciona un valor unitario. Tampoco se obtenía cero cuando la fuerza o peso era menor que la resistencia, R . De hecho, la ecuación es cierta únicamente cuando la fuerza o peso es mayor que la resistencia.

Como ley del movimiento resultaba ciertamente limitada ya que únicamente decía algo sobre la velocidad, pero no trataba en absoluto las etapas por las que pasaba un móvil que caía desde el reposo para adquirir la velocidad V . Tal parece que esa velocidad V era una velocidad promedio o final, medida únicamente en un cierto intervalo de tiempo en que se recorría una distancia determinada. Este tipo de consideración es válido para un movimiento con velocidad constante o con velocidad media, pero en el caso de la caída que es un movimiento acelerado o bien cuando se da un movimiento cuya velocidad cambia constantemente, la ley simplemente no es aplicable.

El movimiento circular

Este tipo de movimiento estaba íntimamente ligado con la manera en que Aristóteles visualizaba el cosmos. Aristóteles consideraba, en su tratado *De los cielos*, que el universo estaba constituido por una serie de esferas anidadas, que partiendo desde el centro estaban dadas de la siguiente forma: La tierra, como centro del universo por ser el elemento más pesado según la teoría aristotélica. Después le seguían las esferas del agua, del aire y del

²¹ Grant 1983, 85.

fuego respectivamente. Estas cuatro esferas conformaban la región denominada sublunar, por colindar precisamente con la esfera de la luna. En esta región se llevaban a cabo los cambios aristotélicos: generación, corrupción, movimiento. Después de esta región del cambio, seguían las esferas de los planetas. Había una esfera para las estrellas y una para cada planeta y se suponía que cada esfera era lo suficientemente gruesa para albergar a cada uno de los planetas: la luna, el "planeta" más bajo o cercano a la tierra, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Con respecto al porqué precisamente en la esfera sublunar se daba el cambio se puede argumentar que Aristóteles consideraba que los elementos tierra, agua, aire y fuego junto con todos los objetos que se componían de ellos, estaban sujetos a la necesidad de alcanzar su lugar natural y mientras no lo alcanzaran existía un tipo de desorden o falta de equilibrio que no se encontraba en las esferas superiores donde residía la perfección.

El límite de los movimiento imperfectos y de todo movimiento, dijo Aristóteles, era el movimiento celeste, circular y perfecto. La perfección del movimiento circular tenía que ver con que no poseía ni principio ni fin, no se realizaba con el objeto de llegar al lugar natural y era lo más cercano a un estado natural que podía perdurar indefinidamente en un universo finito.

El hecho de que el movimiento perfecto fuera el circular y la consideración de que las regiones superiores eran más divinas que las inferiores, hacía que los cuerpos celestes tuvieran una constitución diferente de los cuatro elementos considerados.

El éter era el quinto elemento del cual estaban formados los cuerpos celestes y compartía con el movimiento circular la característica de ser inmutable y perfecto.

El éter no era leve ni grave, ni estaba sujeto a alguna modificación, cuantificación o posibilidad de transformarse en otro elemento. A diferencia de los cuatro elementos sublunares que no eran eternos y eran mutables ya que cualquiera de ellos se podía transformar en otro.²² El éter era increado, incorruptible y perfecto.

El sistema planetario en el cual se llevaba a cabo el movimiento circular fue inspirado por Eudoxio de Cnidos y fue utilizado para describir los movimientos planetarios que eran bastante caóticos dentro del sistema de referencia de Aristóteles. En este sistema las esferas que correspondían a los planetas tenían movimiento uniforme circular.

²² Dijksterhuis 1986, 22.

La idea del motor como causante del movimiento, fue utilizada también para el caso de los movimientos de las esferas. Cada esfera se movía por la influencia de la esfera superior, pero en el caso de la octava y última esfera de las estrellas fijas, Aristóteles propuso la existencia de un Primer Móvil que de manera indirecta movía a la última esfera del sistema. Se dice que su acción no era directa porque consideraba a este Primer Móvil un acto puro, es decir algo que estaba totalmente consumado y que ya no tenía nada que realizar, ni siquiera el movimiento del sistema celeste. Así que el movimiento que impartía era originado por un deseo de perfección que despertaba el Primer Móvil en la materia de la última esfera.²³

La consecuencia que el movimiento circular tenía sobre la esfera sublunar era vital, los movimientos terrestres dependían de los celestes.

Esto resulta un punto interesante debido a que Aristóteles hizo una distinción tajante de las dos regiones, la celeste y la sublunar. La constitución de cada región y las leyes tan distintas que le asignó a cada una en su teoría hace parecer sorprendente la relación de dependencia que existía entre ambas.

Las revoluciones de las esferas celestes eran las causantes de todos los procesos de cambio terrestre. Pero el cambio terrestre abarcaba acciones opuestas, como generación-corrupción, aumento-diminución, etc., los cuales eran explicados por Aristóteles de la siguiente forma. El movimiento de la última esfera requería de un segundo principio de movimiento en sentido contrario que pudiera ser el generador de los opuestos en el cambio. Este segundo principio abarcaba los movimientos de la luna, el sol y los planetas, más propiamente de las esferas que los llevaban, las cuales tenían sentido opuesto a aquél de los cielos. Según Dijksterhuis la revolución diaria de las esferas celestes era la causante de la perpetuidad de los procesos que se llevaban a cabo en la región sublunar, mientras que su paso a través del zodiaco era la causa de su diversidad.²⁴

²³ Dijksterhuis 1986, 35.

²⁴ El zodiaco es una invención babilónica, y es la división en doce secciones de una banda que se extiende a lo largo de la eclíptica. La cual no es otra cosa que el camino que deja el paso aparente del sol por los cielos y que se llama así porque los eclipses de sol y de luna pueden ocurrir únicamente dentro de esta banda. La división de la eclíptica en doce segmentos de igual longitud se debe a la elección arbitraria de un grupo de constelaciones prominentes por las que pasa el Sol. Pattie 1980, 3.

El hecho que resulta de esta exposición es que todo lo que pasaba en la tierra estaba controlado por las esferas celestes. Posteriormente, este argumento sería utilizado para la justificación de la astrología.²⁵

Universo Aristotélico

La imagen del universo que tenía Aristóteles, al menos en cuanto a su sistema planetario, estaba inspirado con seguridad en el del astrónomo Eudoxio de Cnidos perteneciente también a la Academia de Platón. El sistema de Eudoxio, como ya se ha dicho constaba de una serie de esferas concéntricas, que a modo de cáscaras de cebolla se anidaban en torno a la tierra.

Este sistema fue realizado para salvar el fenómeno del movimiento planetario por medio de un sistema de movimientos uniformes circulares. En la teoría de Eudoxio se asignaba a los planetas Saturno, Júpiter, Marte, Venus y Mercurio, cuatro esferas a cada uno con las siguientes funciones: la primera llevaba a cabo la rotación diaria, la segunda se encargaba del movimiento del planeta por el zodiaco, mientras que las dos restantes eran las causantes del movimiento retrógrado de los planetas.²⁶

Al sol y a la luna solamente se les asignaron tres esferas. En el caso del sol, una esfera para el movimiento diario y otra para el anual. La tercera servía para dar cuenta de un movimiento aparente en su latitud. La luna requirió de una esfera para su movimiento diario y otra para el mensual y para un cierto movimiento retrógrado que se le detectaba.

Este sistema sumaba 26 esferas, más la última de las estrellas fijas daba en total 27. Estas esferas aproximaban los movimientos planetarios pero se le fueron agregando esferas para

²⁵ Dijksterhuis 1986, 36.

²⁶ El efecto del movimiento retrógrado de los planetas es un fenómeno aparente que se daba en un sistema astronómico en el que la tierra se situaba en el centro del universo y las estrellas y planetas estaban en una especie de bóveda alrededor de la tierra. El movimiento normal de un planeta en este sistema para un observador situado en la superficie de la tierra, era el de desplazamiento gradual del planeta hacia el este respecto de las constelaciones, pero esto no siempre ocurría así. Ocasionalmente este desplazamiento se interrumpía por intervalos de tiempo originándose un movimiento hacia el oeste o bien retrógrado, pues el planeta parecía regresar en su camino. Este problema de la irregularidad de los movimientos planetarios fue objeto de interés de la astronomía antigua y originó diversas teorías desde que surgió como problema, probablemente en el siglo IV aC. Kuhn 1957, 45-55.

conseguir más exactitud en la representación de los movimientos planetarios, aumentando consiguientemente la complejidad del modelo.

Aun así, Aristóteles consideró necesario aumentar el número de esferas para contrarrestar la acción del movimiento de las esferas exteriores sobre las interiores. La suma llegó hasta 55 esferas, aunque el sistema aristotélico del universo generalmente se considera formado de ocho esferas, siete para los planetas y la última para las estrellas fijas.

El sistema que de alguna forma heredó Aristóteles, tenía como características importantes el hecho de que los movimientos de las esferas era realizado en torno a ejes que pasaban por un centro común, la tierra, y que su movimiento era circular y uniforme. La última afirmación, de la circularidad del movimiento celeste, tuvo una importante influencia en las ideas astronómicas que se desarrollaron después, ya que fue una idea que se tomó como dogma y que no se desafió hasta bien entrado el siglo XVII.

Si bien el sistema de las esferas tiene fuerte influencia platónica, el universo aristotélico lo retomó no sin agregarle la descripción cuidadosa del interior de ese cosmos. Para Aristóteles el universo era autocontenido, finito y no dejaba nada fuera de sí. Todo estaba contenido dentro de la esfera de las estrellas. Afuera de ella había nada, ni éter, ni materia, nada. En el interior del universo no había cabida para el vacío, todo estaba lleno de materia. La ciencia aristotélica consideraba la unión materia-espacio imprescindible.

Las esferas que contenían a los cuerpos celestes estaban en contacto y el continuo rozar de una con otra producía el movimiento para todo el sistema. La manera en que Aristóteles explicó esto era la siguiente, la esfera de las estrellas fijas hacía girar a su vecina, la esfera de Saturno. Esta a su vez movía a la esfera con la que compartía frontera y ésta a la contigua, de tal forma que el movimiento se transmitía a la esfera de la luna. Esta era la última frontera entre la región celeste y la sublunar. También era la frontera entre los cuerpos compuestos de éter, los celestes, y los cuerpos constituidos por los cuatro elementos, los cuerpos sublunares. Una vez que se traspasaba la frontera, también se encontraban capas, pero estas eran las de los elementos que se acomodaban según su lugar natural.

El acomodo de estas capas comenzaba con la esfera de fuego que colindaba con la esfera de la luna. El fuego, al ser absolutamente ligero se elevaba más que cualquier otro elemento. Le seguía la esfera del aire, que aunque también era ligero quedaba como separación entre la esfera del fuego y la del agua. Esta última capa, la del agua, era la que rodeaba a la de la

tierra. El centro geométrico del universo coincidía con el lugar natural de la tierra, el más pesado de los elementos en la teoría aristotélica.

En la ausencia de presiones externas sobre la región sublunar, los elementos permanecían de acuerdo al esquema arriba mencionado, descansando en reposo en sus respectivos lugares naturales. Pero este reposo no se daba, ya que decía Aristóteles que las continuas presiones que generaban las esferas que rodeaban a la región sublunar, hacían que los elementos se mezclaran por la acción de "corrientes" de fuego que eran empujadas desde el exterior. Por esta causa los elementos nunca estaban en su estado puro, todos los elementos guardaban un rastro de algún otro en su composición y las mezclas entre ellos daban origen a todas las sustancias que existían en la tierra.

La consistencia y fuerza del sistema que propuso Aristóteles tuvo una influencia impresionante en los siguientes siglos, los elementos que se proporcionan en este trabajo difícilmente pueden reflejar la congruencia del modelo de cosmos que fundó Aristóteles. Lo que se ha intentado es esquematizar cómo la teoría se enlaza y teje alrededor de muchos conceptos y el hecho de que su filosofía fundara una tradición astronómica tan fuerte y longeva se debe en gran parte a que comprendió muchos hechos de la percepción cotidiana y los organizó en una teoría bastante lógica. Es necesario situarse en un momento en que el mundo terrenal y celeste junto con todas sus leyes y fenómenos tenían un origen desconocido, y aunque la visión aristotélica evidentemente no fue la única que se creó en la antigüedad fue, como expresa Kuhn, la que correspondía de manera más fiel a la evidencia de la percepción sensorial sin algún tipo de ayuda externa.

La influencia que tuvo Aristóteles, en especial durante la Edad Media, no se debió a una falta de cuestionamiento científico. Siempre existieron grupos de personas que desafiaron muchas nociones de la filosofía aristotélica,²⁷ pero distintos factores fueron frenos importantes de la tradición cultural que solo floreció posteriormente, en el Renacimiento o en los profundos cambios científicos del siglo XVII.

Galileo Galilei

En el trazo del pensamiento físico en ciertas etapas, se asocian nombres a muchas tradiciones que tienen fuentes de diferencia reconocible en transcurso del tiempo. Es así que

²⁷ Grant 1983, 54-76.

del aristotelismo se salta a la tradición galileica del movimiento. Es necesariamente limitado y restrictivo saltar tantos siglos en términos objetivos de intervalos temporales como en términos objetivos de ideas. En especial cuando existen datos de un saber físico que permaneció de alguna manera latente y que fue rico pero no siempre efectivo. Pero en aras de presentar un preámbulo lo más breve posible sin sacrificar algo de profundidad, se han soslayado muchas tradiciones, escuelas y personajes que contribuyeron a conformar no sólo el entorno de la ciencia novohispana sino la ciencia actual.

Dar un salto tan dramático tiene sus riesgos pero también tiene sus ventajas. El riesgo lo constituye precisamente el no considerar muchas ideas previas a la época que nos ocupa, el siglo XVI. El hecho de que se omitan tiene que ver con el alcance del trabajo y la elección de figuras, que como Galilei, marcan a nuestro parecer una etapa diferente en la manera de considerar los fenómenos naturales. Parece importante hacer énfasis en que el acervo acumulado en la época previa a Galilei no queda descartado, muy al contrario, es posible que muchos de los avances que se alcanzaron estuvieron en una medida importante inspirados en trabajos realizados con anterioridad.

La ventaja es la de la perspectiva presente. Situarse en un momento con siglos de posterioridad, permite elaborar un recuento de cuales fueron las ideas que mayor eco tuvieron y qué trabajos constituyeron formas originales de considerar los problemas viejos o nuevos.

La pregunta del porqué se eligió a Galilei tiene varias respuestas. Galilei, fue una figura de transición, su formación estaba fincada en una tradición intelectual medieval, cuyas ideas y métodos abrazó durante una etapa. Empero, esto no le impidió concebir nuevas ideas para el desarrollo de teorías respecto a la naturaleza. En estas nuevas ideas se incorporaron la experimentación y la aplicación de las matemáticas a la ciencia física. Lo novedoso de este tratamiento fue precisamente su incorporación al estudio de los fenómenos naturales, lo que permitió ampliar la visión de fenómenos como el movimiento y la concepción del universo. A Galilei se le atribuye justamente la introducción del telescopio como instrumento científico, sentando las bases de una nueva astronomía observacional.

El nombre de Galilei también está asociado con descubrimientos y hazañas que no realizó, lo que también resulta interesante comentar. Galilei no inventó el telescopio, ni el microscopio, ni el termómetro. Tampoco descubrió las manchas solares ni demostró la verdad del sistema

copernicano y probablemente tampoco dijo: "*Eppur si muove*" con relación al movimiento de la tierra.²⁸ Pero ésto no le resta brillo a la figura de Galilei ya que lo que si realizó fue tal vez más trascendente que los anteriores descubrimientos. Galilei rechazó la física de Aristóteles y trató de fundar una física matemática deductiva y abstracta. Galilei pensó que existía cierta homogeneidad física en el universo: existían diferencias locales pero la misma materia existía en todas partes, las mismas definiciones del movimiento eran válidas en todas partes y ningún lugar era más privilegiado que otro. Para Hall esta unidad de la naturaleza no había sido obedecida antes de Galilei.²⁹

¿Quién era Galilei?

Galilei nació en 1564 en Pisa, Italia. Su padre lo envió a la Universidad de Pisa donde se matriculó como estudiante de medicina, profesión que gozaba de prestigio y de gran futuro económico. En Pisa seguramente descubrió que las matemáticas y la astronomía eran los campos de su interés, algo que con seguridad no le agradó a su padre. Su formación en astronomía probablemente se concretaba a la lectura de la obra aristotélica *De caelo*. Aproximadamente a los 21 años, abandonó la Universidad de Pisa sin la obtención de ningún grado. Durante los siguientes cuatro años dio clases privadas de matemáticas en Florencia. Sus intereses en esta época se relacionaban con algunos problemas acerca de centros de gravedad en cuerpos sólidos y otros problemas de inspiración arquimediana. En 1589, Galilei obtuvo la cátedra de matemáticas en la Universidad de Pisa. En este período realizó un tratado sin nombre acerca del movimiento, en donde claramente se oponía a algunos aspectos de la física aristotélica, esta obra se conoce como *De motu* o *Del movimiento*. En esta obra también discute algunos temas astronómicos que dejan ver que aún no abandona la idea de la Tierra como el centro del universo. Al parecer, la actitud de Galilei hacia las autoridades universitarias en Pisa no le garantizaron su permanencia en esa universidad al cabo de su contrato de tres años. El siguiente puesto lo obtuvo en la Universidad de Padua, que gozaba de un clima intelectual más abierto y libre. Allí permaneció dieciocho años, los más fecundos y creativos de su vida. En Padua se dedicó al estudio de los fenómenos de los cuerpos en caída y lanzamiento de proyectiles. La característica importante de este período fue que rechazó la búsqueda de las causas de movimiento y se dedicó a investigar de la manera más precisa posible el modo en que el movimiento se llevaba a cabo. Los resultados

²⁸ Koestler 1981, 346.

²⁹ Hall 1985, 150.

que obtuvo fueron publicados hasta los últimos años de su vida. Su muerte acaeció en 1642 en Arcetri, Italia.

Problemas heredados

La física aristotélica dejó abiertas varias cuestiones interesantes en relación al movimiento. De éstas, el problema del lanzamiento de cuerpos y el porqué de la caída acelerada fueron temas de polémica en la ciencia escolástica. Esto se debió a que las explicaciones proporcionadas por Aristóteles, aunque fueron en algunos casos precisas, causaron muchas dudas, principalmente en los comentaristas medievales de la obra aristotélica.

Aristóteles propuso que en el caso de un móvil que es lanzado, una piedra por ejemplo, la continuación del movimiento estaba dada por el aire, el cual le transmitía a la piedra un impulso para que ésta siguiera su vuelo sin estar en contacto directo con el motor. Esta explicación resultaba un tanto confusa ya que los papeles que les asignaba al medio, en este caso el aire, eran dos al mismo tiempo. El medio podía fungir como motor, ya que continuaba el movimiento y también podía actuar como resistencia al movimiento, retardándolo hasta que se detuviera.

Por otra parte la caída acelerada de los cuerpos también constituía un problema difícil. La cuestión era básicamente el porqué una causa de movimiento constante, como lo era el peso, podía producir un efecto variable como el del cambio en la velocidad. El lugar que ocupaba la aceleración en la caída de los cuerpos no era fácil de ubicar.³⁰ Incluso se llegaron a hacer análisis del movimiento ignorando completamente este fenómeno.³¹ Una posible explicación al hecho de que la aceleración no se considerara, es que la teoría aristotélica del lugar propio

³⁰ El concepto de aceleración que manejó Aristóteles resulta vago. Para algunos autores como Dijksterhuis, resulta claro que Aristóteles consideraba familiar el hecho de que la velocidad de un grave (velocidad tomada en el sentido de velocidad en un momento particular, o velocidad instantánea) aumentaba durante la caída. Cuando Aristóteles deseaba probar que la caída libre no podía continuar indefinidamente porque la velocidad, y consecuentemente el peso, aumentarían más allá de toda proporción, han hecho suponer que el peso de un cuerpo aumentaba a medida que éste se aproximaba a su lugar natural. Dijksterhuis 1986, 27.

³¹ Grant 1983, 108.

de los objetos, hacía parecer natural que los objetos se aceleraran conforme se acercaban a su objetivo, lo cual tal vez no estimuló la búsqueda de la explicación de la aceleración.³²

Aristóteles no proveyó una explicación precisa del fenómeno de la aceleración, así que fueron los comentaristas medievales de la obra aristotélica quienes proporcionaron explicaciones de la aceleración de los cuerpos al caer. Según Koyré³³ las respuestas que se brindaron al respecto por los comentaristas medievales se pueden agrupar en dos conjuntos: aquellos que plantearon una solución parecida a la elaborada para el lanzamiento de un móvil, en la que el medio reaccionaba con el movimiento de caída y con la pesadez del cuerpo haciendo que se aumentara la velocidad; y los que relacionaban el ímpetu, que era una potencia o virtud de la cual se impregnaba el móvil por el contacto con el motor. Este ímpetu se sumaba a la pesadez del cuerpo y parecía una causa plausible para la variación en la velocidad de caída.

Ahora bien, la cuestión de la aceleración quedó abierta y fue explicada básicamente por la ciencia medieval por medio del concepto de ímpetu, como ya se había dicho. El concepto de ímpetu o *vis impressa* fue tratado de forma común en el siglo XII y desarrollado plenamente en la escuela de los llamados terministas de París, de los cuales Jean Buridan (1300-1358 d.C.) fue una figura central.

El origen del concepto de ímpetu puede ser localizado en la antigüedad tardía con Juan Filopón. Este comentarista griego, postuló el principio de que una fuerza impulsora

³² En relación al porqué el movimiento de caída continuaba o se mantenía en ausencia de un motor, Dijksterhuis distingue varias opiniones, entre las que destacan:

1. La opinión que consideraba que era el medio en el cual un grave caía, era el que llevaba al grave a caer junto con él. Ya que el medio también estaba en movimiento.
2. La teoría de que las causas que habían iniciado el movimiento de un cuerpo en caída, eran también las que lo continuaban. Esto parece una consecuencia sencilla de asimilar, pero debe tenerse en cuenta que iba en contra de una concepción aristotélica muy arraigada, la cual consideraba en el caso de los cuerpos inanimados, la separación tajante entre motor y el poder para poner un cuerpo en movimiento. Estas teorías buscaban en el medio la causa y continuación del movimiento. Existían otras más que atribuían las causas del movimiento a la esfera celeste, a la sublunar y al centro del universo. El concepto de atracción, que puede resultar familiar para nosotros, no ocupó en realidad un lugar importante. Dijksterhuis 1986, 176-179.

³³ Koyré 1988, 24-25.

incorpórea impartida a un proyectil por un impulsor inicial, era la causa que permitía al proyectil continuar su movimiento. Con base en los escritos de Filopón, Avicena (980 a.C.-1037 d.C.) estudioso persa (irani) propuso el concepto de *mayl* o *mail*, que es muy parecido al de ímpetu. Avicena concebía el mail como instrumento de la fuerza impulsora original capaz de continuar su acción en el cuerpo después que la fuerza original había dejado de actuar.³⁴

La concepción medieval del ímpetu estaba emparentada con la teoría aristotélica. Explicaba que cuando se daba un movimiento violento, como arrojar algún objeto o bien se le hacía girar, se le impartía una potencia o cualidad al móvil a consecuencia de su asociación con el motor que poseía esa cualidad. El ímpetu resultaba mayor en la medida en que el cuerpo arrojado contenía mayor materia.

Los incrementos sucesivos de ímpetu generaban entonces incrementos sucesivos y acumulativos de incrementos de velocidad, produciendo de este modo un movimiento continuamente acelerado. Lo que contrarrestaba la acción del ímpetu era la resistencia del medio en el cual el movimiento se llevaba a cabo, aunque para el caso del lanzamiento hacia arriba de un cuerpo, la gravedad o pesadez tendía a llevar a un cuerpo a su lugar natural.

Buridan explicaba la aceleración por medio de los incrementos acumulados de ímpetu. La aceleración se producía porque la pesadez de un cuerpo no sólo iniciaba su caída sino que también daba lugar a incrementos sucesivos y acumulativos de ímpetu o "pesadez accidental" como a veces se le designaba.

La teoría de Buridan concordaba con Aristóteles en el sentido de que seguía conservando la idea de que la velocidad era proporcional a la fuerza o peso, es decir, a mayor peso mayor velocidad, ya que todo aumento proporcional de ímpetu era seguido de un aumento en la velocidad. Solamente si la fuerza impulsora, el peso en este caso, produjera directamente incrementos de velocidad y no de ímpetu, se tendría una aproximación a la relación correcta de que la aceleración era proporcional a la fuerza.³⁵ Existen escasos fundamentos para considerar que Buridan hubiera llegado a la relación correcta, ya que el peso del cuerpo debe producir primero un incremento del ímpetu antes que un incremento proporcional de la

³⁴ Grant 1983, 102-103.

³⁵ Grant 1983, 104-108.

velocidad pueda ser generado. La relación entre peso como una fuerza impulsora constante y el aumento de la velocidad es indirecta.

A pesar de que la teoría del ímpetu de Buridan fue de las mejor formuladas, aún quedaban puntos que requerían de aclaración. Un aspecto un tanto oscuro lo constituyó la cuestión de ¿qué era lo que sucedía en el primer instante de tiempo?; ¿cómo era que la gravedad contribuía a impartir velocidad al cuerpo?. El principio del movimiento era algo que no se podía explicar, solamente se establecía que después de un periodo de tiempo un punto en movimiento ya no estaba en su posición original.

La teoría de Buridan puede guardar un cierto parecido con algunos conceptos de la mecánica clásica, en particular al concepto de momento lineal (como lo entienden los físicos hoy en día). Esto es una mera coincidencia ya que no debe perderse de vista que la teoría del ímpetu era fundamentalmente aristotélica y los argumentos de Buridan no conducían a la proporcionalidad entre la velocidad y el lapso de caída de un cuerpo.³⁶

Galilei también compartió la herencia de los problemas de movimiento proponiendo a su vez soluciones que en un principio no se alejaron mucho de aquellas propuestas en la Edad Media. De hecho, Galilei en sus primeros trabajos retomó la teoría del ímpetu para dar sus propias explicaciones acerca del movimiento. En su tratado *Del movimiento (De motu)* de 1586, Galilei mostró una fuerte crítica a Aristóteles ya que éste no pudo demostrar porqué el motor debía estar unido a un cuerpo en movimiento. A pesar de que Galilei también critica en este tratado el papel del medio como factor que mantenía el movimiento, sus propios argumentos no diferían mucho de aquellos de los terministas de París de clara influencia aristotélica. Mientras que el ímpetu se utilizaba para explicar la caída acelerada, Galilei la explicó en términos de *vis impressa* (fuerza impresa) que se interpretaba como una ligereza temporal que prevalecía sobre la pesadez natural de un cuerpo. Es decir, para el caso de una piedra que era lanzada al aire, Galilei proponía que la piedra adquiriría una virtud o cualidad de elevación propia de los cuerpos leves. Esta ligereza temporal decrecía de manera natural y se extinguía por completo cuando dejaba de sobrepasar la pesadez del cuerpo, en este caso la piedra.

El tratado *Del movimiento* fue realizado durante la estancia de Galilei en Pisa. En él, Galilei propuso que todos los cuerpos eran pesados y que sí parecían aligerarse era porque recibían

³⁶ Dijksterhuis 1986, 182-183.

un empuje hacia arriba que excedía su propio peso. Esta nueva consideración constituía un reto a algunas ideas aristotélicas como la distinción entre cuerpos pesados y leves. La influencia de Arquímedes (287-212 a.C.) en este tipo de argumento galileo junto con el interés en cuestiones científicas inspiradas en asuntos prácticos fue también una característica importante de este trabajo sobre el movimiento.

Resulta interesante señalar que Galilei utilizó los conceptos de volumen y peso en un medio dado para definir pesado y más pesado. Aproximadamente en los finales del siglo XVII se pueden situar los famosos experimentos de la torre de Pisa, de los cuales no se hace referencia en el tratado *Del movimiento*. Estos experimentos deben ser tratados con cierta reserva ya que pudieron ser descritos como posibilidades o bien realizados de forma mental.³⁷

La labor de Galilei en una primera etapa fue la de intentar matematizar la física aristotélica partiendo de la noción de ímpetu para este intento. Esta labor lo llevó al fracaso, ya que la teoría del ímpetu era bastante vaga puesto que el ímpetu no podía ser medido ni cuantificado. Esta noción de ímpetu, cuya acción era sospechosa porque no se sabía como comenzaba a actuar realmente, tuvo que ser abandonada. En su lugar se comenzaron a usar las nociones de velocidad y movimiento que Galilei utilizó posteriormente con la idea de proporcionar descripciones que explicaran la manera en que los cuerpos caían en la naturaleza.

Es importante señalar que el tipo de cambios que se relacionaban con el abandono de términos o bien su reemplazo por otros mejor definidos, es un aspecto interesante de la labor de Galilei. La filosofía natural de Aristóteles, con una cantidad importante de términos, hacía pensar que el conocimiento de la naturaleza era más amplio de lo que realmente era. El tener nombres de muchos conceptos que estaban fundados en puntos de vista dudosos o deficientes, realmente no significaba gran cosa. Galilei se preocupó menos por otorgar nombres y más por tratar de familiarizarse con el modo en que las cosas se llevan a cabo. En el caso específico del movimiento, no fueron las causas del movimiento ni su propósito los que fueron de su interés, sino la descripción del modo en que se realizaba éste.

Alrededor de 1590, Galilei aún hacía uso de la teoría del ímpetu como causa del movimiento y consideraba que la velocidad de caída era esencialmente constante. La aceleración la

³⁷ Drake 1978, 20; Dijksterhuis 1986, 335-336.

consideraba como un efecto temporal que únicamente se daba al inicio de la caída. Aproximadamente para 1602, el hecho de que la aceleración persistía durante toda la caída era algo insoslayable y para 1604 se sabe que buscaba la ley a la que obedecía el cambio de velocidad de los cuerpos en caída.³⁸ Más aún, se sostiene que Galilei estaba convencido de que las distancias cubiertas en caída libre eran proporcionales al cuadrado de los intervalos transcurridos durante dicha caída.

Pero es necesario proporcionar una explicación de lo que realizó Galilei específicamente. Existe polémica en cuanto a cómo Galilei dedujo las leyes del movimiento,³⁹ ya que ha sido hasta muy reciente fecha que se han reconstruido algunos de los posibles métodos para la elaboración de los experimentos que son descritos por Galilei. Lo que nos resulta probable es el hecho de que los experimentos que pudo haber realizado Galilei, fueron más que un medio de descubrimiento, un modo de verificación de ideas previas. Es decir, Galilei no ideaba experimentos al azar cuyos resultados fueran una total sorpresa. Aunque Galileo pudo o no haber realizado los experimentos de la torre de Pisa, el hecho de desarrollar mentalmente un cierto resultado o elaborar una hipótesis es, igual o más sorprendente a nuestro parecer.

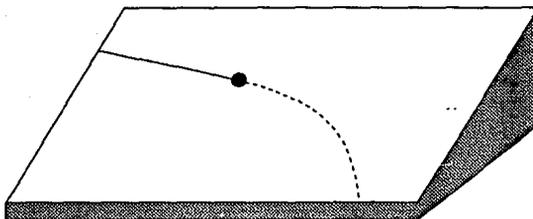
Para efectos prácticos se puede sugerir el siguiente esquema para ilustrar las relaciones de los elementos del movimiento, que según Drake constituye la manera más plausible de confirmación que pudo haber realizado Galilei.

Para reproducir el movimiento de caída libre, que resultaba demasiado rápido para realizar mediciones, especialmente si se carecía de instrumentos precisos, Galilei pudo haber simulado este movimiento proyectando una bola horizontalmente sobre un plano inclinado. Esta idea, bastante ingeniosa, permitiría reconocer el carácter continuo de la aceleración de la siguiente forma. Una vez aceptado el hecho de que un cuerpo en caída se acelera, se podía marcar en iguales intervalos de tiempo, por ejemplo usando latidos cardíacos, la distancia que recorría la bola en cada uno de esos intervalos. De esta manera la relación entre marcas se aproximaría a la existente entre la serie de los números impares: 1,3,5,7,...Precisamente

³⁸ Drake 1970, 223-224.

³⁹ Koyré 1988, 76-96; Drake 1978, 19-21.

este es uno de los hallazgos de Galilei, los cuerpos en movimiento de caída van incrementando sus velocidades sucesivas como los números impares.⁴⁰



El aparato que utilizaba Galileo para demostrar el movimiento de proyectiles era una cuña. Una bola puesta en movimiento horizontal en el punto más alto de la cuña cae hacia el fondo del plano inclinado en una trayectoria parabólica.

Puede surgir la pregunta acerca del momento en que se involucra la velocidad, si la relación que se acaba de ilustrar habla de distancia e intervalo temporal. Esto se debe a que la pregunta que se planteaba estaba relacionada con la variación de la velocidad, y la idea atrás de la relación que obtuvo Galilei mostraba que un móvil al recorrer una distancia mayor en intervalos temporales iguales, indicaba que la velocidad había aumentado.⁴¹

Existe polémica en cuanto a si Galilei se inspiró en escritos medievales anteriores para la elaboración de su ley de caída de los cuerpos. Es posible que Galilei conociera el trabajo que se realizó en el Colegio Merton en Oxford durante la primera mitad del siglo XIV. Los eruditos de este colegio en Inglaterra, principalmente William Heytesbury, Dumbleton y Richard Swineshead definieron correcta y originalmente el movimiento uniformemente acelerado y la velocidad uniforme. Estas definiciones se derivan de aquella del movimiento uniforme que era el recorrido de distancias iguales en cualquier intervalo de tiempo igual que se considerara. Así, el movimiento uniformemente acelerado era aquel que adquiriría un incremento igual de velocidad en todo intervalo igual de tiempo, no importando cuán corto

⁴⁰ La caída vertical y el descenso sin fricción a través de un plano inclinado, son equivalentes. Ambos terminan con la misma velocidad instantánea y la velocidad media, que es el cociente entre distancia d y tiempo t : d/t , también es la misma. Galilei probó más adelante que los lapsos en que se llevan a cabo estos movimientos son equivalentes a las distancias. Hall 1985, 154.

⁴¹ Para ejemplificar esta ley se puede suponer que si se considera un cuerpo en caída o deslizándose, y digamos que en cierto intervalo recorre 10 pulgadas, en el siguiente intervalo de tiempo igual al anterior, se encontrará que recorre 30 pulgadas, en el siguiente intervalo igual, se hallará que recorre 50 pulgadas y así sucesivamente hasta golpear la superficie terrestre.

o prolongado fuera el intervalo. El uso de las definiciones que se crearon en el Colegio Merton llevaron a la deducción de la llamada regla Merton o teorema de la velocidad media que puede expresarse como:

$$S = \frac{V_f t}{2}$$

Donde S es la distancia recorrida, V_f es la velocidad final y t el tiempo de aceleración. La velocidad en este movimiento se consideraba uniformemente acelerada y se definía como $V_f = at$, a aceleración uniforme. Sustituyendo en la formula arriba expresada se obtiene:

$$S = \frac{at^2}{2}$$

Que indica la distancia recorrida por un móvil en movimiento uniformemente acelerado. Es necesario aclarar que la formulación de esta ley no se hizo en los términos que se expresan arriba, más bien se utilizaban argumentos retóricos no muy claros y casi ininteligibles para un lector con los conocimientos actuales.

Independientemente del hecho plausible de que Galilei se haya apoyado en trabajos anteriores a él o no,⁴² los resultados que obtuvo no dejan de ser sorprendentes. En un tiempo relativamente corto, de 1590 aproximadamente al 1604, año en que se considera que ya poseía la ley de la caída de los cuerpos, Galilei hizo avances importantes en la manera de considerar el movimiento. Galilei ya no buscaba explicar la causa de la caída de un cuerpo, cuestión primordial para Aristóteles y sus seguidores, sino encontrar lo que Koyré llama la esencia del movimiento.

Esta esencia tenía que ver con la manera de aplicar las matemáticas a los fenómenos, de tal forma que se pudiera definir matemáticamente un movimiento que estuviera de acuerdo con lo que enseñaba la observación y que se confirmara en futuras experiencias.

El lenguaje matemático era para Galilei la única manera de entender la naturaleza, en otras palabras, las matemáticas eran un instrumento de descubrimiento. También nos parece importante señalar que Galilei, al hacer el desarrollo de una nueva terminología que supiera

⁴² Drake 1970, 219-223.

aquella usada por los escolásticos, la cual ya no resultaba útil, expresó el proceso del movimiento en sí mismo para que las matemáticas tuvieran un soporte en el cual se apoyaran para la descripción de fenómenos. Para realizar esto, Galilei hizo uso de términos utilizados de manera común pero que carecían de un significado matemático preciso, es decir, se definieron de tal forma que podían tomar su lugar junto a las definiciones de líneas, ángulos, curvas y diversos conceptos con los cuales los matemáticos ya estaban familiarizados. Este tipo de definiciones no las propuso de inmediato, sino de una forma gradual a medida que las iba requiriendo.

De esta labor de "redefinición" hubo términos que cobraron nueva importancia, como aquellos de tiempo y espacio. Para Galilei el mundo real era un mundo de cuerpos que se movían en el espacio y en el tiempo y cuyos movimientos podían ser medidos matemáticamente.⁴³ Este concepto difiere sensiblemente de la concepción no sólo aristotélica, sino previa a ella, en la que el cambio, incluido el movimiento, había sido negado, omitido o bien admitido con dificultad, pero nunca explicado con racionalidad.⁴⁴

El espacio o distancia, era idéntico a una región geométrica en la cual no había distinciones entre arriba o abajo, sino que era toda igual. Esta consideración era muy distinta que la que sostenía Aristóteles de espacio, que era la frontera entre el objeto y aquello que lo contenía. El tiempo también adquirió una representación geométrica como una línea recta y coordinada junto con otros hechos espaciales similarmente representados. En concreto, la idea de concebir el movimiento físico como un concepto puramente matemático resultó además de original, un hecho notable.

La inercia

Siguiendo la intención de proveer un panorama de las ideas de movimiento, nos parece interesante exponer el concepto de inercia ya que se relaciona con dos puntos importantes de interés en este trabajo. Uno es el movimiento mismo y el otro es la mecánica celeste. Las relaciones que guarda el concepto de inercia con estos dos puntos es lo que se intentará mostrar a continuación.

Antes de intentar efectuar relaciones, se hace necesario decir qué es la inercia. Según Kepler, que fue el que inventó el término, inercia quiere decir resistencia natural al

⁴³ Burtt 1972, 83.

⁴⁴ Burtt 1972, 84.

movimiento; para la física clásica significa indiferencia a los estados de movimiento y reposo, persistencia de dichos estados, resistencia que se opone a todo cambio de un estado por otro.⁴⁵ La ley de inercia afirma que un cuerpo abandonado a sí mismo persiste en su estado de inmovilidad o de movimiento rectilíneo uniforme hasta que algo modifique su estado.⁴⁶ Esta definición como tal, entraña los siguientes aspectos. En primer lugar se considera al movimiento un estado, esto resulta importante porque en las anteriores interpretaciones de movimiento éste era considerado un proceso por medio del cual un objeto regresaba a su lugar natural. Este proceso era esencialmente pasajero y sobre todo muy distinto al reposo. La enunciación de la ley como se acaba de exponer fue publicada por René Descartes (1596-1650) un filósofo y matemático francés en 1644, pero según Drake⁴⁷ en los trabajos de Galilei sobre la caída parabólica de un proyectil y el movimiento sobre un plano horizontal, esta ley aparece implícita muchas veces.

La importancia que tuvo la ley de la inercia sobre aspectos de movimiento además de los ya señalados, fue que desechaba la idea aristotélica de que todo lo que se moviera tenía que estar en contacto con el motor que había puesto al cuerpo en movimiento. Ideas previas a la ley de la inercia acerca de la persistencia del movimiento fueron proporcionadas desde el siglo II a.C. en términos de la aplicación de un impulso a un cuerpo y que su movimiento perdurara por cierto tiempo sin la presencia de un agente externo al cuerpo. Estas teorías, atribuidas a Hiparco de Nicea, junto con aquellas que se dieron en el Medievo conocidas como ímpetu y fuerza impresa pueden ser identificadas como antecedentes de la inercia. Esto no quiere decir que la ley se derive de estas teorías previas, sino que se relacionan con la cuestión de la continuación del movimiento.⁴⁸

El único movimiento que según los aristotélicos, quedaba exento de la presencia del motor era el movimiento circular. La persistencia en el movimiento en los pesados discos para moler, en que no sólo su rotación podía durar largo tiempo sino que detenerlos era difícil, tal vez fue una posible pista para atribuirle al movimiento circular una cierta perfección. Estas atribuciones se extendieron por consiguiente a los cuerpos celestes, los que gozaban del movimiento circular perfecto alrededor de una tierra central en reposo. La idea de este

⁴⁵ Koyré 1988, 152.

⁴⁶ Koyré 1988, 150.

⁴⁷ Drake 1970, 241.

⁴⁸ Drake 1970, 242-245.

movimiento circular se parece un poco a la inercia pero como implicaba la idea de una fuerza impresa quedó rechazada por la fracción más estricta del aristotelismo.

En la Edad Media la idea del ímpetu, derivada de la fuerza impresa, estimuló la posible persistencia del movimiento. Aunque se debe precisar que el ímpetu imprimía siempre un impulso al cuerpo de tal forma que mantenía a éste en movimiento rectilíneo o bien, en movimiento circular. Ambos con una tendencia natural hacia el reposo. El principio de inercia no es válido para el movimiento circular. En el concepto de inercia, el movimiento rectilíneo uniforme y el reposo eran considerados como estados que se conservaban si no eran alterados.

Según Drake desde 1600 aproximadamente, Galilei ya dejaba ver en algunos escritos la perpetuidad del movimiento horizontal y para 1613, en un libro sobre manchas solares, explícitamente dice que si todos los impedimentos del movimiento son eliminados, un cuerpo pesado en una superficie esférica concéntrica con la tierra, es indiferente al reposo o al movimiento hacia cualquier parte del horizonte.⁴⁹ El cuerpo pesado se mantendrá en el estado en que fue colocado, de movimiento o de reposo.⁵⁰

En trabajos posteriores como el Diálogo concerniente a los dos sistemas máximos del mundo del año de 1632 y el *Dos Nuevas Ciencias* de 1638, el argumento de la inercia aparece más elaborado pero no cambia mucho de las menciones anteriores. El enunciado general como se conoce, fue publicado como se dijo, por Descartes dos años después de la muerte de Galilei en 1644.

Ahora bien, la relación que guarda el principio de inercia con el desarrollo de la mecánica celeste tuvo que ver principalmente con la introducción por parte de Galilei, de varios ejemplos de movimiento inercial que favorecían la teoría de Copérnico en cuanto al movimiento de la Tierra.

Los argumentos aristotélicos en contra del movimiento de la Tierra que se manejaban en la época, siglo XVI, no eran despreciables en modo alguno. Básicamente, se postulaba que si la Tierra giraba con cierta velocidad se presentarían alteraciones en fenómenos cotidianos

⁴⁹ Drake se inclina a pensar que Galilei no estaba de acuerdo con la idea de la inercia circular. Drake 1970, 269.

⁵⁰ Drake 1970, 250-251.

que la experiencia no confirmaba. Algunos de los ejemplos que se argumentaban eran los siguientes:

a. Cuando se dejaba caer un objeto pesado desde lo alto de una torre se observaba que caía prácticamente al pie de esta y no desplazada una distancia. Esto último, que cayera lejos de la base de la torre, indicaría que la tierra debido a su movimiento se había desplazado haciendo que el objeto pesado cayera lejos de la torre.

b. Otro ejemplo socorrido para apoyar el reposo de la tierra era también mediante la caída de un cuerpo pesado, pero esta vez desde el mástil de un barco inmóvil. El cuerpo pesado caía no lejos de la base del mástil del barco. Ahora bien, si se repetía este experimento cuando el barco estaba en movimiento, el lugar de la caída estaría marcado a una distancia igual a aquella del desplazamiento del barco durante el tiempo de caída del cuerpo pesado. Si la tierra estuviera en movimiento, el lugar de caída sería la suma de la distancia del movimiento que efectuó el barco más aquel que realizó la tierra en ese mismo tiempo.

La experiencia visual en ambos casos confirmaba que no era posible que la tierra se moviera, ya que ambos cuerpos pesados caían no lejos de lo que estaba previsto.

En términos actuales puede parecer muy fácil argumentar la falsedad de los ejemplos anteriormente descritos, pero si se piensa con cuidado, si no se posee mayor antecedente que la física de Aristóteles e incluso con mayores recursos teóricos, no resulta tarea sencilla convencer a alguien que la tierra efectivamente se mueve. Y esto era evidente para aquéllos que como Galilei, defendían la teoría de Copérnico. La relatividad óptica del movimiento, como la llama Koyré era insoslayable y la manera que Galilei idea para proponer otra manera de interpretar las cosas fue ingeniosa. Galilei estableció como principio, que fuera cual fuera el movimiento que se le atribuyera a la Tierra, era necesario que todos los que habitaban en ella y participaran de ese movimiento, lo consideraran imperceptible. Y de este principio se desprendía que el movimiento de la Tierra no tenía influencia alguna sobre los fenómenos que tuvieran lugar sobre ella.⁵¹ Esto significa que se le atribuía a todo movimiento la característica del movimiento inercial.⁵²

⁵¹ Es importante hacer notar que la teoría de Galilei respecto a las mareas consideraba que estas eran consecuencia directa de los movimientos combinados de la Tierra. Esta teoría contradecía las propias investigaciones de Galilei acerca del movimiento y se desconocen las razones por las cuales se aferró a esta idea, máxime que Kepler ya había dado la explicación correcta de este fenómeno. Las mareas,

A modo de ampliar la afirmación anterior, recordemos que la ley de inercia concebía al movimiento como un estado. Y no sólo esto, sino que el movimiento y el reposo no resultaban de la "naturaleza" del móvil⁵³, sino que éste era indiferente al estado en que era puesto. Galilei decía que el movimiento actuaba como tal, sólo cuando estaba en relación con las cosas que no tenían movimiento; pero carecía de efecto en lo que concierne a todas aquellas que participaban de él; era como si no existiera.⁵⁴

Los argumentos que expuso Galilei estaban basados en observaciones que podían ser repetidas y que estaban apoyadas en razonamientos físicos correctos y que justamente se puede decir que contribuyeron a que el sistema copernicano fuera más conocido.

Precisamente con relación a las objeciones de la física convencional en contra del movimiento terrestre, Galilei añadió dos argumentos en favor del movimiento de la Tierra. El primero tuvo que ver con la detección de las variaciones anuales de las manchas solares. Estas variaciones no podían ser dinámicamente reconciliables con un sistema en el que la tierra se encontrara en reposo.⁵⁵ En cambio el sistema copernicano que asignaba una rotación al sol y una a la tierra encajaba de manera muy simple y natural en términos dinámicos. De otra manera, asignando las rotaciones únicamente al sol, la conservación del movimiento requería de fuerzas muy complicadas.

escribió Kepler en su *Astronomia Nova*, son producidas por la atracción de la Luna. Koestler 1981, 444.

⁵² Koyré 1988, 209.

⁵³ Ver sección del movimiento aristotélico de este trabajo.

⁵⁴ Koyré 1988, 151-152.

⁵⁵ El argumento de Galilei es en términos generales el siguiente: si el eje del sol tuviera una cierta inclinación (indefinida) con respecto a la eclíptica, entonces las trayectorias de las manchas solares aparecerían a veces curvas y otras veces derechas a medida que la tierra realiza su viaje anual alrededor del sol. De otra forma las mismas apariencias de las manchas únicamente podrían ser explicadas atribuyéndole al sol movimientos complicados y poco plausibles en caso de estar la tierra estacionaria. Drake 1970, 186.

El segundo argumento se relacionaba con las mareas, las cuales no podían ser físicamente explicables sin el movimiento de la Tierra. Aunque su afirmación es correcta, la explicación que propuso para este fenómeno no lo era.⁵⁶

La gravedad

La palabra gravedad tenía una connotación definida en la física aristotélica, se refería a la cualidad que poseían los cuerpos graves que los hacía caer hacia la tierra que era su lugar natural.

La gravedad era una propiedad que no era ni matemática ni teórica, Galilei la asociaba al movimiento pero no parecía poseer una explicación satisfactoria de su origen. La gravedad era aparentemente el nombre de una cualidad de los cuerpos que describía algunos de los efectos del movimiento.

A pesar de esto, Galilei consideraba que los cuerpos tenían la inclinación natural de moverse y dirigirse hacia el centro de la tierra o hacia el centro de las cosas graves. La gravedad siempre aparecía ligada al movimiento y en la teoría galileica se asociaba a la caída de los cuerpos pesados o graves.⁵⁷

La gravedad o pesadez era una propiedad natural de los cuerpos y era la única fuente de movimiento que originaba en los cuerpos un movimiento hacia abajo.

Koyré establece⁵⁸ que Galilei en diferentes etapas de su vida compartió las ideas de Copérnico primero, de que la gravedad o mejor dicho el movimiento de caída era una tendencia natural de las partes a unirse con su todo. Esta asociación de la caída con la gravedad hacía que las dudas que Galilei poseía en cuanto al origen del movimiento tampoco

⁵⁶ Galilei argumentó que debido a los movimientos de rotación y revolución que efectuaba la Tierra diariamente causaban un continuo cambio de velocidad en las aguas contenidas en la Tierra. Debido a las constantes perturbaciones a las que estaban sometidas, las aguas terrestres cambiaban su nivel de manera más drástica en las costas. Para explicar las variaciones anuales y mensuales en las mareas, Galilei apeló a la velocidad dispareja de la Tierra en su paso por la eclíptica durante el mes. Para las variaciones anuales, Galilei las atribuyó a cambios en la composición de las componentes de rotación y revolución del movimiento terrestre.

⁵⁷ Recordemos que para Galilei todos los cuerpos eran graves, ninguno carecía de peso.

⁵⁸ Koyré 1988, 230-232.

fueran resueltas para aquellas de gravedad, porque estaba hablando de una misma cosa. Así, como ya se dijo, Galilei no poseyó tal vez una explicación del porqué del movimiento, como caída de graves o específicamente de gravedad entendida como atracción terrestre. Pero es interesante resaltar que según Koyré, Galilei compartió la idea de William Gilbert (1540-1603) un médico y físico inglés, que sostenía que la Tierra era un gran imán que atraía a los cuerpos sobre su superficie y cuya atracción se extendía por el sistema solar a modo de tejido de unión en el universo. Esta teoría estaba basada en los trabajos que realizó con imanes y fuerza magnética, en la que halló una acción recíproca. Las propiedades que halló Gilbert en la fuerza magnética se puede decir que constituyeron un modelo temprano de fuerza gravitacional.⁵⁹

La gravitación y Newton

La obra de Isaac Newton (1642-1726), en particular su libro *Principios matemáticos de la filosofía natural* de 1687, se considera la culminación de los esfuerzos científicos del siglo XVII.⁶⁰ Probablemente esta afirmación puede resultar exagerada, pero es necesario detenerse a pensar que la ciencia newtoniana proveyó la primera explicación del universo basada sobre principios mecánicos. Los axiomas y la ley de la gravitación universal desarrollados por Newton, se propusieron como aplicables a toda la materia dondequiera que ésta se encontrara, ya sea en la Tierra como en los cielos.

Los logros newtonianos causaron alteración en toda la estructura de la ciencia porque Newton reveló que las mismas leyes y los mismos principios de explicación se aplicaban en la tierra y en el cielo. Esta idea de unificar los fenómenos celestes a los que se les había atribuido una existencia totalmente separada de los fenómenos de la Tierra.

Newton proveyó una estructura matemática para la explicación de la naturaleza que explicaba con sus leyes y principios muchos de los descubrimientos y desarrollos previos a él. Entre ellos están los descubrimientos de Nicolás Copérnico (1473-1543) acerca de las revoluciones planetarias, las leyes de Johann Kepler (1571-1630), los descubrimientos de Galilei y de Christiaan Huygens (1629-1695) relativos a la gravedad y al movimiento. Quedó demostrado que todos estos desarrollos se explicaban con las leyes de Newton. Por esta

⁵⁹ Mason 1988, 92-93.

⁶⁰ Hall 1985, 455.

causa la labor de Newton se considera de unificación porque sus alcances abarcaron estas teorías en la misma síntesis.⁶¹

Newton nació en la región de Lincolnshire, Inglaterra en diciembre de 1642, año en que murió Galilei. No se posee información detallada de su juventud, más que el hecho que poseía habilidad para construir artefactos mecánicos y una notable capacidad para la reflexión. Newton estudió en la prestigiosa universidad de Cambridge, pero al parecer sus años de estudiante no fueron notables ni fuera de lo común. Pero resulta interesante que en el año de 1669 fue nombrado profesor de la cátedra Lucasiana de matemáticas. Fue el segundo en ocupar este cargo en la universidad de Cambridge, el primero fue Isaac Barrow quien se percató del genio impresionante de Newton. Es importante señalar que los años más productivos (mayores inventos, descubrimientos y trabajo teórico) los pasó en Londres, cuando fue encargado de la "Casa de Moneda".

Isaac Newton además de su papel como físico también fue un notable matemático puro. Inventó los cálculos diferencial e integral, de manera simultánea e independiente del filósofo alemán Gottfried Wilhelm Leibniz, que constituyen el lenguaje de la física clásica. Newton desarrolló el teorema del binomio y varias propiedades de las series infinitas. En el campo de la óptica, Newton realizó el estudio experimental del análisis de la luz, así como de su composición. A Newton también se le deben el telescopio reflector con el cual se trascendían algunas de las limitaciones de los telescopios hechos con lentes. En pocas palabras, aunque la obra de Newton no es considerada ni acabada ni perfecta,⁶² es indudable que fue una figura científica impresionante.

Algunos efectos de la gravedad

La gravedad es una fuerza que sirve para dar cuenta del movimiento de los planetas en torno al Sol, de los cometas, del movimiento de los satélites naturales y artificiales en torno a los planetas. Esta misma fuerza explica las mareas, la caída libre de los cuerpos en la Tierra y aún la forma oblonga de la Tierra. El integrar toda una serie de conocimientos para describir la manera en que se comporta esta fuerza, integración realizada por Newton, es uno de los descubrimientos científicos más importantes que se han realizado.

⁶¹ Hall 1985, 455-456.

⁶² Hall 1985, 455.

y Christiaan Huygens. Esta fuerza es ilusoria y surge por ejemplo cuando se mueve el agua en un cazuela en rotación y el líquido huye del centro del sistema. Este tipo de análisis, tomando en cuenta la fuerza centrífuga, fija su atención en el cuerpo que da vueltas, cuya tendencia a apartarse del centro no parece relacionar en absoluto las propiedades del cuerpo central. Muy al contrario, el concepto de fuerza centrípeta considera que el cuerpo central atrae o impulsa al cuerpo que gira. Es claro que la interacción entre ambos cuerpos era factor importante en la teoría de la gravitación.

Fue en 1679 cuando Hooke le escribió a Newton para exponerle su método y para proponer un intercambio sobre temas científicos. Para esos años Newton todavía trabajaba con el concepto de fuerza centrífuga y además había prometido dejar la ciencia física debido al rechazo que habían tenido seis años atrás sus teorías acerca de la luz. Hooke era uno de los muchos investigadores que habían rechazado sus teorías, pero cuando se dirigió a Newton lo hizo de manera amistosa y aible.

A los tres intelectuales Wren, Halley y Hooke les interesaba saber cuál era la ley de la fuerza que hacía que los planetas siguieran una órbita elíptica.⁶³ Esto revela que estos personajes tenían información importante sobre el problema. En particular, basándose en la tercera ley de Kepler que establecía una relación entre los tiempos de revolución de los planetas y sus distancias medias al Sol, tenían idea de que algún tipo de interacción planetas-Sol mantenía a los planetas en sus cursos. Visto con posterioridad, podemos suponer que el problema de la explicación del movimiento de los cuerpos celestes en términos mecánicos estaba dividido en dos cuestiones principales:

1. Se requería derivar la ley que gobernaba la fuerza centrípeta requerida para doblar el movimiento rectilíneo bajo la inercia en uno circular o elíptico. Esto supone la aceptación de la ley de inercia que establece que el movimiento sin impedimentos de un cuerpo consiste en una velocidad uniforme en línea recta.
2. Se precisaba demostrar que era la gravedad la que podía suministrar la fuerza centrípeta que obligaba a los planetas a moverse en órbitas cerradas. Este problema exigía la derivación de la ley de variación de la fuerza gravitacional con la distancia entre los cuerpos gravitantes.

⁶³ Cohen 1980, 155.

Tanto a Wren como a Halley y a Hooke les quedaba claro que era el Sol el que controlaba o al menos afectaba el movimiento de un planeta de acuerdo con la proximidad relativa del planeta al Sol. Además, intuían que esta fuerza que emanaba del Sol se diseminaba en todas direcciones y disminuía presumiblemente de acuerdo con el inverso del cuadrado de la distancia de un planeta al Sol. Pero intuirlo no bastaba, había que probarlo matemáticamente. Así fue como Robert Hooke aventuró en su carta a Newton la suposición de que la fuerza centrípeta hacia el Sol variaba en razón inversa al cuadrado de la distancia.

Newton, en su respuesta, aceptó el carácter novedoso de la descomposición del movimiento de Hooke, pero no comentó directamente el tema del movimiento planetario. En lugar de esto se preguntó qué camino seguiría un objeto, dejado para caer libremente, si pudiese atravesar la Tierra en rotación. Newton concluyó falsamente que el objeto describiría una trayectoria espiral. Robert Hooke corrigió el error de Newton señalándole que tanto el caso que planteaba como el análisis del movimiento planetario, eran ejemplos de la descomposición del movimiento curvo en rectilíneo y atractivo hacia el centro.⁶⁴ Newton se mostró reticente a atacar directa y públicamente el problema que le planteaba Hooke, ya que al parecer no era muy dado a desarrollar ideas importantes en correspondencia con otras personas. Además Hooke no era el mejor de los candidatos para recibir ideas nuevas y no publicadas de parte de Newton. También se puede argüir que Newton tal vez no estaba convencido del significado fundamental del problema de Hooke como pieza importante para la comprensión del funcionamiento del sistema solar.⁶⁵

El hecho fue que Hooke no cejó en el intento de involucrar a Newton en el problema del movimiento planetario y a principios de 1680, Hooke le planteó a Newton el siguiente problema: cuando se tiene un cuerpo central cuya atracción hace que un objeto caiga, haciendo que este se desvíe de su trayectoria inercial y siguiendo una curvilínea, ¿qué tipo de curva resultaría si la fuerza atractiva del cuerpo central varía en proporción inversa al cuadrado de la distancia? Newton demostró que la curva que satisfacía las condiciones del problema planteado por Hooke era una elipse, pero no comunicó su demostración a nadie hasta 1684. Fue en este año en que Edmund Halley fue a Cambridge a pedirle ayuda ya que el problema, que había sido muy discutido en la Sociedad Real de Londres, no estaba resuelto. Es pertinente aclarar que Robert Hooke dijo que estaba resuelto pero no había

⁶⁴ Cohen 1981, 113.

⁶⁵ Cohen 1980, 267-268.

dado ninguna solución. Newton le replicó a Halley que había calculado que era la elipse la solución del problema.

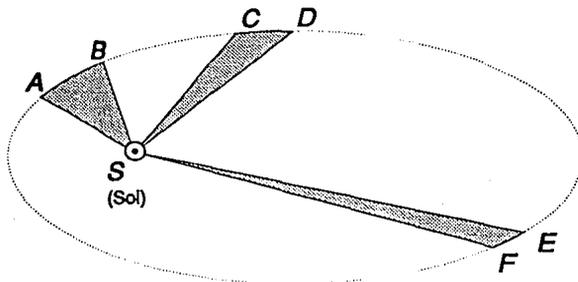
Con el estímulo de Halley, Newton redactó un breve tratado llamado *De motu corporum* (Sobre el movimiento) en el que describía sus investigaciones sobre la dinámica celeste y terrestre incluyendo sus ideas sobre el movimiento en un medio vacío y en uno resistente. Este libro se incorporó posteriormente y en forma más desarrollada al libro primero de sus *Principios matemáticos de la filosofía natural* de 1687. En ambos trabajos sobresale la importancia de las leyes de Kepler.

Es interesante tratar el papel que tuvieron las leyes de Kepler en el trabajo de Newton. Parece sorprendente el hecho de que la importancia que adquirieron dichas leyes les fue conferida no por Kepler, sino por Newton mismo. En el siglo XVII las leyes de Kepler que se dan a continuación no gozaban de la importancia que posteriormente Newton les confirió.

Primera Ley La órbita de cada planeta tiene la forma de una elipse con el Sol situado en un foco.

Segunda Ley En cualesquiera intervalos de tiempo iguales, una línea trazada desde el planeta al Sol barrera áreas iguales.

Tercera Ley El cuadrado del tiempo o periodo de revolución de cualquier planeta alrededor del Sol (la Tierra incluida) es proporcional al cubo de su distancia media al Sol..



Ley de Kepler de las áreas iguales. Como un planeta recorre o viaja los arcos AB, CD, y EF en tiempos iguales (ya que las áreas son iguales), viaja más rápido en el perihelio, cuando está más cerca del Sol, y más lento en el afelio, cuando se halla más alejado. La forma de esta elipse es la de una órbita cometaria; las elipses planetarias se aproximan mucho más a un círculo.

Newton demostró que un objeto que tiene un movimiento inercial y está sometido a una fuerza centrípeta inversamente proporcional al cuadrado de la distancia describe una órbita elíptica. Con esta demostración resaltó la importancia de la primera ley de Kepler que relacionaba las órbitas planetarias con las elípticas. De las otras dos leyes restantes, únicamente la tercera era la que gozaba de mayor aceptación porque era la que se podía confirmar más sencillamente al sustituir en ella los valores de los periodos y de las distancias de los planetas. Incluso en el texto en el que se afirma que Newton extrajo la tercera ley, *Astronomía Carolina* de Thomas Streete, ni siquiera se menciona la segunda ley.⁶⁶

En los *Principios Matemáticos* de Newton es en donde se comprueba la importancia de la segunda ley de Kepler. En el primer teorema de la obra de Newton se probó que el movimiento curvilíneo descrito por la ley de las áreas o segunda ley de Kepler, es consecuencia del carácter centrípeto de la fuerza. El segundo teorema de los Principios es el recíproco del primero, es decir, se demuestra que un movimiento a lo largo de una curva descrito por la ley de las áreas implica la existencia de una fuerza centrípeta.⁶⁷

Estos dos teoremas creados por Newton mostraron que la ley de las áreas de Kepler es condición necesaria y suficiente para el movimiento combinado: movimiento inercial más un campo de fuerzas centrales.⁶⁸ Esto marcó, en opinión de Bernard Cohen, una profunda discontinuidad en la historia de las ciencias exactas. Las demostraciones de los teoremas anteriores hacían uso de una gama de conceptos nuevos, como el de fuerza, cantidad de movimiento, masa e inercia en una medida cuantitativa que resultaba totalmente novedosa.⁶⁹

Pero existía un problema. En el primer borrador de su obra *De Motu*, Newton suponía que los planetas se movían en órbitas elípticas alrededor del Sol y que éste se encontraba en uno de los focos de la elipse. Además suponía, al igual que Kepler, que los radios trazados desde el Sol describían áreas proporcionales a los tiempos. Estas eran las ideas de Newton a fines de 1664. En términos reales esta afirmación resulta falsa ya que los planetas no se desplazan según al ley de las áreas en órbitas elípticas alrededor del Sol situado en uno de sus focos. Estas leyes solamente se satisfacen para un sistema de un cuerpo: una sola masa que se mueve en un campo de fuerzas centrales con una componente inicial de movimiento inercial.

⁶⁶ Cohen 1980, 247-248.

⁶⁷ Cohen 1981, 117.

⁶⁸ Cohen 1981, 117.

⁶⁹ Cohen 1981, 117.

Es necesario aclarar que las leyes no son incorrectas, sino que el modelo corresponde al mundo real sólo en una primera aproximación. En nuestro sistema solar el foco se encuentra en el centro de gravedad común y además el Sol atrae a cada planeta y cada planeta atrae al Sol. Los planetas también se atraen unos a otros.

El hecho de que Newton no incorporara a su trabajo aún la maraña de atracciones que se daban en el sistema, revela que para 1684 aún no poseía su principio de gravitación universal. Es probable que la tercera ley de Newton acerca del movimiento haya sido un factor importante en la deducción de la ley de gravitación.⁷⁰ Esta ley establece que a cada acción le corresponde una reacción igual; o bien las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas en sentidos opuestos. No se poseen documentos que prueben como después de la primera revisión de su tratado *De motu*, Newton llegó a la conclusión de que los planetas actuaban gravitacionalmente uno sobre otro. La consecuencia de esto es que las leyes de Kepler sólo son una primera aproximación al mundo real, válidas como un modelo matemático en el cual las masas puntuales no interactúan entre sí y orbitan alrededor de un cuerpo atrayente estacionario. Precisamente esta distinción entre el mundo matemático, en donde las leyes de Kepler son verdaderamente leyes y el mundo físico en donde son propiamente aproximaciones de Kepler (al igual que las mismas leyes de Newton) fue uno de los rasgos revolucionarios de la nueva dinámica de Newton.⁷¹

Fue entonces para principios de 1685 en que Newton estaba terminando su primer borrador de los *Principios matemáticos*, cuando probablemente concluyó que de acuerdo a su tercera ley todos los cuerpos deben atraerse entre sí. Estas atracciones solamente es posible observarlas entre los planetas, pues en cuerpos pequeños es inobservable. En el tercer libro de los *Principios matemáticos*, Newton extiende la fuerza del peso o gravedad terrestre, a la Luna, demostrando que la fuerza varía inversamente con el cuadrado de la distancia. Posteriormente identificó la fuerza terrestre sobre cualquier cuerpo y sobre la Luna con la fuerza del Sol sobre los planetas y la fuerza de un planeta sobre sus satélites. A todas estas fuerzas las llamó Gravedad.

Con la ayuda de la tercera ley del movimiento, Newton elaboró un concepto de fuerzas que interactuaban mutuamente. El Sol atrae a los planetas como los planetas atraen al Sol. Del mismo modo, Newton transformó el concepto de una misma fuerza mutua entre los planetas

⁷⁰ Cohen 1981, 117-118.

⁷¹ Cohen 1985, 243.

y sus satélites y entre estos últimos. La conclusión final solamente llevaría a que todos los cuerpos interactúan gravitacionalmente.⁷²

Después de esta conclusión, el mismo argumento condujo a Newton a aplicar las fuerzas de atracción a objetos tan terrestres como una manzana. Al fin, todos los cuerpos, en particular las manzanas, eran cuerpos que originaban una atracción gravitatoria y a su vez debían reaccionar a ella, entonces debían atraerse entre si. Por tanto, dos cuerpos cualesquiera, en cualquier lugar del universo, interactúan gravitacionalmente. Así quedaron unidos los cuerpos terrestres y celestes bajo una misma ley. La fuerza de atracción de la que habla esta ley varía inversamente al cuadrado de la distancia y es proporcional a las masas gravitacionalmente:

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{D^2}$$

$$F = \frac{m_1 m_2}{D^2} G$$

Donde m_1 y m_2 son las masas de los dos cuerpos, D la distancia entre ellas, y G la constante de la gravitación universal.

El análisis del posible proceder de Newton, más que una simplificación de su labor, es una constatación de su genio. El modo newtoniano de pensar, lo que se ha bautizado incluso como el estilo newtoniano,⁷³ resultó muy fecundo para los desarrollos en física. Este consistía en la aplicación de las matemáticas al mundo externo tal como éste se percibe por la observación y la experiencia. En el estilo newtoniano se hace uso de modelos matemáticos en los que no se descuidaba su aplicación a la realidad física. Los modelos tenían la virtud de simplificar la naturaleza y la posibilidad de explorar con ellos las propiedades teóricas de fuerzas atractivas.

El usar modelos matemáticos permitía trabajar con ideas hasta cierto punto inadmisibles, como la acción a distancia de una fuerza, y analizar sus propiedades y consecuencias. Posteriormente Newton comparaba los resultados obtenidos del modelo con los principios y leyes observadas en el mundo externo. Cuando el modelo resultaba insuficiente Newton lo

⁷² Cohen 1985, 245.

⁷³ Cohen 1981, 119.

modificaba. Presumiblemente del trabajo realizado con modelos, Newton realizó muchas de sus conclusiones al respecto de la gravitación.

Es interesante hacer notar que a pesar de que la fuerza de atracción y la ley de la gravitación servían para explicar muchos fenómenos naturales como la caída de los cuerpos con igual aceleración, los movimientos de la Luna, las mareas, no quedaba muy claro incluso para Newton cuál era el origen de dicha fuerza, lo cual no es obvio. En el sistema filosófico al que se adhería Newton no se aceptaba la naturaleza de una fuerza que actuara a distancia. Newton llegó a pensar que la gravitación universal se podía originar por impulsos de una corriente de partículas de éter que bombardeaban un objeto, o bien por la influencia de un éter que penetraba todos los objetos.⁷⁴

De cualquier forma, la falta de conocimiento del origen de esta fuerza, no le hizo falta a Newton para estudiarla sin obstáculos prematuros que hubieran bloqueado su gran descubrimiento.

⁷⁴ Cohen 1981, 119.

Capítulo II. Carlos de Sigüenza y Góngora

La época barroca

El comienzo del siglo XVII desde la visión actual, puede considerarse una etapa de gran cambio. Modificaciones que partieron de una nueva consideración de lo religioso provocada por el embate del protestantismo en Europa, hicieron que se fragmentaran ciertas tradiciones, no sólo de unidad religiosa sino de la misma tradición del conocimiento. La ciencia para algunos autores, era una especie de descubrimiento portentoso que habría de hacer pensar al hombre que era él mismo el dueño de su destino⁷⁵ y aunque tal vez para esos hombres esa idea no pasó por sus cabezas, la perspectiva del presente nos indica que la nueva manera de considerar los fenómenos, la nueva ciencia, si causó cambios importantes y sensibles. Pero estos cambios se dieron de forma gradual en un clima un tanto turbulento.

Como se dijo, principalmente en los países del norte europeo, la reforma provocó una fuerte ortodoxia en los países católicos del sur, entre ellos España. La reforma, fue a grandes rasgos un movimiento histórico del siglo XVII que precisamente buscaba reformar los abusos de la iglesia católica y que llevaron a la creación de las iglesias protestantes y reformadas.

España que había sido un gran imperio en el XVI, mostraba signos de decadencia para el XVII y en sus grandes colonias del nuevo mundo la libertad de cuestionar se vio suprimida en aras de mantener la ortodoxia religiosa que se veía amenazada en Europa debido al protestantismo. Una manera de mantener pura la religiosidad, a salvo de influencias contaminantes fue aumentar la intransigencia en relación al cuestionamiento de ideas. La virtud constituía entonces el aceptar sin cuestionar.⁷⁶

Así fue que en este esquema de rigidez en la España católica las ideas y los métodos fueron los del escolasticismo, con la idea de que la verdad se alcanzaba por métodos verbales y la iniciativa solamente se limitaba a la afinación de detalles formales, no de contenido.

Es precisamente aquí donde se puede dar una definición más palpable de lo que significaba el escolasticismo, que como filosofía descendía directamente de la teología con sus métodos

⁷⁵ Leonard 1990, 44-45.

⁷⁶ Leonard 1990, 47.

transplantados al conocimiento secular. La premisa básica del escolasticismo era que la fuente de toda verdad era Dios y que era revelada a seres escogidos como medios de transmisión. Los escritos de los Padres de la Iglesia constituían la más alta autoridad y se consideraba que contenían en sí mismos la refutación de todos y cada uno de los argumentos presentados por la razón humana. Este concepto de conocimiento hacía incapié en las dotes de la memoria y no en el poder de raciocinio.

En este panorama, también la filosofía secular abrazó con vehemencia un cuerpo de conocimientos que fueron dominantes en el pensamiento por casi tres siglos: los escritos de Aristóteles. La supremacía del aristotelismo fue en muchos casos una fuerte barrera para la generación de ideas alternativas para la explicación de muchos fenómenos de la naturaleza. La opinión de Aristóteles, en muchos casos, fue considerada tan infalible como las Sagradas Escrituras.

Así como el conocimiento estaba limitado, los métodos para hacer conclusiones acerca de él también tenían serias dificultades. Uno de estos métodos era el silogismo que consta de dos premisas una mayor y otra menor junto con una conclusión que se deduce de ellas. El silogismo fue el instrumento más importante de los escolásticos, virtualmente considerado como el método exclusivo para la argumentación.⁷⁷

El silogismo, que era el recurso de argumentación preferido por los escolásticos, era el instrumento al que se acudía para concluir verdades, como ejercicios lógicos resultaban rígidos y usando premisas absurdas podían construirse conclusiones absurdas. Aunque también se debe destacar que existían algunos aspectos que se veían desarrollados usando estos recursos de manera correcta, como la destreza verbal, la sutileza de expresión y el ejercicio del razonamiento deductivo. Pero puede decirse que se prestó poca atención al análisis de la naturaleza, la materia, el conocimiento en sí, fuera de ese modelo tan rígido que planteaba la ciencia escolástica.

Las nuevas ideas que amenazaban la ortodoxia cristiana eran cuidadosamente resguardadas en España y excluidas, si era posible, de la Colonia. Existía, como ya se dijo, un gran temor al contagio herético del exterior protestante; especialmente en la Colonia, en donde la población no estaba completamente cristianizada.

⁷⁷ Leonard 1990, 51.

La iniciativa de los pensadores se limitaba al detalle de algunas tesis más que la valoración de la tesis en sí. El autoritarismo religioso fue un factor importante para que el conocimiento se viera estancado, en contraste con los países en donde se permitía la incorporación de la experimentación y de métodos menos rígidos para abordar el conocimiento.

Dentro de este esquema en donde la religión jugó un papel importante, es interesante dedicar unas palabras a la Universidad en el período barroco que constituía junto con los Colegios Eclesiásticos, el lugar en donde mayor posibilidad había de acceder al conocimiento. La Universidad Mexicana fue la primera en América en abrir sus cursos en 1553 y respondió a una necesidad criolla de tener en la Nueva España un centro de educación superior. Pero aparte de la necesidad de formar letrados para la Colonia misma, la Universidad tuvo un papel de institución de lucimiento social y más aún como un medio de dignificación social. Para aquellos que nacían con el estigma de una casta inferior, los estudios universitarios representaban en algunos casos, la única manera de adquirir un ascenso social.

El curriculum de la Academia Mexicana respondió al modelo medieval del trivium y el cuadrivium. Estas últimas eran clasificaciones de las siete artes liberales que formaban la base de la educación en la Edad Media. El trivium proporcionaba el conocimiento instrumental, mientras que el cuadrivium era el medio de acceder al saber superior. Desde el principio la Universidad de México según Manrique,⁷⁸ modificó el esquema medieval e introdujo nuevas cátedras que le dieron a la Universidad un sello particular. Para el siglo XVII las facultades eran teología, cánones, leyes, medicina y artes, además de gramática, retórica y lenguas indígenas: náhuatl y otomí. La Universidad también contó con las cátedras de anatomía y cirugía y matemáticas y astrología. La enseñanza se basaba en la explicación y comentario de textos clásicos de cada cátedra y en la exposición y réplica pública. El corazón de la cultura constituía la transmisión y comprensión de un saber aprobado y sobre todo en su discusión con miras a la prédica o especulación y no al análisis ni a la profundización.

Es esta conjunción de aspectos políticos y culturales que moldearon una etapa que se ha bautizado con el nombre de barroca (que aunque no le encontramos mucho sentido delimitarlo cronológicamente, puede resultar útil situarlo desde mediados del siglo XVI a

⁷⁸ Manrique 1990, 677.

mediados del XVII⁷⁹) y que se caracterizó por reunir en sus características los ideales medievales llenos de religiosidad y rigidez con aquellos atributos del Renacimiento que representaba una ebullición de ideas más libres. Como rasgos generales el barroco se inclinó por preferir la forma al contenido, a prestarle mayor importancia a los detalles que a las ideas y a darse ese gusto por lo excesivo en las formas artísticas y lingüísticas. Con el barroco, o tal vez debido a él, apareció un fuerte poder creador particularmente en España, de las que Cervantes, Lope de Vega, Tirso de Molina, Quevedo, Góngora, Velázquez, El Greco son algunos ejemplos importantes. El barroco se describe de la manera más general ya que se extendió en varios países europeos, especialmente del sur, en donde el movimiento adquirió características particulares.

Particularmente en la Nueva España, el barroco no sólo se estableció sino que se fusionó con los elementos regionales del indigenismo y de lo mestizo. El poco dinamismo de la sociedad novohispana causado por las restricciones que España impuso a sus colonias, causó que el barroco tuviera una larga vida en este continente aún después del período colonial.⁸⁰

La incorporación de los elementos indígenas y mestizos en el barroco novohispano va unida también al desempeño de la religión en el movimiento. La religión no sólo en la Nueva España sino en el continente, constituyó la justificación de casi todas las acciones de índole moral, cultural y política que se llevaban a cabo. Particularmente, el culto a la Virgen de Guadalupe, característico de la Nueva España, conjugó muchas de las aspiraciones de los mexicanos que requerían satisfacer su orgullo encontrando lo divino de estas tierras. El culto guadalupano respondió a las necesidades novohispanas de reafirmación y pertenencia de algo totalmente propio, colmando las aspiraciones de muchos mexicanos.⁸¹

Un fenómeno cultural que se considera central en el barroco novohispano es aquel del criollismo. Los criollos, eran los hijos de europeos nacidos en México, pero esta definición va más allá de los orígenes de los criollos. Está en forzosa relación con el concepto de gachupín, que era el español nacido en el continente y con el cual se daba una relación de competencia y aversión. El sentimiento del criollo era de confusión al saberse parte de dos mundos por los cuales tenía sentimientos encontrados. Odiaba al gachupín pero no podía

⁷⁹ Leonard 1990, 53-54.

⁸⁰ Leonard 1990, 57.

⁸¹ Manrique 1990, 657-660.

evitar sentirse español; de igual manera el criollo se sabía parte de la tierra en que había nacido, pero esto no le impedía quejarse o exaltarla de manera excesiva.⁸²

Estos sentimientos contradictorios impulsaron a los criollos a buscar sus orígenes en un intento por reafirmarse como individuos partícipes de una cultura definida. En esta cultura de búsqueda, la exaltación de la historia y las tradiciones indígenas fueron elementos importantes como equivalentes de las tradiciones europeas que no tenían o no deseaban los criollos. El hecho de que los criollos compartían la herencia indígena pero distaban mucho de ser indios, los hizo acudir a la alabanza de su tierra, a su ingenio propio, a la exaltación del arte y de la religión como fuentes de orgullo que necesitaban poseer. Esta conjunción de aspectos fueron la expresión de la cultura novohispana por casi dos siglos.⁸³

Los criollos instruidos, que compartían lo más refinado de la cultura europea de tradiciones cristianas, de mitología grecolatina e historias medievales, incorporaron elementos de la cultura prehispánica al movimiento barroco, enriqueciéndolo. Aunque debe aclararse que esta convivencia de culturas no fue precisamente un intercambio armonioso de tradiciones. Las diferencias raciales, lingüísticas y culturales dividieron a la sociedad novohispana en estratos de los cuales prácticamente la minoría blanca era la única que poseía un papel activo en la política y la cultura. En este esquema la comunidad novohispana era inmóvil social y culturalmente y de hecho el fenómeno de incorporación del pasado indígena fue un fenómeno culto que se inició en un estrato social elevado y de una manera consciente y deliberada.⁸⁴ Pese al poco dinamismo y al aislamiento de la Nueva España, el barroco en estas tierra ofreció la expresión más vital de la complejidad del movimiento.

¿Quién era Carlos de Sigüenza y Góngora?

Carlos de Sigüenza y Góngora nació en la Ciudad de México en agosto de 1645. Su padre, Carlos de Sigüenza y Benito fue preceptor del príncipe Baltasar Carlos de Austria antes de emigrar a la Nueva España en 1640. Vino con el séquito del virrey Diego López Pacheco y sirvió por casi 50 años al gobierno virreinal. De la madre de Sigüenza y Góngora no se tienen muchos más datos, Dionisia Suárez de Figueroa y Góngora era oriunda de Sevilla y

⁸² Manrique 1990, 647-649.

⁸³ Manrique 1990, 649.

⁸⁴ Manrique 1990, 652.

descendiente del poeta barroco Luis de Góngora y Argote. Carlos fue el varón mayor del matrimonio.

Es probable que su padre, siendo tutor, estuviera a cargo de su primera instrucción. A los quince años, en 1660 aproximadamente, ingresó al Colegio Jesuita de Tepozotlán como novicio, ya que en el siglo XVII la carrera eclesiástica era de lo más distinguido para un joven prometedor como lo era Sigüenza. La orden jesuita, fundada por Ignacio de Loyola en 1543, era una orden religiosa que gozaba de una fama intelectual muy sólida, lo que seguramente le pareció muy atractivo al joven Sigüenza. Realizó los votos simples dos años después de su ingreso en 1662.

De su formación en este período temprano se sabe poco, salvo que estudió humanidades, distinguiéndose en filosofía, literatura y teología.⁸⁵ Estudió posteriormente en el Colegio del Espíritu Santo en Puebla en donde, una noche al parecer, eludió la vigilancia nocturna del Colegio y se presume que ésta fue la causa de su formal expulsión o separación en agosto de 1667 o 1668.⁸⁶

Este incidente al parecer tuvo un gran impacto negativo en Carlos de Sigüenza, quien trató de reingresar a la Orden en distintos momentos de su vida sin éxito alguno.⁸⁷ La disciplina jesuítica resultó demasiado severa porque ni súplicas ni los honores adquiridos posteriormente, consiguieron que lo reinstalaran en el colegio. Este episodio, según Leonard que ha sido uno de sus más fervientes biógrafos, modificó su carácter en forma negativa, tornándolo amargado. Lo que resulta sorprendente es que Sigüenza no haya perdido el

⁸⁵ Leonard 1984, 23.

⁸⁶ Francisco Pérez de Salazar se niega a pensar que Sigüenza haya sido expulsado de la orden porque no se asienta en actas de esa manera. Según Pérez de Salazar, el que registró su admisión y su despido fue Don Fernando Ramírez quien asentó en los libros que "...Carlos de Sigüenza estudiante, después de siete años de Compañía fue despedido en la Puebla a 3 de agosto de 1667..." Pérez de Salazar 1928, XXII.

⁸⁷ En 1671, dos años después del incidente solicitó su reingreso, el cual fue rechazado. Tampoco se aceptó su petición de reingreso en 1677, año en que Sigüenza ya era profesor de la Universidad de México y que no le valió de algo.

apego a la Orden, ya que es a ella a la que dona su biblioteca, que debió haber sido importante, sus códices y manuscritos y sus instrumentos científicos.⁸⁸

Sigüenza reanudó sus estudios de teología en la Real Universidad. También en la Ciudad de México prosiguió su carrera eclesiástica hasta obtener las órdenes sacerdotales⁸⁹ además combinó sus estudios teológicos con historia antigua, en particular de comunidades indígenas. En 1672 la cátedra de Matemáticas y Astrología de la Universidad quedó vacante y Sigüenza, junto con otros dos candidatos se presentaron a concurso por ella. Los contendientes eran el bachiller José Salmerón y Castro y Juan Saucedo, familiar del Colegio de Nuestra Señora de Todos Santos. Sigüenza en este entonces aún no era bachiller, grado que estudió posteriormente en 1672-1673. Precisamente de este hecho se valió Salmerón para argüir que él era el único con derecho a la cátedra por poseer grado académico. Sigüenza, que se caracterizó por la agilidad de mente, replicó que no existía el bachillerato de matemáticas y astrología en ninguna facultad de la universidad por lo que todos los concursantes tenían el mismo derecho.

Don Carlos obtuvo una victoria apabullante sobre sus contendientes⁹⁰ los cuales no parecían haber seguido un solo curso sobre las disciplinas de la cátedra.

El método corriente para obtener una lugar como profesor de la Universidad era el de las oposiciones. Estas consistían en la preparacion de una disertación sobre un tema de la materia. Este método se sigue hasta la fecha en muchos concursos de oposición. Lo interesante en aquel entonces, era que dicho tema era asignado con veinticuatro horas de anticipación y la disertación era improvisada ante profesores y estudiantes quienes votaban por el mejor orador.⁹¹ El tema que por azar fue elegido para desarrollar fue el de la *Sphera*

⁸⁸ De los instrumentos se asegura que entre ellos estaba "...un antejo de larga vista de quatro vidrios que asta (sic) ahora es el mexor que ha venido a esta Ciudad y me lo vendió el P. Marco Antonio Capus en ochenta pesos..." Pérez de Salazar 1928, XXII. La Compañía de Jesús, empero, fue suprimida en 1767 y de las reliquias de Sigüenza que le fueron donadas, se sabe que fueron botín de la guerra contra Estados Unidos en 1847 según datos de Dn. Luis de la Rosa, ministro de México en Estados Unidos. Pérez de Salazar 1928, LXXIX.

⁸⁹ Sigüenza 1983, XX.

⁹⁰ 74 votos de Sigüenza contra 14 de Salmerón y 7 de Saucedo. Pérez de Salazar 1928, LXXIX.

⁹¹ Leonard 1990, 283-284.

de Sacrobosco "De ortu et occasu signorum" y el sueldo asignado a la cátedra era de 100 pesos.⁹²

Su desempeño como profesor universitario no fue lo que se podría llamar impecable, ya que solicitó varios permisos que lo hicieron descuidar las obligaciones rutinarias de sus clases.

Esto no tendría la menor importancia, si esos descuidos no hubieran ocasionado el pago de multas por parte de Sigüenza, ya que éste a diferencia de otros colegas que pertenecían a órdenes religiosas, no tenía la subsistencia asegurada. Desgraciadamente, desde entonces la carrera académica no ha sido sinónimo de bonanza económica y Sigüenza tenía compromisos familiares y personales que hacían que sus muy modestos ingresos fueran insuficientes. De una manera curiosamente actual, Carlos de Sigüenza tuvo que aceptar varios empleos para sufragar sus gastos familiares y el gusto que tenía por los libros y las antigüedades. Así Don Carlos fue cosmógrafo principal del reino, capellán del Hospital del Amor de Dios, inspector general de cañoneros, contador de la Universidad y corrector de la Inquisición hasta donde se tienen datos.⁹³ De todas estas actividades, la de capellán del Hospital del Amor de Dios fue la que mayores beneficios le produjo y que además le proporcionó lugar de residencia hasta su muerte acaecida en 1700.

La obra de Sigüenza

Según un contemporáneo de Sigüenza, Sebastián de Guzmán y Córdoba editor de la *Libra astronómica*, Don Carlos tuvo una obra vasta. Sebastián de Guzmán dijo en el prólogo de la *Libra astronómica*, que no sabía si Don Carlos tardaba más en idear y crear un libro que en olvidarlo.⁹⁴

Lo que ha llegado a nosotros, sin embargo, no ha sido mucho debido en gran parte a que el tipo de escritos que eran susceptibles de publicarse eran los de inspiración religiosa o de glorificación a las instituciones eclesiásticas. Las razones que se ofrecen para esta falta de impresiones se debió a varias causas, una de ellas la constituyó la falta de recursos de Sigüenza, el costo del papel era elevado lo mismo que los gastos de imprenta. Los gastos de las obras que sí llegaron a la imprenta fueron sufragados por instituciones o personas que pudieran y quisieran afrontarlos. Otra causa importante la constituyó la censura inquisitorial.

⁹² Pérez de Salazar 1928, XXVIII.

⁹³ Leonard 1990, 285-286.

⁹⁴ Sigüenza 1984, (14).

Desde 1571, año en que se estableció la Inquisición en Nueva España, una obligación prioritaria de los inquisidores era vigilar la corriente de material impreso que atacaba o minaba la cultura religiosa en la Nueva España. Para este fin se creó toda una burocracia eclesiástica para aplicar la censura sobre los libros que llegaban a la Colonia. Las ideas de reforma provenientes de Europa constituían una agresión a la ortodoxia cristiana y que se estableciera un flujo impreso entre ella y la Nueva España era lo último que se deseaba. Así que para crear y mantener un ambiente intelectual rígido, que fue el que dominó en el siglo XVII, se facultó a clérigos y calificadores para examinar los libros que llegaban a la Colonia.⁹⁵

Entre los cargos que ocupó Carlos de Sigüenza fue el de corrector del Santo Oficio. Esto probablemente le facilitó tener a su alcance algunas obras de origen no muy ortodoxo.⁹⁶

Así que la falta de recursos y la censura que podían haber sufrido sus escritos, las que motivaron el que no se hayan publicado probablemente muchos trabajos interesantes. Lo anterior no significa que se menosprecie la obra de Sigüenza que existe actualmente, sino que precisamente esa porción de su trabajo deja entrever la amplitud de su conocimiento y también la dedicación y profundidad que le dedicó a temas diversos como historia, astronomía, geografía, crónica, etc. Estos atributos de su personalidad intelectual ratificados por personas cercanas a él como Sebastián de Guzmán y su sobrino Gabriel López de Bonilla, hacen lamentable la pérdida de su obra inédita.

⁹⁵ El puerto de entrada era San Juan de Ulúa en Veracruz en donde los comisarios del Santo Oficio eran los primeros que abordaban las naves para buscar libros prohibidos en los equipajes. Se realizaban inventarios de todos los libros y se los llevaba la aduana. Aquellos que no estaban autorizados en España y los que estuvieran en las listas de libros prohibidos eran confiscados. También existía una fuerte y severa reglamentación sobre los impresores locales y comerciantes pero no se seguía muy fielmente en todos los casos. Según Greenleaf desde el siglo XVI los archivos de la Inquisición muestran que los habitantes de las colonias tenían un apetito voraz por libros tanto prohibidos como permitidos. Greenleaf 1985, 197-199.

⁹⁶ No se quiere decir que Sigüenza haya estado exento de la censura inquisitorial en absoluto. Muy al contrario, se sabe que dada su fama de irónico, Sigüenza gozaba burlándose de la profesión astrológica, hasta que un individuo llamado Antonio Sebastián de Aguilar Cantú, muy ofendido se quejó ante la Inquisición por este comportamiento irreverente. El Santo Oficio, que por cierto aprobaba todo tipo de obras seculares y eclesiásticas, eliminó varios párrafos de su lunario de 1691. AGN INQUISICION, tomo 670.

De manera sencilla su obra impresa puede ser agrupada en los siguientes apartados:⁹⁷

Obra histórica

Trofeo de la justicia española (1691),

Alboroto y motín de los indios de México (1692)

Mercurio Volante con la noticia de la recuperación de las provincias del Nuevo México (1693)

Obra apológica e historias de instituciones

Teatro de virtudes políticas (1680)

Paraíso Occidental (1684)

Piedad heroica de D. Fernando Cortés (probablemente posterior a 1693) Oriental planeta evangélico (1700 póstumo).

Obra poética

Primavera indiana (1668)

Triunfo parténico (1683)

Crónica

Relación de lo sucedido a la Armada de Barlovento (1691)

Trofeo de la justicia española (1691)

Además de que desde 1671 hasta incluso después de 1700, año de su muerte, se publicaron anualmente sus lunarios. Estas obras eran un tipo de almanaque en donde se registraban predicciones astronómicas y metereológicas. Se sabe que Sigüenza los elaboraba con el mayor cuidado. En ellos dejó predichos eclipses y otros fenómenos hasta 1711⁹⁸ y aunque

⁹⁷ Para mayor referencia sobre las obras de Sigüenza: Leonard 1984, 213-223; Sigüenza 1983, XXIV-XXVII.

⁹⁸ Leonard 1984, 89-90.

estos fueron abundantes su carácter perecedero de cuadernillos no permitió que fueran conservados.

De manera intencional se han omitido sus escritos científicos para proporcionar posteriormente un panorama de la personalidad científica de Carlos de Sigüenza y Góngora.

El siglo barroco novohispano fue la escenografía cultural que le tocó vivir a Sigüenza. Este período que así se bautizó, tuvo como fenómenos centrales muchas de las características que le fueron inherentes al mismo Sigüenza: el acendrado sentimiento criollo con todas sus contradicciones, la consolidación del poder de la Iglesia y una cultura que estaba en búsqueda de un identidad en un mundo que cambiaba de manera un tanto vertiginosa.

Segun Leonard ⁹⁹, para cuando Sigüenza comenzaba sus estudios la infiltración de ideas progresistas de Europa era la suficiente como para preparar el terreno para iniciar un cambio en la consideración de muchas ideas, incluso tanto Sigüenza como su contemporánea Sor Juan Inés de la Cruz son considerados precursores de la Ilustración que fue un movimiento filosófico del siglo XVIII que enfatizaba la razón y el individualismo en lugar de la tradición.

La *Libra astronómica y filosófica*

El paso del gran cometa de 1680, que fue visto por primera vez en la Ciudad de México el 15 de noviembre del mismo año,¹⁰⁰ fue lo que propició la creación del *Manifiesto Filosófico contra los cometas despojados del imperio que tentan sobre los tímidos* de Sigüenza, obra que dedicó a la virreina condesa de Paredes, que al parecer no escapaba del miedo supersticioso que causaban los fenómenos astronómicos. En particular, la aparición de cometas causaba un gran temor entre la mayoría de la población europea y novohispana por igual. Los cometas eran considerados presagios de sucesos nefastos, epidemias, guerras, pestes, y en general se les atribuía cualquier tipo de suceso negativo.

El cometa de 1680 fue un espectáculo bastante sorprendente que no pasó inadvertido en absoluto para el erudito Sigüenza, quien expresó en esta obra que los cometas no son presagios de sucesos negativos sino fenómenos naturales. En este escrito, Sigüenza propuso que fuera cual fuera el origen de los cometas, si sublunar o celeste, (Ver El universo aristotélico) estos no tenían porqué ser perjudiciales a los seres elementales, es decir, a los

⁹⁹ Leonard 1990, 320.

¹⁰⁰ Leonard 1984, 72.

cuerpos terrestres o sublunares, en cuya formación intervenían los cuatro elementos de la teoría aristotélica.

Precisamente la clasificación que asume Sigüenza de seres sublunares, cuerpos celestes y la referencia al Primer Mobile de donde eran arrebatadas las exhalaciones de las cuales se componía un cometa, refleja claramente su apego a la cosmología aristotélica. Este detalle, junto a aquél en el que manifiesta su decisión de no ignorar la autoridad de los astrólogos que podían estar en oposición a sus ideas pero reafirmando su propia situación de astrólogo consciente de los errores que la materia podía tener,¹⁰¹ son puntos interesantes para hacer incapié en que la formación de Sigüenza respondía claramente a la tradición escolástica y ciertamente conservadora de la época. A su vez, debemos resaltar el hecho de que esta formación de la que se habla no le impidió creer vehementemente en la inocuidad de los cometas, cosa que no sucedió con algunos contemporáneos suyos formados en escuelas europeas.

Tres contemporáneos de Sigüenza sobresalieron en relación con los efectos del Manifiesto, dos de ellos domésticos y el otro extranjero. El primero de los contendientes de las ideas de Sigüenza fue un caballero flamenco, Don Martín de la Torre. Este personaje escribió desde su residencia en San Francisco de Campeche un libro breve en donde sostenía que los cometas eran malos presagios y que debían mantenerse en ese concepto. No en balde su tratado se intitulaba *Manifiesto cristiano en favor de los cometas mantenidos en su natural significación*, el cual según Trabulse está actualmente perdido.¹⁰² El temperamento irascible de Sigüenza lo hizo responder a este escrito con otro tratado con un título muy rebuscado incluso para la época: *Belerofonte matemático contra la quimera astrológica de D. Martín de la Torre*. Esta obra la menciona Don Sebastián de Guzmán y Córdoba en la Epístola Dedicatoria de la *Libra astronómica*¹⁰³ en donde expresó que en el *Belerofonte matemático* se hacía uso de la más refinada trigonometría para hallar paralajes y refracciones y más interesante aún, de Guzmán dijo también que en el tratado había una teoría de los movimientos cometarios mediante una trayectoria rectilínea en las hipótesis de Copérnico. También se mencionan algunas teorías de Descartes, aquella de los vórtices cartesianos, y

¹⁰¹ La cita textual es como sigue "A los segundos [astrólogos] no tengo otra cosa que decirles, sino el que yo también soy astrólogo y que sé muy bien cuál es el pie de que la astrología cojea y cuáles los fundamentos debilísimos sobre que levantaron su fábrica"; Sigüenza 1984, 14 parágrafo 20.

¹⁰² Trabulse 1974, 184, nota 34.

¹⁰³ Sigüenza 1984, (14).

métodos nuevos para computar los eclipses de sol.¹⁰⁴ Desgraciadamente esta obra está perdida desde tiempos de Sigüenza, como lo expresó de Guzmán y no se conoce hasta la fecha ningún ejemplar de ella, y por lo expresado en la citada Epístola, Don Sebastián de Guzmán deja entrever que la obra fue destruida por el mismo Sigüenza.

El otro adversario de las ideas de Sigüenza, fue el doctor Joseph de Salmerón y Castro, quien con su obra *Discurso cometológico y relación del nuevo cometa*, proponía unas teorías de la formación de cometas que le parecieron tan monstruosas y absurdas a Don Carlos de Sigüenza que se negó a responderle a este doctor de alguna forma. El citado, Joseph de Salmerón, era médico y catedrático de anatomía y cirugía de la Real Universidad y su teoría de que los cometas se formaban de las exhalaciones de los cuerpos difuntos y de sudor humano no hizo más que horrrizar a Sigüenza por lo ridículo de su proposición.¹⁰⁵

El único extranjero en la disputa que ocasionó el *Manifiesto Filosófico* de Sigüenza fue el padre jesuita Eusebio Francisco Kino. Este misionero nació en Segno, en el Tirol austríaco el 15 de agosto de 1645.¹⁰⁶ Se educó en las prestigiosas universidades de Ingolstadt y Freiburg,¹⁰⁷ en donde adquirió seguramente una formación bastante sólida. De hecho le fue ofrecida una cátedra en la universidad de Ingolstadt en 1676¹⁰⁸ pero el anhelo místico lo llevó a solicitar favores a la Duquesa de Aveiro para ser misionero en China. La Duquesa en cuestión era parte de la realeza portuguesa y era una famosa mecenas que financiaba

¹⁰⁴ Sigüenza 1984, (14).

¹⁰⁵ Se recordará que en los exámenes de oposición de Sigüenza para la cátedra de astrología de la Universidad, hubo dos contendientes más. Uno de ellos se llamaba José de Salmerón y Castro y pudiera suponerse que se trata del mismo Salmerón y Castro de este episodio de los cometas. A este respecto las investigaciones realizadas por Trabulse lo llevan a establecer que se trató de dos personajes distintos debido a que tuvieron desempeños diferentes en la Universidad. Trabulse 1974, 184, nota 40. Leonard en su biografía de Sigüenza, únicamente cita la posibilidad de que ambos Salmerones fueran la misma persona. Leonard 1984, 75 nota 31.

¹⁰⁶ Burrus 1964, 61.

¹⁰⁷ Estas universidades contaron entre el profesorado con personajes muy destacados, entre ellos se puede citar a Christoph Scheiner, quien fue un astrónomo jesuita bastante agudo y que formaba en Ingolstadt a jóvenes matemáticos y organizaba debates públicos en astronomía a principios del siglo XVII. La universidad de Freiburg, confiada a los jesuitas en 1620, fue también destacada en ciencias astronómicas.

¹⁰⁸ Leonard 1984, 75 nota 33.

empresas de tipo misionero a lugares lejanos de su corte.¹⁰⁹ Las causas que motivaron que en vez de catequizar chinos Kino viniera a la Nueva España, estaban relacionadas con el número relativamente elevado de misioneros en el Oriente y la consecuente carencia de ellos en el norte de la Nueva España, las Californias, Sonora y Sinaloa.

Cuando Kino llegó a la Nueva España en mayo de 1681, ya venía precedido de una fama considerable de notable matemático y astrólogo. Sigüenza, ansioso de compartir con un sabio de fama tan comentada las opiniones y sobretodo las observaciones que había realizado del cometa de 1680, probablemente le obsequio él mismo su *Manifiesto Filosófico*. Lo que resultó después fue una verdadera disputa. Sin hacer un recuento minucioso de lo que pudo haber sucedido, se pueden ilustrar los hechos así: Kino tuvo noticia del *Manifiesto Filosófico* de Sigüenza que fue publicado el 13 de enero de 1681 según consta en la *Libra*, y para ese mismo año publicaba a su vez su obra *Exposición Astronómica del cometa que el año de 1680, por los meses de noviembre y diciembre, y este año de 1681 por los meses de enero y febrero, se ha visto por todo el mundo y le ha observado en la ciudad de Cadiz el padre Eusebio Francisco Kino, de la Compañía de Jesús*, con licencia, en México, por Francisco Rodríguez Luperzio, 1681. Mejor y más fácilmente conocida como la *Exposición Astronómica*.

El tiraje de esta obra, cien ejemplares, la hacen una rareza bibliográfica.¹¹⁰ La mayoría de los ejemplares de este escrito fueron enviados a Madrid y a Roma a petición de Kino,¹¹¹ pero al menos un ejemplar fue destinado, con toda intención, a Don Carlos de Sigüenza. El contenido de la *Exposición*, deducido casi totalmente de la *Libra astronómica*, resume en gran parte toda la superchería cometaria de entonces.

El esquema general de la obra es proporcionado en la *Libra* y es como sigue:

¹⁰⁹ Burrus 1964, 61.

¹¹⁰ El ejemplar consultado en la Biblioteca Nacional de México es una fotocopia del original al parecer parte de la Colección Genaro García de la Universidad de Austin. La clasificación es R, 082.1, GUE.160.

¹¹¹ Trubulse 1974, 20.

Capítulo I Del linaje de los cometas. Donde se establece que los cometas pueden tener origen celeste o elemental.¹¹² Define a los cometas como producto de exhalaciones, que no es otra que la explicación aristotélica común a los cometas.

Capítulo II Acerca del cometa observado. Estableció que el cometa observado no fué más que uno y discute acerca de su tiempo de duración. Expresó que el cometa que se vió en noviembre de 1680 hacia el oriente fue el mismo que se vió en diciembre de 1680 de mayor cauda que el de noviembre.

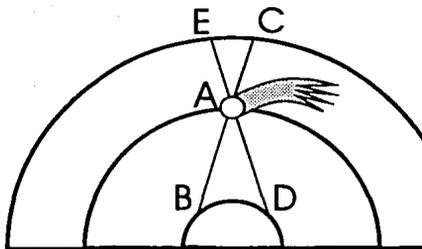
Capítulo III Del movimiento y lugar del cometa. Kino atribuyó al cometa un movimiento casi igual al de los planetas, a los cuales se les distinguen dos movimientos. El movimiento violento de oriente a ocaso, el cual les hace dar una vuelta entera por un círculo casi completo cada 24 horas, un día natural. Este movimiento se origina en el firmamento o primer mobile o móvil.

El otro movimiento es el Phenomenon, que es el propio de cada planeta y es aquel que deja atrás en su cielo a cada estrella errante, frenando (hurtando) la violencia del Primer Móvil llevando el planeta de ocaso a oriente en contra del viaje diario de 24 horas producido por el primer motor o primer móvil.

Capítulo IV Del lugar verdadero y aparente del cometa y de la paralaje.¹¹³

¹¹² Ver capítulo I Universo aristotélico.

¹¹³ Define en este capítulo paralaje como: "el exceso, exorbitancia, o diferencia de intervalo, que va del lugar aparente, a el lugar verdadero, o la diversidad de vistas, y aspectos, originada de la diversa parte, o diferencia del lugar, desde donde se ve el cometa o qualquier otra celeste aparicion". Kino 1681, 6.



Concepto de paralaje según Eusebio Kino. Arco EC, mide la paralaje. B, D dos puntos sobre la superficie terrestre. A, cometa.

Capítulo V Qué tanto distó el cometa de la tierra. Resultó claro en este capítulo que el cometa estaba lejos de la tierra "que se encimaba no pocas leguas sobre el globo de la luna", por lo tanto se presume que el cometa no fue sublunar sino celeste.

Capítulo VI El cometa de 1680 no fue elemental sino celeste.

Capítulo VII Acerca de los cometas de 1680, 1665 y 1664.

Capítulo VII Acerca de la cauda y corpulencia de los cometas.

Capítulo IX Se especula acerca de la formación de la cauda cometaria, la perseverancia de su atmósfera, la variación y el fenecimiento de los cometas.

Capítulo X Trata de los pronósticos del propio Kino respecto a los cometas y para ello redujo a cinco argumentos las ideas de Sigüenza tratadas en el *Manifiesto Filosófico*, impugnándolas. Posteriormente proporciona su opinión y la refuerza con seis fundamentos. Después de invocar la autoridad de personajes ilustres como Hevelius, Kircher, Riccioli o clásicos como Aristóteles, concluye su obra.

La obra de Kino tuvo dos detalles que con seguridad molestaron a Sigüenza y lo orillaron a contestar la ofensa. El primero de ellos se refiere al Capítulo X en donde Kino claramente refuta las ideas de Sigüenza pero nunca menciona explícitamente su nombre. En segundo lugar, Kino tuvo el detalle de dedicar su *Exposición Astronómica* al virrey Tomás Antonio

de la Zerda, cuando Sigüenza había hecho lo propio con su Manifiesto, pero en este caso la dedicatoria fue para la virreina. Este detalle le pareció de poco tacto a Sigüenza.

Es cierto que la personalidad de Sigüenza era de extrema susceptibilidad.¹¹⁴ Pero el que Kino se negara a darle un lugar a Sigüenza, citándolo en su último capítulo de la *Exposición Astronómica* y además el haber dedicado Kino su escrito al virrey Tomás de la Zerda, fueron causas importantes para hacer responder a Sigüenza la "llamada a la guerra"¹¹⁵. Esta respuesta fue la creación de la *Libra astronómica y filosófica*, motivada casi totalmente por Eusebio Kino.¹¹⁶

El significado de la palabra Libra es balanza y Sigüenza, al darle este nombre a su libro, pretende proporcionar todos los argumentos filosóficos y astronómicos necesarios para que el peso de la verdad sea lo que defina la disputa con Kino.

Su título resulta sugerente de por sí, ya que lleva el mismo nombre de otra obra escrita por Orazio Grassi (1590-1654), un padre jesuita que tuvo una disputa intelectual con Galilei en relación al cometa de 1618. Nada más adecuado al parecer.

La *Libra astronómica y filosófica* fué escrita en el año de 1681, y con licencias obtenidas el siguiente año, pero no se imprimió hasta 1690. Respecto a las causas del porqué la obra no fue impresa con anterioridad pueden haber sido el hecho de que Sigüenza tal vez no deseaba provocar asperezas con la Orden Jesuita, a la cual siempre se quiso reincorporar. Aunque Sigüenza expuso claramente en sus motivos para escribir la obra, que su enfrentamiento con Kino era de matemático a matemático sin extenderse a otra cosa,¹¹⁷ la idea de colocarse en

¹¹⁴ Basta leer algunas de sus contestaciones a Eusebio Kino en la *Libra Astronómica y Filosófica*, en donde Sigüenza hace gala de su profunda agudeza para ironizar al enemigo. Esta actitud es propia de alguien considerablemente herido en su orgullo. Sigüenza 1984, 5, 24.

¹¹⁵ Existe, en la *Exposición Astronómica*, un tono de cierto desdén disfrazado de condescendencia al tratar las cuestiones relativas a los cometas que no conulgan con las propias ideas de Kino. No parece pues, sorprendente que Sigüenza haya respondido con tanta ironía en la *Libra Astronómica y Filosófica*. Aunque se tiene que aclarar que los comentarios que se expresan respecto a la *Exposición Astronómica* de Kino, intentan únicamente analizar su papel como contendiente en una disputa intelectual. Su desempeño como misionero, bastante impresionante por cierto, no está a exámen definitivamente.

¹¹⁶ Sigüenza 1984, 7.

¹¹⁷ Sigüenza 1984, 7.

directo antagonismo con un miembro tan distinguido de la Orden no creemos que le hubiera parecido correcto ni deseable.

Los elevados costos de impresión en aquella época seguramente fueron una causa para la tardanza en la impresión de la *Libra Astronómica*. Aunque se debe mencionar que Sebastián de Guzmán ya había tratado de convencer a Sigüenza en los años de 1681-1682 de asumir los gastos de impresión. Sebastián de Guzmán y Córdova, amigo y admirador de Sigüenza pagó los costos de publicación de la *Libra*.

Sebastián de Guzmán y Córdova fué inspector de la Real Hacienda y compartía con Sigüenza ciertos gustos por temas científicos. De hecho Sebastián de Guzmán había trabajado en su tiempo libre en una obra de hidrografía y navegación y era un admirador sincero de Sigüenza.¹¹⁸ Según el prólogo de la *Libra* fue a instancias de Sebastián de Guzmán y otros amigos que la *Libra* fue escrita y guardada desde 1681 a 1690 año de su publicación. También se le deben a de Guzmán noticias de escritos de Sigüenza que lamentablemente se perdieron.¹¹⁹

Como se expresó, la *Libra astronómica y filosófica* fue escrita como reacción al libro de Eusebio Kino. Este propósito, el de impugnar a Kino, le confiere algunos puntos característicos. En primer lugar su objetivo fue refutar la idea de que los cometas eran presagios de sucesos negativos que iban desde guerras hasta la muerte de un gobernante. Para realizar esto, Sigüenza expone sus ideas, las de Kino y de nuevo las suyas. Sigüenza tenía la idea que este tipo de argumentación era como una balanza en la que se exponían los argumentos respecto a un tema y el peso de la verdad era lo que decidía de que lado estaba la razón. La *Libra* esta escrita en un tono un tanto dramático ya que la provocación de Kino fue lo que le hizo decidir a Sigüenza a escribir la obra. Sigüenza resulta muy preciso para la crítica y el tono irónico de la obra es un rasgo dominante en el libro, además de que conforme este avanza la ironía también.

La *Libra astronómica* es un libro complejo, hacer una evaluación de él resulta más allá de los alcances de este trabajo, pero se hace necesario establecer un mapa de la organización de la obra para analizar posteriormente los puntos específicos que conciernen a este trabajo.

¹¹⁸ Leonard 1984, 52-53.

¹¹⁹ Sigüenza, 1984, (14)-(17).

José Gaos, presentador de la edición de la *Libra Astronómica*¹²⁰ divide la obra en siete secciones:

1. La reproducción del *Manifiesto Filosófico* de Sigüenza

La inclusión de la obra de Sigüenza que había originado la polémica con Kino principalmente, era imprescindible para tener la información completa de lo sucedido.

2. Argumentos de Sigüenza, respuestas de Kino e instancias de Don Carlos

En esta sección aparecen alternadamente los argumentos de Sigüenza, un breve resumen de la Exposición Astronómica de Kino y la contrarrespuesta de Sigüenza. Los argumentos de ambos autores tratan principalmente de composición de cometas, materia de la que pueden estar formados, posición en los cielos y el tipo de influencias que podían tener sobre los hombres.

3. Fundamentos del padre Kino y exámenes de Don Carlos

En esta sección Sigüenza analizó los cimientos sobre los que se apoyaba la opinión de Kino respecto a los cometas. La autoridad del saber bíblico y de los autores clásicos constituyen la parte medular de los fundamentos de Kino.

4. Exámen de los modos de conocimiento de las paralajes

En esta parte de la obra no sólo se examinan los modos de calcular paralajes que propuso Kino, sino que se critican duramente. Sigüenza respondió a cada uno de los métodos de Kino proponiendo los propios.

5. Exámen de los argumentos sobre la altura y paralaje del cometa

Se analizaron métodos, principalmente de observación de la cauda del cometa en distintos puntos, de cálculo de la altura y paralaje del cometa. Es interesante hacer notar que en esta parte de la obra Sigüenza critica ácidamente a Kino por llegar a falsear datos para probar que el cometa se extendía a muchas leguas de distancia de la Tierra. La intención de esta sección parece ser la de encontrar las contradicciones de la obra de Kino.

¹²⁰ Sigüenza 1984, X.

6. Pasajes del *Manifiesto Filosófico* de Martín de la Torre y del *Belerofonte Matemático*

Esta parte está dedicada al astrólogo campechano Martín de la Torre que se indignó con las observaciones de Sigüenza acerca de la astrología. En ella se expusieron como en anteriores secciones los argumentos del contendiente, en este caso de la Torre, y Sigüenza propuso a su vez los suyos, no sin antes señalar las contradicciones en las que incurrió su adversario.

7. Observaciones del cometa

Estas observaciones son del cometa de 1681 realizadas por Sigüenza en las que se hace uso de métodos trigonométricos para obtener datos del cometa.

¿Qué implicaciones tiene la *Libra*?

El estilo de la *Libra astronómica* no resulta fácil por su carácter rebuscado, propio del barroco. A este estilo barroco hay que añadirle la agudeza de Sigüenza para demoler la opinión contraria, haciendo uso de varios recursos que hacen oscura la exposición de las ideas. Entre estos recursos está la impresionante cantidad de alusiones a la Biblia, a autores clásicos, astrónomos, filósofos, poetas, etc. Existen casi doscientos autores citados por Sigüenza en la *Libra Astronómica*, de los cuales varios nombres resultan interesantes para aquellos que leemos el trabajo de este criollo del siglo XVII. Esto se debe a que muchos de los personajes citados, Galilei, Huygens, Brahe, Kepler, entre otros, constituían lo que se puede llamar la "línea de avanzada" en cuanto a saber astronómico.

El hecho de que la *Libra Astronómica* se haga alusión a tantos autores causa sorpresa por lo siguiente:

1. Se ha argumentado en el bosquejo histórico del período cultural en que vivió Sigüenza, el supuesto estado de aislamiento de la Nueva España producto de la intención de la Corona Española de mantener a sus colonias a salvo de los aires de reforma del continente. Este cuidado de influencias externas se presume que se haya materializado en un estricto control del material bibliográfico que ingresaba a las colonias. Así pues, si Sigüenza es fiel a sus citas, como al parecer lo es, resulta sorprendente que poseyera volúmenes que estaban en el índice de libros prohibidos por la Inquisición, como lo era la obra de Copérnico inscrita en el Índice en 1616. Al parecer esta obra también fue

utilizada por Sigüenza en una de sus obras perdidas, según expresa Sebastián de Guzmán.¹²¹

2. Otro punto importante es la propia filiación astronómica de Sigüenza. En un mundo en el que la religión y sus predicadores pesaban demasiado en los criterios científicos, la idea de la inofensividad de los cometas era curiosa y sorprendente. Recuerdese que Kino no era un jesuita ignorante, su formación en Ingolstadt no era en absoluto ligera, pero en particular sus ideas cometarias si resultaron lo suficientemente oscuras para desatar la furia y el agudo trabajo de Sigüenza.

Ahora bien, en relación al primer punto, el aislamiento cultural de la colonia, podemos pensar que el tráfico ilegal de escritos era algo que no se puede descartar por improbable. Es numeroso el registro de casos de incautación de libros en los archivos inquisitoriales desde la fundación del Santo Oficio en la Nueva España. Esto no hace más que indicar que existían medios no muy legales de hacerse de libros prohibidos¹²². Sigüenza, siendo una figura distinguida en la Universidad y en la sociedad de su tiempo, tuvo seguramente la facilidad de conseguir obras de diversos temas. También debe apuntarse su cargo en el Santo Oficio.

Aceptada la posible facilidad de Sigüenza de obtener material para sus estudios queda abierta la cuestión acerca de la profundidad con la que Carlos de Sigüenza se encomendó al estudio de esos libros. Citar no significa conocer a fondo. Por la naturaleza de los comentarios que se hacen de las figuras que hemos citado: Kepler, Descartes, etc., no es posible proporcionar un juicio definitivo acerca del grado de conocimiento de las respectivas obras. Bien pudieran tratarse estos comentarios, de referencias que algunos otros autores previos a Sigüenza hicieron al respecto. Para reforzar esta hipótesis sería necesario conocer con profundidad las obras europeas en cuestión y los contemporáneos a Sigüenza para proporcionar una opinión más certera respecto al tema. Para los efectos del presente trabajo solamente se expresa la cuestión en términos de los problemas involucrados en torno a la idea conceptual de los cometas.

Con relación al tema cometario tratado por Sigüenza en la *Libra* se pueden proporcionar los siguientes datos:

¹²¹ Sigüenza 1984, (14)

¹²² Greenleaf 1985, 197-202.

La astronomía de Sigüenza es aristotélica. Las múltiples alusiones al Primer Mobil, a las regiones sublunar y celeste, al centro del universo identificado con la Tierra,¹²³ hacen que resulte claro que la doctrina filosófica que regía la astronomía de Sigüenza era la de Aristóteles. Como también la definición misma que posee Sigüenza acerca de estos cuerpos proviene del Libro I de los Meteoros de Aristóteles en el que se expresa que:¹²⁴

..los cometas no son otra cosa que un cuerpo vastísimo compuesto de varias exhalaciones que, levantándose de mar y tierra y encubriéndose a la suprema región del aire, adquieren allí bastante compacción y densidad para no desbaratarse con el movimiento rapidísimo del primer mobile, que los circungira; con el cual movimiento, o por los rayos del Sol, o por hallarse en la esfera de fuego, o mediante la antiperístasi (como se ve en los rayos, estrellas volantes, caumas y semejantes meteoros), se enciende la materia sulfúrea, unctuosa, pingue, aceitosa y nitrosa que lo compuso, o con nuevas accesiones lo va aumentando, hasta que por falta de pábulo y nutrimento se va extinguiendo este fuego, con que se acaba el cometa.

Lo que significa que si bien Sigüenza tenía prácticamente la misma información que muchos (si no es que todos) los intelectuales de su tiempo, fue parte del grupo que se inclinaba por considerar a los cometas como fenómenos naturales y no como presagios de desastres. Esto si resulta importante ya que la idea de que los cometas eran inofensivos no gozaba de muchos adeptos en la Nueva España y por las opiniones del jesuita Kino, tampoco era compartida por algunos intelectuales en el continente europeo. Ahora bien, el grupo al que se alude arriba estaba formado por científicos seculares y religiosos que concordaban con las teorías cometarias de Tycho Brahe en que los cometas no eran negativos. A esta corriente, si se le puede llamar de tal modo, pertenecían Galilei, Grassi, Brahe, Kepler por nombrar algunos. Así que el que Sigüenza esté entre ellos si resulta un rasgo interesante y meritorio de su personalidad como científico.

El apartado sobre gravedad

Se ha explicado en forma breve la manera en que esta organizada la Libra Astronómica y Filosófica. Un aspecto interesante y que en realidad constituye uno de los objetivos de este trabajo es profundizar sobre un apartado de la obra de Sigüenza. Nos referiremos a este

¹²³ Sigüenza 1984, 26, 44, 45, 47, 48, 49.

¹²⁴ Sigüenza 1984, 47.

apartado como el párrafo acerca de la gravedad, que es el número 88 de la numeración que el propio Sigüenza le asignó a los párrafos de la *Libra* y que fue ligeramente reformada por Sebastián de Córdova, editor de la obra.

La *Libra Astronómica y Filosófica* está organizada de la siguiente manera:

1. Argumentos de Sigüenza.

Estos aparecieron originalmente en la *Exposición Astronómica* de Kino y aunque nunca aparece el nombre del autor, claramente pertenecen a Sigüenza. Para sentar los antecedentes de la disputa, Sigüenza vuelve a imprimir estos argumentos en la *Libra astronómica*.

2. Las respuestas del padre Kino a los argumentos de Sigüenza.

Estas variaban en número, podían ser varias o una simplemente

3. Instancias de Sigüenza.

Este proporcionó en la *Libra* instancias a cada una de las respuestas que Kino planteó en su *Exposición Astronómica*. En esta parte Sigüenza refuta las ideas de Kino, defendiéndose en primer lugar y posteriormente atacándolas.

El apartado acerca de la gravedad también obedece a este esquema de argumentación.

Este apartado no es independiente, constituye la cuarta suposición que hace Sigüenza en su instancia a una respuesta de Kino a un argumento de Sigüenza. El orden, así expresado, parece complicado pero explicando con más detalle la situación es la siguiente: Sigüenza estableció que los cometas prometían más utilidad que nocividad ya que consumían los humos y vapores venenosos que existían en el aire, purgando la capa del aire que estaba entre la región superior y la ínfima. También expresó Sigüenza que la función de los cometas era la de limpiar el aura celeste de la grosedad del aire, siendo esto último parte de la doctrina de Kepler.¹²⁵ Concluyó este argumento esgrimiendo la autoridad de Aristóteles en cuanto a la similitud de los cometas y las estrellas errantes o planetas.

¹²⁵ Sigüenza 1984, 42, párrafo 78.

La opinión de Aristóteles, que compartía Sigüenza, respecto a los planetas era que el paso de estos cuerpos por los cielos no tenía significado funesto o positivo, simplemente no indicaban nada.

Los argumentos de Sigüenza implican una concepción no sólo acerca de lo que están hechos los cometas, sino una visión cosmológica. Esto es claro ya que la situación de los cometas está dentro de las regiones superior e ínfima de un universo de capas concéntricas tal como postulaba Aristóteles.¹²⁶

Ante estas ideas Kino argumentó que basándose en la autoridad de los doctores que opinaban que los cometas eran una hinchazón en el aire, podía concluirse que estos eran maléficos. Su respuesta se apoyaba en la analogía que hacía entre cometas y abscesos en el cuerpo humano. Kino decía que los cometas no serían nocivos si su única misión fuera la de purgar los gases corruptos del aire y su disolución se llevara a cabo lejos del globo de la tierra. Pero como estableció que el incendio de los cometas se llevaba a cabo dentro del globo de la tierra su efecto era de desgracia y no de felicidad. Era como si los venenos se vertieran en el mismo cuerpo que alojaba el absceso, causando el deterioro del organismo. De igual manera el cometa, al incendiarse próximo al globo de la Tierra, causaría con sus desechos males a sus habitantes.

Kino también comentó que la única semejanza existente entre un cometa y un planeta consistía en que ninguno era fijo.¹²⁷ Eusebio Kino se basó casi totalmente en la autoridad de personajes que consideraba doctos, de los cuales no hizo más que repetir sus opiniones, pero no expresó ningún nombre específicamente.

Sigüenza, para proporcionar su instancia a la respuesta del padre Kino, se apoyó en la idea de Atanasio Kircher de que los cometas se formaban de las manchas del Sol. Usando este hecho, Sigüenza dijo que la doctrina de Kircher tomada de su obra *Itinerario Extático*,

¹²⁶ Respecto a este argumento, Sigüenza hace la aclaración antes de comentarlo en la *Libra Astronómica* que casi no puede reconocer su argumento en las palabras de Kino. Acepta que en gran parte se puede deducir su pensamiento de varias partes de su *Manifiesto Filosófico*, pero que las ideas ordenadas de la manera en que Kino las expuso no le parecían tan fidedignas. Sigüenza 1984, 42, parágrafo 79. Aún con esta inconformidad procedió a rebatir

¹²⁷ Sigüenza 1984, 42 parágrafo 81.

establecía que las exhalaciones que emanaba el sol eran impelidas a las regiones superiores del éter, en donde tenían gran independencia del globo terrestre.¹²⁸

Así, para Sigüenza, los cometas no podían causar mal a los habitantes de la Tierra si su resolución se daba lejos de ella y además al encenderse consumían todos los malos vapores del aire. Aún bajo el supuesto de que los cometas fueran nocivos debido a que su resolución de gases y humores dañinos dentro de la misma región en la que habitaban, Sigüenza propuso que de ser este el caso, la malignidad solamente se concentraría dentro del globo del Sol porque el origen de los cometas era en las manchas solares.

Para mostrar que la resolución de los cometas era en el globo del Sol, Sigüenza presupone lo siguiente:

1. Que existía una materia caótica elemental, creada por Dios, de la cual todos los cuerpos de planetas y estrellas están formados. Esta materia aunque resulta ser una misma no coincide en las mismas propiedades para cada cuerpo, los cuales diferían por las fuerzas, propiedades y cualidades puestas en cada uno por la naturaleza.¹²⁹
2. Que cada uno de los globos celestes constaba de atmósfera y centro debido, dice Sigüenza sin dar más detalle, a la analogía entre la Tierra y estos globos. El que cada uno de los globos celestes tuviera atmósfera se deducía de la observación de la atmósfera de la Luna y del Sol según Sigüenza, pero no explica en absoluto a qué se refiere con dichas atmósferas observadas, más que para el caso del Sol la existencia de la atmósfera se probaba con las manchas que se le observaban.¹³⁰

Citando al padre Atanasio Kircher de nuevo, Sigüenza estableció que los globos celestes giraban en el éter y era necesario que tuvieran un centro fijo que los mantuviera en el lugar que les había asignado Dios. Las propiedades y fuerzas de dichos globos eran diferentes, aunque la formación de los astros de agua y tierra les

¹²⁸ Kircher también dijo en este mismo apartado que el movimiento del éter hacía que las exhalaciones de las que se formaba el cometa se extendieran ampliamente en el éter. Estas exhalaciones eran opacas pero se tenían con la luz del sol haciéndose posible la formación del cometa que era, en opinión de Kircher, un terrible presagio. Sigüenza 1984, parágrafo 82.

¹²⁹ Sigüenza 1984, 44-45 parágrafo 85.

¹³⁰ Sigüenza 1984, 45, parágrafo 86.

fuera común a todos. Las atmósferas de los globos estaban formada por las exhalaciones que emanaban.

Estas ideas están inspiradas en el modelo aristotélico de las esferas concéntricas que formaban el universo. Esto se deduce de la aseveración de que los globos giraban en el éter, aunque el comentario de que la materia que formaba los astros era agua y tierra constituye una modificación al modelo ya que el éter era el elemento que componía a todos los cuerpos celestes.

3. Las atmósferas de cada uno de los globos son distintas y no se pueden mezclar entre si. A continuación, Sigüenza transcribe un comentario curioso de fray Antonio María de Rheyta(1597-1660) un fraile capuchino interesado en la astronomía observacional, en el que establecía que la Luna y los planetas no experimentaban algún tipo de desviación hacia la Tierra, sino que viajaban libremente en sus caminos, sujetos a Dios y a la naturaleza en su movimiento.¹³¹ Estos comentarios tenían el fin de reforzar la idea que cualquier tipo de mezcla entre las atmósferas de los astros era imposible. Como los astros eran considerados globos con atmósferas, aclarar que el globo de la Tierra no interfería con los globos de la Luna y planetas, seguramente le hizo a Sigüenza incluir el comentario de Rheyta en la Libra.
4. Que "...la gravedad de las cosas es una connatural apetencia que tienen a la conservación del todo de que son parte: de que se infiere que de la misma manera que, si se llevase algo de nuestro globo terráqueo al globo de la Luna, no había de quedarse allí sino volverse a nosotros, así cualquiera cosa que sacasen de la Luna o de cualquiera otra estrella, había de gravitar y caer en el todo de que era parte."¹³²

El pasaje continua y resulta interesante transcribirlo enteramente:

Doctrina es del mismo autor[refiriéndose a Rheyta] en dicho diálogo: "Pues si del cuerpo de la Luna, al que pertenece, arrancas y llevas una parte a otro cuerpo y globo del mundo, sabe que ésta es tan tenaz respecto de su centro, que en ninguna parte puede permanecer sino en el apropiado centro de su naturaleza, al que sólo tiende, al que sólo se une, como la parte a su todo simpático, como a su todo homogéneo y similar. Y lo que decimos del globo lunar, quisiera que lo entiendas de cualquier otro cuerpo o globo sideral."

¹³¹ Sigüenza 1984, 46, parágrafo 87.

¹³² Sigüenza 1984, 46.

El final del párrafo concierne a la causa de tan fuerte impulso de las partes hacia los centros de los astros. L a causa se atribuyo, segun Rheyta, a

"...que ningún cuerpo o astro del mundo conviene con otro cualquiera con precisa igualdad, sino que unos respecto de otros difieren entre si, sea por la posición que les tocó en el mundo, sea por la diferente constitución de los astros circundantes, sea por una disposición peculiar de la divina Providencia, se sigue necesariamente que cada una de las partes de los astros tiende sólo a aquel todo que le es el más natural posible y no tienen ninguna otra tendencia hacia otros astros de diferente naturaleza: ciertamente para que existan en su propio astro del mejor modo que puedan estar, tanto para la propia perfección y conservación, como por la unidad del universo."

Asi concluye la cuarta suposición de Sigüenza para probar que la resolución de los cometas se hacía dentro del globo del sol, esto era necesario para mostrar que el producto de esa combustión estaba lo suficientemente lejana del globo de la Tierra para que pudiera causar estragos a sus habitantes. En particular la última suposición servía para demostrar que los desechos de los cometas, formados por la materia solar, tenían una cierta atracción hacia el todo del que eran partes integrantes. De esta forma, los cometas no podían causar mal alguno al mundo terrestre.

Aunque la posición de Sigüenza era la de defender la idea de que los cometas no eran malignos, resulta interesante y también curioso el que haya admitido la autoridad de Atanasio Kircher, cuando supone que la formación de los cometas podía ser celeste. La teoría de Kircher proponía que los cometas se formaban de las manchas solares pero que constituían un amago terrible para los hombres.¹³³ Sigüenza, como se dijo, no deja de admitir la autoridad de Kircher pero en cambio estableció que si el origen de los cometas era solar, entonces su resolución también quedaría cercana al globo del Sol, lo que hacía imposible que el cometa dañara con su combustión al globo de la Tierra.

Discusión

Como se ha mostrado la cuarta suposición es parte de una cadena de razonamientos que tenían como objetivo mostrar que los cometas estaban formados de efluvios solares que tenían su resolución o combustión final dentro del globo solar, cuya lejanía hacía imposible que causara daño a la Tierra.

¹³³ Sigüenza 1984, 43, párrafo 82.

Es cierto que en la cuarta suposición se utiliza el término **gravedad** pero resulta claro, una vez proporcionado el contexto de la palabra, que tiene una connotación distinta al concepto actual de **gravedad**. Sigüenza es muy preciso citando a Rheyta cuando dice de la **gravedad** que era una apetencia natural de los objetos de unirse con el todo del que formaban parte. Esto deja ver rasgos de la teoría aristotélica de los elementos, ya que todos los objetos tenían la tendencia de reunirse al lugar que les pertenecía según el elemento que dominaba en su constitución. Incluso tomando aisladamente el párrafo 88 y quedándonos con la definición de **gravedad**, tenemos que "...la **gravedad** de las cosas en una connatural apetencia que tienen a la conservación del todo de que son parte: de que se infiere que de la misma manera que, si se llevase algo de nuestro globo terráqueo al globo de la Luna o de cualquiera otra estrella, había de gravitar y caer en el todo de que era parte."¹³⁴ Se tiene que en términos físicos, esta definición es falsa. Un objeto llevado de la Tierra a la Luna, giraría alrededor de la Luna atrapado por la atracción lunar. Establecer una relación con el significado actual de **gravedad** más allá de la mera semejanza de palabras, resulta a nuestro parecer artificial.

Para reforzar el hecho de que lo que parece estar presente en el razonamiento de Sigüenza es de influencia aristotélica y no newtoniana, se pueden aportar los siguientes detalles:

1. Cuando Sigüenza, en el mismo apartado sobre **gravedad**, explicó las causas de tal apetencia de los objetos por regresar al todo del que formaban parte, arguyó que todos los cuerpos tendían hacia aquel astro que les era más natural y no tenían otra tendencia hacia otros astros de diferente naturaleza. Sigüenza dijo también, que los astros diferían unos con otros debido a la posición que les tocó en el mundo, a la diferente constitución de los astros circundantes o debido a una disposición especial de la divina Providencia. Ningún astro o cuerpo se atraía a otro distinto sino sólo a aquel con el que se podía estar del mejor modo posible para la perfección y conservación del objeto y la unidad del universo.¹³⁵

La idea atrás de este razonamiento estaba relacionada con la necesidad de una perfección y unidad universal inspirada más en la divina Providencia que en la convicción de la existencia de una fuerza que podía ser calculada, que no difería de

¹³⁴ Sigüenza 1984, 46, párrafo 88.

¹³⁵ Sigüenza 1984, 46 párrafo 88

acuerdo a la constitución de los cuerpos ni a la posición que tenían estos en el universo, tal como lo postuló Newton en su ley de la gravitación.

- 2 En la tercera suposición de Sigüenza, éste proporciona una cita que es muy ilustrativa: "La Luna y los planetas no están expuestos a ninguna desviación hacia la Tierra, sino que recorriendo libremente sus propios caminos en sus océanos de vapores, están sometidos a Dios y a la naturaleza con incansable sujeción y movimiento".¹³⁶

Aunque Sigüenza no tenía razones ni elementos reales para considerar que la fuerza de gravedad de la que habla se extendiera más allá de los objetos a los astros enteros, es un hecho claro que sus ideas no tienen relación alguna con las características de la fuerza de gravedad de Newton.¹³⁷ Recuérdese que la fuerza de gravitación tiene carácter universal, lo que significa que se ejerce entre cualesquiera dos cuerpos en el universo.

Resumiendo, es importante hacer resaltar los siguientes elementos de la concepción de los cometas que posee Sigüenza.

- ☛ La situación de los cometas en el universo puede estar situada en la esfera lunar o en la celeste, pero es claro que la existencia de las esferas en el universo es algo totalmente claro para Sigüenza.
- ☛ Los objetos tienen tendencia a regresar al todo del cual forman parte. Esta resulta una modificación de la teoría de los elementos de Aristóteles, en la cual todos los objetos tenían un lugar natural al que se sentían atraídos. Este lugar natural estaba determinado por el elemento que dominara en la constitución del objeto.
- ☛ Supone como causa final de los cometas la necesidad de deshacerse de las exhalaciones de las mutaciones malignas de los astros.¹³⁸ La búsqueda de la finalidad de un hecho, no es otra cosa que el principio teleológico de Aristóteles. La naturaleza tenía que tener un fin para haber generado a los cometas y éste constituía la limpieza del globo terrestre.

¹³⁶ Sigüenza 1984, 46 párrafo 87

¹³⁷ Ver capítulo I.

¹³⁸ Sigüenza 1984, 48, párrafos 92-93.

Estos razonamientos de Sigüenza denotan claramente su filiación aristotélica. En concepción cosmológica los cometas se encuentran en las esferas cristalinas viajando en el éter. Kino y Sigüenza comparten esta visión del universo y la disputa giró en torno a argumentos que se apoyaban en la destreza verbal y en la autoridad de los personajes citados. La intención de demostrar que los cometas no causaban males no puede situar a Sigüenza en la vanguardia de las ideas científicas cuando no superaba totalmente las ideas aristotélicas del universo. Su concepto de gravedad es distinto al de Newton y esto es perfectamente comprensible; las ideas de Sigüenza acerca de la gravedad, de los cometas, del universo están en concordancia con la filosofía aristotélica que practicaba. Tratar de encontrar una mayor similitud que la de los términos utilizados, como en el caso de gravedad, resulta artificial.

La tesis de Trabulse

Después de realizar el análisis del pensamiento de Kino, Trabulse realiza la descripción de los desempeños de Sigüenza como personaje científico. Con el título "De la razón científica: Sigüenza", se introduce la semblanza de Sigüenza científico.

Al hacer un análisis sobre las etapas de la ciencia en general, Trabulse se sirve del esquema y las ideas propuestas por Kuhn en relación a la historia de la ciencia.¹³⁹ El trabajo de Kuhn ha resultado de gran influencia desde su publicación debido a que propuso un modelo muy original que describe una nueva manera de considerar la estructura de la historia de la ciencia, sus desarrollos y sus métodos.

La idea de que los desarrollos en la ciencia no se llevan a cabo por la mera acumulación de datos, descubrimientos e inventos individuales llevó a Kuhn a proponer el concepto de paradigma, el cual, resulta fundamental en su trabajo. No existe una única definición de paradigma en el trabajo de Kuhn, pero podemos decir que un paradigma es un conjunto de conocimientos que se suponen ciertos por una comunidad y que definen los problemas y los métodos legítimos de un campo de investigación. Las condiciones en que ese conjunto de conocimientos se supone cierto se basan en el hecho de que explica una serie de hechos y fenómenos mejor que otras teorías aunque probablemente no la totalidad de fenómenos que aborden esos conocimientos. Los paradigmas de Kuhn comparten dos características:

¹³⁹ Trabulse 1974, 49-54; Kuhn 1970, 9-32.

- ☛ Gozan de la atracción de un grupo duradero de partidarios que no cuentan con un cuerpo de conocimiento precedente o bien que no presenta una competencia equiparable al paradigma.
- ☛ Ese conjunto de conocimiento es lo suficientemente incompleto para dejar muchos problemas para ser resueltos por el grupo de adeptos a él.

Los paradigmas no aparecen de manera súbita ni sustituyen al conocimiento anterior a ellos de forma inmediata. Estos procesos de aparición y sustitución son paulatinos y los que participan en los paradigmas como contribuyentes o adeptos no llegan a comprender en muchas ocasiones los profundos cambios que originan. Los cambios de paradigmas que son lo que llama Kuhn, revoluciones científicas, son episodios extraordinarios en los cuales existe una ruptura de tradiciones y compromisos culturales.¹⁴⁰

La investigación que se basa en una o más realizaciones pasadas reconocidas por una comunidad científica durante un cierto tiempo como fundamento para su práctica posterior constituye según Kuhn, la ciencia normal. El rechazo por parte de una comunidad científica de la totalidad o parte de los fundamentos de la ciencia normal para adoptar otras teorías incompatibles, es una característica de las revoluciones científicas. Con las revoluciones también cambian los problemas y los métodos usados para resolverlos, lo que ocasiona que se modifique a su vez la imagen del mundo en la que se lleva a cabo la labor del científico.¹⁴¹

Ahora bien, los cambios de paradigmas se inician con un sentimiento creciente de que el paradigma existente o anterior ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza. Los paradigmas no son renovables, por lo general son desplazados por otros que tienen mayor éxito para resolver algunos problemas agudos. Este desplazamiento de paradigma enfrenta con frecuencia la resistencia de los grupos de científicos, ya que la innovación lleva implícita una reconstrucción de la teoría anterior y la reevaluación de los hechos anteriores. Estos cambios generalmente no son realizados por un solo hombre y toman tiempo para llevarse a cabo.

Este bosquejo de las ideas de Kuhn sirve para introducir el marco en el que Trabulse plantea el paradigma de la mecánica celeste. Para el siglo XVII existía ya una nueva manera de considerar la realidad física: las nuevas consideraciones de Galilei acerca del movimiento, los

¹⁴⁰ Kuhn 1970, 27.

¹⁴¹ Kuhn 1970, 28.

trabajos de Brahe y Kepler y por supuesto las ideas de Newton, habían modificado sensiblemente la visión del universo. La nueva manera de concebir los fenómenos de la naturaleza se orientó por el método experimental y cuantitativo que podía desembocar en principios y leyes matemáticos. La astronomía también se vió reformada drásticamente con leyes a las que se sujetaban los cuerpos celestes y la misma posición de la Tierra en el sistema modificó totalmente la cosmología que se poseía.

Los cometas, partes integrantes del universo, fueron objeto de gran curiosidad e inspiraron ideas nuevas acerca de su composición y trayectoria, así como acerca de la naturaleza misma de su aparición. Las ideas que privaban acerca de su origen incluso bien entrado el siglo XVII, eran esencialmente aristotélicas y proponían básicamente que los cometas estaban formados por exhalaciones provenientes del globo terráqueo o bien emanadas del Sol y de sus manchas. Con seguridad existen variaciones del origen cometario pero las predominantes en el período del XVII en Nueva España e incluso en Europa eran las relacionadas con las exhalaciones. El carácter transitorio de los cometas, es decir que no había posibilidades de encontrarse a un mismo cometa dos veces, hacía pensar que sus trayectorias eran forzosamente rectilíneas. Esta idea era una característica en las teorías cometarias prevalecientes y en particular sostenida por Kepler en los principios del siglo XVII. Para admitir el hecho que los cometas tenían un movimiento circular como los demás cuerpos celestes en la teoría aristotélica, habría que concederles una naturaleza permanente y divina pero la observación de los cometas simplemente no permitía asimilar su carácter periódico.¹⁴²

Los cometas como presagios funestos eran una idea frecuente en las teorías cometarias. Los cometas causaban gran inquietud tal vez inspirado por su misteriosa aparición y desaparición. Resulta curioso que aunque existían astrónomos, como el mismo Kepler quien poseía ideas bastante avanzadas acerca de la naturaleza física de los cometas como el hecho de que su brillo se debía al la reflexión de la luz del sol, aún creía que los cometas eran portentos de sucesos negativos.

Es precisamente el carácter de los cometas lo que parece ser la proposición de paradigma que propone Trabulse en el análisis que realiza de las personalidades científicas de Sigüenza y Kino. En la medida en que se abandone la idea de la malignidad de los cometas más cerca se estará del nuevo paradigma que les asigna una naturaleza inocua a estos cuerpos. Para hacer

¹⁴² Yeomans 1991, 52.

encajar esta proposición de Trabulse en las ideas de Kuhn, se hace un bosquejo de los desempeños de Sigüenza y Kino como astrónomos y matemáticos. De este análisis, del cual se extraerán los puntos fundamentales, se hacen conclusiones que será importante analizar.

Eusebio Kino perteneció a la tradición aristotélica en cuestiones astronómicas sin lugar a dudas. Pero además de su filiación aristotélica, Kino se apega a la más pura tradición escolástica en los argumentos de origen religioso que utiliza para justificar sus posiciones relacionadas con la astronomía. Las leyes que utiliza, dice Trabulse y concordamos con él, son imposibles de verificar y la máxima autoridad a la que apela Kino es la de las sagradas escrituras.

Para Eusebio Kino los cometas era una agregación de exhalaciones emanadas del globo terráqueo pero también participa de las ideas de Atanasio Kircher de que los cometas se engendran de la materia que emana el Sol. Los cometas eran creados por Dios para una misión particular que era la de advertir males por venir. La cosmología que poseía era profundamente supersticiosa pero es posible advertir que el elemento matemático con el que impregna su *Exposición Astronómica* era necesario para darle un carácter más objetivo y preciso a su obra y a sus afirmaciones acerca del cometa. Kino estaba empeñado en darles a los cometas un carácter infralunar para justificar la influencia que tenían sobre los hombres. Las mediciones de paralaje que afirma haber realizado, si hubieran sido hechas con cuidado, tendrían que haber arrojado el hecho de que el cometa estaba más allá de la esfera de la Luna. Para salvar el fenómeno, Kino le asignó al cometa de 1680 una cauda tan enorme como para que la atmósfera cometaria llegara a la atmósfera terrestre.

En la exposición realizada por Trabulse acerca de las ideas predominantemente religiosas que posee Kino acerca de los cometas, es claro que el paradigma que muere en 1680¹⁴³ es el de la malignidad de los cometas.

Kino, en la visión de Trabulse es un adepto a ese paradigma y para sostenerlo o revivirlo como se establece¹⁴⁴, hizo uso de métodos pseudocientíficos que le daban un barniz de seriedad a su obra. A pesar de sus intentos artificiosos de comprobar sus afirmaciones, Kino solo buscó confirmar sus opiniones, las cuales difícilmente podían ser aplastadas debido a su constante apelación a las Sagradas Escrituras como la razón más contundente. Sigüenza al

¹⁴³ Trabulse 1974, 54.

¹⁴⁴ Trabulse 1974, 55.

pertenecer a la misma tradición religiosa y cultural únicamente pudo mostrar la falsedad de los pocos tratamientos matemáticos que detectó falseados por Kino.¹⁴⁵

Un rasgo interesante proporcionado por Trabulse es aquel que establece que la *Exposición Astronómica* del padre Kino realmente tuvo como pretexto el cometa de 1680. No eran necesarias ni las observaciones ni los datos que arrojara el cometa, Kino no hizo uso de ellos. Fue la imaginación y el profundo apego al dogma escolástico lo que hacían de la obra de Kino un alarde estéril de saber científico.¹⁴⁶

El análisis realizado por Trabulse presentado en las anteriores paginas nos permite introducir las siguientes ideas:

La convivencia de rasgos muy distintos entre si en la personalidad de Carlos de Sigüenza, es una de las características que distinguen al criollo novohispano según la opinión de Elías Trabulse.¹⁴⁷ Para explicar esta opinión, Trabulse analizó algunos aspectos de la personalidad científica de Sigüenza. Como se ha dicho, Sigüenza fue un hombre muy versátil en cuanto al interés de sus estudios, pero la astrología, la astronomía y las matemáticas son los campos en los cuales Trabulse profundiza y propone las siguientes opiniones.

El astrólogo

Como se ha dicho, Sigüenza ostentaba la cátedra de astrología y matemáticas de la Universidad. También realizaba, año con año, lunarios en donde hacía predicciones astronómicas y metereológicas. La opinión de Elías Trabulse es que para Sigüenza existía una clara diferencia entre la astrología judiciaria y la astronomía racional.

La astrología judiciaria era la que relacionaba los efectos de los fenómenos astronómicos y celestes sobre los hombres, mientras que la astronomía racional estaba más relacionada con el concepto actual de astronomía, en el sentido de que ya no estaba interesada en las relaciones del cielo con los hombres sino en los fenómenos celestes y su explicación.

Sigüenza, en opinión de Trabulse, conocía los defectos de las astrología y aunque era un miembro distinguido de ese grupo también era un fuerte crítico de esa profesión. En sus

¹⁴⁵ Sigüenza 1984, 130-134 párrafos 270-276

¹⁴⁶ Trabulse 1974, 62.

¹⁴⁷ Trabulse 1974, 63.

famosos lunarios convivían los conocimientos astronómicos de Sigüenza junto a predicciones suyas de tono bastante supersticioso.¹⁴⁸ Estos lunarios que probablemente fueron realizados por necesidad económica, fueron censurados algunas veces por los augurios tan aventurados que hizo Sigüenza.

La hipótesis de Trabulse es que Sigüenza nunca estuvo convencido de la profesión astrológica y que de alguna manera utilizaba sus almanaques y lunarios para criticar el oficio de astrólogo estando él mismo en el medio. Este tipo de críticas también le acarrearón a Don Carlos la censura inquisitorial por lo excesivo de sus comentarios negativos acerca de los astrólogos y la astrología, llegando incluso a expresar que la astrología era una bagatela.¹⁴⁹ Pese al carácter poco científico de los lunarios de Sigüenza, su capacidad de científico no disminuyó en nada, precisa Trabulse, ya que pueden ser considerados un disimulo de su racionalismo a causa de la penuria.¹⁵⁰

Resulta claro para Trabulse que alrededor del año de 1680, las "extravagancias" astrológicas de Sigüenza de los pasados años habían quedado atrás. Esto seguramente lo atribuye a la creación de la *Libra astronómica* por esos años, obra en la cual Sigüenza deja entrever que existen algunas cuestiones acerca de la astrología con las cuales el mismo Don Carlos no va de acuerdo.¹⁵¹ Incluso se comenta que Sigüenza, mostró una mayor capacidad para algunos temas astronómicos que "la mayoría de su contemporáneos a ambas orillas del Atlántico" y de hecho fue su escepticismo respecto a la astrología lo que considera Trabulse la prueba de su carácter científico.¹⁵²

Concretando, aunque Sigüenza era parte activa del oficio astrológico dando cátedra y haciendo lunarios y almanaques, su posición parece ser más de escepticismo y burla hacia las bases de incertidumbre en que se apoya la astrología. Esto resulta para Trabulse un rasgo importante para hacer incapié en que Sigüenza, a pesar de los pocos elementos con los que cuenta, fue un hombre de ciencia, consciente y combativo.

¹⁴⁸ Trabulse 1974, 63-64.

¹⁴⁹ Trabulse 1974, 64.

¹⁵⁰ Trabulse 1974, 63.

¹⁵¹ Sigüenza 1984, 14.

¹⁵² Trabulse 1974, 65.

El astrónomo

Trabulse marca dos aspectos que sobresalen en la personalidad de Sigüenza y más aún lo colocan en una posición de privilegio entre los científicos tempranos.¹⁵³ Uno de ellos fue el rechazo a cualquier autoridad en materia de ciencias y en especial aquella de Aristóteles. Como se ha dicho anteriormente, un recurso frecuentemente usado en las discusiones o refutaciones intelectuales fue el de la apelación a las autoridades eclesiásticas o de filósofos clásicos, principalmente Aristóteles. El hecho de que Sigüenza dudara de algunos aspectos de la autoridad aristotélica lo colocó en una posición de ventaja en el camino de la independencia intelectual.

El otro rasgo que se marca como sobresaliente en Sigüenza, fue el valor que le concedió a la experiencia en materia astronómica. Suponemos con base en el trabajo de Trabulse que de muchos ejemplos, uno lo constituye la importancia que le dio Sigüenza a las observaciones que realizó del cometa de 1680 y que le sirvieron para demostrarle a Kino que no se puede afirmar algo sin proporcionar ejemplos que comprueben lo afirmado.¹⁵⁴

Aunque resulta claro que debido a las carencias de instrumentos de precisión y sobre todo a la ignorancia acerca de qué eran exactamente los cometas no era posible proponer una teoría que pretendiese ser totalmente certera con respecto al fenómeno cometario. Aun así, Sigüenza sabiendo sus limitaciones¹⁵⁵ en cuanto a los orígenes de los cometas, pretendió demostrar lo que no eran los cometas en lugar de aventurarse a proponer directamente qué eran en realidad.

Sigüenza pensaba que los cometas eran fenómenos naturales y que su paso no causaba males entre los hombres; es esta una de las razones por las que reaccionó violentamente contra los nombres que Eusebio Kino les asignaba a los cometas como monstruos, apostemas o lumbres celestes, todos estos de connotación negativa.

Aunque Sigüenza, como ya se dijo, no proporcionó una teoría propia del origen de los cometas, según Trabulse sí rechazó la teoría que proponía el origen cometario en las manchas del sol. El argumento de Sigüenza para rechazar esta teoría que secundaba Kino,

¹⁵³ "...Sigüenza se coloca dentro de la pléyade de los científicos que abrieron las compuertas de la ciencia moderna." Trabulse 1974, 65.

¹⁵⁴ Sigüenza 1984, 123.

¹⁵⁵ Sigüenza 1984, 10.

era el hecho de que aparecían cometas cuando no había manchas solares. Es decir, que dadas las mismas condiciones no se producían los mismos efectos, argumento bastante fuerte en contra de la hipótesis de las manchas solares.

Para Trabulse, Don Carlos de Sigüenza le concede el mayor valor a la experiencia, a los hechos comprobados, verificados y medidos en el campo de las ciencias. No hay espacio para la imaginación y cualquier relación de causa-efecto no comprobada queda descartada. Como ejemplo de estas dos actitudes se ofrecen los cálculos del eclipse de 1692, que al parecer fueron muy exactos, y las refutaciones a algunas aseveraciones no demostradas ofrecidas por el padre Kino¹⁵⁶

Esta actitud de asignarle valor únicamente a aquello que se puede comprobar plantearía problemas para una ciencia como la astronómica, en la que los objetos de estudio están tan lejanos que cualquier constatación resultaría imposible. El problema queda salvado según Trabulse, en la división de ciencias que poseía Sigüenza en ciencias experimentales y la que se ocupaban de lo puramente observable. En esta última clasificación entraba la astronomía y precisamente de la observación de los movimientos de los astros y la sucesión de fenómenos celestes era que se podrían deducir posibles leyes. Otro tipo de ambición estaba descartada para el astrónomo, que con la idea de encontrar posibles leyes a las que se sujetaban los astros, abandonaba de cierta forma el carácter sobrenatural de los fenómenos celestes para pasar a una consideración más natural de estos.

La personalidad científica que Trabulse le asigna a Sigüenza es la de un intelectual cuyas teorías se asientan sobre datos fácticos, es decir que toda aseveración se basa en un hecho comprobado. Es más se afirma que su astronomía es un conjunto de ideas comprobadas por la experiencia,¹⁵⁷ aunque no se descarta el hecho que el mismo Sigüenza dude y se plantee problemas.

De alguna manera Trabulse deja ver en este esbozo de Sigüenza astrónomo, que este último compartió un conocimiento astronómico europeo de vanguardia aunque no se especifica cuál es este conocimiento, ni las razones por las que, de ser este el caso, no fue llevado a desarrollarlo por completo.¹⁵⁸

¹⁵⁶ Trabulse 1974, 67.

¹⁵⁷ Trabulse 1974, 69.

¹⁵⁸ Trabulse 1974, 66, 68-69.

El matemático

Sin poder asegurar el credo matemático que siguió Sigüenza, si es posible decir que le concedió gran importancia a las matemáticas como medio para medir los fenómenos naturales. La opinión de Elías Trabulse es que Carlos de Sigüenza era un seguidor de Descartes en el campo de las matemáticas,¹⁵⁹ Irving Leonard apoya la idea de que la influencia de Descartes en Sigüenza es obvia por las alusiones específicas a este filósofo.¹⁶⁰ La posible influencia del filósofo francés René Descartes resulta interesante ya que le concedió gran importancia a las matemáticas como instrumento de las ciencias.

De entre las obras de Sigüenza, el *Belerofonte Matemático* y la *Libra Astronómica* eran en las que al parecer se hace mayor uso de las matemáticas. El *Belerofonte*, como ya se dijo es una obra perdida de la cual solamente se tienen noticias gracias a la descripción de Sebastián de Guzmán.¹⁶¹ En la *Libra astronómica* se hace uso de métodos trigonométricos y geométricos para hacer cálculos astronómicos, además de que se cuenta con datos importantes del cometa de 1680 contenidos también en esta obra.¹⁶²

Existen otras dos obras perdidas cuyo contenido matemático es desconocido pero sus títulos resultan sugerentes de por sí, el *Tratado sobre los eclipses de sol* y el *Tratado de la esfera*.¹⁶³

Con relación a las influencias matemáticas de Sigüenza, destaca el padre Diego Rodríguez. El padre Rodríguez fue un fraile mercedario muy relacionado con las matemáticas y cuya obra trata en gran parte sobre temas matemáticos, incluso trabajó con los logaritmos en una época en la que el trabajo de Neper era poco conocido. La influencia del padre Rodríguez debió haber sido importante ya que nos hace notar Trabulse que en la *Libra* existen métodos matemáticos que son copia del trabajo de Rodríguez.¹⁶⁴ Esto no le resta mérito a Sigüenza ya que Rodríguez fue su antecesor en la cátedra de matemáticas y su trabajo seguramente era conocido por Sigüenza.

¹⁵⁹ Trabulse 1974, 69.

¹⁶⁰ Leonard 1990, 299-300.

¹⁶¹ Sigüenza 1984, (14).

¹⁶² Trabulse 1974, 70.

¹⁶³ Trabulse 1974, 70.

¹⁶⁴ Trabulse 1974, 71.

El paradigma.

Trabulse parte de las ideas de Kuhn sobre el paradigma para establecer en líneas generales algunas de las características de la Revolución Científica que culminó en el siglo XVII con los trabajos de Newton. Pero Trabulse va más lejos en esta idea, propone un nuevo paradigma: el paradigma cometario. Deja entrever que las ideas acerca de los cometas, en particular su naturaleza maligna o inofensiva, son decisivas para incribir o no a Sigüenza y a Kino en la Revolución Científica del siglo XVII.

Esta propuesta resulta un tanto audaz si se considera que la modificación en las ideas cometarias era parte de una reforma astronómica que abarcaba no sólo a los cometas sino a todos los elementos celestes que se conocían hasta entonces. La revolución astronómica incluía el desplazamiento de las antiguas creencias de un universo formado por lo celeste y lo terrestre. Las leyes de Newton sujetaron ambas regiones a unas mismas leyes. Los cambios fueron más profundos que la consideración de que los cometas eran o no malignos. Los cometas como cuerpos celestes inofensivos eran tan sólo otros elementos de un universo totalmente diferente al considerado no sólo por Kino sino por el mismo Sigüenza.

Es cierto que avanzar en la idea de que los cometas no presagiaban males para el futuro como proponía Sigüenza, era algo muy valioso comparado con las ideas oscuras de Kino. Pero inscribir por ello a Sigüenza en la tradición inaugurada por Newton resulta absurdo. ¿Qué sentido cobra esta posición de Sigüenza, la de defender la naturaleza pacífica de los cometas, si toda su cosmología era profundamente aristotélica? Sigüenza no abandonó nunca el universo de las esferas, ni la separación tajante de las regiones sublunar y terrestre, como tampoco abandonó la autoridad de los Padres de la Iglesia. Resultan notables las citas de Sigüenza a los autores que tuvieron papeles importantes en los cambios científicos de su siglo, pero si bien cita a Descartes, su gran influencia resulta ser Kircher que perteneció a una tradición más hermética que científica.

La misma discusión acerca del cometa de 1680 en los círculos científicos europeos revela detalles importantes. El cometa de 1680 fue el primero en ser descubierto telescópicamente en la mañana del 14 de noviembre en la constelación de Leo.¹⁶⁵ A pesar de que Newton posteriormente se dio cuenta de que los cometas viajaban en órbitas altamente excéntricas, sus cálculos iniciales estaban basados en la idea de que los cometas seguían trayectorias

¹⁶⁵ Yeomans 1991, 95.

rectilíneas. De hecho, Newton pensaba que el cometa del año de 1680 en realidad se trataba de *dos cometas*. El cometa del año de 1680 se vio durante noviembre y diciembre, incluso hasta febrero de 1681 se pudo observar a simple vista y hasta marzo con la ayuda del telescopio. Muy al contrario John Flamsteed, el astrónomo real, no aceptó el movimiento rectilíneo de los cometas y predijo el regreso del cometa de noviembre después de la conjunción solar. Su predicción estaba basada en la suposición de que los cometas eran cuerpos permanentes que viajaban en órbitas cerradas. Resulta muy interesante describir la idea que poseía Flamsteed acerca del movimiento de los cometas. En ésta, se combinaba acciones de fuerzas atractivas de origen magnético ejercidas por el sol y fuerzas repulsivas por parte de los vórtices cartesianos. Las teorías del magnetismo de William Gilbert y la de los vórtices de Descartes gozaban de popularidad antes de las teorías de Newton. El magnetismo se propuso como el principio que mantenía unido al universo, mientras que los vórtices cartesianos eran un tipo de torbellinos de materia que giraba alrededor de todo cuerpo celeste y que arrastraba a los cuerpos hacia sus centros.¹⁶⁶

El trabajo de Flamsteed hizo pensar a Newton en una solución cualitativa al problema de las órbitas de los cometas.¹⁶⁷ Para la época de las observaciones de Sigüenza y Kino del mismo cometa, si bien Newton aún no estaba seguro de las órbitas cerradas que proponía Flamsteed, la discusión giraba en torno a este problema. El problema de Newton consistía en el desarrollo de un modelo matemático para el movimiento cometario, el cual publicó en forma de ensayo y error con solución semigráfica en su edición de los *Principios Matemáticos* de 1687.

Por el tiempo en que Newton desarrolló su técnica de determinación de las órbitas cometarias, entre 1684 y 1687, también propuso que los cometas se observaban en una región interior a la órbita de Saturno, concebía que los cometas poseían un núcleo durable, sólido y compacto cuya luz se derivaba del Sol, ya que aparecían más brillantes cuando se encontraban más cerca de este astro.¹⁶⁸

Esta discusión tiene sentido en la medida que se pueden establecer con ella ciertas comparaciones que revelan que el nuevo paradigma científico que se estaba gestando con las ideas de Newton, Flamsteed, Halley, Hooke y otros, abarcaba mucho más que algunas

¹⁶⁶ Mason 1988, 92-93.

¹⁶⁷ Yeomans 1991, 99-108.

¹⁶⁸ Yeomans 1991, 104.

consideraciones acerca de los cometas. Los elementos que proporciona Trabulse como científicos, no son suficientes para incluir a Sigüenza como tal. Sigüenza pudo haber realizado sus cálculos matemáticos con precisión y agudeza notables, pero estos atributos están enmarcados en una física aristotélica que ya había sido superada por los colegas del continente en muchos aspectos. Esta física aristotélica actuaba como un obstáculo hacia el desarrollo del conocimiento mismo. Dentro del paradigma mismo del aristotelismo poco se podía hacer de novedoso que no se hubiera hecho siglos atrás.

Pero si antes se ha establecido que hay que investigar la ciencia desde la perspectiva de la congruencia que esta tenía en el período al que pertenece, puede surgir la pregunta acerca de la dureza del tratamiento a Sigüenza. Bien, la revolución científica es más que el desplazamiento de una idea de la naturaleza por otra idea; más que la sustitución de una visión del mundo por otra. Aunque la ciencia aristotélica, que es la de Sigüenza, explicaba racionalmente los acontecimientos naturales, la ciencia de Newton, aunque joven aún, podía explicar muchos más acontecimientos que aquélla. El contenido de la nueva ciencia era mucho más rico sin lugar a dudas.¹⁶⁹ Las teorías se estructuraban de manera más sutil, las conexiones con otros campos se hacían evidentes y necesarias y lo que es más, permitía predecir con mayor exactitud acontecimientos futuros partiendo de determinados antecedentes. No resulta nada más una evaluación del valor de una ciencia en comparación con otra, sino que la teoría newtoniana resulta más grande, más exacta, puede comprobarse con mayor precisión y resulta más matemática que su predecesora.¹⁷⁰

Todo lo anterior mostraría que es en la consideración en detalle de los conceptos, que parece adecuado decidir el grado de avance, de "cientificidad" en el desarrollo de la ciencia en México. No basta la utilización de términos que posteriormente cobrarán un significado complejo y esclarecedor de la naturaleza, si en ellos habita aún el concepto anterior insuficiente y vacío. Como tampoco la posesión de algunas ideas precursoras del cambio que todavía se inscriben en las teorías viejas. Sigüenza debe ser reconocido como una figura imponente en el barroco mexicano, como un hombre de curiosidad implacable y amplia visión cultural. La necesidad de Sigüenza por conocer no tuvo límites, más que aquellos que le impusieron su época, sus recursos y sus antecedentes culturales. Estos le impidieron situarse como precursor de la nueva tradición astronómica. Sigüenza fue parte del viejo paradigma de la física aristotélica, no se encuentra a mitad de ambos.

¹⁶⁹ Hall 1985, 13.

¹⁷⁰ Hall 1985, 13-14.

La contribución de Sigüenza debe ser buscada en otras direcciones o tal vez con otras expectativas. Devolverle su importancia histórica sin ilusiones no es restarle estatura cultural. La importancia de Sigüenza en cuanto a la decisión de no permitir que la superstición, encarnada en Kino, dominara el horizonte cultural de la Colonia es a nuestro parecer una contribución muy valiosa.

El problema que quedaría como abierto con este trabajo es el de las fechas aproximadas, formas, lugares, personajes de la introducción real del paradigma newtoniano en México. El intento de responder a esta pregunta arrojaría más luz tanto para el desarrollo de la historia ciencia en México como también para reconocer las contribuciones reales de personajes como Sigüenza.

Conclusiones

Carlos de Sigüenza y Góngora fue una figura central en el barroco mexicano. Su curiosidad cultural lo llevó a explorar la historia, la poesía, la astronomía, la cartografía, etc. por mostrar solamente algunos de los campos en donde incursionó. Esta imagen de Sigüenza no está a discusión, es decir, el haber hecho del conocimiento en general su ámbito de estudios lo coloca en una posición distinguida en su época y en la actual.

Lo que resultó de interés en este trabajo fué la evaluación de su obra astronómica a la luz de un exámen más detallado. Este exámen arrojó conclusiones que tal vez no concuerdan con las que se poseían al respecto de la personalidad científica de Carlos de Sigüenza. La imagen que se intentó revelar por medio de este trabajo fué la de un hombre culto del barroco que fue fiel a su tiempo y a su formación. Esta formación estaba totalmente enclavada en la tradición aristotélica del conocimiento que, desafortunadamente para algunos, sitúa a Sigüenza en un plano más real y más congruente con su tiempo. Esto es importante señalarlo, Sigüenza fue una figura del barroco y asumió todas sus consecuencias: la tradición escolástica, el énfasis en el diálogo y la retórica, la física aristotélica, la profunda religiosidad. Sus ideas cometarias en cierto sentido lo colocan como un precursor de los profundos cambios que se darían muy posteriormente. Pero Sigüenza mismo no fue un inovador en el terreno científico, aunque sus ideas cometarias fueran optimistas.

A lo largo de este trabajo se han tratado de presentar los elementos que se creyeron necesarios para mostrar, sin ilusiones, las contribuciones científicas de Carlos de Sigüenza y Góngora. La semblanza histórica del concepto de movimiento y de gravedad fue necesaria para demostrar posteriormente su adhesión particular a la tradición aristotélica. Pero más allá de haber presentado un análisis alternativo de una parte del trabajo de Sigüenza, esperamos que las conclusiones que arroja este trabajo inspiren una reconsideración de la historia de la ciencia en México.

La historia secreta de la que habla Trubulse¹⁷¹ refiriéndose a la historia de la ciencia debe ser abordada y analizada con entusiasmo pero sin ilusiones. No es posible fabricar artificialmente figuras científicas nacionales basándose en la utilización de términos asociados a teorías avanzadas. Las creaciones científicas son universales, son producto del

¹⁷¹ Trubulse 1984, 15-23.

hombre como género, no de un país en particular. Los grandes pensadores que han causado avances en el conocimiento han trascendido las fronteras y el tiempo.

Buscar en nuestra historia científica creaciones inexistentes puede ser frustrante. La historia de la ciencia en México tiene que ser analizada desde la congruencia de su tiempo y su situación cultural. Esta aproximación tiene mayor sentido que el de la comparación con otras historias científicas. La historia de la ciencia en México tiene realmente algo de secreta, sus protagonistas están en la mayoría de los casos olvidados o peor aún, desconocidos por completo. La labor de rescate y conocimiento está aún por comenzar.

Bibliografía

- Bailey, Clube & Napier. 1990. The origins of comets. England: Pergamon Press.
- Burrus, Ernest. 1964. Kino escribe a la Duquesa de Aveiro. Madrid: Ediciones Porrúa.
- Burt, Edwin. 1972. The metaphysical foundations of modern physical science. London: Routledge and Kegan Paul Limited. (1a. Edición 1924)
- Cohen, Bernard. 1980. La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas. Madrid: Alianza Editorial.
- Cohen, Bernard. 1981. "El descubrimiento newtoniano de la gravitación". Investigación y Ciencia 56. 110-120.
- Cohen, Bernard. 1985. El nacimiento de la nueva física. Madrid: Alianza Editorial. (1a. Edición 1960)
- Dijkterhuis, Eduard. 1986. The mechanization of the world picture, Pythagoreas to Newton. New Jersey: Princeton University Press. (1a. Edición 1950)
- Drake, Stillman. 1970. Galilei Studies, personality, tradition, and revolution. Michigan: The University of Michigan Press.
- Drake, Stillman. 1978. Galilei at work, his scientific biography. Chicago: The University of Chicago Press.
- Grant, Edward. 1983. La ciencia física en la Edad Media. México: Fondo de Cultura Económica. (1a. Edición 1971)
- Greenleaf, Richard. 1985. La Inquisición en Nueva España, siglo XVI. México: Fondo de Cultura Económica. (1a. Edición 1969)
- Hall, Rupert. 1985. La revolución científica 1500-1750. Barcelona: Editorial Crítica. (1a. Edición 1954)
- Jaeger, Werner. 1948. Aristotle, Fundamentals of the history of his development. London: Oxford University Press. (1a. Edición 1934)
- Koestler, Arthur. 1981. Los sonámbulos. México: CONACyT.

- Koyré, Alexandre. 1988. Estudios galileanos. México: Siglo XXI Editores. (1a. Edición 1966)
- Kuhn, Thomas. 1957. The Copernican Revolution. Cambridge: Harvard University Press.
- Kuhn, Thomas. 1970. La estructura de las revoluciones científicas. México: Fondo de Cultura Económica.
- Leonard, Irving. 1990. La época barroca en el México Colonial. México: Fondo de Cultura Económica. (1a. Edición 1959)
- Leonard Irving. 1984. Don Carlos de Sigüenza y Góngora, un sabio mexicano del siglo XVII. México: Fondo de Cultura Económica. (1a. Edición 1929)
- Loyn, Henry. 1991. The Middle Ages, a concise encycopaedia. London: Thames and Hudson. (1a. Edición 1989)
- Manrique, Jorge Alberto. 1990. Del barroco a la ilustración, contenido en: Historia general de México. México: El Colegio de México (Coordinación a cargo de Daniel Cosío Villegas) Vol. 1, pp 647-734. (1a. Edición 1976)
- March, Robert. 1983. Física para poetas. México: Siglo XXI Editores. (1a. Edición 1970)
- Mason, Stephen. 1988. Historia de las ciencias, 2. La revolución científica de los siglos XVI y XVII. México: Alianza Editorial Mexicana.
- Pérez de Salazar, Francisco. 1928. Biografía de Don Carlos de Sigüenza y Góngora seguida de varios documentos inéditos. México: Antigua Imprenta de Murguía.
- Pattie, Thomas. 1980. Astrology. London: The British Library Board.
- Reale, Giovanni. 1988. Historia del pensamiento filosófico y científico. Barcelona: Herder.
- Rusell, Bertrand. 1980. Historia de la filosofía occidental.
- Sigüenza y Góngora, Carlos de. 1690. Libra Astronómica y Filosófica. México: Herederos de la Viuda de Bernardo Calderón. (Editado por Bernabé Navarro. 1984. México: Universidad Nacional Autónoma de México)

Sigüenza y Góngora, Carlos de. 1983. *Obras históricas*. México: Editorial Porrúa. (1a. Edición 1944) Edición y prólogo de José Rojas Garcidueñas.

Trabulse, Elías. 1974. *Ciencia y Religión en el siglo XVII*. México: El Colegio de México.

Trabulse, Elías. 1984. *Historia de la Ciencia en México, siglo XVII*. México: Fondo de Cultura Económica.

Yeomans, Donald. 1991. *Comets, a chronological history of observation, science, myth and folklore*. USA: Wiley Science Editions.