



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DEL PENSAMIENTO ASTRONÓMICO Y
EPISTEMOLÓGICO DE KEPLER

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

PRESENTA:

GUADALUPE ZÚÑIGA TOALÁ

TUTOR

M. EN C. JOSÉ RAFAEL MARTÍNEZ ENRÍQUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2017





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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Zúñiga
Toalá
Guadalupe
56583964
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Física
408054607

2. Datos del Tutor

M. en C.
José Rafael
Martínez
Enríquez

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Eugenio
Ley
Koo

4. Datos del sinodal 2

Dra.
María de la Paz
Ramos
Lara

5. Datos del sinodal 3

Mat.
Julio César
Guevara
Bravo

6. Datos del sinodal 4

Fis.
Sergio de Régules
Ruíz-Funes

7. Datos del trabajo escrito

Del pensamiento astronómico
y epistemológico de Kepler
84 pp.
2017

*A mi madre, Isolina Toalá Albores,
que con gran amor e infinita paciencia siempre ha estado allí, para apoyarme*

*A mi hermano, Adverqueydi Zúñiga Toalá,
que con su muy particular estilo me motiva a seguir adelante*

*A Jesús Del Olmo Márquez,
que con su comprensión y apoyo me ayudó a realizar esta tesis*

Agradecimientos

Agradezco a mi tutor, el M. en C. J. Rafael Martínez Enríquez por compartirme sus conocimientos y orientarme durante la elaboración de este trabajo.

Agradezco a mi jurado integrado por los doctores Eugenio Ley Koo, María de la Paz Ramos, el matemático Julio César Guevara y el físico Sergio de Régules, mencionados en orden de asignación, por los comentarios, sugerencias y enseñanzas que me proporcionaron durante la revisión de este trabajo.

Agradezco de manera muy especial a mi madre y mi hermano por confiar en mi y darme la oportunidad de seguir creciendo.

Agradezco a Jesús Del Olmo por ayudarme durante mi formación académica y apoyarme siempre.

Agradezco a Angélica Maza por todas las pláticas y consejos en los momentos difíciles.

Agradezco a la Mtra. Aleida Rueda por darme la oportunidad de ser parte de la Unidad de Comunicación del IFUNAM y contribuir a mi desarrollo profesional.

Agradezco a la Facultad de Ciencias y a la UNAM por permitirme ser parte de esta carrera y por las oportunidades que me han brindado.

A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a mi formación y al desarrollo de esta tesis, Gracias.

Resumen

Al considerar la historia de la astronomía se observa claramente la importancia de las contribuciones de Kepler a su desarrollo. Este trabajo pretende mostrar las principales influencias filosóficas que se encuentran presentes a lo largo de la construcción de sus textos, los cuales exhiben un fuerte componente de ideas platónicas y pitagóricas. También se abordan los aspectos filosóficos heredados de Aristóteles, los cuales plantearon un reto para Kepler al intentar sustentar la astronomía en la física. A partir de este planteamiento, se pretende establecer la influencia filosófica predominante en Kepler. Esto se hace por medio del análisis de las estrategias metodológicas (no necesariamente explícitas) que sustentan los siguientes textos: *Misterio Cosmográfico*, *Apología* y *Astronomía Nova*.

Esta tesis consta de cuatro capítulos principales y uno para conclusiones. En el primero se muestran los antecedentes astronómicos a la obra de Kepler y su formación académica en la universidad de Tubinga. Por su parte, el *Misterio Cosmográfico*, la *Astronomia Nova* y la *Apología* se analizan en los capítulos 2, 3 y 4 respectivamente.

La astronomía kepleriana se encuentra cimentada sobre ciertos compromisos epistémicos, de los cuales se pueden destacar como los más importantes a los siguientes: i) los arquetipos, que se encuentran presentes en todo su trabajo astronómico, ii) la crítica a las hipótesis *ad hoc* para salvar los fenómenos, iii) el método *a priori* y *a posteriori* para la evaluación de las hipótesis y iv) el compromiso con los datos observacionales.

Esta tesis se propone presentar de manera accesible el pensamiento filosófico de Kepler y ayudará a entender cómo evolucionó el pensamiento y las concepciones físicas de un personaje que contribuyó a revolucionar la astronomía, en los tiempo en que Galileo todavía no había escudriñado los cielos con su telescopio, tiempo o época cuya génesis se puede situar en 1610.

Índice general

Agradecimientos	IV
Resumen	1
1. Introducción y antecedentes	4
1.1. La física de Aristóteles	5
1.1.1. La esencia de los objetos	6
1.1.2. La inclinación natural de los movimientos de los cuerpos	7
1.1.3. El método correcto en filosofía natural	8
1.1.4. El sistema de esferas concéntricas	8
1.2. La astronomía matemática de Ptolomeo	9
1.3. La astronomía copernicana	11
1.4. La universidad de Tubinga	12
1.5. Problemas de la filosofía natural aristotélica	15
1.5.1. Astronomía	15
1.5.2. Las esferas de los elementos y el centro de la Tierra	16
1.5.3. Disciplinas separadas	18
2. Los arquetipos	21
2.1. La importancia de Dios y la estética	24
2.2. Los sólidos regulares	26
2.3. Causas final, material y eficiente en astronomía	29
2.4. La cosmología de Kepler	31
2.5. Los arquetipos, la matemática y la física	32
2.6. Aristotelismo en Kepler	35

3. Una nueva astronomía	40
3.1. La física en la astronomía	40
3.2. Método <i>a priori</i> y <i>a posteriori</i> : la evaluación de las hipótesis	50
3.3. La importancia de la Mecánica	56
3.4. El reemplazo del Sol promedio por el Sol verdadero	59
4. Filosofía natural kepleriana	64
4.1. La defensa del sistema ticónico	64
4.2. Equivalencia observacional	66
4.3. Las hipótesis geométricas y las hipótesis astronómicas	66
4.4. La evaluación de las hipótesis astronómicas	68
4.5. La evolución de Kepler en la noción de evaluación	69
4.6. La inclusión de la física en la astronomía	70
4.7. El pensamiento de otros astrónomos, entre ellos Ursus	71
5. Conclusiones	73
Índice de figuras	76

Capítulo 1

Introducción y antecedentes

La observación de los cuerpos celestes fue una de las primeras actividades desarrolladas por las civilizaciones debido a la creencia de que el movimiento de los astros tenía repercusiones en las actividades cotidianas. Esas observaciones y la influencia de personajes como Aristóteles, Ptolomeo, Copérnico, Tycho Brahe, Kepler y, finalmente Newton, permitieron que la astronomía fuera una de las primeras áreas vinculadas con la física en desarrollarse.

El camino histórico y epistemológico de la astronomía estuvo marcado por grandes diferencias en la concepción de los cuerpos celestes, y los modelos que describen sus movimientos. Aceptar el movimiento de traslación terrestre y otros movimientos diferentes a los circulares para los planetas, fueron algunos de los cambios conceptuales introducidos por Johannes Kepler (1571-1630). Previo a Kepler, para describir el movimiento planetario se manejaron modelos de esferas concéntricas, modelos de epiciclos, y todos ellos dieron paso, gracias a Kepler, al modelo planetario de órbitas elípticas y, finalmente, a la ley de la gravitación universal que no solamente explica porqué las órbitas de los planetas son elípticas sino también dan cuenta de las trayectorias parabólicas e hiperbólicas de otros cuerpos celestes.

De las aportaciones de los filósofos naturales antes mencionados, la astronomía de Kepler mantiene vigencia y, de una u otra manera es estudiada tanto en el nivel de la educación básica como en el correspondiente a la preparación de quien estudia física. Sin embargo,

la astronomía de Kepler, en su versión simplificada como las tres leyes que llevan su nombre, ha dejado de lado los compromisos epistémicos que fueron fundamentales para su desarrollo. Entre ellos se pueden encontrar la eliminación de las hipótesis *ad hoc* para salvar las observaciones astronómicas y el uso de los datos empíricos como guía en la construcción del modelo planetario. Por tanto, resulta esclarecedor presentar un estudio que permita analizar los compromisos epistémicos y la influencia de filósofos como Platón y Pitágoras en la astronomía de Kepler y en su forma de concebir el mundo.

En este primer capítulo se ofrece un panorama general de la astronomía anterior a Kepler y de su formación universitaria. Esto resulta fundamental para poder entender cómo es que Kepler concibe y coadyuva a la integración de la física en la astronomía. Con tal propósito se realiza un análisis de la física celeste de Aristóteles, la astronomía matemática de Ptolomeo y de Copérnico, y cómo esto converge en la educación recibida por Kepler en la Universidad de Tubinga.

En el capítulo 2 de este trabajo se analiza el origen y la importancia de los arquetipos, y en este contexto se explica el modelo planetario organizado a partir de los sólidos regulares. Este desarrollo muestra a un Kepler influenciado por ideas platónicas y pitagóricas; al final del capítulo se hace un contraste con el aristotelismo en Kepler.

En el capítulo 3 se estudian los mecanismos por medio de los cuales fue posible para Kepler discernir entre diferentes modelos planetarios y las repercusiones que lleva el reemplazo del Sol promedio por el Sol verdadero.

Finalmente en el capítulo 4 se aborda la *Apología* dado que en esta obra de juventud presenta lo que será su enfoque epistemológico y porque, además, proporciona una síntesis de los compromisos metodológicos a partir de los cuales construirá su edificio astronómico.

Las conclusiones son presentadas en el capítulo final de este trabajo.

1.1. La física de Aristóteles

Aristóteles sentó las bases de lo que sería el entendimiento de los procesos de cambio que

tenían lugar en la materia alojada en el mundo sublunar. Esta visión perduró desde el siglo III a. C. hasta entrado el XVI, cuando Galileo, Descartes y otros más cuestionaron su validez. Y mientras que esto último ocurría, la física aristotélica siguió¹ dominando la filosofía natural, aunque adoptando pequeñas variantes. Las bases de la física de Aristóteles no se restringen a lo que aparece escrito en los tratados como la *Física* o los *Analíticos Posteriores*, también se pueden encontrar otros conceptos filosóficos en la *Metafísica* o el *De Caelo* que tocan aspectos considerados propios de la física e influyeron en su desarrollo. Dentro de los conceptos que son necesarios abordar se encuentran: la esencia de los objetos, la inclinación natural en cuanto a los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres, el método correcto en filosofía natural y el sistema de esferas concéntricas. Esto lo haré en los apartados que restan a este capítulo.

1.1.1. La esencia de los objetos

Resulta necesario distinguir entre las propiedades esenciales de los objetos y aquellas que son accidentales, ya que para Aristóteles el conocimiento es aquel que corresponde a la esencia, tal y como lo propone en los *Analíticos Posteriores*.

En general se tiene una intuición acerca de estas propiedades y se aceptan dos suposiciones a este respecto:

1. Las cosas llegan a existir y dejan de existir.
2. Algunas cosas cambian en varias maneras durante el curso de su existencia pero el objeto sigue siendo básicamente uno y el mismo.

De lo anterior se tiene que existen cambios que son consistentes con la continua existencia de un objeto y otros que no lo son; aquellos que lo son reciben el nombre de accidentales y los que no son llamados esenciales [20, p. 100].

Estas características son importantes debido a que hasta fines del Medioevo el estudio de los objetos en la física se realizaba con respecto a su esencia y no de los accidentes que presentan. Por esta razón era necesario aprehender las características esenciales de los objetos y así poder obtener conocimiento verdadero acerca de ellos. En el caso de

¹Véase Lang, H. S. (1992). *Aristotle's Physics and Its Medieval Varieties*. New York: State University of New York Press.

la astronomía, que se ocupa del estudio de los cielos, se debe analizar la esencia de los cuerpos celestes y sus diferencias con los cuerpos terrestres.

1.1.2. La inclinación natural de los movimientos de los cuerpos

Tras siglos de debate filosófico Aristóteles divide el Universo en dos regiones, la terrestre y la celeste. La parte terrestre está caracterizada por la imperfección y el cambio, y está constituida por cuatro elementos, a saber: tierra, agua, aire y fuego. Los cuerpos terrestres tienen como inclinación natural el movimiento en línea recta y seguirán esta inclinación hasta alcanzar el lugar al que tienden para quedar en reposo. Este sitio es llamado ‘lugar natural’. Aquellos cuerpos que son llamados graves son los que de manera natural se desplazan hacia el centro del Universo. Los elementos graves son la tierra y el agua. Como contraparte de estos están los llamados ligeros, los cuales tienden a moverse en dirección a los cielos. Los elementos ligeros son el aire y el fuego. Todo cuerpo está compuesto de una combinación de los 4 elementos básicos y su movimiento natural depende de la proporción con que estos están en composición para formar el cuerpo.

Por otra parte, la región celeste, considerada un lugar de perfección, contempla los cuerpos que no se mueven siguiendo las inclinaciones naturales de los cuatro elementos terrestres. Estos cuerpos, los celestes, se mueven aparentemente en círculos, y como el círculo y la esfera son consideradas figuras geométricas perfectas que bien podrían representar el movimiento perpetuo e invariable, se infiere que la inclinación natural de los cuerpos celestes es el movimiento circular. Esto les acomoda a la perfección, puesto que refleja tanto su forma como su proceder.

La esencia de un cuerpo determina su inclinación natural, y al ser distinta para los cuerpos celestes y los terrestres, Aristóteles considera que los cuerpos celestes deben a su vez estar constituidos de un quinto elemento que no se encuentra en la Tierra. Por consiguiente, al tener una esencia diferente, el estudio físico de estos cuerpos debe ser diferente al de los terrestres.

1.1.3. El método correcto en filosofía natural

Un problema filosófico general que preocupaba a Kepler era encontrar y seguir el método correcto de la filosofía natural. Aristóteles recomendaba que es propio para un científico que estudia los fenómenos naturales razonar filosóficamente desde la esencia hacia los efectos, porque lo verdaderamente importante en el conocimiento en filosofía natural es la esencia de los objetos. De ahí se sigue que si se tienen objetos con diferente esencia, el método para obtener conocimiento acerca de una esencia no es obviamente transferible a otro.

El párrafo anterior conduce a sostener que si los cuerpos celestes y los terrestres tienen diferente esencia, por lo tanto las leyes de la física terrestre no son transferibles al estudio de los cuerpos celestes. Además, y dado que para Aristóteles las características matemáticas de los objetos no son parte de su esencia, no resulta obvio que los métodos matemáticos puedan ser legítimamente usados en la física y en el estudio de los cielos. Por consiguiente, la física de los cuerpos terrestres y las características matemáticas no pueden proporcionar conocimiento acerca de los cuerpos celestes.

1.1.4. El sistema de esferas concéntricas

El movimiento de los cuerpos celestes, de acuerdo con Aristóteles, puede ser físicamente explicado por esferas que rotan y transportan a los cuerpos que se encuentran engarzados en ellas. Estas diferentes esferas se encuentran distribuidas de manera concéntrica alrededor de la Tierra.

Aristóteles describió el movimiento de un planeta –y de todo el sistema planetario conocido– usando solo esferas concéntricas. El modelo básico proviene de Eudoxo (390 - 337 a.n.e.), y señala que cada planeta se encuentra en una esfera que gira sobre su eje. Los polos de esta esfera están incrustados en otras esferas con diferentes ejes de rotación y rotando con velocidades diferentes. En algún momento Calipo de Cícico (370 - 300 a.n.e.) había requerido treinta y tres esferas para reproducir los movimientos observados en los cielos. A estas esferas Aristóteles agregó otras veintidós llegando así a tener un modelo de

cincuenta y cinco esferas, con el cual podía describir mejor que otros modelos los movimientos celestes. Evidentemente esto resultaba ser un sistema un tanto complejo, a pesar de estar basado en principios físicos simples y elementos geométricos básicos. Y aún así había una brecha entre el modelo y lo observado en los cielos, en particular en lo que se refiere al movimiento retrógrado que de forma más o menos periódica parecían exhibir los planetas.

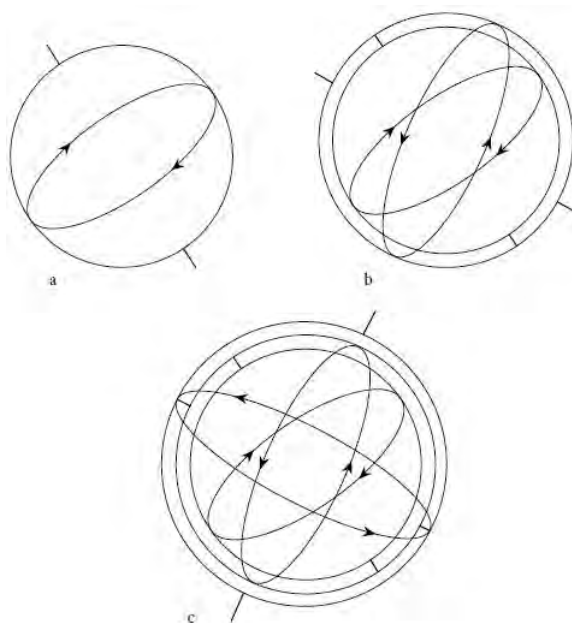


Figura 1.1: Esquema de las esferas concéntricas de Eudoxo. Imagen tomada de la referencia [19].

La explicación de Aristóteles de los fenómenos celestes resultaba un tanto controversial al aplicarse al movimiento retrógrado que de forma más o menos periódica parecían exhibir los planetas, los cuales, como Ptolomeo los denomina, son “las cinco estrellas errantes” [19, p. 19], ya que éstas presentan un movimiento diario hacia el oeste respecto de las estrellas fijas y un movimiento gradual anual hacia el este a través de dichas estrellas.

1.2. La astronomía matemática de Ptolomeo

El sistema astronómico de Ptolomeo se encuentra sustentado en los siguientes principios:

- I La Tierra se encuentra en el centro del Universo mientras que el Sol y los planetas se mueven alrededor de ella.
- II El movimiento de los cuerpos celestes es descrito por medio de un arreglo de circunferencias que preservan el movimiento circular propio de los cielos.
- III Los objetos celestes deben de mantener una velocidad uniforme durante su trayectoria.

En su libro *El Almagesto*, nombre árabe del texto de Claudio Ptolomeo (100 - 168 d.C.) *Hè megalè syntaxis* (*Composición matemática* en español), describe las 48 constelaciones conocidas en la antigüedad y presenta modelos geométricos que recurren a deferentes y epiciclos. Esto con el fin de describir cinemáticamente los movimientos de los planetas según el sistema geocéntrico.

Claudio Ptolomeo nos presenta un riguroso tratado matemático y empírico sobre astronomía esférica, teoría planetaria, teoría solar, lunar y la ocurrencia de eclipses. Emplea el modelo básico de epiciclos en donde se tiene un círculo principal, conocido como deferente, y un círculo secundario que es el epiciclo (ver figura 1.2.). Si el planeta se coloca en el punto P del epiciclo y rota en el sentido contrario de las manecillas del reloj, y además el centro del epiciclo en el punto C también rota en el sentido contrario de las manecillas del reloj, el planeta realizará un trazo en forma de rizo. Se puede variar el tamaño y la velocidad de los movimientos en los dos círculos para obtener las figuras apropiadas que describen el movimiento de cada planeta, es decir, sus posiciones y velocidades aparentes.

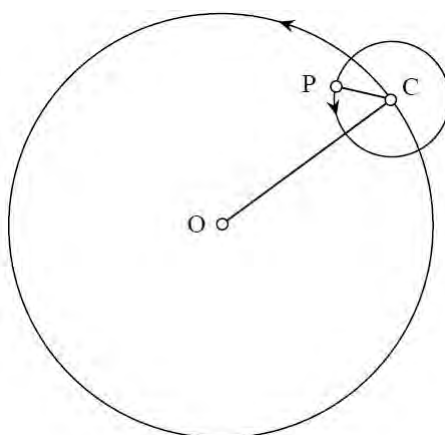


Figura 1.2: Modelo básico de epiciclo y deferente

Esta teoría describe o explica geométricamente el movimiento retrógrado de los planetas,

pero irregularidades como el movimiento del Sol y de la Luna, que no presentan movimiento retrógrado y que permanecen una mayor cantidad de tiempo en una parte de su recorrido no son explicados.

Propiamente, el sistema ptolemaico no es completamente compatible con la física de los cielos en la tradición aristotélica, dado que presenta movimientos alrededor de otros centros que no son la Tierra.

Muchos pensadores del siglo XV encontraban dudosa la realidad física de los epiciclos y los puntos excéntricos² puesto que no se encontraban centrados en ningún objeto celeste y parecían ser meros artificios matemáticos.

Todo este material, mismo que hasta fines del siglo XVI seguía dominando los círculos intelectuales europeos, había sido estudiado por el futuro autor del *Misterio Cosmográfico* y de la *Astronomía Nova*.

1.3. La astronomía copernicana

La teoría copernicana mantuvo las bases estructurales, (geometría, círculos, velocidades uniformes) del modelo ptolemaico, preservó el uso de epiciclos y deferentes, pero excluyó los puntos excéntricos. En su lugar colocó a la Tierra como un planeta más en el sistema e hizo del Sol el nuevo centro del sistema planetario. A pesar de estas diferencias los dos sistemas resultan geoméricamente equivalentes, es decir, son compatibles como descripciones del mismo sistema, solo que realizadas desde distintos marcos de referencia.

Con los datos observacionales disponibles hasta mediados del siglo XVI, no existían bases que sostuvieran empíricamente la preferencia del sistema copernicano sobre el ptolemaico. Además de otorgar movimiento a la Tierra acarrea una serie de problemas con relación a la filosofía natural que había que resolver. Uno de ellos, muy cercano a la experiencia de todo mundo, era la caída de los cuerpos pesados hacia el centro de la Tierra puesto que dicho movimiento, para un observador situado en la Tierra debería verse afectado por el movimiento de ésta alrededor del Sol y sobre su eje.

²Punto de referencia por medio del cual se preserva el movimiento circular uniforme.

Para esta cuestión Copérnico ofrece una respuesta acorde con las ideas aristotélicas y explica que debido a que para la Tierra es natural, en tanto que cuerpo esférico, rotar, todos los cuerpos que se encuentran sobre su superficie son transportados junto con el cuerpo de la Tierra.

A pesar de la equivalencia de los sistemas, el sistema copernicano presentaba ventajas y entre ellas estaba la posibilidad de usar esta teoría para determinar el orden y la distancia de los planetas sin hacer suposiciones arbitrarias para cada uno de ellos. En el sistema ptolemaico cada planeta tenía un modelo individual, en el cual la razón entre el radio del deferente y el radio del epiciclo eran determinados empíricamente sin tomar en cuenta a ningún otro cuerpo celeste, y como no había una unidad de medida común entre los diferentes modelos de los planetas, no se podía determinar empíricamente las distancias relativas de los planetas. Por su parte, en el sistema copernicano las distancias de todos los planetas eran medidas en términos del radio de la órbita de la Tierra, y el cambio en la posición de la Tierra explicaba el movimiento retrógrado de todos los planetas por medio de un solo principio.

Los dos sistemas empíricos ofrecían predicciones sobre las posiciones estelares y planetarias, pero el apoyo que proporcionaban las predicciones exitosas sobre cualquier teoría en particular, no resulta válido como criterio de valoración de uno o de otro. Se presentaba el problema de tener dos teorías con hipótesis contrapuestas que pueden conducir a las mismas predicciones de forma adecuada pero, evidentemente, solo una puede ser correcta. Bajo estas consideraciones no era posible discernir cuál de las dos teorías era la más adecuada.

Y aquí hay que mencionar a Michael Maestlin, maestro de Kepler, quien hizo un estudio minucioso de la astronomía de Copérnico y la consideró más adecuada que la de Ptolomeo. Ésta también fue la posición que adoptaría Kepler.

1.4. La universidad de Tubinga

En 1589 Kepler ingresó a la universidad de Tubinga, una institución luterana cuyo currículum estaba influenciado por Martín Lutero y Filipo Melanchthon. Mientras que el

pensamiento de Lutero estaba centrado en la teología, y concebían a la filosofía natural y a la filosofía como disciplinas con métodos bien definidos y diferentes, Melanchthon y otros profesores de Kepler veían a la naturaleza como un objeto de estudio significativamente revelador.

De acuerdo con la ideología prevaleciente en la Universidad de Tubinga en los tiempos en que Kepler estudió ahí, se pueden llegar a conocer los designios y el pensamiento de Dios por medio del estudio del mundo creado. Por tanto, el conocimiento en filosofía y filosofía natural era parte integral del entrenamiento teológico. Además, el estudio de las matemáticas era particularmente importante para Melanchthon debido a su simpatía hacia la visión pitagórica y platónica, la cual establece que la última naturaleza de la realidad era matemática, y por lo tanto, para los luteranos, la capacidad del hombre de describir el mundo natural por medio del análisis matemático es un indicador de la extensión en la cual se refleja la mente de Dios. Las habilidades matemáticas de la mente humana, de acuerdo con Melanchthon, son también un reflejo de Dios, que nos permite acceder al pensamiento divino y a las verdades trascendentes a través del estudio de la naturaleza. Consecuentemente, las matemáticas tenían un estatus mucho más alto en el pensamiento de Melanchthon y en la universidad de Tubinga que lo que era típico para ese tiempo.

La universidad de Tubinga seguía principalmente el programa educativo de Melanchthon, con un énfasis en el aprendizaje y uso del latín y el griego para que los estudiantes fueran capaces de leer todos los textos, incluida la Biblia, en su lengua original, y evitar así los comentarios, -erróneos o sesgados- de otros autores a los textos religiosos. La estructura establecida seguía estando basada en las siete artes liberales, las cuales consistían en el *trivium*, con las artes lingüísticas de la gramática, retórica, dialéctica y lógica, y en el *quadrivium*, el arte matemático de la geometría, aritmética, astronomía y música. Para los últimos niveles de la universidad se incluía la ética, la física de Aristóteles y, en algunos casos, historia. Melanchthon hizo hincapié en la importancia e interdependencia de las siete artes liberales; sin embargo, remarcó que se encontraban subordinadas a la teología y los Evangelios.

Kepler estudió por tanto matemáticas, astronomía y física, así como ética, dialéctica, retórica, griego y hebreo. Esto lo realizó durante dos años, antes de comenzar sus estudios

de teología; además llegó a familiarizarse con los *Analíticos Posteriores* (un tratado del método propio de la filosofía natural) y la *Física* de Aristóteles.

En Tubinga Kepler conoció a quien tal vez resultaría la más importante influencia de su vida, su maestro Michael Maestlin, quien enseñaba matemáticas y astronomía, y era un consumado y bien conocido astrónomo. Maestlin fue el copernicano que inspiró a Kepler enseñándole las ventajas matemáticas que ofrecía el sistema copernicano sobre el ptolemaico, además de diferentes formas de pensar de las cuales después Kepler adoptaría algunas.

La justificación bíblica de Maestlin para el estudio de la astronomía pone un gran énfasis en la necesidad de precisar las observaciones. Maestlin estaba convencido de que un entendimiento preciso de la creación de Dios permitiría un conocimiento más preciso de la divinidad y de sus intenciones con el mundo. Esto permitió a Maestlin defender los resultados controversiales de sus observaciones realizadas en 1577, y de las que hoy se sabe correspondieron a una nova y dos cometas. Maestlin las justificó con base en las mediciones del paralaje de estos “objetos” y concluyó que todos estos ‘fenómenos’ ocurrieron en la región supralunar y no en la sublunar, lo cual contradecía las enseñanzas de Aristóteles³. Maestlin creía que la exactitud de las observaciones que le permitieron establecer los paralajes de las posiciones de estos objetos, combinadas con su uso de las pruebas geométricas y aritméticas, le permitían deducir conclusiones acerca de los grados de verdad y de certeza que ofrecían los estudios de la naturaleza y de los cielos, bajo metodologías que ofrecieran más seguridad en la obtención de información y el manejo de los datos. Bajo estas nuevas prácticas consideraba que sus deducciones serían clasificadas como detentoras de más autoridad que las opiniones de Aristóteles, Plinio, y otros filósofos antiguos.

Por tanto, se volvió una necesidad en la universidad de Tubinga cuestionar cuándo los escritos de Aristóteles, Platón, Plinio y Plutarco, deberían de ser considerados como representantes de la verdad acerca de la filosofía natural. Además, Maestlin argumenta que si las hipótesis o los principios, las observaciones y el proceso de argumentación son todos correctos, entonces la conclusión sería también correcta. Además, enfatiza que es necesario seguir ciertos procesos de razonamiento para poder obtener conclusiones con base en las

³Para Aristóteles no puede ocurrir ningún cambio en la región supralunar. Los cometas, por tanto, son propios de la región sublunar.

observaciones, y además que entre más observaciones se tienen, más confiables serán las conclusiones.

Para Maestlin la astronomía consiste en examinar y explicar los movimientos de los cuerpos celestes, si bien técnicamente esto no es parte de la física, dado que las apariencias de los movimientos eran explicadas recurriendo a modelos matemáticos más que a pruebas físicas, y estas últimas se referían a las causas del cambio en lugar de la causa o explicación del movimiento. Además, las conclusiones en astronomía se esbozaban, en tiempos de Kepler, sobre bases particularmente matemáticas, con el uso de métodos de las disciplinas puras de la aritmética y la geometría, y no con el razonamiento fundado en la física.

1.5. Problemas de la filosofía natural aristotélica

1.5.1. Astronomía

La veracidad de los principios físicos de Aristóteles ya se había cuestionado en varios ámbitos, pero principalmente en astronomía dado que no explicaban de forma satisfactoria las observaciones que se tenían de los cielos.

Uno de los problemas que no se resolvía o explicaba satisfactoriamente por medio de principios aristotélicos fueron las observaciones realizadas por Michael Maestlin en 1577. De acuerdo con Aristóteles, los cielos son el lugar donde no se presentan cambios, y por ende la aparición de los cuerpos celestes de 1577, si estaban localizados en la región supralunar no podían ser explicados pues claramente contradecían el axioma aristotélico.

Entre otros principios que se cuestionaron estaba la distinción que se hacía entre los cuerpos celestes y los terrestres, y no solamente por el hecho de que los cuerpos celestes se mueven de diferente manera que los terrestres sino porque la esencia misma del cuerpo le provee características diferentes, lo cual permitió cuestionarse la capacidad que se tenía de obtener conocimiento verídico acerca de los cielos. Por otro lado, la idea de belleza y perfección que se confiere al movimiento circular no permitía considerar otras trayectorias geométricas para construir un modelo planetario. Para los tiempos de Kepler existía una

larga y exitosa tradición en cuanto a representar el camino de los planetas solo por medio de círculos y, por tanto, antes del trabajo de Kepler (*Astronomía Nova*) no existían razones para considerar que el movimiento de los planetas no fuera circular.

No considerar que las esferas celestes viajaran con velocidad uniforme era una contradicción en cierto sentido debido a que se había elegido a la esfera porque esta forma se acomodaba perfectamente con el movimiento eterno invariable; esto se complementaba con la observación de la rotación de las estrellas fijas alrededor de la Tierra con movimiento uniforme. Por tanto habían argumentos observacionales que permitían defender el movimiento uniforme y circular de los cielos.

La existencia de ciertos cuestionamientos a la física aristotélica provenían, mayoritariamente, del ámbito de la filosofía natural y eran antiguos, por lo menos desde Filipón (490 - 457 d.C.) y Simplicio (480 - 560 d.C.)⁴.

1.5.2. Las esferas de los elementos y el centro de la Tierra

Aristóteles había estructurado los cuatro elementos en una serie de esferas concéntricas con la Tierra en el centro del Universo rodeada por las esferas de agua, aire y fuego, siguiendo ese orden. Aristóteles estaba, sin embargo, consciente de que la naturaleza no estaba completamente conforme con su esquema, ya que la tierra seca se extiende encima del agua y el fuego era visible, en algunas ocasiones, en la superficie de la Tierra. También, la relación entre la esfera de la tierra y el agua, en donde Aristóteles había proveído alguna guía, mostraba serios problemas en la Edad Media. En el tratado de Juan de Sacrobosco *De la esfera*, el esquema de las cuatro esferas aristotélicas es presentada como la verdadera imagen del mundo sublunar, con la importante consideración de que la tierra seca existe para las creaturas animales, y por tanto debe evitar que la esfera de agua rodee completamente la esfera de la tierra. Sin embargo no ofrece una explicación para que la tierra emerja sobre el agua y solo apela a una interpretación bíblica para explicarlo.

Posteriormente, en los *Comentarios a la "Esfera"* de Christophorus Clavius, el jesuita explicó que aunque Sacrobosco ubica a la Tierra en el centro del firmamento, debemos

⁴Ver Golitsis, Panfelis (2008). *Les Commentaires de Simplicius et Jean Philopon à la Physique d'Aristote* NY: Walter de Gruyter.

entender “tierra simultáneamente con agua”. Ello a pesar de que Sacrobosco no concibe a la Tierra de la manera descrita por Clavius.

Fue en el siglo XIV que Alberto de Sajonia, en su libro *Cuestiones sobre Física*, proclamó por primera vez, aunque tal vez después la abandonó, una nueva relación entre la tierra y el agua. Según esto lo que se encuentra en el centro geométrico del mundo no es el centro de gravedad de la Tierra, sino el centro de todo el agregado de tierra y agua, que forman un solo peso; este centro de gravedad es el centro del mundo. Sin embargo, de esta relación Alberto no infiere o concluye que la tierra y el agua formen una única esfera.

A pesar de la ambivalencia de Alberto de Sajonia, a finales del siglo XIV Pierre d’Ailly respaldó y proclamó la interpretación que asigna un único centro de gravedad a la totalidad de tierra y agua. Posteriormente esta interpretación también fue apoyada por John Major en el siglo XVI. Por otro lado Juan Buridan trató este problema sin tomar como argumento la autoridad de la Biblia. Buridan asume que las esferas de la tierra y el agua eran concéntricas con respecto al centro del mundo, y asume también que el agua no rodea completamente la Tierra porque una parte del agua naturalmente fluye hacia abajo y llena el interior de la Tierra, mientras que en otras partes se mezcla con el aire después de evaporarse.

Estos problemas acerca de los elementos que componen la Tierra y la localización de su centro, ya fuera de gravedad o de magnitud, estuvieron en boga durante este periodo. Sin embargo fue en 1501, cuando las exploraciones portuguesas revelaron la amplia distribución de tierra en la región de Sudamérica, se afianzó la idea de que la tierra y el agua formaban un único globo, y que su relación era tal que sobre toda la superficie de ese globo la tierra estaba parcialmente sumergida y parcialmente elevada. Ésta fue tal vez la primera descripción propia de lo que se llamaría el “globo terráqueo” en el siglo XVII, y fue la concepción que Copérnico adoptó. Sin embargo, él fue más allá, e insistió que en ese globo el centro de gravedad y el centro de magnitud eran idénticos, una conclusión que lo compromete a una esfera terráquea que no sólo es homogénea en su composición sino que también es perfectamente redonda como los filósofos sostenían [7, p. 22]. Porque solo si la esfera terrestre fuera “perfectamente redonda” los dos centros pueden ser idénticos, aunque ninguno puede coincidir con el centro del universo, puesto que en el sistema heliocéntrico el Sol ocupa este lugar.

1.5.3. Disciplinas separadas

Los conceptos y la forma de análisis tanto de los problemas como de los objetos de estudio en física, astronomía y matemáticas, no siempre han estado interrelacionados.

Según Aristóteles había una marcada separación entre física y astronomía. El estagirita consideró que cada una de estas disciplinas tiene su propia materia de estudio a la cual cada persona debe aproximarse con los principios adecuados y, frecuentemente, exclusivos de la disciplina. En general el conocimiento debe ser obtenido por deducciones basadas en las propiedades esenciales delimitadas por y particularmente para cada disciplina, y por tanto no resulta obvio que se puedan obtener conclusiones físicas a partir de argumentos astronómicos, es decir observacionales, o conclusiones astronómicas surgidas de argumentos físicos [19, p. 30].

Pero no solamente la física y la astronomía estaban separadas, las matemáticas y la física también. Mientras que la primera estaba enfocada al estudio de las formas con abstracción de los objetos, la segunda se relacionaba con la forma y la materia durante el proceso de cambio de los objetos; por tanto, el objeto, el método de estudio y los tipos de resultados esperados eran diferentes para cada disciplina.

En esta concepción, la conjunción de la astronomía con la geometría no podía aportar conocimiento acerca del movimiento de los cuerpos celestes, porque ni la geometría ni la astronomía –más allá de testificar y representar- están relacionadas con las características esenciales de los cuerpos en movimiento.

La separación fue predominante por muchos siglos y se mantuvo vigente entre los profesores de las escuelas medievales y renacentistas. Particularmente en la universidad de Tubinga el profesorado se encontraba dividido entre los que la respaldaban y los que no.

De esta universidad dos profesores son representativos, Michael Maestlin, profesor de matemáticas, y Georg Liebler, profesor de filosofía natural. Mientras que el primero sostenía que las matemáticas, es decir, el estudio de la cantidad, no se encuentran relacionadas por sí mismas con el movimiento o el cambio como lo hace la física, y consecuentemente las dos disciplinas eran distintas, el segundo consideró que a las matemáticas y a la física les conciernen los mismos “cuerpos naturales”, y que era importante no perder de vista

la conexión entre la forma y la materia. Liebler vio a la astronomía como una de las varias “ciencias mixtas” que hace de mediadora entre las matemáticas puras, aritmética y geometría, y la física. Estas disciplinas mixtas tienen como estudio a la naturaleza, pero recurren a demostraciones matemáticas. Liebler estaba convencido de que los dos tipos de conocimiento, las matemáticas y la física, deben de estar relacionados entre sí, y que los razonamientos obtenidos de uno pueden dar pistas sobre el otro [18].

En contraste con una visión un poco más radical podemos encontrar a Giovanni Gioviano Pontano (1426-1503), Pierre de la Rameé (1515-1572), Francesco Patrizi (1529-1597) y otros más que niegan que la astronomía y la física terrestre tengan la habilidad de proveer conocimiento sobre el movimiento celeste. Esto debido a que los cielos están tan lejanos y nos son tan extraños que, según ellos, no podemos esperar entender las causas celestiales [12, pp. 232-237].

Todas estas disertaciones sobre los objetos de estudio, la capacidad de entenderlos, y el conocimiento que se puede obtener de cada disciplina, resultaron sustanciales para generar teorías astronómicas rivales que contenían adecuaciones empíricas.

Con todo, la posición predominante era la de respaldar la posición aristotélica de separación entre física, astronomía y matemáticas. Además, había que atender el reclamo, sustentado en experiencias con modelos contrastados, de que la predicción exitosa en astronomía no puede ser un criterio para la verdad, dado que dos modelos -explicaciones-excluyentes en cuanto a los objetos que analiza y sus movimientos pueden reproducir las apariencias con rasgos de aceptabilidad similares. Obviamente solo uno de ellos -o ninguno- puede estar representando la situación real.

Este tipo de explicaciones eran sostenidas por varios en el siglo XV para resolver tensiones entre aquellos que querían proporcionar conocimiento de los cuerpos celestes a partir de la astronomía matemática y que redujeron de tal forma a la astronomía hasta dejarla como una disciplina meramente predictiva.

Fue con la llegada de Kepler que las cosas empezaron a cambiar y las disciplinas se encaminaron hacia un acoplamiento integrador: como un paso en este proceso, Kepler, conocedor de los textos de Aristóteles y de Ptolomeo, propone que las matemáticas y la física pueden de forma legítima y fructífera ser aplicadas a la astronomía y proveer conocimiento cierto.

Kepler, durante el periodo que le tocó vivir, aun se encontró sujeto al yugo de la física y la filosofía aristotélicas, y tuvo que lidiar con los problemas de la separación de las esencia de los objetos celestes y terrestres, de la capacidad de disciplinas como la astronomía y las matemáticas para proporcionar conocimiento físico de los cuerpos celestes, es decir, la capacidad de incluir características matemáticas como propiedades esenciales de los cuerpos celestes, y de las ideas de perfección del círculo y la esfera relacionadas con el movimiento de los cuerpos celestes.

Capítulo 2

Los arquetipos

En la actualidad, tanto en la físicas como en la astronomía, el uso de los arquetipos en la explicación científica ha resultado obsoleto, sin embargo, para el presente trabajo, su importancia histórica se encuentra en la influencia que tuvieron en Kepler como la guía que marca prácticamente toda su obra y que lo llevaron a sus conclusiones astronómicas. Antes de continuar, es necesario aclarar, para no cometer alguna falta, que gran parte de las ideas de este capítulo son tomadas del libro de Rhonda Martens que lleva por título *Kepler's philosophy and the new astronomy*.

Una de las cuestiones más relevantes para la historia de las ciencias consiste en desentrañar el origen y desarrollo de los conceptos y las teorías que pretenden explicar los fenómenos que conforman lo que, en distintos niveles, entendemos por naturaleza. Al respecto han surgido múltiples visiones, surgidas las más de las veces de estudios realizados con el propósito de entender el surgimiento de áreas particulares del saber, fuera física molecular o atómica, o estadística, topología, el código genético, sistemas dinámicos o las parcelas más concretas o abstractas como la ciencia de materiales o la teoría de categorías, respectivamente.

En franco contraste con quienes consideran que las leyes naturales podían ser reconocidas o abstraídas sobre la base exclusiva de la experiencia, hay quienes sostienen que la intuición y los focos de atención propios de las culturas en que laboran quienes se ocupan de estos menesteres jugaron un papel por demás relevantes en la construcción de nuestra idea del

mundo y de cómo se accede a él, sea a través de los sentidos –viejo problema griego- o de la mente –también antigua premisa que se remonta al mundo griego. Sin importar desde qué lado de la cuestión se inicie, eventualmente surge la pregunta ¿existe un puente que enlace las percepciones sensoriales y los conceptos? La respuesta no puede ser negativa pues ello eliminaría toda posibilidad de pretender conocer y manejar nuestro entorno. Y en el caso afirmativo la siguiente pregunta es sobre la naturaleza de dicho puente.

Casi sin excepción, quienes se han ocupado de la cuestión opinan que la lógica pura es incapaz, por sí misma, de dar cuenta del puente o conexión entre nuestras percepciones y los conceptos a los que dieron lugar y a las formas operativas entre dichas nociones que se han erigido para entender y predecir los avatares que constituyen nuestra experiencia y manejo del mundo.

Una cosa en común entre los estudiosos del tema es suponer la existencia del ente que percibe y de un objeto sujeto de su atención, y que ambos están sujetos a un ‘orden’ al que se considera posee un carácter objetivo, es decir, existe independientemente de nuestras percepciones acerca de él. Todo reconocimiento de este orden en la naturaleza conlleva a la elaboración de predicados referentes a la existencia de objetos o de relaciones entre ellos que constituyen el mundo fenoménico que los trasciende, en tanto que supone otro nivel de existencia que precisamente vincula y establece dependencias entre los entes que dan lugar a las percepciones. Las relaciones mencionadas líneas atrás trascienden a los objetos al recurrir en sus esquemas explicativos a nociones un tanto abstractas y generales cuyas características parecen quedar veladas precisamente por el abismo que separa las experiencias de nuestros juicios acerca de ellas, es decir, entre los hechos que consisten en las interacciones materiales y las maneras como nuestras mentes procesan, elaboran y responden para adaptar acciones o intentos de modificar las situaciones en las que estamos inmersos. Para establecer dichos enlaces, lo cual significa hacerse depositario de la consciencia de adquirir nuevos conocimientos, se propuso en tiempos de Kepler, de manera un tanto ambigua a falta de conceptualizaciones previas, la existencia de un mecanismo que permitía al hombre establecer correspondencias entre imágenes ‘mentales’ o ‘internas’ pre-existentes en la psique humana –reminiscencias de la teoría platónica de las formas¹ con objetos externos y sus comportamientos. Kepler, lector y seguidor de Platón,

¹Sobre este tema, además de los múltiples capítulos y artículos que se han escrito y se pueden consultar por internet, se puede ver el ensayo de Ian Bruce en la siguiente dirección:<http://www.fastinternet.net.au/igb/FormsEssay.html>.

adoptó este esquema de ligar lo concreto con la mente a sus creencias religiosas. Para ello adoptó el supuesto de hay ideas que existen en la mente del Creador y que, siendo este Demiurgo el que generó las almas humanas que luego fueron implantadas en los cuerpos materiales elaborados por entes intermedios –también creados por el Demiurgo– implantó dichas ideas en las almas en el momento de la creación. Estas imágenes primigenias podían ser percibidas por el alma –esto se explica más ampliamente en el *Timeo* platónico y se le conoce como la teoría de la reminiscencia– con la ayuda de un instinto que forma parte de la naturaleza humana Kepler las nombró *arquetipos*. Para Kepler, nuestra capacidad de identificar los arquetipos del mundo era una de las vías para tener acceso al conocimiento del mundo natural. Dada la importancia que este concepto tiene en el esquema explicativo del mundo, y también como ejemplo de la capacidad del hombre por reconocer o establecer patrones, se dedicará el resto del capítulo a describir cómo funciona esta idea y cómo una larga serie de observaciones y ‘coincidencias’ llevaron a Kepler o fortalecer su idea de haber descubierto en qué consistía la racionalidad detrás de la arquitectura del mundo concebida por el Creador².

“En una carta escrita a Galileo³, Kepler declaró, tal vez en la forma más clara, su lealtad a Platón y a Pitágoras...Kepler creía en la existencia y la estructura de los cielos por medio de arquetipos eternos pero no por eso sustentaba que el mundo que tenía consistencia material no fuera real. Su concepción sobre la relación entre los arquetipos y la física era semejante a la concepción platónica de la relación entre disciplinas superiores e inferiores, o entre la idea y la materia”. [19, p. 102].

En el *Misterio Cosmográfico* Kepler aborda principalmente los arquetipos y defiende el sistema copernicano, propuso un modelo que conjunta el orden los planetas y los cinco sólidos regulares (hexaedro, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro). Para Kepler, la forma de ordenar los sólidos dependerá de su importancia y de las propiedades geométricas de cada uno de ellos, por ejemplo, la figura geométrica de la cara del sólido o el número de caras, sin embargo, es difícil saber las razones por las cuales consideró algunas características geométricas mientras que otras no. El modelo pretende explicar el tamaño de las órbitas y la razón de que se tuvieran -a finales del siglo XVI- solo cinco planetas

²Ver J. V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, Chicago, The University of Chicago Press, 1988, y Brecher, Kenneth Kepler's *Mysterium Cosmographicum: A Bridge Between Art and Astronomy?* <http://archive.bridgesmathart.org/2011/bridges2011-379.pdf>

³Octubre 13, 1597.

en el sistema, esto debido a que para Kepler había una correspondencia unívoca entre los cinco sólidos regulares y los cinco planetas. Además, debe de argumentar las razones por las cuales coloca al Sol en centro de sus sistema,⁴ para lo cual utiliza tanto argumentos estéticos y analogías religiosas en su defensa. De esto se tiene que para Kepler existe una correspondencia entre la física y los arquetipos, es decir, los arquetipos pueden servir como respaldo y guía de las consideraciones físicas.

Todo esto resulta consistente con interpretar a Kepler como un metodólogo y metafísico platónico. Para poder entender la importancia de los arquetipos en la cosmología de Kepler es conveniente abordar su procedencia y su alcance, mismas que se explican en la siguiente sección.

2.1. La importancia de Dios y la estética

Kepler tuvo una formación religiosa luterana que influyó en su forma de concebir el mundo. “Creía que Dios creó el mundo de acuerdo con un plan, y ese plan o patrón es precisamente un arquetipo para la estructura del mundo. El patrón era de naturaleza matemática, moldeado bajo un carácter estético”, [19, p. 39] al igual a como se consideraba que una cierta idea de lo bello guiaba a los pitagóricos y a Platón⁵. Dios creó un mundo físico como representación de este patrón y el modelo arquetípico explica la razón por la cual el Universo es de la manera que es⁶.

“Así como el Sol está en el centro físico del Universo de Kepler, Dios es el centro del Universo de los arquetipos. El Dios de Kepler era un Dios platónico, esteta y geómetra, quien creó las cosas físicas para expresar construcciones regidas por cánones estéticos. Como una mente que diseña y construye, la creación del Universo por Dios estaba basada en ideas, ideas de cantidades, formas, números, y extensión en particular⁷.” [19, p. 48]

Hay que recordar en este momento que Kepler pone en su Dios muchos de los atributos

⁴Los argumentos presentados por Kepler no solo defienden a su sistema sino también al sistema copernicano.

⁵En el *Timeo*, Platón toma como guía para la construcción del mundo la necesidad de que éste sea bello: “... si este mundo es bueno y bello su creador, es evidente para todos que puso su ojo en lo eterno” y “Claramente puso su ojo en lo eterno: pues el mundo es lo más bello de todas las cosas que llegarán a ser y es la mejor de todas las causas”. (*Timeo* 27d5-29b2).

⁶Ver Johanson T.K, “Why the cosmos needs a craftsman: Plato, *Timeaus* 27d5-29b1” *Phronesis*. 59, 2014, 11. 297-320.

⁷Refiriéndose a los planetas, el Demiurgo platónico los creó siguiendo la forma divina, de fuego la mayoría, para que brillen más y sean más bellos ante la mirada (*Timeo*, 40)

y formas de actuar del Demiurgo o artesano platónico que aparece en el *Timeo*.

Kepler parece haber querido decir que los arquetipos puros son ideas en la mente de Dios, o parte de la esencia de Dios. Por tanto, “para Kepler una ofensa contra la estética es una ofensa contra la verdad ya que el mundo fue ordenado por Dios con mira a lograr una obra estéticamente placentera.” [19, p. 43]

De acuerdo con Martens, al basar los cuerpos celestes sujetos al plan gestado en la mente de Dios fue posible para Kepler explicar el aspecto estacionario de los cielos (el Sol, las estrellas fijas y el espacio) de forma arquetípica por medio de una analogía con la Santísima Trinidad, una idea según la cual el Universo físico, en la forma de una esfera, es una unidad con tres partes, a semejanza de la idea de la Trinidad, según el credo cristiano instaurado desde el Concilio de Constatinopla de 533 d.C.

En una analogía geométrica por demás trivial el Universo representa la Trinidad:

“El Sol en el centro, el cual es la imagen del Padre, la esfera de las estrellas fijas, la imagen del Hijo, y el aire celestial que llena todas partes o el espacio en el firmamento, la imagen del Espíritu” [19, p. 40]

Kepler se inclinó a otorgarle al Sol el papel de la principal fuerza motora por ser la más grande fuente de luz en el Universo y por el papel que representaba en la analogía de la Trinidad. Este tipo de analogías entre lo divino, lo geométrico y lo físico se puede encontrar de forma repetitiva en el trabajo de Kepler.

Para fundamentar el orden de los poliedros Kepler utilizó recursos empíricos, como el tamaño relativo de las órbitas planetarias, y recursos estéticos que se explicaban a partir de los arquetipos. “Lo empírico y lo estético juegan dos roles diferentes y contrastantes en el pensamiento kepleriano. Lo empírico determina el modelo que se propone como candidato para explicar el mundo, y lo estético explica las causas finales y formales de esa estructura. El Universo es como es por una razón y por lo tanto si un modelo tiene un mayor grado estético es preferible a sus alternativas. Para Kepler parecía una categoría superior el contener que ser contenido, y los planetas exteriores eran generalmente considerados superiores. Estas afirmaciones no explican completamente por sí mismas la forma particular de ordenar los sólidos regulares en el *Misterio* ya que al considerar al Sol como representante de la posición de mayor importancia, sería también plausible suponer que

el orden de los sólidos podría seguir esta misma línea y por ello colocaría a las figuras más importantes en posición más cercana al Sol.” [19, p. 44] Las razones de Kepler para el orden de los poliedros se abordan en la sección 2.2.

2.2. Los sólidos regulares

Según el modelo planetario del *Misterio* se tienen esferas que circunscriben el perímetro de cada uno de los sólidos regulares (hexaedro, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro) y los radios de las esferas corresponden al tamaño relativo de las órbitas planetarias. “Como solo son cinco los posibles poliedros regulares solo seis esferas pueden ser inscritas (hay una esfera alrededor del modelo y ello explica porqué toma seis esferas y no cinco) y con ello explica o justifica que se tenga ese número de planetas.” [19, p. 40] El uso de los sólidos regulares para explicar el número de objetos físicos fue tomado de los antiguos. En el *Timeo* de Platón, los poliedros son usados para dar cuenta de la naturaleza de los elementos básicos: fuego –tetraedro–, aire –octaedro–, agua –icosaedro–, tierra –hexaedro– y para el éter reservó el dodecaedro [4, pp. 212-239].

Conservando la tradición aristotélica que se expuso en la sección 1.1.2 sobre el uso de la esfera y la circunferencia como representantes del movimiento de los cuerpos celestes, de igual manera Kepler tomó de la esfera algunas características de semejanza que le ayudaron a establecer el orden de los poliedros. “Después de la esfera, entonces, la figura que más se parezca a la esfera es la más perfecta. La esfera es la figura más simple puesto que todos sus puntos son equidistantes del centro, y los sólidos regulares son los únicos sólidos que tienen caras iguales equiláteras y con ángulos iguales. Kepler señala estas características como signos de simplicidad. Los centros de las caras de los sólidos regulares son equidistantes del centro del sólido, y por lo tanto los sólidos regulares comparten en cierta medida dichas cualidades y el prestigio de la esfera. Estas características separan a los poliedros regulares de los otros sólidos y por consiguiente limitan el número de sólidos para ser ordenados.” [19, p. 42]

“Kepler divide los sólidos en dos clases. La primera contiene, en orden de importancia, el hexaedro, el tetraedro y el dodecaedro. La segunda comprende, también en orden de

importancia, el octaedro, y el icosaedro. Kepler agrupó y ordenó a los sólidos en los capítulos del 3 al 7 del *Misterio Cosmográfico*. Los sólidos primarios y los secundarios difieren en varias maneras. Por ejemplo, los secundarios comparten el mismo tipo de cara, el triángulo, mientras que en los primarios cada uno tiene un diferente tipo de cara: triángulo, cuadrado y pentágono. Los vértices de los primarios se juntan en tres caras, el mínimo número para formar un sólido, mientras que en los secundarios se juntan en cuatro o cinco caras.”[*ídem*]

Martens destaca que algunas características de los sólidos resultaron importantes para determinar la jerarquía dentro de los primarios y de los secundarios. En los primarios, el hexaedro es el de mayor jerarquía en parte porque es el único con ángulos rectos en sus caras, y puede ser generado a partir de una de sus caras; le sigue en jerarquía el tetraedro porque junto con el anterior generan las otras figuras y finalmente se tiene el dodecaedro. Para los secundarios, el octaedro es el más importante por su similitud con el hexaedro y el tetraedro, y el icosaedro resulta el de menos jerarquía entre los secundarios.

“En el modelo explicativo de Kepler la nobleza relativa de los sólidos regulares determina su orden en el modelo planetario... Por tanto el orden a partir del Sol hacia afuera es, octaedro, icosaedro, dodecaedro, tetraedro y, finalmente, el hexaedro, como se puede observar en la figura 2.1, figura icónica de la búsqueda de arquetipos por parte de Kepler. El resultado son seis órbitas (la órbita de Mercurio se encuentra entre el Sol y el octaedro).”
[19, p. 43]

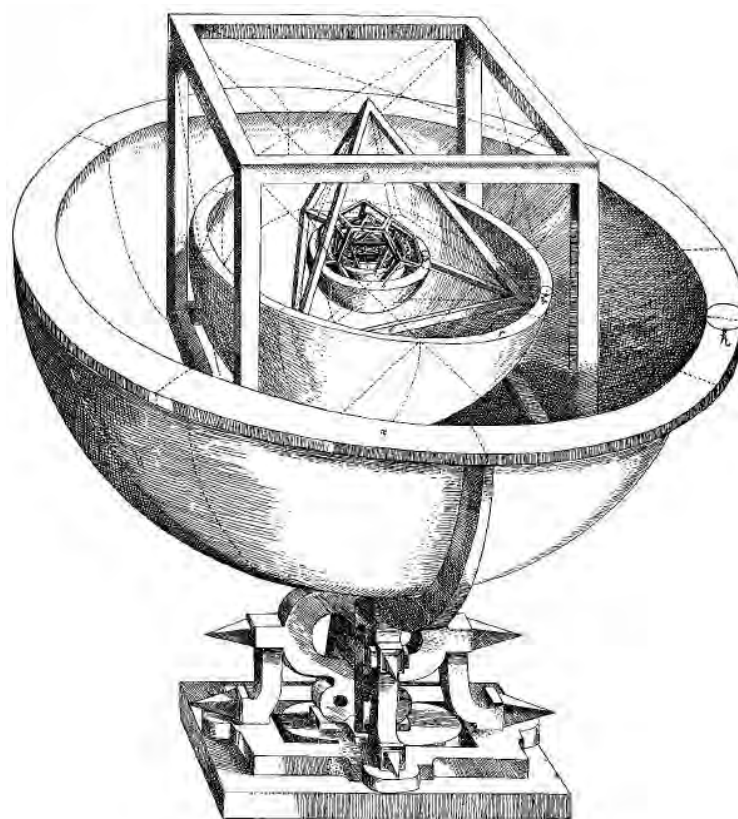


Figura 2.1: Modelo planetario con base en los sólidos regulares. Imagen tomada de <http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-3/Articulos/Alvarez.htm>

Hay que tener en cuenta que el arreglo hecho por Kepler no es arbitrario: había que encontrar el que más aproximara a que los radios relativos de la órbita -datos generados a partir de las observaciones- fuera el de los radios relativos de las esferas inscritas y circunscritas en los poliedros regulares.

Kepler estaba usando su modelo de poliedros para justificar la posición del Sol en el centro del Universo. Sin embargo estaba consciente de que su modelo no era del todo exacto (*ad hoc*). Esta es la razón por la cual la defensa que realizó de su modelo está basada en los terrenos de lo *a priori* y no de lo *a posteriori*: “ahora, podría parecer fortuito, y no el resultado de alguna causa, que las seis esferas de Copérnico acepten estos cinco sólidos en el espacio entre ellas, si el diseño actual (el de Copérnico) no fuera el mismo en el cual los he colocado (basado en los arquetipos)” [13, p. 105].

Kepler solía argumentar que derivó la teoría de los arquetipos mediante un razonamiento *a priori*, y que luego la contrastó contra los datos empíricos. Sin embargo, me parece más realista decir que primero tuvo el patrón empírico y luego trató de ver cómo encajaba las

consideraciones arquetípicas.

“Kepler insistió en la importancia de la plausibilidad interna y teórica de una hipótesis, y la relación que debe de existir entre un modelo planetario y los datos obtenidos de sus posiciones. Lo que le preocupaba a Kepler era la posibilidad de hacer manipulaciones ilegítimas para encajar los datos; de ahí su insistencia en que la ‘esfera de Copérnico acepta esos cinco sólidos’ en el orden determinado *a priori*. Sin embargo, hay que llevar a cabo un ajuste entre la plausibilidad interna de las hipótesis y los datos.” [19, p. 44]

“Después de argumentar la viabilidad del modelo de poliedros en terrenos empíricos y arquetípicos, Kepler conectó los poliedros con la astrología y los conceptos musicales, una conexión sorprendentemente reminiscente de la visión de Ptolomeo, quien se movía en los ámbitos de la astronomía, la astrología y la armonía musical. Kepler se refiere a los Armónicos de Ptolomeo en el *Misterio* con el propósito de enseñar que el patrón que él había observado en el movimiento planetario estaba conectado con otros patrones, una huella divina en el Universo⁸. Esta cuestión sería retomada por Kepler en el texto la *Armonía del mundo*.” [ibídem, 45]

Alcanzado este punto Kepler consideró que la hipótesis de los poliedros probablemente necesitaba de más apoyo empírico, y en función de ello retornó a un análisis más cuidadoso, y usó el modelo de poliedros para generar distancias que fueran puestas a prueba confrontándolas con los datos ofrecidos por Copérnico.

La forma de acomodar los poliedros con los datos de Copérnico resultó lo suficientemente adecuada como para otorgar a Kepler una mayor confianza en lo que estaba haciendo. Sin embargo, las pequeñas discrepancias que encontró entre sus cálculos y los datos de Copérnico no lo dejaron del todo satisfecho.

2.3. Causas final, material y eficiente en astronomía

“La explicación arquetípica provee respuestas respecto de las causas formales y finales, más que de las causas eficientes y materiales. Los arquetipos son la causa final en su estado

⁸Algo que cabe hacer notar aquí es el enorme peso que tenía la astrología en tiempos de Kepler. A esto aparentemente no escapó ni el mismo Copérnico. Ver Westman (2011), The Copernican Question.

divino, la causa formal en su estado material, y Dios creó las fuerza físicas para que el movimiento de los cuerpos se pudiera expresar. El resultado es una correspondencia entre las causas final, formal y eficiente y los tres escalones en el Universo. La liga geométrica entre lo físico y los arquetipos sirve como una traslación espacial de lo divino. Es como si los niveles representaran, o reflejaran, una ‘armonía arquitectónica’ ”. [19, p. 49]

Martens explica que, cuando Kepler verificó la coincidencia de las consecuencias derivadas de la hipótesis de los poliedros con los datos en su posesión, encontró que no tenía los recursos para determinar si el responsable de la discrepancia era el cálculo de las distancias o la hipótesis acerca del papel que jugaban los poliedros, en tanto que armazón que confería inteligibilidad al Universo. Para esta época Kepler aún no tenía acceso a los datos de Tycho Brahe. Como resultado, el siguiente movimiento de Kepler fue proveer sustento teórico, más que empírico, para los poliedros, y con este propósito regresa -en el capítulo 18 del *Misterio*- a una discusión sobre la relación de la teoría con la observación.

Kepler señaló que además de la posibilidad del error observacional, los registros de las observaciones de los planetas eran típicamente tomados en posiciones acrónicas particulares, es decir, durante los ortos -aparición al amanecer- o los ocasos planetarios, y la teoría astronómica era aún poco fiable para permitir extrapolaciones confiables para otras posiciones. Además, estaba el efecto de la refracción atmosférica sobre el momento aparente de aparición o desaparición del astro bajo observación.

Por otra parte, las excentricidades y sus causas no eran suficientemente conocidas para realizar cálculos precisos de las órbitas. Como resultado Kepler no se consideró en posición para poner a prueba la pertinencia de los poliedros como causa explicativa, y todo lo que podía hacer era sustentar su esperanza en la concordancia cercana en cuanto a las distancias.

Más adelante, “en el capítulo 20 del *Misterio*, Kepler intenta descubrir una conexión entre el periodo de los planetas y sus distancias al Sol, y posteriormente, en el capítulo 22, explora la conexión entre la velocidad de traslación de los planetas en torno al Sol y la distancia de estos a la luminaria central.” [19, p. 48]

En esta etapa de sus investigaciones Kepler estaba buscando regularidades en los movimientos de los planetas, pero no ofrece una explicación física para tales regularidades. Estos dos focos, las regularidades empíricas y los arquetipos, son un reflejo del enfoque

que Kepler adoptaba en lo relacionado con la filosofía natural. Solo después, en la *Apolo-
logía*, texto que se abordara en el capítulo 4 de esta tesis, y en la *Astronomía Nova*, que se
esboza en el capítulo 3, Kepler enfatiza la necesidad de explicar los movimientos celestes
a partir de las causas eficientes.

2.4. La cosmología de Kepler

De acuerdo con Rhonda, la concepción de la idea de diferentes niveles de realidad no era
nueva para la época de Kepler, ni tampoco la noción de una relación de representación
simbólica que unía a los diferentes niveles. La doctrina de Platón de participación⁹ es una
precursora de esta visión, y varios teóricos renacentistas siguieron a Platón al postular
una armonía arquitectónica donde lo corpóreo se encuentra en armonía con lo divino.
A diferencia de otros neoplatónicos, Kepler trató el reflejo entre los niveles de la reali-
dad como creyente. Él no intentó “trascender el mundo de lo vulgar” para descubrir los
misterios del Universo. Más bien, él puso a prueba la hipótesis de los arquetipos en com-
paración con los datos empíricos. El reflejo directo implica el compromiso de dos tesis; las
hipótesis arquetípicas se pueden probar y los datos empíricos son indicadores confiables
de la naturaleza última del Universo. Kepler creía que la huella o impresión divina del
Universo está reflejada en el ser humano, y a pesar de que la mente humana es finita y
falible, también es racional a la manera a como Dios lo es. Para Kepler esto significa que
la mente tiene poderes *a priori* que tienen su origen en el hecho de que fue generada di-
rectamente por el Demiurgo y por tanto pueden ser usados para descubrir los arquetipos.
Una vez que uno conoce la estructura de los arquetipos y los ha identificado, se pueden
deducir las propiedades naturales de los planetas a partir de las cosas inmateriales y de las
figuras matemáticas, una capacidad que se reconoce solo si la manifestación física refleja
los arquetipos.

Algunos comentarios en el *Misterio Cosmográfico* sugieren que Kepler adoptó un tipo
de método en donde se contrastan las observaciones planetarias con el modelo. “En el
capítulo 11 del *Misterio* Kepler dedujo las propiedades naturales de los planetas a partir

⁹La teoría de participación de Platón establece la existencia de una relación entre los objetos sensibles y las formas o ideas platónicas.

de cosas inmateriales y de figuras geométricas.” [19, p. 50]

Kepler creyó haber descubierto los arquetipos básicos en datos empíricos concretos y difíciles de refutar, y luego los contrastó con observaciones más detalladas. Además, creía que al dilucidar, por cualquier medio posible, el arquetipo correcto, esto le podría llevar a deducir leyes físicas a las que esto conducía¹⁰. “A pesar de que Kepler no era un reduccionista ontológico, en esta interpretación él sostiene que las leyes de un dominio pueden deducirse a partir de otro.” [*ídem*]

Kepler creía que si uno puede conocer la estructura de los arquetipos de forma independiente a la experiencia, entonces se pueden deducir todas las propiedades físicas y principios -leyes¹¹-, y además estar confiado en la exactitud de sus enunciados.

2.5. Los arquetipos, la matemática y la física

Es importante considerar con mayor cuidado la visión de Kepler en su relación con los arquetipos, las matemáticas y la física. Los arquetipos no tienen el poder para causar cambios físicos; tales cambios son efectuados por el propósito de armonizar con los arquetipos: “los arquetipos son la causa de las cosas naturales, sin embargo, no poseen fuerza” [19, p. 109]. Como resultado, los modelos matemáticos no pueden considerarse para dar cuenta de las causas eficientes de significado arquetípico; los arquetipos diferenciarán regularidades causales o espurias, las cuales ayudarán a decidir entre varias descripciones matemáticas del mismo fenómeno. A pesar de que este método podría no ser completamente satisfactorio, podría hablar sobre la plausibilidad de la intuición física que sustentan los modelos.

Varias características de las hipótesis en conjunto indican si corresponden a los arquetipos. Deben tener un aspecto con un carácter estético que pueda ser expresado geoméricamente. También deben estar de acuerdo con los aspectos estructurales encontrados en otros sitios de la naturaleza, puesto que para Kepler, la naturaleza hace uso del menor número

¹⁰Para cómo sus esferas anidadas y los poliedros regulares constituían la explicación en términos de arquetipos, ver [9, pp. 595-601].

¹¹Kepler nunca denominó “leyes”, ni enumeró, a los enunciados que hoy conocemos como las “tres leyes de Kepler” [9, p. 595].

posible de arquetipos en el sentido que comparativamente pocos arquetipos constituyen el acervo que da cuenta de todos los fenómenos naturales.

Martens sugiere que, adjuntar un modelo matemático a un modelo de arquetipos fue el propósito de Kepler al proponer su segunda explicación de la libración¹². A pesar de que él califica como “física” a esta explicación, claramente no intentó esto como una teoría física cualitativa. Más aún, sus obras dejan entrever el reconocimiento de que su teoría cualitativa era problemática. En vez de eso, optó por enseñar que su descripción matemática de la libración era equivalente a la descripción matemática de algunos sistemas de dos imanes, y sostuvo que al menos había demostrado la equivalencia matemática del sistema de los dos imanes y la libración planetaria. Sin embargo, si se les analiza con cuidado, los dos sistemas son de diferente tipo. A pesar de ello, y como producto del esfuerzo innovador de Kepler se presenta el problema de si una descripción matemática común es evidencia para la analogía entre los dos sistemas. Según el sentir más arraigado de la época, Dios escogió para replicar patrones agradables, y encontrar el mismo patrón en diferentes disciplinas era evidencia de la naturaleza arquetípica de dicho patrón.[19, p. 109]

“Esto explica porqué Kepler provee ejemplos de otros tipos de sistemas físicos que pueden producir el mismo patrón, a saber, el sistema de los dos imanes y el bote con remos.” [19, p. 21] En el caso de los imanes, Kepler no argumentó sobre la causa eficiente del movimiento, lo cual muestra la distancia que separaba el conocimiento de su época del que finalmente se integraría sobre este fenómeno en el siglo XIX. Esto es, visto desde nuestro tiempo, un anacronismo, pero lo que debe de importar es lo que Kepler podía hacer con las herramientas conceptuales a su alcance. El punto de Kepler era que los dos sistemas pueden ser descritos precisamente mediante la misma descripción matemática y esa perspicacia fue lo que le dio la confianza de que había descubierto un patrón arquetípico. Kepler tomó dicho patrón arquetípico para sugerir una relación o vínculo causal en vez de recurrir a considerar las coincidencias como meros patrones accidentales. A pesar de que un modelo matemático no presenta consideraciones físicas para la causalidad, es correctamente plausible y sugiere que ese tipo de consideraciones pueden ser realizadas. Por tanto, el fracaso de Kepler para proporcionar datos cualitativos y satisfactorios relacionados con los imanes y los arquetipos es un indicador de que necesitaba de una investigación que

¹²Movimiento planetario de aproximación y de alejamiento del Sol.

estaba por hacerse, y no de que tuviera un problema en el uso de sus datos.

La teoría de la libración que Kepler desarrolló en la *Astronomía Nova* fue estrictamente matemática, a pesar de poseer también un íntimo carácter tanto físico como de significado arquetípico. A pesar de este significado, el matemático imperial se contuvo de esbozar conclusiones físicas o arquetípicas, lo cual sugiere un esfuerzo por evitar cruzar ilegalmente los límites de las disciplinas. [19, p. 109]

Visto de esta manera, la física matemática de Kepler no viola la concepción aristotélica de los límites apropiados de las disciplinas de los *Analíticos Posteriores*, pero sin embargo viola el aristotelismo (específicamente la distinción entre las matemáticas, la física y la astronomía) prevalente en los tiempos de Kepler. Las inferencias no cruzan los géneros, porque en la visión arquetípica de Kepler las propiedades estructurales de todos los objetos físicos comparten principios con el dominio de los arquetipos. En el caso de la teoría de la libración, Kepler no había adoptado todavía una consideración arquetípica, pero buscaba que a partir de la estructura de los arquetipos, o a partir de modelos astronómicos con significancia arquetípica, se tomaran en cuenta las causas eficientes, lo cual resultaba ser ajeno al aristotelismo del siglo XVI.

En este punto, sin embargo, la justificación de los arquetipos que Kepler ofrecía era incompleta. Idealmente una explicación completa incluiría la parte astronómica, la física, y consideraciones arquetípicas que se encontrarán en coherencia para proveer apoyo mutuo coincidente. Pero la explicación arquetípica de la libración de los planetas tuvo que esperar hasta que escribió la *Armonía del Mundo*. Lo mejor que él tenía fue una teoría de la libración establecida sobre características estéticas, y posiblemente en conformidad con el modelo de los arquetipos.

Lo escrito hasta ahora en este capítulo muestra los arquetipos en Kepler, los cuales tienen sus orígenes en ideas platónicas y pitagóricas, e influyeron en su concepción del mundo y en su forma de hacer astronomía. Para los propósitos de esta tesis, es necesario contrastarlo con las ideas aristotélicas que prevalecieron en Kepler, y así intentar determinar cuáles ideas tuvieron más influencia en el pensamiento kepleriano, ¿las ideas platónicas y pitagóricas o las ideas aristotélicas?.

2.6. Aristotelismo en Kepler

También es posible interpretar a Kepler, epistemológicamente, como un aristotélico. Kepler estudia los objetos apoyándose en los argumentos propios de cada disciplina, pero no indicó explícitamente que intentara mantener los argumentos propios de cada disciplina por separado. En vez de eso como ya mencioné en la sección 1.5.3, Kepler habla de relacionar la física con la astronomía. No obstante, en la *Astronomía Nova* utiliza argumentos distintos en física y en astronomía. “La ‘relación’ se establece al nivel de las conclusiones, y la coherencia estructural entre las dos disciplinas sustentan el desarrollo de ideas y conclusiones en esta obra...Una vista rápida del contenido de la *Astronomía Nova* muestra con claridad que la mayor parte de los argumentos astronómicos y los argumentos físicos que conducen hacia las mismas conclusiones aparecen en diferentes secciones. Por ejemplo, en la parte I, IV y V, Kepler argumenta ‘necesaria y geoméricamente’, que el Sol es el centro del sistema de los planetas. Los argumentos físicos para estas conclusiones aparecen en la parte III. En los casos en que los argumentos físicos y los astronómicos aparecen en la misma sección se muestran cuidadosamente diferenciados. Por ejemplo, aunque Kepler establece tanto los aspectos físicos y geoméricos en su teoría de la libración en el capítulo 57, se aseguró de identificar cada argumento dentro de su propio dominio.” [19, p. 109]

Es admirable que Kepler hable de relacionar la física y la astronomía cuando era tan cuidadoso en mantener los argumentos físicos y astronómicos claramente separados. Esto sucedía en parte por la tensión existente entre la física aristotélica y la astronomía ptolemaica, y a que la separación resultante de las dos disciplinas daba como resultado que el requerimiento de consistencia entre las conclusiones físicas y astronómicas podría haber parecido un tipo radical de relación. Más adelante Kepler se refiere a esto con más cuidado, tal vez en respuesta a las críticas recibidas en cuanto a la relación entre la física y la astronomía.

Kepler reitera una y otra vez de la importancia de sentar las bases de la astronomía sobre una ciencia superior (algo consistente con Aristóteles) y también pone énfasis en que cada disciplina debe ser considerada por separado. Solo entonces las partes se pueden juntar.

Este respeto por los límites de las disciplinas es muy aristotélico. Ciertamente las simpatías de Kepler por Platón fallan para explicar esta posición. Con base en sus sentencias explícitas, y su consistencia con el enfoque de las disciplinas de la física y la astronomía keplerianas tal cual se muestra en la *Astronomía Nova*, no resulta sorprendente que el método utilizado en el *Epítome* haya sido el mismo que en la *Astronomía Nova*.

Es así como la física y la metafísica determinan “*a priori*” la naturaleza de los cielos y las causas del movimiento, y a pesar de que la física, la metafísica y la astronomía son disciplinas distintas, sus argumentos y conclusiones deben de ser consistentes entre ellas. Dada la creencia de Kepler de que el universo es, la mayor parte de las veces, accesible a la mente humana, la solución del conflicto escéptico entre la física y la astronomía puede ser vista como algo temporal y que podrá ser reemplazada cuando se tengan mejores teorías disponibles. No se debe estar satisfecho hasta que la física y la astronomía sean consistentes.

Para el caso del copernicanismo, la física de Aristóteles, sin embargo, era inadecuada para esta tarea, no solamente por su incompatibilidad con las hipótesis heliocéntricas, sino también porque era implausible en los propios términos de Aristóteles. Kepler argumenta que una implicación de la física aristotélica es que los puntos geométricos pueden generar causas físicas. Esto es ilustrado por la visión de Aristóteles que los cuerpos pesados son atraídos al centro del universo *qua center*. Resulta implausible suponer que los puntos geométricos pueden atraer o repeler materia, o servir como marcadores por los cuales la materia se puede orientar por sí misma.

Enfrentado con este tipo de problemáticas, Kepler se da cuenta de que para tener una descripción física de las causas del movimiento se requiere de datos cuantitativos que permitan poner a prueba la plausibilidad del mecanismo que se proponga para explicar el efecto observado.

Por otro lado, la respuesta de Kepler al problema de la equivalencia observacional fue que, a pesar de que las hipótesis astronómicas que se encuentran compitiendo pueden ser observacionalmente equivalentes, también pueden ser juzgadas en el terreno de la filosofía natural o física. Esta sugerencia no tenía precedentes. Las consideraciones físicas tradicionalmente eran usadas para restringir hipótesis astronómicas. Lo que era inusual fue que Kepler creyera en la posibilidad de construir una astronomía empíricamente adecuada y

consistente con la física. El uso de la física en astronomía, aunque no estaba prohibida por Aristóteles, se encontraba fuera de los terrenos aristotélicos [18]. Algunos de los profesores de Kepler, notablemente Maestlin y Planer, siguen a Aristóteles en el énfasis que otorgaba a las diferencias entre las disciplinas matemáticas y la física, y lo inapropiado de mezclarlas. Por tanto el enfoque de Kepler entraba en conflicto con el aristotelismo de sus días.

La astronomía, la física y la matemática se encontraban en conflicto ya desde la escritura de los *Analíticos Posteriores* de Aristóteles.

Aristóteles advertía en contra de mezclar disciplinas, puesto que en los terrenos de una disciplina las que son cualidades esenciales pueden ser accidentales en el estudio de otra. En los *Analíticos Posteriores*, Aristóteles permite el uso de elementos de una disciplina en otra, pero solo en circunstancias especiales. Una deducción puede trasvasarse de una disciplina a otra, siempre y cuando la primera sea superior a la segunda y los principios sean comunes para ambas; aquí se entiende por principios las definiciones y verdades básicas acerca de los objetos de estudio. Para ese tiempo este movimiento no solo se encontraba permitido sino que era recomendado por Aristóteles. La meta de la filosofía natural no era solamente enseñar que algo era la causa de un fenómeno o situación sino también explicar porqué. En síntesis: para explicar porqué algo se da en la manera en que ocurre, algunas veces es necesario apelar a disciplinas superiores.

En este sentido, la disciplina más alta para Kepler es la que se ocupa de los arquetipos, porque tales conceptos ofrecen explicaciones finales y formales de la construcción del universo. Una inferencia a partir de los arquetipos de una disciplina podría ser legítima en otra si, las características estructurales de los arquetipos se encuentran en un nivel superior. Por lo tanto si se considera en una disciplina menor el uso de arquetipos en la demostración de las características formales o finales de un objeto, no se violaría la concepción aristotélica según su filosofía natural.

Kepler pretendía, a partir de cierto momento, dar a la física celeste un tratamiento mecánico y una representación matemática. “Esta meta involucra una mezcla no convencional de tres disciplinas: física celeste, mecánica y matemáticas. Algunas disciplinas pueden mezclarse si se prevé que los principios usados sean comunes para ambas. Aristóteles enlista a la óptica, la astronomía, y la mecánica como disciplinas para las cuales era aceptable

mezclarlas con las matemáticas.” [19, p. 102] La astronomía mecánica, sin embargo, no se encontraba entre ellas; por ello Kepler violó la distinción de Aristóteles entre lo celeste y lo terrestre, y su representación matemática viola el *dictum* aristotélico contra el uso de las matemáticas en la física.

De acuerdo con Aristóteles las matemáticas no pueden proporcionar conocimiento en el estudio de la dinámica, porque las características de cantidad no son esenciales para los cuerpos cuando están en el proceso de cambio.

A pesar de que parece sensato fundamentar la astronomía en la física, en los tiempos de Kepler este tipo de tratamiento epistemológico era inusual. La física en ese tiempo era una disciplina cualitativa basada en consideraciones acerca de las propiedades esenciales de los cuerpos en movimiento, mientras que la astronomía era cuantitativa, involucrando geometría y una aproximación cinemática del movimiento de los cuerpos celestes. Debido a que la física y la astronomía eran dos disciplinas vastas y diferentes, no era obvio que pudieran tener puntos básicos de coincidencia. En la *Apología*, Kepler argumenta que la astronomía es progresiva, y que su progreso es resultado de la combinación de ciertos elementos de la física y de la astronomía. Kepler comentó que Aristóteles “debería ser censurado porque mezcla observaciones astronómicas con razonamientos filosóficos, los cuales son de tipo enteramente diferente.” [12, p. 177]. Pero la defensa de Kepler de una astronomía física se encuentra en su forma de ver el Universo, es decir, de buscar entenderlo por medio de arquetipos que le permiten combinar astronomía con física matemática de una manera que es de hecho consistente con la concepción aristotélica de la filosofía natural que se esboza en los *Analíticos Posteriores*.

Kepler concibió todos los aspectos de la naturaleza como representación de los arquetipos, y concibió las características formales y finales de los objetos en varias disciplinas como unificadas. Esta concepción implica que las hipótesis de una disciplina pueden fructíferamente relacionarse entre sí, y que las hipótesis físicas pueden ayudar a discernir entre hipótesis astronómicas en competencia. Dado que la física es una disciplina más elevada que la astronomía, la primera puede proveer explicaciones satisfactorias de los fenómenos astronómicos, y por lo tanto no es solo apropiado sino obligatorio sentar las bases astronómicas en la física.

En el *Misterio* Kepler explora las regularidades empíricas y obtiene el modelo de los

poliedros pero no ofrece causas mecánicas, y es importante destacar que hubo cambios en el pensamiento de Kepler entre la escritura de este texto y la de la *Astronomía Nova*.

En la etapa en que concibió y redactó la *Astronomía Nova*, Kepler creía que una física celeste y completa podía aportar las causas eficientes en términos mecánicos, pero tenía plena consciencia de que no era posible deducir la naturaleza de las causas eficientes a partir de las causas formales o finales. Posiblemente por ello evitó obtener conclusiones físicas a partir de argumentos estrictamente astronómicos o surgidos de arquetipos, problemática que se aborda en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Una nueva astronomía

En sus textos, Kepler fue explícito acerca de una cuestión: la astronomía es capaz de proveer una verdadera descripción del movimiento de los planetas.

La *Astronomía Nova*, publicada en 1609, es probablemente la más grande contribución de Kepler a la astronomía ya que contiene la primera articulación de las que después serían etiquetadas como las dos primeras leyes planetarias¹.

3.1. La física en la astronomía

En la introducción a la *Astronomía Nova* Kepler sugirió que la conexión entre los niveles geométricos y físicos del Universo requiere y justifica la conjunción de la astronomía y la física.

“Ciertamente, todas las cosas están tan interconectadas, involucradas y entrelazadas entre sí, pero después de tratar diferentes acercamientos para reformar los cálculos astronómicos, algunos realizados frecuentemente por los antiguos y otros contruidos por emulación de ellos, ningún otro pudo tener más éxito que aquel que lo estableció por sí mismo sobre las causas físicas del movimiento, lo cual yo realicé en este trabajo” [19, p. 70].

Antes de que Kepler pudiera usar la física eficazmente en los terrenos astronómicos tuvo

¹Las regularidades y asociaciones frecuentes entre situaciones, fenómenos y procesos son llamadas “leyes físicas”, especialmente si se les expresa a través de fórmulas matemáticas. La idea de “ley física” era desconocida para la civilización antigua, y aún en la Edad Media es difícil encontrar su equivalente en la literatura de la época. Ver [23, pp. 245-279].

que establecer los criterios que dieran lugar a una explicación físicamente plausible en tanto que la física tradicional aristotélica ya no resultaba adecuada. Kepler argumentó que los puntos geométricos no pueden ser físicamente significativos y, como resultado, el centro del Universo, como centro geométrico, no puede considerarse para que le corresponda un papel real en la explicación causal del movimiento de los cuerpos físicos. Sólo centros que correspondan a la posición de un cuerpo físico pueden atraer otros cuerpos.

Tal criterio es una consecuencia de la concepción de Kepler acerca de la relación entre Dios, la mente humana y el universo físico. En el *Misterio* Kepler menciona que una consecuencia de que Dios nos creara a su imagen es que nuestra mente puede reconocer los arquetipos, vestigios de la empatía que nos une con el alma superior de la creación.

Kepler usó esto para delimitar los tipos de hipótesis físicas que pueden considerarse como plausible. Basados en el reflejo entre los arquetipos y las estructuras físicas, las hipótesis físicas que “trastornan la mente” pueden ser descartadas.

Por “trastornar la mente” Kepler pareciera querer decir lo siguiente: si uno no puede pensar en un evento ocurrido a menos que pensemos que ha ocurrido en el tiempo, entonces el concepto de evento y el concepto de tiempo están relacionados entre sí. Si uno no puede pensar el movimiento sin pensar que ocurrió en un espacio, entonces el concepto de movimiento y el concepto de espacio están relacionados entre sí. Como resultado, tratar de conceptualizar eventos sin tiempo o movimientos sin espacio es pensar en una manera que trastorna la mente.

Esta tesis es más que una divagación de la mente para Kepler, tiene también una carga ontológica, debido a la conexión entre nuestra mente y los arquetipos y entre los arquetipos y el mundo físico.

Este criterio de comprensibilidad juega un papel importante en los argumentos de Kepler sobre que el Sol causa la variación de velocidad de los planetas, y ello le permite a Kepler estrechar el rango de causas posibles tanto para los planetas como para el Sol.

Kepler notó que la velocidad está correlacionada con la distancia al Sol y sugirió que o una es causa de la otra o alguna tercera es causa de las dos. Pero Kepler descartó una tercera causa al no poder imaginar o dilucidar cuál sería ésta. Si uno se pregunta porqué Kepler pensó tal cosa podría ciertamente llegar a una historia más complicada. Por ejemplo,

tal vez por razones arquetípicas la densidad de los planetas se incrementa conforme más alejado se encuentran del Sol, y la diferencia de densidad es la causa de la variación en la velocidad, pero no la causa de la distancia. En este ejemplo, los arquetipos causan las dos, la distancia e, indirectamente, la velocidad. La causa directa de la velocidad, para Kepler, no parecía estar relacionada con la distancia.

Kepler, a partir de la posibilidad de que los planetas tuvieran diferente densidad consideró que esto sería un factor para que variara la resistencia a la fuerza del Sol. Sea como fuere, aceptar la imposibilidad de imaginar una tercera causa permite a Kepler moverse con confianza y enfocarse en las dos posibilidades que se mantienen. Aquí es plausible decir que Kepler tenía más en mente justificar el movimiento planetario, y no tanto explorar la causa principal de éste.

En el capítulo 33 de la *Astronomía* Kepler argumentó que la variación de la distancia debe ser causada por la variación en el movimiento,; sin embargo esto debería ser al revés, dado que la distancia es conceptualmente *a priori* al movimiento. La distancia a partir del centro es un *a priori* tanto en pensamiento como en la naturaleza del movimiento sobre un intervalo. Ciertamente, el movimiento sobre un intervalo nunca es independiente de la distancia del centro, puesto que se requiere un espacio en el cual se desarrolle, mientras que la distancia desde el centro puede ser concebida sin el movimiento. Por tanto, la distancia sería la causa de la intensidad del movimiento, y una distancia más corta o más larga resultaría en una disminución o aumento en la cantidad de tiempo en que se lleva a cabo un cierto movimiento.

En otras palabras, conceptualizar el movimiento sin pensar en la distancia es pensar de una manera que trastorna a la mente. La distancia, sin embargo, puede ser concebida sin hacer referencia al movimiento, y es por tanto ajena al movimiento. Como la distancia es definida por sus dos puntos extremos la causa del movimiento planetario debe encontrarse en alguno de los dos puntos extremos. Esto es, ya sea el planeta o el Sol, pero uno de ellos constituye la causa del movimiento planetario.

En el capítulo 33 de la *Astronomía* Kepler presenta varios argumentos en donde señala que el motivo primario de la fuerza es causado por el Sol y no por los planetas, y propone que la velocidad de los planetas varía en relación con su distancia al Sol.

Otra vez, Kepler usó los arquetipos para justificar resultados conocidos. Él ya creía que

el Sol era la fuerza motora primaria, y su propósito aquí era persuadir al lector de que los fundamentos filosóficos de tales afirmaciones eran sólidos. Para lograrlo necesitaba ofrecer una alternativa a la concepción aristotélica sobre las características esenciales de los cuerpos celestes en movimiento. Es por esto que enfatiza que su propuesta física era adecuada y proporcionaba al Sol la dignidad apropiada.

Sin embargo, Kepler no había ofrecido aún en la *Astronomía* una explicación de las causas eficientes del movimiento planetario, a pesar de que pensaba que cualquier estudio del universo físico debería al menos dar cuenta de las causas eficientes puesto que la naturaleza del movimiento es material. Sobre este punto hay que considerar dos aspectos en el materialismo de Kepler. Primero, su empeño era producir una teoría física del Universo que lo describiera como un sistema mecánico; segundo, parecía estar guiado por la idea de que las causas celestiales son similares a las causas físicas terrestres. Esta similitud le permitió especular sobre la naturaleza de las causas celestes y configurar una analogía con las causas terrestres más ordinarias. El método de descubrir mecanismos causales por analogía con fuerzas conocidas es evidente, y tal vez paradójicamente se puede encontrar en las discusiones de Kepler la posibilidad de mentes planetarias como guías de las fuerzas.

Hoy día los historiadores de la ciencia comparten la opinión de que Kepler es un productor por demás prolífico y eficiente de analogías. Algunas pudieron ser muy superficiales pero otras formaban parte integral de su estilo de teorizar y producir, a través de ello, entendimiento acerca de cómo hacer coherentes, en términos explicativos, una serie de nuevos hechos observacionales, o enlazando varios dominios a través de un nuevo mecanismo causal, lo cual, como ya se vió páginas atrás, confería mayor sustento a una propuesta explicativa. Hay que tomar en cuenta que la cosmología que hereda Copérnico, y en cierta medida Kepler, la llamada cosmología medieval, difería de la que la sustituyó a partir del siglo XVII en cuanto al carácter de su explicación. En este caso a lo que apuntaba es a determinar mecanismos causales, equivalentes a la ‘causa eficiente’ aristotélica, y no a simplemente presentar regularidades matemáticas que derivarán en la capacidad de predecir eventos celestes tales como solsticios, equinoccios, eclipses, cuadraturas, alineamientos, etc.

Kepler quería dar a la física celeste tanto un enfoque mecánico como una representación

matemática.

“Me encuentro muy ocupado en la investigación sobre las causas físicas. Mi propósito es mostrar que la máquina celeste debe ser comparada no con un organismo divino sino con una pieza de relojería... Más aún, muestro cómo esta concepción física se debe presentar mediante cálculos y geometría.”

Así es como Kepler planteó su proyecto en una carta a von Hohenburg en 1605 [19, p. 102]. Con ello respondía al problema que la cosmología se planteaba desde tiempos de Platón y Aristóteles: “Todo movimiento requiere un movedor. La esfera más externa (del sistema) es movida por un ‘movedor inmóvil’, el *primum mobile*. Cada esfera imparte movimiento a la que le sigue...”

A lo anterior se añadió, como parte del dogma, que “los cuerpos celestes poseen alma. Cada planeta es controlado por su propio espíritu [mismo] que media en su movimiento. Y se daba por hecho que los planetas no se movían en sincronía, es decir, que poseían movimientos que no se sujetaban a una regla sencilla que los hiciera moverse con dependencia de uno respecto de los otros.”

Por ello era que tanto en la propuesta de Ptolomeo como la de Copérnico había que permitir la coexistencia de modelos de los movimientos de los planetas como modelos independientes y con características *ad hoc* para cada uno de ellos.

En 1609 Kepler publica la *Astronomía Nova: Una nueva astronomía basada en la causalidad, o Física Celeste*. En esta obra registra el uso que hace de los datos observacionales recogidos por Tycho Brahe, lo cual le permite establecer la forma de la órbita de Marte y buscar las causas que la producen. Esta trayectoria de búsqueda le llevó fuera del universo de explicaciones aceptadas en la época y le colocó en el plano de la nueva astronomía física.

Así fue como Kepler se ambientaba en la búsqueda de una fuerza con carácter puramente físico que diera cuenta del movimiento de los planetas. Su filiación claramente platónica le llevó a explotar una analogía que en cierta forma había flotado en los ámbitos intelectuales europeos. Reformando una idea que expresa en el *Misterio Cosmográfico* y que a la letra dice que hay “una simple alma en movimiento (*motricem anima*) en el centro de todas las esferas, esto es, que impulsa a cada cuerpo con más fuerza en proporción a qué tan

cerca está (éste del Sol)” [15, p. 199].

Para los finales del siglo XVI es evidente que el sistema ptolemaico, concebido a tono con la física aristotélica, sufría de serios problemas debido no solo a la competencia del copernicanismo sino también a la aparición de la nova de 1572 y del cometa de 1577, eventos que daban pie a argumentar que ni los cielos permanecían sin cambios ni existían esferas cristalinas que se movieran llevando consigo a los planetas. Esto último no encajaba que los cometas se movieran de manera que fueran atravesando las diversas esferas, lo cual debía ser el caso a partir de las observaciones sobre su posición a lo largo de varios días. Dado que no había destrozos en las esferas esto mostraba que no existían tales objetos cristalinos. Y entonces surgía la pregunta: ¿qué es lo que mueve a los planetas puesto que ya es más que dudoso que lo hicieran las esferas cristalinas? Kepler buscó una primera explicación en una vieja idea de los estoicos. Según esto, los cuerpos celestes poseían inteligencia, es decir, alma, y eran por lo tanto capaces de conducirse por sí mismos.

En el *Misterio* Kepler expresó que algo que buscaba fervientemente era, refiriéndose a los planetas, “las razones por las que los planetas son tales y no de otra manera: el número, tamaño y el movimiento de los círculos” [15, p. 63].

La respuesta a las dos primeras preguntas la proporcionaría en el *Misterio*, y a la tercera, a la que le añadió más tarde el preguntarse por su causa, la presentó en la *Astronomía Nova*, apelando a la regularidad matemática que se desprendía de los datos de Tycho Brahe. Tomando en cuenta que los periodos de los planetas más lejanos del Sol eran mayores que los de los planetas cercanos, pero que la proporción entre dichos periodos no correspondía a la proporción entre las distancias al Sol, dedujo que los planetas lejanos se movían más lentamente que lo que les correspondería según la proporción entre las distancia. Con base en ello se preguntaba si era el caso que las almas que los movían eran simplemente más débiles que las almas de los planetas vecinos, o si había alguna otra razón que explicara este comportamiento.

Kepler lo planteó de la siguiente manera:

“Hay dos posibles conclusiones: o las almas que mueven (*motrici animae*) son más débiles conforme están más alejados del Sol o solo hay un alma que mueve (*motricem animam*) [situada] en el centro de todas las esferas, esto es, el Sol, que impulsa a cada cuerpo con una fuerza proporcional a qué tan cerca esté (del Sol). [15, p. 199].

A esto le seguía una analogía con la luz, y a partir de ello es que inicia la construcción de la analogía entre la luz y la fuerza que se difunde como ella y que sería la causa eficiente que movería a los planetas.

Supongamos que, como resulta altamente probable, el movimiento es proporcionado por el Sol a través de un efluvio que se expande y afecta en la misma proporción a como lo hace la luz. La razón con la que la luz se esparce alejándose de su centro se debilita como lo establecen quienes se dedican a la óptica. Puesto que la cantidad de luz (repartida en la superficie) de una esfera es la misma que la cantidad de luz o de los rayos solares en una esfera menor. Por lo tanto está más concentrada en la esfera menor y más diluida en la mayor tanto para la luz como para el poder motriz (*motrice virtute*),² y es así como inicia el argumento de la analogía entre poder motriz, luz y ánima motriz³.

Antes de proseguir con la analogía hay que tomar en cuenta que Kepler expresó que incluso provistos de mentes, los planetas necesitan alguna indicación externa para saber dónde se encuentran en la órbita y que tan rápido deben de moverse, dado que tienen que acelerar y frenar en consecuencia. El único indicador disponible para el planeta es el diámetro del Sol. Así como los marineros no se pueden orientar en el océano sin indicadores físicos, tampoco las mentes planetarias lo podrían hacer en su órbita si estuvieran desplazándose en el vacío, sin nada que les sirviera de referencia, es decir, sin otro planeta, estrella, etc., en su entorno.

Con la influencia de un neoplatónico como Plotino, es natural para Kepler establecer analogías entre la luz que emana del Sol, la fuerza motora que se origina en el Sol y la fuerza creativa que emana de Dios, y todo esto como parte de la ‘teoría de las emanaciones’ de Plotino⁴. La analogía entre la luz y la fuerza motora era especialmente apta. Kepler creía que no solo se relacionaba con la Trinidad sino que se relacionaba de la misma forma con objetos físicos.

Kepler propuso que la fuerza motora, aunque no la consideró corpórea, tiene el estatus ontológico de ser potencialmente física: “la luz entre la fuente y el objeto que se mueve presenta un estado de llegar a ser más bien que de ser” [19, p. 82].

²Ver Minnameir, G. *Abductim, inductim and analogy. On the compound character of analogical inferences*. Publicado en Carnicello *et al*, *Model-based reasoning in Science and technology. Abduction, logic and computational discovery*. Springer, Vol. 314, pp. 107-119.

³*Mysterium, op. cit.*, p. 201.

⁴Para ver más sobre Plotino, su idea del pneuma que llena el vacío y conecta entre sí todos los ámbitos del Universo, y la teoría de las emanaciones, ver [1, pp. 61-66].

Kepler argumentó que a partir del poder de la fuerza motora que se origina en los cuerpos físicos y actúa en ellos, dicho poder puede ser descrito por las leyes de la geometría de la misma manera como sucede con la luz.

Como resultado, el efecto del poder de la fuerza motora se atenúa con la distancias, así como sucede con la luz, como ya se dijo, cuando se esparce sobre una área muy grande. La dispersión, es decir la pérdida de poder, explica la proporción inversa de la velocidad de los planetas con su distancia al Sol. Kepler notó que a pesar de que la luz sirve como una analogía útil, la fuerza magnética estaría un poco más cercana a la realidad en tanto que se buscaba algo que actuara, a distancia, sobre la materia, y por lo tanto sería una mejor analogía: “El ejemplo de los imanes es enteramente adecuado a la materia; ciertamente, aunque se encuentra un poco corto para ser la verdad misma” [19, p. 83].

Todas estas analogías comparten una característica común: están basadas en el supuesto de que las actividades celestes son similares a las terrestres. Aunque la unificación explicativa no era nueva con Kepler (ya que también fue utilizado por Tales s. VII a.C.) había una fuerte tradición de ver lo terrestre y lo celeste como cosas distintas, justo como lo divino y lo físico que no se combinaban. A pesar de que Kepler mantenía la distinción antes mencionada no pensaba que lo divino empezara en los bordes de la Tierra sino que pertenecía a otro plano totalmente diferente (el de los arquetipos).

Cualquier cosa accesible a los sentidos no posee un carácter divino, sino que es una representación material de dicho ente o forma sobrenatural. El universo físico incluye cuerpos celestes y estos cuerpos están sujetos a los mismos principios como otros cuerpos físicos puesto que ellos también fueron creados para mostrar los arquetipos. Para Kepler, entonces, su universo de arquetipos le permitió explotar el conocimiento de las causas terrestres sin requerir el más radical abandono de la distinción entre lo divino y lo mundano.

Para el final del capítulo 39 de la *Astronomía Nova*, Kepler había alcanzado a elaborar un bosquejo de cómo podría ser la nueva física y, tal vez más importante, de lo que no podría ser posible. La nueva física celeste no puede ser misteriosa, es decir, no puede recurrir a puntos vacíos en el espacio para elaborar explicaciones causales, y tal vez podría ser similar a la física terrestre.

En la *Astronomía* Kepler habla de “retraso” más que de “velocidad”, donde el retraso de un planeta es el tiempo que toma en abarcar un arco de su órbita. Si la velocidad

es baja es más largo el retraso. Stephenson argumenta que Kepler usa retraso en vez de velocidades porque los retrasos se pueden representar geoméricamente, mientras que las velocidades no [21, p. 62].

Dado que a partir de cierto momento Kepler concibió el Universo como ordenado bajo el esquema de arquetipos geoméricos, una representación no geométrica de los aspectos físicos de una órbita no sería susceptible a una justificación arquetípica.

En el capítulo 32 de la *Astronomía* Kepler argumentó que la interpretación física del modelo de los ecuantos implica que para arcos iguales en el ápside el retraso es proporcional a la distancia al Sol. Esta propuesta es conocida como la ley de distancias de Kepler, aunque él no se refiere como tal a esta propuesta.

Uno se pregunta qué tan difícil fue para Kepler darse por vencido en sus intentos de suponer órbitas circulares. Al rechazarlas no solo se encontraba en contra de la tradición que había perdurado durante siglos; también se dio por vencido en cuanto a la simplicidad de los cálculos de los círculos, y abandonó una explicación arquetípica obvia para la forma de las órbitas. Un estudio de la *Armonía* revela que Kepler estaba poco dispuesto a suponer que la órbita física fuera diferente de su forma como arquetipo. Una vez que determinó que la órbita no era circular, intentó construir un modelo para la órbita no circular, la cual creía, en un primer momento, que era un óvalo (Kepler mencionó que necesitaba una órbita oval en una carta a Fabricius en octubre 1, 1602). Aquí los compromisos metafísicos de Kepler se encuentran en primer plano, probablemente porque el óvalo posee una menor divinidad que el círculo, por lo que su selección requiere justificación metafísica. Esta cuestión se sugiere por el rechazo de Kepler a la primera definición física del modelo ovoide en el capítulo 45 de la *Astronomía*. El modelo fue construido con base en dos principios: los epiciclos giran uniformemente, y el movimiento del planeta alrededor del Sol no es uniforme pero es proporcional a la distancia. El problema que surgió fue que Kepler no podía generar la órbita geoméricamente, puesto que no podía determinar la longitud de arco atravesado en un tiempo dado a menos que uno conociera la longitud total de arco de la órbita, lo cual en este caso no puede ser determinada a menos que uno sepa la longitud de arco atravesado en un tiempo determinado. Al no tener el encaje geométrico correcto, el modelo oval no podía ser asimilado como expresión de una consideración de tipo arquetípica.

Stephenson notó que no hay nada físicamente problemático con el primer modelo de óvalo, y el rechazo de Kepler surge más por su gran interés en el modelo arquetípico que por razones derivadas del modelo físico [21, p. 103]. Kepler creyó que hay una correspondencia entre el modelo arquetípico y el modelo físico y si se obtiene el modelo arquetípico se puede confiar que el modelo físico es el correcto.

Si se observa el enfoque arquetípico de Kepler como una alternativa a la cuestión física, se oscurece el propósito de desarrollar modelos geométricos estéticamente placenteros, por lo que necesitan estar relacionados para construir la verdadera física astronómica. Esto debido a la correspondencia que Kepler espera debe existir entre criterios estéticos y la realidad tal y como se da.

Debido a las dificultades derivadas del primer óvalo, que creyó se ajustaban a las observaciones, en el capítulo 49 de la *Astronomía* Kepler ofrece un modelo de epiciclos modificado donde el centro del epiciclo se mueve alrededor del deferente de forma no uniforme con una velocidad inversamente proporcional a la distancia al Sol. Este modelo tenía menos adecuaciones empíricas que el primer modelo de epiciclos, pero fue también rechazado por Kepler debido a la falta de evidencia sobre la realidad física de los epiciclos. En el primer modelo de óvalo de Kepler los epiciclos pueden ser usados como dispositivos matemáticos; en el segundo esto no es posible porque su centro juega meramente un papel descriptivo. En el oval modificado, el movimiento del centro del epiciclo es determinado por la distancia al Sol, lo cual significa que la fuerza motora del Sol tendría que actuar desde un punto vacío del espacio y no desde un cuerpo. Por tanto, a pesar de que el segundo modelo se podría definir geométricamente, no tenía todos los requerimientos que Kepler exigía para ser físicamente plausible y empíricamente exacto. En el *Misterio* Kepler promovió el uso de un método *a priori* en conjunción con un método *a posteriori*, y algo de este método se puede observar explícitamente en la *Astronomía*.

Las hipótesis arquetípicas no fueron desarrolladas para respaldar los principales descubrimiento de Kepler. En lugar de ello aludió al arquetipo de la Trinidad para justificar la centralidad del Sol verdadero, pero esta alusión es la única en la *Astronomía*, a pesar de que los arquetipos son prominentemente marcados. Lo que se tiene en cambio es el uso de compromisos metodológicos motivados por la concepción de arquetipos del Universo de Kepler, y el uso de máximas extraídas a partir de su noción general de lo que un modelo

arquetípico completo podría ser.

Kepler usó el arquetipo de la Trinidad como un argumento *a priori* para respaldar su derivación *a posteriori* al justificar la centralidad del Sol verdadero. Kepler era capaz de justificar la propuesta de que el Sol provee la fuerza motora primaria en los terrenos donde los compromisos de su nueva física fueran filosóficamente coherentes y aceptables. Su concepción de los tres eslabones del Universo engendró el colapso en la distinción entre lo celestial y lo terrestre a pesar de que mantenía la distinción entre lo divino y lo físico. Esta visión también permite justificar que el modelo ovoide del capítulo 45 de la *Astronomía* pueda ser descartado. Kepler no podía cimentar completamente en la física sus argumentos finales en favor de la órbita de Marte, pero la convergencia de varios modelos geométricos hizo de su hipótesis un candidato para el encaje arquetípico. La nueva astronomía de Kepler, dirigida a través de consideraciones físicas, fue en última instancia cimentada en los compromisos arquetípicos para la unificación de diversos fenómenos y en la desconfianza que le provocaban los modelos geométricos.

Posiblemente la función más importante de los arquetipos en la astronomía física de Kepler puede radicar en el estudio de la órbita de Marte, si bien este proceder no se enmarcaba todavía en una metodología bien establecida y fundamentada. Por una parte, Kepler en ocasiones mostraba preocupación por establecer el mecanismo responsable de la órbita, mientras que en otras lo que Kepler consideraba modelos físicos no resultaban ser modelos del mecanismo sino meras representaciones cuantitativas del movimiento, sin un justificante físico de qué las engendraba. El camino hacia la astronomía física parecía haberse abierto, pero no estaba del todo configurado.

3.2. Método *a priori* y *a posteriori*: la evaluación de las hipótesis

El método *a priori* fue usado por Kepler para considerar las limitaciones humanas en donde lo *a priori* y *a posteriori* son y deben ser usados a la manera de apoyo mutuo. Dadas nuestras limitaciones debidas a nuestra naturaleza, la seguridad de una hipótesis es incompleta hasta que es apoyada por argumentos de todos los dominios relevantes. Un ra-

zonamiento *a priori* por sí mismo es hipotético en el sentido más débil, y un razonamiento *a posteriori* por sí mismo se refiere a una “conjetura afortunada”.

Al introducir su comparación de las distancias de los poliedros con las aportadas por Copérnico, Kepler escribió: “Pasemos ahora a las distancias entre las esferas astronómicas y las derivaciones geométricas: si no se encuentran en concordancia, la totalidad de la obra precedente ha sido indudablemente una ilusión” [19, p. 51].

Podría resultar extraño que Kepler se refiriera a las adecuaciones empíricas en los modelos como “conjeturas afortunadas”, pero uno debe tener en mente que él era bastante consciente de que las observaciones por sí solas son insuficientes para decidir entre modelos que compiten. La elección entre modelos con adecuaciones empíricas hechas sin evidencia empírica adicional equivale a una suposición que puede ser afortunada o desafortunada.

Hay varios indicadores que pueden establecer cuándo una hipótesis es causal. Así como se ha visto, Kepler basó estos indicadores en su concepción de Dios. Esta concepción y la manifestación de la esencia de Dios en los tres niveles provee “principios reguladores” [3, p. 273] para las indagaciones empíricas. Simplicidad, unidad, elegancia y racionalidad son parte de la esencia de Dios y por tanto son reflejadas, dado los tres niveles del Universo, en estructuras físicas. Esto implica que una consideración exitosa del Universo debe exhibir estos tres principios.

Para empezar, el razonamiento arquetípico es elegante y simple. Recordemos que Kepler basó el orden de sus figuras geométricas parcialmente en los terrenos de la simplicidad, con la esfera como la figura más simple y el hexaedro como el más simple de los sólidos regulares. Debido a que las razones de Dios para crear mecanismos causales son arquetípicas, las causas físicas serían simples también. Esto motiva la afirmación de Kepler según la cual la naturaleza es simple y “usa una causa para varios efectos”. Como resultado, una hipótesis que tenga identificada una relación causal es más probable en cuanto a su validez y debería ser también más fructífera. Dos tipos de utilidad son de interés en esta cuestión, la amplitud del rango de predicción y la amplitud del rango explicativo.

Kepler usó el primer tipo para argumentar una interpretación realista de la astronomía. Al hacerla respondía a aquellos críticos de Copérnico que argumentaban que la precisión de las observaciones puede ser obtenida a partir de hipótesis falsas. Kepler a su vez señalaba

que a pesar de que las hipótesis falsas pueden proporcionar predicciones exactas, dicho éxito es fortuito y limitado. La prueba para determinar si la exactitud de las predicciones es debida a una situación fortuita es aplicar la hipótesis a fenómenos relacionados pero para cuya explicación la hipótesis no fue originalmente construida: “Las conclusiones [correctas o acordes con la ‘realidad’] a partir de premisas falsas son accidentales, y la naturaleza de la falacia se traiciona a sí misma tan pronto como es aplicada a otro tema relacionado” [19, p. 52]. Por tanto, para que una hipótesis pueda competir como verdadera debe ser fructífera.

La explicación fructífera también fue vista por Kepler como una virtud significativa de las hipótesis. Kepler argumentó que las hipótesis copernicanas eran superiores debido a que podían responder a preguntas que seguían sin respuesta en términos de las hipótesis ptolemaicas. Por ejemplo, el sistema ptolemaico no puede explicar porqué la corrección de la órbita de Marte es más grande que la de Júpiter, y porqué la de Júpiter es más grande que la de Saturno. El sistema copernicano explica estos fenómenos en función de la distancia medida desde la Tierra.

Kepler también respaldó su hipótesis de los poliedros en una manera que evoca la noción de Lakatos de la productividad, donde las hipótesis progresivas explican hechos nuevos. Bajo este criterio, una hipótesis, al explicar fenómenos para los cuales no fue originalmente planteada, es un golpe de éxito para esa hipótesis [17, pp. 184-185].

Para Kepler, sin embargo, lo fructífero de una hipótesis es insuficiente para ser aceptada. Kepler agregó una cláusula en la que señala que la falsedad de una hipótesis será determinada también en términos de qué tan amplio es el rango de aplicación. Una hipótesis falsa no se “traicionará a sí misma” si gratuitamente se le permite al argumento adoptar un número infinito de otras proposiciones falsas. Ese no es el caso para alguien que coloca el Sol en el centro. En tal situación, si se pregunta qué se derivará de esa hipótesis, no se tendría dificultad en ningún punto de la explicación de cualquiera de los fenómenos observados en los cielos y, además, se podría regresar con completa consistencia hasta las mismas suposiciones.

Kepler parece haberse aproximado a la noción de que una hipótesis que permite o requiere muchas modificaciones *ad hoc* no es suficientemente apta para la evaluación epistémica favorable. La aplicación de tales hipótesis a fenómenos relacionados no mostrará si la

hipótesis es falsa. Por esta razón el modelo copernicano era superior al ptolemaico, a pesar de que los dos fueran en su tiempo empíricamente adecuados. El modelo copernicano permite precisar el número y el tiempo del movimiento retrógrado de los planetas al hacer el movimiento retrógrado una consecuencia del movimiento de la Tierra. El modelo ptolemaico, en contraste, salva las retrogradaciones por medio de una serie de dispositivos *ad hoc*, a saber, los epiciclos... muchos epiciclos, lo que hace menos plausible al modelo.

Posteriormente, Kepler sugirió una característica teórica que permite dotar de mayor fortaleza a un modelo o teoría y que llegaría a ser muy importante en la *Astronomía*: un modelo que impone suficientes restricciones (uno que no permite muchas modificaciones *ad hoc*) es más fácilmente calificable como superior a otro denominado laxo en cuanto a su poder explicativo basado en añadir suposiciones, principios o hipótesis *ad hoc*. Kepler escribió que el modelo ptolemaico, a diferencia del copernicano, no puede explicar el porqué o los detalles de las diferentes retrogradaciones. Con esto Kepler quiso enfatizar que los mismos datos proveen más evidencia para el sistema copernicano que para el ptolemaico. El movimiento retrógrado de los diversos planetas aporta pruebas o comprobaciones para el mismo modelo en el sistema copernicano (ciertamente, se mide el mismo parámetro, el movimiento de la Tierra), mientras que en el ptolemaico, el movimiento retrógrado es tratado de forma individual: un sistema de deferente y epiciclo por cada planeta. Además, el apoyo mutuo que se daban los datos empíricos y las formulaciones teóricas keplerianas le llevó a no restringir sus requerimientos metodológicos a la astronomía, y también requirió el mismo tipo de rigor para sus hipótesis arquetípicas.

Por otra parte, Kepler consideró que los argumentos en donde se toman relaciones entre números abstractos no pueden ser la base del plan divino. En una carta dirigida a Maestlin, Kepler escribió que uno no puede observar la relación entre arquetipos en la manifestación de propiedades accidentales, y que la relación entre los números era meramente accidental⁵. Cuando varios números parecen estar conectados entre ellos, la relación entre los números no es parte esencial de las propiedades de los números por sí mismos. Nada acerca de un número indica cuál de las relaciones se debe considerar. La elección es arbitraria. Las figuras geométricas, en contraste, contienen relaciones que resultan o que están irremediabilmente ligadas con la conceptualización misma de la figura, aun cuando estas propiedades no resulten evidentes. El hexaedro, por ejemplo, contiene la relación de

⁵En una carta escrita a Maestlin en Octubre 3, 1595.

igualdad de caras; uno no puede construir un cubo con caras irregulares. Adicionalmente, el acuerdo general de que la esfera y el círculo son las figuras más perfectas hace que uno pueda establecer un orden por grado de parecido entre los polígonos y los poliedros con el círculo y la esfera, respectivamente (Kepler establece esta cuestión más rigurosamente en la *Armonía*). No era claro para Kepler cómo se podría establecer el rango de similitud entre los números.

Si se acepta que se puede establecer un orden jerárquico entre las figuras geométricas, aunque no entre los números, un modelo de arquetipos basado en la geometría restringe las posibilidades para las modificaciones *ad hoc* en una forma que si se basara en los números no se podría hacer o no tendría sentido. Si no hay nada especial en los números en sí mismos que determine cuáles elegir y el orden en el cual son colocados –más allá que el ordenamiento que resulta del valor que les es asignado en tanto que contenido-, entonces son posibles un número infinito de arreglos arquetípicos de los números. Esta idea era un anatema para Kepler, quien creía que Dios no crearía algo sin una razón. Esto porque las razones de Dios para construir el Universo no fueron arbitrarias. Además, la naturaleza de los arquetipos a su vez debía implicar un tipo determinado de construcción. El Dios de Kepler es platónico, se vincula con las *formas*, no pitagórico, es decir, no depende de las propiedades o significados ocultos de los números en sí mismos, y por tanto un modelo apropiado está dado por la geometría y no por la numerología. Ésta es la razón por la cual Kepler estaba satisfecho con su hipótesis de los poliedros. Solo pueden ser cinco sólidos regulares y cuyas esferas inscritas y circunscritas -que determinan las esferas- pueden ser inscritas y determinan el número de órbitas. La justificación de este hecho la presenta Euclides al final del libro XIII de sus *Elementos*, como un comentario que casi cierra el capítulo después de mostrar que se pueden construir los cinco poliedros regulares⁶. Este criterio es una expresión total de los principios de unidad y orden. El Universo, para Kepler, es un reflejo de Dios y exhibe una notable coherencia con la unificación de diversos fenómenos bajo las hipótesis que plantea. La discusión de Kepler sobre un modelo fructífero y con constricciones resultó en que las hipótesis simples y de amplio alcance resultan más valiosas epistemológicamente. El mundo fue creado para ser conocido. Kepler observó y probó hipótesis como indicadores de mecanismos causales, lo cual sugiere que a partir de las hipótesis copernicanas encontró los requerimientos

⁶Sobre la demostración de la no existencia de más de poliedro regulares que los 5 mencionados se puede consultar el texto de Herman Weil (1952) *Symmetry*, p. 74, y la sección de la Wikipedia denominada [Platonic Solid](#).

de construcción y justificación que revelan la naturaleza de la realidad: “En todos esos puntos, un orden magnifico es mostrado por Copérnico, la causa necesariamente debe ser encontrada en eso” [19, p. 82].

Bajo la naturaleza del orden del universo físico, una teoría que exprese ese orden podría ser vista como una representación precisa en la cual la armonía arquitectónica, lo racional y lo físico se corresponden mutuamente.

Adicionalmente a los compromisos internos y metodológicos, los tres niveles que menciona Kepler y el ajuste con las hipótesis de otros dominios implican un incremento en la confianza en una hipótesis. Cualquier consideración de que una hipótesis es un candidato para armonizar con otras hipótesis de otros dominios resultaría en un candidato para ser una hipótesis correcta para los efectos para los que fue introducida. La meta de Kepler era enseñar que el patrón exhibido por los poliedros ocurre en otros lugares en la naturaleza, y que por lo tanto es un candidato a arquetipo.

A pesar que Kepler no cimentó sus cuentas astronómicas del *Misterio* en la física como lo hizo en la *Astronomía*, o en la forma como argumentó en la *Apología*, su concepción de patrones arquetípicos recurrentes en varias disciplinas fue un importante precursor conceptual para su construcción de la astronomía física. Una hipótesis que tiene sustento convergente de otros dominios es más viable que una que no lo tiene. Kepler consideró altamente improbable que se pudiera llegar a un acuerdo a partir de fuentes tan diversas si la hipótesis hubiera sido falsa. Se puede observar que la convergencia de evidencia hacia una sola conclusión hace muy improbable que la conclusión sea falsa.

Uno se pregunta si en este punto Kepler distinguió claramente entre la concordancia entre diversas fuentes empíricas y la concordancia entre diversas fuentes teóricas. Parece, en primera instancia, que sí lo hizo.

Los compromisos filosóficos de Kepler proporcionan recursos para manejar el escepticismo. Uno de los más grandes retos escépticos para la astronomía fue la existencia de la equivalencia observacional y la incompatibilidad de las hipótesis astronómicas. La concepción de Kepler del mundo como reflejo de dominios ontológicamente distintos pero nomológicamente reducibles ⁷, le dieron licencia para usar consideraciones de otros dominios y adjudicarlas a las hipótesis astronómicas.

⁷Refiriéndose a la física y a la astronomía, las cuales tenían diferentes áreas de conocimiento (dominios ontológicos distinto), sin embargo para Kepler es posible explicar la astronomía por medio de la física (principios nomológicos reducibles).

Kepler creía que uno puede, con razonable seguridad, descubrir la verdad acerca de la naturaleza del Universo. Como se nota en el capítulo 3 de la *Astronomía*, Kepler estaba bastante consciente de que la adecuación empírica era insuficiente para generar confianza al evaluar la hipótesis. La vía que prefiere es obtener convergencia teórica de varias disciplinas y ofrecer diversos tipos de argumentos de cada disciplina para valorar individualmente la plausibilidad de cada hipótesis.

Y en este caso se pueden encontrar dos tipos de unificación: la primera es la unificación interdisciplinaria, la cual toma en cuenta el acuerdo entre los resultados, en este caso consistencia de resultados de la física, la astronomía y la cosmología. A pesar de que estas disciplinas tienen diferentes objetos de estudio, los resultados deben ser coherentes entre sí. En el segundo, como se tiene el uso de diferentes argumentos que conducen a la misma conclusión en una misma disciplina, lo cual conlleva acuerdos a partir de diversos fenómenos y usando diferentes fenómenos para ocuparse del mismo parámetro. A pesar de todas estas concordancias, Kepler estableció que las hipótesis solo pueden ser plausibles, no certeras.

3.3. La importancia de la Mecánica

Dada la unificación o integración de las disciplinas bajo los diferentes arquetipos, Kepler puede aplicar la física terrestre a los cuerpos celestes. Con la física unificada de esta manera, Kepler buscó apoyo en la tradición de la mecánica, misma que desde la antigüedad, pasando por los tiempos romanos y los medievales, se había ocupado del estudio teórico y práctico de las máquinas. En la época de Kepler era plausible considerar esta disciplina como una mezcla aceptable de matemáticas y física.

Es posible pensar que el uso de las analogías por parte de Kepler contribuyó a su aceptación del uso de las matemáticas en la física. Frecuentemente recurrió a analogías entre las causas celestiales y la acción de las palancas, o su explicación del comportamiento de la luz, en ambos casos siendo posible recurrir a demostraciones matemáticas. El término usado para el movimiento planetario de aproximación y de alejamiento de Sol (movimiento de libración) es tomado prestado de la mecánica y su uso en el estudio del movimiento

de las palancas o balanzas. En el capítulo 57 de la *Astronomía Nova*, Kepler deduce el movimiento de libración a partir de la acción de las palancas, y asume que las causas naturales se encuentran en las leyes de las palancas. La libración planetaria es concebida como el resultado de fuerzas magnéticas que “se acercan y se alejan de acuerdo con la ley de las palancas” [14, p. 556]. Mediante la conexión de la física celeste con la mecánica, Kepler conectó con una fuente previamente aceptada de representaciones matemáticas de los cuerpos físicos.

Aquellos que veían a la mecánica como matemáticamente tratable, como fue el caso de Aristóteles y de Kepler, necesitaban explicar las relaciones entre las matemáticas y el mundo de la física. Harper y Smith hacen notar que “la mecánica tiene la tarea de encontrar los principios matemáticos que describen el movimiento y otras regularidades en el fenómeno de forma abstracta” [10, p. 124], es decir, pretende encontrar principios alternativos que puedan ser consistentes con el fenómeno. La relación entre las matemáticas y el mundo de la física proveería el procedimiento de decisión más adecuado. Las matemáticas estudian la forma de los objetos materiales en abstracción, mientras que la física estudia a los objetos materiales cualitativamente. Liebler, uno de los profesores de Kepler, también sostiene esta visión. Asimismo, para Kepler las cantidades existen solo como una idea a menos que ésta sea la forma del objeto:

“Si conocemos la definición de materia, pienso que es medianamente claro por qué Dios creó la materia y no otra cosa en el principio. Yo digo que lo que Dios intentaba era la cantidad. Para conseguirlo necesitaba todo aquello que perteneciera a la esencia de la materia; y la cantidad es una forma de materia, en virtud de ser materia, y la fuente de su definición” [13, p. 93].

En la cosmología de arquetipos de Kepler, la relación entre las matemáticas y el mundo de la física busca que la correcta descripción matemática de un cuerpo empalme con el modelo de arquetipos en su forma material. Kepler hace esta relación explícita en la *Armonía del Mundo*⁸, en donde él clasifica los tipos de relación matemática que pudieron participar en el plan creativo de Dios. Para Kepler y Aristóteles, la perspectiva matemática por sí misma no puede proveer información acerca de las causas físicas. Pero en los terrenos de la teoría de la física, las demostraciones matemáticas asociadas con las causas físicas son aceptables.

⁸*Harmonice Mundi* (1619).

La mayor parte del enfoque kepleriano de la mecánica inducida en la *Astronomía Nova* fue aristotélico, esto es, cualitativo. En el capítulo 33 introduce sus argumentos del Sol como fuerza primaria motora con una discusión sobre principios cualitativos. Por ejemplo, cuando argumenta que la causa del movimiento debe residir en el cuerpo, ya sea en el Sol o en el planeta, Kepler confía en la concepción de la esencia natural de las distancias: “la distancia es un tipo de relación cuya esencia reside en los puntos finales; si no se respetan los puntos finales, no puede haber una causa eficiente, por lo tanto se deduce que la causa de la variación de intensidad del movimiento es inherente a uno o al otro punto final” [14, p. 377]. Kepler pensaba que cuando una fuerza se propaga sobre una gran área, su efecto es debilitado y por tanto el retraso del planeta es proporcional a su distancia al Sol. Esta causa eficiente no puede ser considerada sin hacer referencia a las características esenciales que son coherentes con la intuición aristotélica acerca de cómo uno puede acercarse a la explicación.

Kepler introduce una discusión de naturaleza cualitativa de las propiedades magnéticas en los capítulos 34 y 35 de la *Armonía del Mundo*. El interés de Kepler en este punto es la comparación de la acción de los imanes y la debida al Sol, y por tanto no recurre a las demostraciones matemáticas. En el capítulo 39 su argumentación en contra de la posibilidad del movimiento en epiciclos se basó en axiomas cualitativos, en particular el axioma que establece que solo los cuerpos pueden exudar fuerzas. En el capítulo 57 Kepler representa el movimiento libratorio cuantitativamente e intenta enseñar cómo consideraciones matemáticas pueden ser derivadas a partir de las cualidades de los imanes.

Estos principios cualitativos, sin embargo poco aristotélicos en cuanto a contenido, no ofenden a la concepción aristotélica de la filosofía natural. Considérense los siguientes dos principios:

- I Construir modelos físicos asumiendo que solo los cuerpos físicos pueden ejercer fuerzas.
- II Negar que el sol promedio fuera la base para el modelo planetario, y rechazar el modelo de epiciclos al considerarlo solo una herramienta matemática dado que requiere del movimiento alrededor de un punto matemático.

Estos principios, bajo la estructura aristotélica, pertenecen al mismo género bajo la disciplina de la física.

Aunque Kepler empezó con principios cualitativos, sus modelos matemáticos del movimiento físico fueron más exitosos. Sin embargo su intento de mostrar las características magnéticas de las fuerzas que mueven a los planetas no fue exitoso al final. En el capítulo 57, después de un largo intento de comparación de las propiedades magnéticas con el movimiento planetario, Kepler mencionó que solo enseñó “las posibilidades generales del mecanismo propuesto” [14, p. 559]. Para entonces lo que Kepler tenía era una analogía imperfecta (el imán) y un elegante modelo matemático, -con limitantes propias de la primitiva, para sus propósitos, herramienta matemática a su disposición- del movimiento planetario. A pesar de que esta teoría cualitativa tuviera una capacidad restringida, Kepler tenía ahora una ruta abierta que Aristóteles no ofrecía. Dada la cosmología de Aristóteles, las demostraciones matemáticas pueden ser usadas en mecánica solo si son basadas en una teoría cualitativa sólida. En esto las matemáticas son indiferentes a los cambios físicos y por tanto no pueden proveer información acerca de los movimientos físicos. En contraste, dada su cosmología, Kepler tenía la opción de adjuntar las matemáticas ya fuera a una forma cualitativa o a la teoría de arquetipos. A diferencia de las matemáticas, los arquetipos no son indiferentes a los cambios físicos. Como resultado, donde fallan las consideraciones de la física, las consideraciones de los arquetipos pueden llenar esta brecha, revelando los aspectos formales de los cuerpos físicos que experimentan cambios.

3.4. El reemplazo del Sol promedio por el Sol verdadero

Es intrigante el hecho de que Kepler mantuviera el método de Mestlin para calcular distancias a partir del Sol verdadero en vez de recurrir al Sol promedio. Esta importante modificación iba en contra de todo lo ocurrido en la historia de la astronomía. A Kepler le preocupaba que este movimiento requiriera justificación, y sin embargo no ofreció una defensa detallada.

Los esbozos de defensa de Kepler parecen estar enfocados sobre el hecho de que las consideraciones cosmográficas dan apoyo a los cálculos basados en el Sol verdadero en vez de los cálculos realizados a partir de la distancia al Sol promedio. Estas consideraciones,

dado que él no poseía aún la evidencia empírica que exhibe en la *Astronomía*, llaman la atención por la naturaleza –hoy inadmisible– de su esencia, como lo sería la analogía entre la Trinidad y su concepción y las causas físicas. También llama la atención la disminución en torno de que los puntos geométricos no pueden ser causa de movimiento, habiéndolo articulado mejor en la *Astronomía* que en el *Misterio*.

Una de las primeras cosas que Kepler hizo en la *Astronomía* fue argumentar que tanto los modelos físicos como los astronómicos deben ser construidos a partir de tomar como referencia al Sol verdadero y no al Sol promedio, ya que la ubicación del Sol promedio es un punto vacío que en el sistema copernicano es el centro de la órbita de la Tierra. Gingerich comentó que “la idea es tan importante que tal vez se le podría llamar la ley cero de Kepler. Es un signo del genio de Kepler ya que él rápidamente reconoció esto como el primer movimiento crucial para reformar la astronomía” [8, p. 264].

Kepler argumentó en varios puntos la “ley cero” a lo largo de la *Astronomía* y presentó argumentos que dependían de resultados previos.

Además también consideró que es más plausible físicamente que la variación del tiempo al atravesar arcos iguales fuera proporcional a la distancia al Sol y no a algún punto vacío, es decir, que no correspondiera a la ubicación de algún cuerpo material. ¿Cómo explicar un movimiento que no podía asociar con algún ente material que lo produjera? Kepler había observado que los planetas superiores se movían más rápido cuando se encontraban más cerca del Sol, lo cual implicaba que el Sol podría ser el generador de la fuerza o impulsor del movimiento. Kepler consideró implausible que un punto vacío causalmente interactuara con el cuerpo de los planetas, forzándolos a moverse. Si el motivo de la fuerza se encontrara situada en los planetas mismos, él no veía porqué los planetas orbitarían alrededor de un punto vacío. Y si los planetas al moverse lo hicieran a causa de una mente cuya voluntad las movía, las preguntas serían, ¿cómo se orientarían alrededor de un punto vacío?, y ¿qué marcador podría usar la mente para determinar su posición correcta en el espacio?.

Kepler se volvió más prolijo en cuanto a buscar sustento en la física y ello se hace patente en las intuiciones físicas que maneja en la *Astronomía*. Eventualmente las dificultades físicas y filosóficas inherentes en los varios modelos del Sol promedio fueron suficientes para descartarlo.

Kepler también tenía razones arquetípicas para preferir el Sol verdadero, como lo mencionó en el capítulo 2 de la *Astronomía*. Su analogía con la Trinidad relaciona el Sol con Dios, el centro metafísico del Universo y la fuerza creativa. (Copérnico tenía compromisos metafísicos similares con el Sol, aunque estos no fueran tan fielmente reflejados en su astronomía)⁹ Kepler no mencionó la analogía de la Trinidad en esta sección, pero comentó en la introducción que no repetiría sus argumentos del *Misterio* y simplemente hace referencia a ellos. Esto sugiere que mientras él aún considera tales argumentos dignos de ser tomados en cuenta, no los incluyó dentro de la temática de la *Astronomía*.

Uno se pregunta qué tan importante era la analogía de la Trinidad en Kepler. Mientras que la conexión entre las figuras circulares—y el movimiento de los objetos celestes era una idea comúnmente aceptada, la analogía entre la Trinidad y los aspectos estacionarios de los cielos no era tan exitosa. En el *Misterio* Kepler puso menos énfasis en la Trinidad que en los poliedros. No es posible discernir si esto se debió a la importancia filosófica que poseían desde su uso en el *Timeo* platónico o como consecuencia de la cercanía entre el modelo de los sólidos y la distancia relativa de los planetas; los compromisos metodológicos y epistemológicos de Kepler sugieren que fue a consecuencia de lo segundo.

La analogía de la Trinidad tiene pocas de las virtudes que Kepler adscribe a los fenómenos. Por sí sola la analogía de la Trinidad tuvo poca importancia para Kepler, pero ello no implica que no jugara un papel relevante en los “compromisos” de Kepler con el Sol verdadero. Kepler enfatizó la importancia de ser capaz de obtener la misma conclusión de una variedad de fuentes. Tal vez la mejor explicación para la confianza de Kepler en el Sol verdadero, y que lo llevaron a realizar laboriosos cálculos, es la convergencia del sustento que le aportaban tanto la física como la metafísica.

Los argumentos empíricos de Kepler con relación a las ventajas de preferir los movimientos planetarios respecto del Sol verdadero tienen características que podrían estar comprometidas con la armonía arquitectónica. Mientras que las restricciones de simetría de los modelos astronómicos eran usualmente las mismas se puede observar cómo la cuestión de la simetría posee un significado extra más profundo para Kepler, quien creía que el Universo es geoméricamente elegante y la simetría ciertamente es parte de esa elegancia.

⁹Sobre los vínculos o fuentes de inspiración que sustentaría la probabilidad de que el Sol ocupara el centro del universo, véase E. Garin, “La revolución copernicana y el mito solar”, capítulo de *La revolución cultural del Renacimiento*. Barcelona, Grijalbo, 1981, pp. 273-302.

La simetría en el tiempo tomado para atravesar arcos iguales de distancia, y la elegancia, en cuanto a inclinación estable, del modelo del Sol verdadero podrían parecer, hoy día, tan estéticamente placentera como lo fue para Kepler en su momento.

Como el título completo lo anuncia, la *Astronomía Nova* es una investigación sobre el movimiento de Marte por medio de la consideración de las causas físicas y guiada por consideraciones arquetípicas, es decir, incluir ciertos principios cosmológicos en la física. Para ello Kepler necesitaba desarrollar una nueva física, dado que la física tradicional de Aristóteles era inapropiada para dicha tarea. Kepler falló en este intento, en gran parte por el manejo de las causas eficientes –erróneas– y la incapacidad de abandonar los planteamientos aristotélicos. Sin embargo mantuvo su compromiso con los arquetipos y la confianza que éstos le daban de encontrarse trabajando en una buena dirección.

Gracias al uso sistemático de los datos de Brahe, Kepler avanzó en su guerra contra Marte, como él la calificara, en tanto que se trataba de superar el desafío planteado por la posición planetaria que no parecía acomodarse a una órbita circular, tal y como Kepler pretendía hacer[22, pp. 4-25] ¹⁰. Sin embargo los datos de Brahe no le proporcionaron suficiente guía y apoyo para obtener una solución final al problema de la descripción y explicación del movimiento planetario y por tanto se ocupó de lo que recomendó en la *Apología* acerca de sentar las bases de la astronomía en la física.

Kepler no escribió un tratado metodológico de filosofía natural en la *Astronomía Nova*. Lo más cercano a una metodología se puede encontrar en la *Apología*, escrito cuando frisaba apenas los 30 años, y en la cual intentó expresar su posición por medio de explicaciones adecuadas y pruebas donde sentía la necesidad de justificar ciertos reclamos.

La *Apología* es un tratado que resultó de una petición directa de Tycho Brahe, con quien aspiraba a establecer una colaboración, y va dirigido en contra de un oponente específico, Nicolaus Reimers Baer, también conocido por el nombre de Ursus. Como resultado, el enfoque de Kepler debe ser “construido” poco a poco a partir de comentarios que hace y del uso que menciona acerca de consideraciones metodológicas.

¹⁰Ver también Aiton, E. “Kepler’s path to the construction”.

La idea que resalta es que la conjunción metafísica y epistemológica le otorgó a Kepler un sistema pragmático para establecer los requerimientos necesarios para otorgar confiabilidad a las hipótesis y poder superar planteamientos alternativos para explicar una fenomenología.

Capítulo 4

Filosofía natural kepleriana

Dentro de los textos de Kepler, la *Apología* resulta significativa por su enfoque epistemológico, pero debido al propósito por el cual fue escrito no puede ser tomado como una presentación acabada del pensamiento kepleriano sobre la filosofía natural de Kepler. No obstante, el texto proporciona recursos valiosos y novedosos sobre la forma apropiada y las bases de las hipótesis astronómicas y, más aún, lo que significa propiamente evaluarlas.

4.1. La defensa del sistema ticomónico

La *Apología* fue escrita en 1600 como una defensa de Tycho Brahe en su disputa contra Nicolás Baer, o Ursus -‘oso’ en latín, puesto que Baer significa ‘oso’ en alemán-, y se centraba en cuestiones de prioridad sobre la disputa del sistema ticomónico¹. Sin embargo no fue publicada sino hasta 1858. Este texto de Kepler, fundamental para entender los supuestos epistemológicos que guiaron la obra kepleriana, forman parte de un libro publicado en 1988 por Nicholas Jardine bajo el sugerente título *The birth of history and philosophy of science. Kepler’s defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and significance*.

¹Ticomónico o ticomónico. Referido al sistema astronómico propuesto por Tycho Brahe (1546-1572). El sistema de Tycho es una especie de modelo de transición entre la teoría geocéntrica de Ptolomeo y la heliocéntrica de Copérnico. En el sistema de Tycho el Sol y la Luna giran alrededor de una Tierra inmóvil mientras que los 5 planetas conocidos en la época lo hacían alrededor del Sol (y de la Tierra).

Nicholas Jardine, en su ya multicitado estudio histórico y epistemológico sobre la astronomía y la ciencia de Kepler especula que si la *Apología* se hubiera publicado mientras Kepler se encontraba con vida, y hubiera recibido la atención debida en ese tiempo, podría ser ahora un clásico a la par de las reflexiones sobre el cuestionamiento de la naturaleza humana como los son las *Indicaciones relativas a la interpretación de la naturaleza* y el *Discurso del método* [12, p. 5]. Jardine, además considera que si un trabajo puede ser ubicado como la marca del nacimiento de la historia y la filosofía de la ciencia, éste es la *Apología* de Kepler.

Ursus, como varios de los astrónomos del siglo XVII, vieron a las hipótesis astronómicas como dispositivos meramente predictivos, y su actitud epistemológica puede ser considerada como una forma de evitar conflictos entre las adecuaciones empíricas y las hipótesis astronómicas.

En la *Apología* Kepler empieza hablando sobre la forma como la astronomía se apropia del término hipótesis en su léxico. Establece que los terrenos de la lógica se extienden sobre todas las ciencias y, en consecuencia, la palabra y el concepto de hipótesis también fue retomado de ahí; sin embargo, como en la astronomía se realizan demostraciones de índole geométrico, las hipótesis en astronomía no comparten el mismo sentido que en la lógica, y en su lugar adoptan la forma como se les considera en geometría.

Kepler califica como hipótesis en astronomía a cualquier cosa que se encuentre en camino de ser demostrada, pero considera que si bien en los silogismos se llama hipótesis a lo que de otra forma se le llamaría proposición o premisa, cuando los argumentos son extensos e incluyen varios silogismos subordinados en la astronomía, a la premisa inicial se le llama hipótesis en astronomía.

Además en astronomía, cuándo se hace uso de números y figuras con relación a una estrella a la cual se está estudiando y se ha observado de forma meticulosa, las observaciones que se registraron sobre dicha estrella constituyen una hipótesis a partir de la cual realizamos las demás inferencias.

Para que se pueda llegar a una verdad a partir de las premisas de un silogismo, se debe de partir de hipótesis verdaderas; sin embargo, si se tiene algún error en alguna de las primeras hipótesis también puede suceder, por cuestiones de suerte o porque unos errores cancelan otros, que en algunas ocasiones se llegue a alguna conclusión verdadera. Esto

no sucede en todos los casos, pero si se contrasta una proposición con otra proposición del silogismo es posible obtener la verdad puesto que las proposiciones no mantendrán la concordancia entre sí, y por lo tanto, como consecuencia de la conexión entre las hipótesis en una demostración, cuando se tiene un error en una de las hipótesis, esto se extiende al resto del razonamiento y se generan un gran número de errores en las conclusiones.

4.2. Equivalencia observacional

Kepler respondió al problema de las equivalencias observacionales desde tres frentes: evaluación de hipótesis, la naturaleza e interpretación de las hipótesis, y el uso de consideraciones externas. Su conclusión es simple y efectiva; las hipótesis correctamente formuladas y evaluadas no presentan evidencia equivalente, puesto que si lo hicieran se reducirían a la misma hipótesis.

Rothmann, uno de los principales matemáticos y astrónomos de la época, expresó por medio de cartas² a Tycho que “a pesar de que hay hipótesis disparatadas que pueden proveer exactamente los mismos resultados en astronomía, frecuentemente presentan diferencias en las conclusiones debido a algunas consideraciones físicas” [12, p. 141]. Para Kepler lo que serían estas consideraciones físicas podría corresponder a las fuerzas físicas y las constricciones arquetípicas.

4.3. Las hipótesis geométricas y las hipótesis astronómicas

Un aspecto crucial en el realismo de Kepler se revela en su distinción entre las hipótesis geométricas y las astronómicas. Una hipótesis astronómica está basada en lo que es *de facto* la órbita del planeta, la que en verdad sigue, mientras que la hipótesis geométrica corresponde a la manera como se construye la órbita y su resultado, la representación.

Tal vez el mejor ejemplo conocido de equivalencia observacional sea la representación de las órbitas planetarias por medio de esferas concéntricas o de deferentes y epiciclos, o por

²Cartas escritas en octubre de 1587 y octubre de 1588.

excéntricas.

Las hipótesis astronómicas, en contraste con las geométricas, se diferencian en las consecuencias empíricas, ya que el movimiento y el camino de los planetas por sí mismos son representados de diferente manera. Las hipótesis geométricas son usadas simplemente para predecir las posiciones de los planetas, mientras que las hipótesis astronómicas corresponden al movimiento planetario.

La distinción entre las hipótesis astronómicas y las geométricas solo cobró interés después de que Brahe presentara sus argumentos sobre la no existencia de las esferas sólidas. Como consecuencia de ello, la órbita del planeta empezó a cobrar mayor importancia que la representación por medio de círculos, y las diferencias de construcción geométrica pudieron verse como representaciones del mismo fenómeno ya que anteriormente representaban diferentes sistemas físicos con las mismas consecuencias observacionales.

Kepler concluye que dos hipótesis geométricas no compiten porque representan el mismo movimiento planetario. La diferencia entre las dos es el método geométrico para construir la órbita, no la órbita por sí misma. Por lo tanto la discrepancias entre las dos no ofrece diferencia alguna para la astronomía.

Kepler observó que la fuente de conflicto podría ser ocasionada por una confusión al distinguir entre la apariencia y la realidad. En astronomía, en particular, esta diferencia resulta necesaria. Por ejemplo, si se considera el movimiento irregular de los planetas basado solo en los datos observacionales se tendría que en apariencia no están sujetos a ninguna regla, lo cual se encuentra en conflicto con la perfección de los cielos. Por otro lado, también se puede encontrar la importancia de distinguir lo real y lo aparente como consecuencia de la separación radical de los cielos y la Tierra.

Para Kepler la relación entre la apariencia y la realidad se sostiene en la idea de que la sustancia material es obediente al plan racional divino y fue creada como medio de expresión de los arquetipos.

Kepler ocupó el terreno medio entre lo real y lo aparente. No niega que las observaciones pueden contribuir con la adquisición de conocimientos, y en ese sentido establece que hay una relación entre el movimiento aparente y la órbita real. El error surge al asumir que la única alternativa para registrar el movimiento aparente es determinar *a priori* la forma

geométrica adecuada de construir el movimiento planetario. El movimiento aparente es causado por la órbita y proporciona información acerca de eso.

La distinción de Kepler entre la apariencia y la realidad no lleva a considerar las observaciones como engañosas o innecesarias para explorar la naturaleza de la realidad. En vez de eso hace un reconocimiento de los distintos roles de la observación y la razón, lo cual implica relaciones específicas entre las distintas tareas en la astronomía.

Para Kepler lo material provee el sustento para convertirse en un reflejo de lo racional, y por ende las observaciones pueden ser ordenadas por la razón. Por lo tanto las tareas de predicción y de explicación de los fenómenos celestes se encuentran dentro de los terrenos del astrónomo. Las observaciones se relacionan con las hipótesis al permitir y restringir el proceso del descubrimiento. La teoría se obtiene por el ordenamiento racional de los datos registrados para después poder inferir nuevas observaciones basadas en la teoría construida sobre la hipótesis a la que darán lugar los datos.

El respaldo de Kepler para el método *a priori* no es una negación de la importancia de los datos empíricos sino un énfasis del rol que juega la razón para descubrir el orden que subyace a los datos.

4.4. La evaluación de las hipótesis astronómicas

Kepler generalmente requirió que las hipótesis pudieran ser aplicadas a una variedad de fenómenos, y que el uso de proposiciones *ad hoc* para salvar las hipótesis de la evidencia que no las confirma fuera restringido. La “relación de silogismos” provee un método para la comprobación de los errores. Consecuentemente una hipótesis que cubre un amplio rango de fenómenos y requiere menos proposiciones *ad hoc* es preferible a una que se aplica solo a un estrecho rango de casos y que requiere muchas adecuaciones para salvar los huecos, ambigüedades o vínculos entre lo que ocurre y su enlazamiento con la hipótesis que supuestamente lo explicaría.

Mientras que en el *Misterio* Kepler argumentó que una hipótesis falsa se traicionará a sí misma al aplicarse a diversos datos, y estableció que a partir de hipótesis verdaderas y adecuadas se puede derivar cualquier fenómeno que se observe en los cielos, en la *Apología*

hace una propuesta más general: una hipótesis falsa se traicionará a sí misma cuando se vincule con otras hipótesis durante la demostración. Este requerimiento produce más consistencia interna que si solo se considera la dependencia con los datos.

El énfasis en las relaciones entre los diversos elementos que constituyen una teoría proviene directamente de la concepción estética de Kepler del Universo como una revelación a partir de un pequeño grupo de principios simples. La variedad y aparente desorden que se puede encontrar en el mundo es realmente una expresión generada por los contrastes entre unos pocos principios estéticos. La generación de algo complejo a partir de lo simple debería reflejarse y ser una característica de una buena teoría. Además, Kepler argumenta que para que los datos sean autoconsistentes se necesita que la evaluación de ellos se realice de forma geométrica y física. No puede suceder en astronomía que si una teoría está cimentada en hipótesis falsas resulte verdadera en todos los aspectos que de ellas se deriven.

4.5. La evolución de Kepler en la noción de evaluación

En la *Apología*, Kepler comentó que se puede considerar la relación entre los silogismos como un método para revelar errores. Sería preferible que la teoría por sí sola estableciera esos vínculos, ya que una teoría cuyas partes estén interconectadas lógicamente es más evaluable que una con un número de hipótesis independientes. Esto porque en el primer caso al determinar el valor de un parámetro esto tendría implicaciones para el valor esperado de otros parámetros. Esta restricción para las teorías con modificaciones *ad hoc* es interna.

La relación entre los silogismos está implicada en el modelo copernicano pero no en el ptolemaico. Esto hace del copernicano un modelo más evaluable, a pesar de que ambos salvan los mismos fenómenos. Nada en el sistema ptolemaico regula el salvar los fenómenos por una serie de dispositivos *ad hoc*. (e.g., cambiar el tamaño y el número de los epiciclos). Lo más importante de las constricciones en el sistema ptolemaico se puede resumir así: se considera una Tierra estacionaria, y que todos los movimientos alrededor de la Tierra deben ser obtenidos con base en círculos o combinaciones de círculos. Estas constricciones, por sí solas, no determinan el movimiento retrógrado ni éste se puede obtener de aquéllos.

Además, al cambiar el modelo para obtener el movimiento retrógrado de un planeta no afecta el modelo de otro planeta. En contraste, en el sistema copernicano el movimiento retrógrado es el resultado directo de la órbita de la Tierra y de la velocidad relativa de los planetas interiores y exteriores a dicha órbita. De aquí resulta que los varios movimientos retrógrados son unificados y vinculados mediante la hipótesis del movimiento de la Tierra.

A pesar de que la concepción de Kepler de la evaluación de las hipótesis está relacionada con una estética de lo divino, la garantía epistemológica no proviene de las características estéticas, sino de la evaluación de la teoría. Por tanto, mientras que la armonía de las hipótesis defiende el sistema ptolemaico, el acuerdo de las hipótesis provee evidencia para el copernicano, porque este acuerdo es un resultado predicho por el modelo.

La relación concebida por Kepler entre lo estético y la evaluación le permite que los mismos datos proporcionen más evidencia pero en favor del sistema copernicano. Mientras que los modelos ptolemaico y copernicano podrían ser observacionalmente equivalentes, sin embargo no ofrecen pruebas equivalentes.

El uso de consideraciones extra-astronómicas (específicamente físicas) en astronomía es justificado por la noción de que varios objetos y eventos estudiados por diferentes disciplinas son reflejos de los mismos arquetipos. En la cosmología de Kepler, el apoyo que proporciona la convergencia de varias disciplinas es una garantía para la seguridad de las hipótesis y la forma apropiada de evaluarlas descansa en su visión de que el universo es un sistema ordenado y unificado.

4.6. La inclusión de la física en la astronomía

El propósito de incluir a la física en astronomía no es algo tan radical. Como Duhem menciona, “la historia de la astronomía se encuentra llena de ejemplos de teorías astronómicas que se encuentran constreñidas a la física” [5, pp. 113-117].

Aristóteles, por ejemplo, requirió basarse en la física para que los planetas rodearan a la Tierra moviéndose en estructuras concéntricas. Kepler claramente también aprobó y

argumentó que varios de los avances que se han hecho en la historia de la astronomía fueron el resultado de la inclusión de consideraciones físicas.

Esta sorprendente actitud (para su tiempo) fue justificada por la creencia de que las teorías verdaderas y los arquetipos se reflejan entre sí. Como existen pocos patrones arquetípicos pero varios tipos de objetos en el mundo, se puede esperar encontrar el mismo patrón arquetípico en diferentes disciplinas. Por lo tanto, el desarrollo de una disciplina puede influir en otras disciplinas. Esta norma es mucho más estricta que solamente permitir consideraciones físicas para restringir a la astronomía. La meta de Kepler era relacionar disciplinas para crear una imagen del Universo consistente y unificada.

4.7. El pensamiento de otros astrónomos, entre ellos Ursus

Es posible obtener de la *Apología* la forma de pensamiento de algunos astrónomos de la época de Kepler sobre las hipótesis y las observaciones. Por ejemplo, Ursus declara que las hipótesis astronómicas son artificios de la imaginación con el objetivo de observar el movimiento de los cuerpos celestes y no constituyen la forma de cómo es el sistema del mundo. Niega además que una hipótesis pueda ser falsa. Esto resulta familiar ya que también se puede encontrar este tipo de ideas en la “carta al lector” que escribe Andreas Osiander, haciéndola pasar como obra del propio Copérnico para el revolucionario libro *Sobre los giros de los orbes celestes* del astrónomo polaco.

En respuesta Kepler establece que se puede observar el movimiento celeste sin tener alguna opinión de como se comportan los cielos y que la observación de los cuerpos celestes guía a los astrónomos para ir por el buen camino. Según esto primero se perciben las posiciones de los planetas en tiempos diferentes, se registran para luego por medio de la razón utilizarlos para construir la forma del Universo. Es del conjunto de estas formas derivadas de las observaciones de donde se obtiene el conjunto de hipótesis astronómicas.

Para Kepler una persona que puede calcular el movimiento de los cuerpos celestes y decir en dónde se encontrarán estos después de un tiempo, está desempeñando correctamente el papel del astrónomo, pero una persona que adicionalmente a esto busca investigar la naturaleza de las cosas y recurre para ello a características verdaderas sobre la forma del

Universo, representa mejor el papel del astrónomo, y es más digno de alabanza.

A partir del análisis realizado a lo largo de la tesis, es posible percatarse que Kepler atravesó por distintas etapas y necesidades metodológicas en sus planteamientos astronómicos.

Sin embargo, queda claro que los arquetipos y la importancia que Kepler le da a las observaciones astronómicas, principalmente las de Tycho, es debido a que eran sistemáticas y precisas, y muestra los compromisos metodológicos y epistemológicos que siempre estuvieron vigentes en su labor.

Capítulo 5

Conclusiones

Kepler fue claro y constante acerca de una cuestión: la astronomía es capaz de proveer una verdadera descripción del movimiento de los planetas. Además, fue un visionario al pretender sentar las bases de la astronomía en la física.

Con respecto al objetivo de esta tesis se puede concluir que más que aristotélico, Kepler estableció su ruta hacia la verdad astronómica bajo la influencia de ideas platónicas y pitagóricas, mismas que se hacen presentes a lo largo de su trabajo astronómico. Ciertamente es posible ver en la sección 2.6 que utiliza argumentos distintos en física y en astronomía, sin embargo en última instancia por medio de los arquetipos puede reducirlos nomológicamente.

Además, se puede observar que para Kepler resultaron más sustanciales los compromisos que limitan las adecuaciones de las hipótesis *ad hoc*, y el método *a priori* y *a posteriori* para la evaluación de las hipótesis, así como su irreductible compromiso con los datos observacionales.

En el *Misterio Cosmográfico* Kepler distingue entre los recursos empíricos y los recursos estéticos, así como el rol que cada uno representa. Lo empírico determina el modelo que se propone como candidato para explicar el mundo, y lo estético explica las causas finales y formales de dicha estructura.

La *Astronomía Nova* no es un tratado metodológico de filosofía natural. Sin embargo, de su lectura se puede extraer que una de las características metodológicas en este texto es que tanto los modelos físicos como los modelos astronómicos deben de ser constituidos a

partir de tomar como punto de referencia al Sol verdadero y no al Sol promedio, ya que la ubicación del Sol promedio es un punto vacío, mientras que en el sistema copernicano es el centro de la órbita de la Tierra, y en él ubica al Sol. Esto es tan importante que Owen Gingerich, astrónomo e historiador de primera línea, comentó que “se le podría llamar la ley cero de Kepler. Es un signo del genio de Kepler ya que él rápidamente reconoció esto como el primer movimiento crucial para reformar la astronomía” [8, p. 264].

Esta tesis no pretende mostrar los planteamientos matemáticos que llevaron a Kepler a formular lo que hoy se conoce como las tres leyes que llevan su nombre, sino mostrar el camino, por medio de los compromisos metodológicos y epistémicos, que llevó a un hombre de ciencia a cruzar el umbral que separaba una astronomía anclada en la visión aristotélica del mundo de una nueva astronomía que se sustentaba en establecer un enlace entre el modelo geométrico y las observaciones de las posiciones de las estrellas y los planetas en el firmamento. A partir de ellos el nuevo paso sería, apoyándose en una nueva física -que él no llegó a elaborar- y en la geometría, establecer una noción novedosa para su época: la de ley física.

Bibliografía

- [1] ARMSTRONG, A. HILARY. (1937) “Emanation in Plotinus.” *Mind* 46:181.
- [2] ARMSTRONG, DAVID MALET (2016) *What is a Law of Nature?*, Cambridge University Press.
- [3] BUCHDAHL, G. (1972) “Methodological Aspects of Kepler’s Theory of Refraction.” *Studies in History and Philosophy of Science* 3:265–98.
- [4] CONFORD, F.M. (1937) *Plato’s Cosmology: The Timaeus of Plato*, Routledge, 53 C-57 A.
- [5] DUHEM, P. ([1908] 1969) *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physics a Theory From Plato to Galileo*. Translated by E. Donald and C. Maschler. Chicago: University of Chicago Press.
- [6] FIELDER JH. (1976) Chorismos and emanation in the philosophy of Plotinus. En R. Baine Harris (ed.), *The Significance of Neoplatonism*, State University of New York Press, pp. 101—120.
- [7] GRANT, E. (1984) *In Defense of the Earth’s Centrality and Immobility: Scholastic Reaction to Copernicanism in the Seventeenth Century*, Transactions of the American Philosophical Society, Vol. 74, No. 4, American Philosophical Society.
- [8] GINGERICH, O. (1975) *Kepler: Four Hundred Years*,, edited by A. Beer and P. Beer, pp. 261–78. *Vistas in Astronomy*, vol. 18. New York: Pergamon Press.
- [9] GINGERICH, O. (1975) “The Origins of Kepler Third Law”, *Vistas en Astronomy*,18.
- [10] HARPER, W. Y SMITH G. (1995) *Newton’s New Way of Inquiry. In The Creation of Ideas in Physics*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.

-
- [11] HOLTON, G. (1973) *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard University Press.
- [12] JARDINE, N. (1984) *The Birth of History and Philosophy of Science. Kepler's Defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and significance.*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [13] KEPLER, J. (1981) *The Secret of the Universe*, Abaris Books, New York.
- [14] KEPLER, J. (1992) *New Astronomy*, Cambridge University Press, New York.
- [15] KEPLER, J. *Mysterium Cosmographicum: The Secret of the Universe*. Trad. de A.M. Duncan. Int. y comentario de E. J. Aiton, con prefacio de I.B. Cohen.
- [16] KOESTLER, A. (1969) *The Act of Creation*, New York: Macmillan.
- [17] LAKATOS, I., Y ZAHAR, E. ([1976] 1978). "Why Did Copernicus's Programme Supersede Ptolemy's?" *The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers*, vol. 1, edited by J.Worrall and G. Curry, Cambridge University Press.
- [18] METHUEN, C. (1998) *Kepler's Tübingen: Stimulus to a Theological Mathematics*, Ashgate Publishing Company, United States of America.
- [19] MARTENS, R. (2000) *Kepler's philosophy and the new astronomy*, Princeton University Press, United Kingdom.
- [20] SHIELDS, C. (2007) *Aristotle*, Routledge, New York.
- [21] STEPHENSON, B. (1987) *Kepler's Physical Astronomy.*, New York: Springer-Verlag. Reprinted by Princeton University Press, 1994.
- [22] WILSON, C. (1968) *Kepler's derivation of the elliptical path*, ISIS 59.
- [23] ZILSEL, EDGAR. (1942) "The genesis of the concept of physical law." *The Philosophical Review*, Vol. 51, No. 3.

Índice de figuras

1.1. Esquema de las esferas concéntricas de Eudoxo. Imagen tomada de la referencia [19].	9
1.2. Modelo básico de epiciclo y deferente	10
2.1. Modelo planetario con base en los sólidos regulares. Imagen tomada de http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-3/Articulos/Alvarez.htm	28