

## LA RECENSIÓN DE LAS LEYES DE KEPLER EN INGLATERRA

JONATHAN TABORDA

*A Johannes Kepler y Galileo Galilei, con motivo del cuadragésimo aniversario de la Astronomia Nova y del Sidereus Nuncius.*

RESUMEN. El objetivo de la presente nota consiste en la discreta reconstrucción racional que se llevó a cabo durante los años 1609-1630 y 1630-1666, i.e, el año de la publicación de la *Astronomia Nova* y el año del fallecimiento del gran Astrónomo Alemán Johannes Kepler; y el posterior intervalo desde su deceso hasta el conocimiento de dichas leyes del movimiento planetario, por parte del Sabio Inglés Sir Isaac Newton.

ABSTRACT. The purpose of this note consists of discrete rational reconstruction which took place during the years 1609-1630 and 1630-1666, ie, the year of the publication of their *Astronomia Nova* and the year of death of the great German astronomer Johannes Kepler, and the subsequent range from desperate to knowledge of these laws of planetary motion, by the English scientist Sir Isaac Newton.

Recordemos que, este recorrido inicia en la antigua Grecia, con la concepción Heliocéntrica de Aristarco de Samos, la cual pasa a través del triunfo de Ptolomeo con su doctrina Geocéntrica, y posterior declive y/o enterramiento en manos del polaco N. Copernicus.

Cuando apareció el *De Revolutionibus* de Copernicus en 1543, la disputa principal en Astronomía se daba entre los Averroístas, quienes negaban la realidad para los epiciclos y excéntricas basadas sobre argumentos de la física Aristotélica, y los Astrónomos matemáticos, quienes soportaron la tradición teórica del libro de texto y observaron los epiciclos y excéntricas como indispensables para producir las posiciones de los cuerpos celestes. Los Averroístas insistieron en que los Cielos estaban divididos en una serie de órbitas concéntricas, todas centradas sobre la Tierra. Los Astrónomos matemáticos continuaron una construcción empleando el *New Theories of the Planets* (*Theoricae novae planetarum*, compuesto alrededor de 1460, primero publicada en 1472) de George Peurbach (1423-1461).<sup>1</sup>

Peurbach empleó órbitas excéntricas, algunas de las cuales acarreaban pequeñas esferas presentando la función de epiciclos. Esta combinación estuvo acarreada por orbes internos y externos de tamaño diferente, así que el sistema para los orbes de cada planeta estaría centrado en superficies internas ó externas sobre la Tierra. Los planetas estarían embebidos en los orbes pequeños correspondiendo al epiciclo y transportados físicamente a través de los cielos por movimientos combinados para el conjunto de orbes completo.

La primera mayor publicación de Kepler fue su *Mysterium Cosmographicum* (1596). El roll para la religión no es cancelado sino que se indicó muy brevemente en el título del libro, que no fue bien trasladado. "*Mysterium Cosmographicum*" fue usualmente interpretado como "secret of the Universe". Sólo que "secret" es una traslación insípida de *mysterium*. El término puede significar "mystery" ó "secret", excepto que su significado central en la antigüedad fue "sacred mystery", los secretos se enseñarían a los iniciados cuando ellos entraran en la religión oculta. Así el título

2000 *Mathematics Subject Classification*. 00A30, 01A05, 58A05.

<sup>1</sup>Cf. *Theological Foundations of Kepler Astronomy*. Peter Barker and Bernard R. Goldstein. The History of Science Society. 2001. pp. 90. ss.

debería ser mejor interpretado como "The Sacred Mystery of the Cosmos".

Como es bien conocido, Kepler introduce una construcción geométrica basada sobre los cinco sólidos regulares platónicos para defender el sistema Copernicano. El prefacio al lector inicia:

"Yo propongo, lector, demostrar en éste pequeño libro que el mayor Dios y Gran Creador, en la creación para el movimiento del mundo, y el ordenamiento de los cielos, referido a aquellos cinco sólidos regulares, bien conocidos de Pitágoras a Platón en nuestro tiempo, y que él naturalmente colocara en los cielos, otras proporciones, en plan (ratio) para otros movimientos".<sup>2</sup>

*A New Astronomy Based on Causes, or Celestial Physics* (Astronomia Nova ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ.

sev physica coelestis) apareció en Praga en 1609. El libro inicia con una serie de capítulos en que los sistemas de Ptolomeo, Brahe y Copernicus son considerados como modelos posibles que pueden contar los datos de Tycho para la posición de Marte con extremada exactitud. Este es una investigación a posteriori para la Astronomía en el sentido que prevaleció antes de Kepler-el objetivo es recubrir el fenómeno, no dar una relación causal para el movimiento planetario conocido realísticamente. En el capítulo 16 Kepler introduce un modelo que emplea un ecuante con excentricidad no-bisectada, que él llama su "vicarius hypothesis", esto es, una hipótesis que es empleada provisionalmente hasta el descubrimiento de la hipótesis verdadera.

Por el final de la segunda mayor parte para la *New Astronomy* (finalizando con el Cap. 21) Kepler estuvo apelando al ahora celebrado error de los 8 minutos de longitud para eliminar los modelos de Brahe, Ptolomaeae y Copernicus, autorizando únicamente su hipótesis vicaria como una posible narración para la posición angular de Marte.<sup>3</sup>

También debemos subrayar, que de acuerdo a Barker y Goldstein, "por tanto las dos leyes reales presentadas en la *New Astronomy* no son la primera y la segunda Ley, como nosotros las conocemos en la actualidad, excepto que son la Ley de distancia-velocidad y la Ley de reciprocidad".

La ley de reciprocidad es también llamada la "regla seno-inverso"; Kepler llama a esta "libración".

La "Ley de Áreas" para círculos es introducida en el Cap. 40 como una aproximación para la Ley de distancia-velocidad, excepto que Kepler nunca le da el status de una "Ley". En el cap. 59, Kepler deriva la elipse de sus dos leyes, él apela a la Ley de distancia-velocidad. La relación correcta entre la Ley distancia-velocidad y la Ley de Áreas no fue establecida por Kepler hasta el *Epitome Astronomiae Copernicanae*, ó *Epitome of Copernican Astronomy* (Linz: Tampachius. 1618-1621), donde él indica que se tienen dos componentes para el movimiento que conducen a la Elipse: uno es perpendicular para el radio vector del Sol al Planeta, y el otro es recíproco a lo largo del radio vector del Sol al planeta. Esto modifica su explicación previa en la *New Astronomy* y es equivalente a la Ley de Áreas: "Entonces en orden para la forma [la órbita elíptica] dos elementos son mezclados conjuntamente, como ya se demostró: un elemento será de la revolución al rededor del Sol por razón de una virtud solar; el otro será de la libración en dirección del Sol por razón de otra virtud solar distinta de la primera"<sup>4</sup>. Un rol fundamental, es también desempeñado por *Tycho de Brahe* (1546-1601) un noble Danés que además de beodo estaba destinado ha dedicar su vida entera a la observación astronómica. Su interés astronómico fue inspirado por el Eclipse solar de 1560. Durante 1580 y principios de 1590, Tycho derivó parámetros inapropiados para la teoría solar (esencialmente de Hipparchus), y trabajó sobre la producción para un catálogo extremadamente exacto de 777 estrellas. Este fue el primer catálogo disponible en Europa que fue independiente al

<sup>2</sup>Cf. Ibid. pp. 99. n. 95.

<sup>3</sup>Cf. Ibid. pp. 107. ss.

<sup>4</sup>Kepler, *Epitome of Copernican Astronomy*, KGW, Vol. 7. pp. 377. Cf. Barker and Goldstein. Op. cit. pp. 110. n. 70

de Ptolomy's, y representó un decrecimiento para un orden de magnitud en los errores comparados con el catálogo que Copernicus había incluido en el *On the Revolutions*.<sup>5</sup>

Aquí entra en escena, nuestro Astrónomo/Astrólogo *Johannes Kepler* (1571-1630).

**Mysterium Cosmographicum** (1596).

Copérnico fue el primero capaz de construir un sistema astronómico compatible al de Ptolomeo, cuando no mejor, tanto desde el punto de las matemáticas como de la simple observación. Incluso entre los astrónomos más tradicionales, que no estaban dispuestos a considerar las consecuencias cosmológicas de una hipótesis de la astronomía matemática, la obra de Copérnico no solo fue respetada sino utilizada.

Independientemente de los grandes temas discutidos por los astrónomos más destacados, la práctica de la astronomía y la astrología dependía en buena medida de las tablas astronómicas que, junto con determinadas reglas de uso o cánones, permitían determinar las posiciones pasadas o futuras de los planetas.

«Aún así la obra de Copérnico estimuló la colaboración de modelos matemáticos geo-heliocentristas, como los de Erasmus Reinhold, Christopher Rothman- con su propia evolución hacia la cosmología copernicana- N. Reymers Ursus, Helisaeus Roeslin o Tycho Brahe, que situaban la Tierra en el centro del Universo, con el Sol girando a su alrededor, y los planetas al rededor del Sol. Tras diversas reivindicaciones y disputas por la prioridad, no siempre claras en todos los casos, este tipo de sistema pasó a conocerse simplemente como tychónico, reconociendo la autoría o, en todo caso, la autoridad de Tycho.»<sup>6</sup>

En el sistema de *Copérnico*, se tienen seis planetas girando alrededor del Sol. Para el joven Kepler, tal sistema es una creación perfecta de Dios, el hecho de que existan exactamente seis planetas (éste no es el caso actual) debe tener una profunda razón.

Esta profunda razón fue uno de los misterios del Universo que el joven Luterano decidió investigar. De acuerdo al mismo Kepler, una revelación maravillosa le ocurrió el 19 de Julio de 1595, a saber, la razón por la cual existen seis planetas, es por que en efecto, existen cinco sólidos Platónicos (i.e. poliedros regulares) y cada uno de ellos está en un lugar entre las seis "órbitas esféricas" tal que éste poliedro está inscrito (ó circunscrito) en una de las seis "órbitas esféricas". Así, tal estructura geométrica maravillosa no únicamente se extiende exactamente a seis planetas, sino que ésta también determina las razones entre el radio para las seis órbitas esféricas.

Este es el origen para el primer libro de Kepler y él dedicó su vida entera a estudiar el movimiento planetario con el objetivo de verificar su "conjetura salvaje".

En este texto, queda expuesta su teoría poliédrica y estructura del universo; la cual refleja su Pitagorismo y Platonismo, pues aquí, hace manifiesto su aneión a Proclo y revela su idolatría Heliocéntrica, ya que esta gran obra de Astronomía-Astrología, contiene el germen de la primera mitad de su otra obra cumbre, donde queda probado geoméricamente que ésta hipótesis de juventud, no es tan descabellada, y su corroboración se da en el descubrimiento de las armonías

<sup>5</sup>Mientras la influencia del sistema de Tycho sobrevivió brevemente en Europa, ésta tuvo una larga vida en China. Esta fue exportada por los Jesuitas, muchos de los cuales tenían muy buenos conocimientos en astronomía y para quienes el movimiento de la Tierra era un Anatema. El sistema de Tycho aparece en la Imperial Encyclopedia de 1726. La astronomía heliocéntrica para el Oriente realmente no encontró continuadores en China hasta inicios del siglo XVIII. Parte de la razón para este es el hecho de que el consenso principal para los chinos con los fenómenos astronómicos estuvo en la producción de calendarios, y los principios por los que fueron hechos empleaban aritmética en lugar de geometría. En adición, se tuvo una transformación muy pequeña de ideas entre China y el Oriente durante el siglo XVIII. Cfr. *From Eudoxus to Einstein. A history of Mathematical Astronomy*. C. M. Linton. Cambridge Univ. Press. 2004. Cap. III. pp. 164. n. 24.

<sup>6</sup>Cf. *Talento y Poder*. Antonio Beltrán Marí. Historia de las relaciones entre Galileo y la Iglesia católica. 1ª Ed. Octubre de 2006. Editorial Laetoli. Cap. 2. pp. 85 y ss.

celestes.

"Como diría el propio Kepler en 1602, donde hay materia, hay geometría; el mundo, geometría hecha materia, se encuentra dispuesto según cantidades y relaciones geométricas. El mundo es la realización de esa Idea, de ese arquetipo geométrico, en la materia: la geometría, que es Dios mismo, se manifiesta, se hace mundo, por medio de la materia.

Por ello el mundo es esférico. Sólo así le fue posible a Dios expresar la Trinidad en símbolo de ésta, con la <imagen de Dios Uno-Trino en la superficie de la esfera; esto es, del Espíritu en la regularidad de la "relación" entre el punto y la circunferencia>."<sup>7</sup>

Una segunda edición para el *The Sacred Mystery of the Cosmos* (con extensivas anotaciones) fue publicada en 1621, después de que Kepler había hecho sus descubrimientos sobre las tres leyes del movimiento planetario. Que los períodos orbitales dependían sobre las distancias al Sol dilucidó Kepler por un tiempo- él simplemente no tenía un dato lo suficientemente exacto para encontrar la ley correcta<sup>8</sup>-excepto que en retrospectiva conocemos que él se estaba formulando cuestiones más profundas. En 1611, con su *Strena de nive sexangula*, Kepler ampliaría sus ideas sobre la realización del conjunto materia-arquetipo, pues son Dios mismo, el mundo sólo empieza a existir con la materia; y describirá con ella no sólo la creación del mundo en cuanto totalidad astronómica y cosmológica sino también la generación de los diversos seres que se pueden encontrar en él, tal como los copos de nieve, los frutos de los árboles o las celdas de una colmena: en todos los casos, se hallará involucrado un arquetipo que se realiza en la materia.<sup>9</sup>

En su último Opus magnum, *Las Tabulae Rudolphinae* (1627), Kepler asegura que la ciencia de los cielos se compone de dos partes: la astronomía, que se ocupa de los movimientos de los astros, cuyas leyes son inmutables, establecidas sobre los más altos principios, y la astrología, que se ocupa, a partir de conjeturas, de los efectos que tienen dichos movimientos en el dominio sublunar.

En definitiva, si bien el *Mysterium* atestigua los intereses tempranos de Kepler en la astrología, no resulta útil como fuente al momento de comprender el verdadero significado de la astrología Kepleriana dentro de su obra y su pensamiento. Para ello debemos referirnos a trabajos posteriores y, para empezar, al *De Fundamentis Astrologiae Certioribus* (1602), donde por primera vez da una exposición sistemática de lo que piensa acerca de ella.

El *De Fundamentis* Es un tratado astrológico y un calendario para el año 1602, escrito poco después de la muerte de Tycho de Brahe (24 de octubre de 1601).<sup>10</sup>

### **Astronomia Nova**(1609)<sup>11</sup>

Kepler, de hecho, envía una copia del anterior libro a Tycho de Brahe, y análogamente, tal maestro de la astronomía deseaba disuadirlo con respeto a que tal "conjetura salvaje" era una fantasía de juventud. Sin embargo, él estuvo impresionado por la inteligencia y originalidad de éste joven

<sup>7</sup>Cf. Jorge M. Escobar. La mente de dios. Un estudio sobre la filosofía natural de johannes kepler. Cap. 3. Master's thesis, Instituto de Filosofía. Universidad de Antioquia. 2003.

<sup>8</sup>Kepler en este tiempo consideraba que la relación entre el período orbital  $T$  y la distancia  $r$  era  $T \propto r^2$ , solo que esto no es cierto. En el *Sacret Mystery* Cap. XX, Kepler propuso la relación  $(T_2 - T_1) / T_1 = 2(r_2 - r_1) / r_1$ , donde  $r_1$  y  $r_2$  son las distancias para los planetas sucesivos ( $r_2 > r_1$ ) y  $T_1$  y  $T_2$  los respectivos períodos. Esta ley es equivalente a  $\frac{T_2}{T_1} = 2(r_2/r_1) - 1$  que no es de la forma  $T \propto r^\alpha$  para algún  $\alpha$ . Kepler posteriormente hipotetizó la ley  $T \propto r^2$  en el

Cap. 39. para la *New Astronomy*. Cfr. *From Eudoxus to Einstein*. Op. cit. pp. 173. n. 46.

<sup>9</sup>Cf. La mente de dios. Op.cit. Cap. 3.

<sup>10</sup>Ibid.

<sup>11</sup>*Astronomia Nova AITIOA OT HTOΣ, seu Physica Coelestis, tradita commentariis de Motibus Stellae Martis, Ex observationibus G.V.Tychonis Brahe*, Prague, 1609, ahora disponible en dos excelentes ediciones por Max Caspar (en Latín en *Johannes Kepler: Gesammelte Werke*, Munich, 1973, iii; y en Alemán en *Die Neue Astronomie*, Munich, 1929).

astrónomo. Para la década de 1600, Tycho necesitaba el talento matemático del joven Kepler para el "conocimiento" de sus observaciones astronómicas de toda una vida, mientras que Kepler necesitaba el acceso a los datos astronómicos de Tycho para verificar su gran "misterio del universo".<sup>12</sup>

El sistema de Tycho fue defendido como una cosmología sólo tras la condena del copernicanismo. Sabido es que sus mayores defensores, los jesuitas, hicieron suyo el sistema de Tycho como consecuencia de su ciega obediencia a la Iglesia, no como resultado de la calidad de su ciencia. No hace falta decir que, en el caso de copernicanos como Kepler ó Galileo, el sistema de Tycho nunca fue tomado en serio como cosmología.

Kepler lo expresó muy gráficamente en una carta a Magini de Junio de 1601. En ella comenta la sencilla y «simplísima» forma en que el sistema copernicano explica los movimientos planetarios, recorriendo «un círculo exactísimo en una revolución regularísima», exponiendo la relación entre períodos y las distancias de las órbitas:

*«no por fantasía sino por la verdad de las cosas. En realidad, Tycho también usa un ecuante en la Luna. Te darás cuenta fácilmente de hasta que punto la fuerza de Copérnico procede de esta armonía y simplicidad, esto es, de la perfección de los movimientos celestes. Pues por mas que Tycho imita y reproduce de cerca a Copérnico, retenida la Tierra inmóvil en el centro, no puede evitar que [la Tierra] refuerza en roscas de modo desigual y siempre diferente las vías por las cuales giran los planetas en el liquidísimo éter.»*<sup>13</sup>

Tycho Brahe esperaba que Kepler utilizara su precioso tesoro de observaciones para consolidar su sistema, pero finalmente redundó en beneficio del copernicanismo de Kepler. Por otro lado, cobraba fuerza la hipótesis del Sol como motor del movimiento planetario. «Fue Kepler quien convirtió esta sugerencia en una tesis fundamental del copernicanismo y de la nueva filosofía celeste. Kepler convirtió al Sol en motor del movimiento planetario, primero en una formulación animista, y despues en clave mas mecanicista y ligada a una ley matemática.»<sup>14</sup> Esta estratégica unión, fructificó en el descubrimiento de la primera y segunda ley del movimiento de Marte, a saber

Primera ley: Marte se mueve describiendo una órbita elíptica con el Sol en uno de sus focos.

Segunda ley: El radio vector trazado desde Sol a Marte barre áreas iguales en tiempos iguales.

El título completo en Latín, que es *Astronomia Nova...*, se trasladó como *Nueva Astronomía Basada sobre causas, ó Física celeste, tratada por el significado de los comentarios sobre los movimientos para las estrellas de Marte a partir de las observaciones de Tycho Brahe*. La primera traslación Inglesa fue publicada recientemente en 1992. Algunos pasajes están trasladados en Koyré (1973) en el que el trabajo es discutido con algún detalle. Otro texto en el que se da una narración para los contenidos de la *New Astronomy*- particularmente los aspectos de la astronomía de Kepler- es Stephenson (1987) y otros aspectos técnicos para el trabajo son descritos entre otros en Aiton (1969) y White-side (1974).<sup>15</sup>

El estilo de la *New Astronomy* fue totalmente diferente a el Ptolomy ó Copernicus. No únicamente fue el estilo novedoso de Kepler, la Astronomía que él presentó era realmente nueva, con un énfasis completamente diferente al de sus predecesores. En lugar de intentar reproducir los

<sup>12</sup>Cf. *The epic journey from Kepler's laws to Newton's law of universal gravitation revisited* Hai-Chau Chang, Wu-Yi Hsiang. arXiv:0801.0308v1 [physics.hist-ph] 1 Jan 2008

<sup>13</sup>Cf. Ibid. pp. 87.

<sup>14</sup>Cf. Ibid. n. 4

<sup>15</sup>Cf. Linton. Op. Cit. n. 56.

movimientos celestes como apropiados posiblemente con ciertas construcciones geométricas especiales, Kepler intentó conocer la estructura básica del Universo de Dios.

Kepler entonces describió su propia teoría de la «gravitación», que contiene los gérmenes de lo que sería, en manos de Newton, la teoría de gravitación universal; él pensaba la gravitación como una atracción mutua entre cuerpos similares para la fuerza magnética. El método de Kepler para obtener con exactitud la posición de la Tierra fue ingenioso. Él determinó la posición para la Tierra de las observaciones de Marte, proporcionando el lugar de Marte con exactitud. Las longitudes de Marte fueron bien establecidas, como es bien observado, exceptuando sus distancias. Kepler va alrededor de estas por el empleo de observaciones para Marte separadas por su período zodiacal (687 días) así que, sin embargo para Marte fue el del Sol, y este era el mismo tiempo. Una vez obtenido lo anterior él lo administró para mostrar que la órbita de la Tierra era mejor representada por el mecanismo del ecuante-excentricidad Ptolemaico, similarmente para otros planetas.

Kepler apreció la equivalencia entre las teorías planetarias Copernicanas y Ptolemaicas, y él conocía que, en el esquema de Ptolomeo, el epiciclo representaba la órbita de la Tierra al rededor del Sol.

Luego de la dura batalla librada por Kepler, en el establecimiento de la trayectoria para Marte, y después de modificar su trayectoria oval, conocemos que de su primera ley del movimiento planetario la palabra «foco» no fue mencionada en el corpus central del *New Astronomy*, y fue únicamente hasta su *Epitome of Copernican Astronomy* que Kepler enfatizó este aspecto para las órbitas planetarias. El mecanismo físico de Kepler por el que los planetas fueron forzados a moverse de tal forma fue incorrecto, exceptuando la idea de que el estudio para los movimientos celestes estaría basada sobre causas físicas influenciando todos aquellos que siguieron sus pasos.

La mayoría de los contemporáneos de Kepler observaron no convincente la condición de tornar la astronomía en una ciencia física. Incluso Michael Mastlin tuvo sus propias dudas. En una carta Kepler, de 1616 escribió: «Concerniente al movimiento para la Luna tu escribes que tuvisteis que trazar todas las desigualdades para las causas físicas; Yo no estoy completamente enterado de esto. Yo pienso que en lugar de tal uno debería dejar las causas físicas fuera de contexto, y explicar las materias astronómicas únicamente de acuerdo al método astronómico utilizado en tal, no físico, causas e hipótesis.»<sup>16</sup> Las primeras leyes del movimiento planetario fueron realmente revolucionarias. Con ellas él obtuvo la premisa fundamental de toda la astronomía matemática que le precedió, i.e., que los movimientos celestes fueron construidos sobre movimientos circulares uniformes. El hecho de que Kepler descubriera esas leyes es el acontecimiento más importante de todos por el acto de haberlo realizado no solo con los datos observacionales de Tycho solamente, y sin contar con la ayuda de la dinámica Newtoniana. Crucial para éste descubrimiento fue su insistencia de que el movimiento para los planetas fue un proceso físico, con el Sol jugando un rol predominante. Aunque la física de Kepler fue errónea, éste no dejó de formular algunas cuestiones importantes y responderlas correctamente.

### **Harmonices Mundi (1619)**

En 1613, como es conocido, Kepler estuvo interesado en el problema de determinar los volúmenes para barriles de vino en tamaños diferentes. Él tomó las ideas que había desarrollado cuando determinó las áreas para regiones curvadas como parte de su guerra con Marte, este desembocó en la publicación de su *New Solid Geometry of Wine Barrels* «*Nova steriometria doliorum vinariorum*» en 1615. El método de Kepler involucró la división de volúmenes en el interior de muchas regiones infinitesimales y representó un primitivo cálculo integral. Este fue expandido sistemáticamente por Bonaventura Cavalieri. Kepler también planeó producir un libro de texto que combinara la

<sup>16</sup>Cf. Ibid. pp. 190. n. 79.

teoría heliocéntrica de Copernicus con sus propios descubrimientos en un folio verdaderamente aceptable.

La primera parte de este trabajo, el *Epitome of Copernican Astronomy* fue impreso en 1617, excepto que el libro no estuvo completo hasta 1621.

El *Harmony of the World* es un libro fascinante, con discusiones matemáticas tales como la constructibilidad (usando regla y compás únicamente) para polígonos regulares, teselaciones para el plano y poliedros semi-regulares ó sólidos Arquimedianos (Kepler da la primera prueba conocida de que se tienen exactamente 30 de ellos.)<sup>17</sup> Kepler también discutió los méritos relativos para los métodos geométricos largamente establecidos y los nuevos desarrollos en técnicas algebraicas para la solución de varios problemas. V.g., Kepler creía que los polígonos regulares que no eran construidos empleando regla y compás eran «no conocidos», y no jugaron un rol en la construcción del Universo como diseño de Dios.<sup>18</sup>

Llevó a Kepler otra década de duro trabajo verificar que el mismo principio de la primera y segunda ley también son fijos para los otros seis planetas, y además, el descubrió la siguiente tercera ley, a saber:

Tercera ley: La razón entre el cubo del eje mayor y el cuadrado para el período, i.e.  $\frac{(2a)^3}{T^2}$ , es la misma para todos los seis planetas.<sup>19</sup>

Pero dejemos que sea el mismo Kepler, quien nos narre su asombro:

*No han pasado ni dieciocho meses desde que vi el primer rayo de luz, ni tres meses desde que amaneció, y muy pocos días desde que el Sol, en todo su esplendor, lo más admirable que se puede ver, brilló repentinamente ante mí. Nada me detiene; no me voy a culpar por mi furia sagrada; triunfaré sobre la humanidad cuando confiese honestamente que he robado los vasos de oro de los egipcios para construirle un tabernáculo a mi Dios lejos de los confines de Egipto. Si me perdonáis, me alegraré; si os ponéis furiosos conmigo, podré soportarlo; la suerte está echada, el libro está escrito para que se lea ahora o en el futuro. No me importa quién lo lea; puede esperar un siglo hasta que surja un lector, dado que Dios ha esperado seis mil años para que alguien observara su obra.*<sup>20</sup>

Aunque las ideas de Kepler revelan de forma inequívoca la influencia de Paracelso y de sus discípulos, el antagonismo entre su método de aproximación científico y la actitud mágico-simbólica de la alquimia era, pese a todo, tan fuerte que Flud, famoso alquimista de su tiempo y miembro

<sup>17</sup>Un sólido Arquimediano es un poliedro convexo en el que todas sus caras son polígonos regulares (para a lo sumo dos tipos diferentes) y los vértices para tales todos idénticos. Cf. Ibid.

<sup>18</sup>En tiempos de Kepler, los únicos polígonos regulares construibles conocidos eran aquellos que tenían 3, 4 y 5 lados y aquellos derivados de ellos, i.e., aquellos con el número de lados  $2^n 3^m 5^i$  con  $n \in \mathbb{Z}^+$  y  $m, i = 0$  ó  $1$ . En efecto, Kepler incluye una prueba en el libro I del *Harmony* en el que los polígonos regulares con un número primo de lados superior a 5 no son construibles, solo que su prueba es incorrecta. En 1796, con solo 19 años de edad, Gauss probó que un polígono regular con un número primo de lados  $p$  es construible sii,  $p - 1$  es una potencia de 2. El resultado de Gauss muestra que es posible construir polígonos regulares con 3, 5, 17, 257 y 65.537 lados. No se conoce si existen algunos otros primos  $p$ . Cf. Ibid. n. 88.

<sup>19</sup>Cf. arXiv: 0801.0308v1 [physics.hist-ph] 1 Jan 2008. pág. 6. ss.

<sup>20</sup>Cf. *De aquí al infinito. Las matemáticas de hoy*. Ian Stewart. Drakontos. Crítica. Traducción castellana de Mercedes García Garmilla. 1998. Cap. 14.

de los rosacruces, mantuvo una violenta polémica a propósito de la obra maestra de Kepler, *Harmonices mundi*.<sup>21</sup>

Ahora, trataremos de narrar la interpretación dinámica de las mencionadas Leyes del movimiento planetario de Kepler, desde la metodología y/o estilo Newtoniano manifestado perogrullamente en el *Principia*. A grandes rasgos, los mayores resultados para el análisis matemático de Newton en su magna obra pueden ser establecidos como los siguientes teoremas, a saber<sup>22</sup>:

**Teorema 1.** La segunda ley de Kepler es fija (i.e.,  $\frac{dA}{dt} = \text{constante}$ ) sii la aceleración (res. la fuerza) está en dirección al centro (i.e. centripetal).  $\square$

**Teorema 2.** La primera y segunda ley de Kepler implican que el vector aceleración  $\mathbf{a}$  está apuntando en dirección del Sol y con su magnitud igual a

$$\frac{\pi^2 (2a)^3}{2 T^2 r^2}$$

donde

$$\mathbf{a} = \frac{\pi^2 (2a)^3}{2 T^2 r^2} \begin{pmatrix} -\cos \theta \\ -\sin \theta \end{pmatrix}$$

$\square$

**Teorema 3 (De unicidad y recíproco para el Thm. 2).** Supóngase que el vector aceleración es centrípeto y con su magnitud inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, donde

$$\mathbf{a} = \frac{K}{r^2} \begin{pmatrix} -\cos \theta \\ -\sin \theta \end{pmatrix}$$

Entonces, el movimiento satisface la segunda ley de Kepler y su órbita es una sección cónica.  $\square$

**Teorema 4.** La fuerza de gravedad para una forma esférica con densidad uniforme (preservando el área) sobre una partícula externa  $P$  es igual a

$$G \frac{Mm}{OP^2}$$

donde  $M$  (resp.  $m$ ) es la masa total para la forma esférica (resp. la masa para la partícula en  $P$ ) y  $\overline{OP}$  es la distancia entre el centro  $O$  y  $P$ .  $\square$

**Corolario 1.** Sean  $\Sigma_1$  y  $\Sigma_2$  una par de cuerpos esféricos con densidad radial uniforme (i.e. cada uno de ellos puede ser descompuesto en el interior de la unión para las formas esféricas del Thm. 4) Entonces la magnitud para la fuerza de gravitación (total) entre ellas es igual a

$$G \frac{M_1 M_2}{O_1 O_2^2}$$

donde  $M_1$  (resp.  $M_2$ ) son las masas total para  $\Sigma_1$  (resp.  $\Sigma_2$ ) y  $O_1$  (resp.  $O_2$ ) son sus centros.  $\square$

<sup>21</sup>Cf. *Escritos sobre física y filosofía*. Wolfgang Pauli. Debate. pensamiento. Ed. por Charles P. Enz y Karl von Meyenn. Versión castellana de Mercedes García y Rodolfo Hernández. 1996. Ensayo 21. Pág. 277, ss.

<sup>22</sup>Cf. Chang-Hisiang. *Ibid.* pág. 2. ss.

Los anteriores teoremas, son una interpretación moderna de los presentados por el Sabio Inglés, en el paper de Chang y Hsiang.

Sabido es que, el astrónomo Alemán, fue uno de los precursores en la introducción del concepto de "inercia" en el discurso de la filosofía natural; y que tal concepto, transformado en las manos de Newton, fue fundamental en la batalla entre las concepciones mecanicistas Cartesianas relativas al movimiento de los cuerpos en medios resistentes (libro II del *Principia*), y cuyas tres leyes del movimiento planetario desde la heurística Newtoniana, constituyen el declive y/o ocaso absoluto con respecto a la teoría de los vórtices Cartesianos.

Ahora bien, regresando a Kepler, el interesante artículo del Prof. Victor E Thoren, nos ayudará a clarificar en gran medida la historia de la segunda Ley de Kepler en Inglaterra. En efecto, el Paper del profesor Thoren, es un análisis pormenorizado de otros dos Paper's; Russell: *Kepler laws of planetary motion, 1609-1666*. BJHS. (1964). pp. 1-24, y Witheside ; *Newton early thought motion: a fresh look*. BJHS. (1964). pp. 117-37.

Aunque concebidos independientemente y con objetivos diametralmente opuestos, el profesor Thoren concluye que dichas investigaciones coinciden únicamente en una área substancial, i.e, las citaciones para la segunda Ley de Kepler por parte de los astrónomos Ingleses datan entre 1650 y 1670.

Es bien conocido desde el punto de vista histórico-epistemológico, el considerar a Kepler y a Newton como los dos grandes genios del siglo XVII. Mientras los voluminosos escritos Keplerianos pudieron tener una mayor circulación, esto es debido claramente a su peculiar aprovechamiento físico para la Astronomía que fue recibido con menor entusiasmo del que gozó el peculiar aprovechamiento matemático para la física realizado por Newton.

Muchos de los Astrónomos Ingleses más respetados tales como Jeremiah Horrox tenían en gran estima los trabajos Keplerianos, en especial el trabajo iniciado conjuntamente por él y el gran observador Tycho Brahe; *Rudolphine tables*.

En Vincent Wing, un gran pionero de la Astronomía Isabelina, encontramos varias referencias a la segunda Ley de Kepler, específicamente en su: *Harmonicon Coeleste* (1651).

Por tanto, en Jeremy Shakerley en su *Anatomy of Urania Practica* de 1649, manifiesta también una gran evidencia de esto. Escrito en un estilo animadvertido para la época, éste es una crítica para Wing. Lo que es significativo en Shakerley es la habilidad para citar el capítulo y el verso de Kepler sobre algún tópico. Sí él no estaba extremadamente familiarizado con Kepler, se tuvo que haber visto obligado a dar la impresión de que lo estaba.

Wing también, por ésta fecha, se refería únicamente a las *Tablas Rudolphinas* en sus efemérides. Excepto que cuando publicó su propio texto en 1651, él empleó un ecuante de foco-vacío modificado, que él racionalizó como sigue:

*"Ahora para hallar el lugar de un planeta en su Elíptica Kepler en su Epit. Astro. Copernic. enseñó como puede ser obtenida, excepto que Bullialdus (para hacer la operación más sencilla) muestra la presentación para el mismo por un Epiciclo, cuyo movimiento es doble para el movimiento de un planeta en su órbita, y así por la solución para las líneas rectas triangulares, éstas pueden ser encontradas con más facilidad, en la dirección que ellas toman, como muy racionalmente"...*<sup>23</sup>

Shakerley aparentemente siente el mismo peso para sus lectores.

En sus *Tabulae britannicae;...calculated...from the hypothesis of Bullialdus, and the observations of Mr. Horrox of 1653*, fue más condescendiente con sus lectores en la mención para una elipse, refiriéndose en todas partes a las órbitas como "excéntricas".

Samuel Foster, profesor de Astronomía en el Gresham College, fue más cándido:

<sup>23</sup> Vincent Wing, *Harmonicon Coeleste* (London, 1651). pp. 44. Cf. Thoren. Op. cit. pp. 246. n. 13.

*El camino que yo tomo es (en general) el de agregarme a Copernicus...y en particular, para con Kepler en sus Rudolphine Tables. Únicamente se tiene una diferencia: Kepler hace que las órbitas para los planetas sean elipses, que es la mejor dirección; ó aquí hace que sean círculos perfectos, que es el camino más sencillo.*<sup>24</sup>

En Oxford durante el siglo XVII apareció la primera manifestación seria de astronomía académica en Inglaterra.

Centralizado sobre Wilkins, ésta actividad fue continuada por Seth Ward y John Wallis, y soportada por figuras como Christopher Wren, Lawrence Rocke o Paul Neile.<sup>25</sup>

En 1669 Cassini elaboró su teoría sobre excentricidades en su "*Methodus investigandi apogee, excentricitates et anomalias planetarum, breviter exposita et demonstrata*", que excepto por su tiempo y marco geométrico sonoro no fue suficiente: la precisión astronómica también fue demandada. Sería Mercator quien daría el paso hacia adelante para argüir que él tomó la estabilidad del hecho de que el simple ecuante de foco-vacío era inapropiado en la Astronomía de posición. Si nosotros creemos a Mercator, Kepler tuvo que probar con claridad que la teoría del ecuante simple era insostenible, algo que nunca hizo posteriormente por entretenimiento.

El primer astrónomo Royal John Flamsteed quien mantiene una intensa colaboración con Newton, tuvo una reacción inicial con Kepler bastante desafortunada. Él rápidamente despachó las especulaciones físicas como "nociones infundadas", y en su primer paper publicado, sobre efemérides "para los fenómenos más notables del año 1670", emplea a Streete y Wing para su trabajo. Con Flamsteed instalado como Astrónomo oficial de la nación, Halley fue el Astrónomo Inglés más importante durante el medio siglo siguiente; entre ambos fundaron el aparato técnico que Newton emplearía como contenido astronómico en el *Principia*.

Así, mientras Newton estuvo hablando de sus propias experiencias ò consultas, fue enteramente apropiado que él tuvo que etiquetar la segunda Ley de Kepler como "*propositio Astronomis notissima*".

Como ya es conocido, la segunda Ley fue formulada originalmente en 1609, en dos formas diferentes: la forma correcta es llamada Ley de áreas, y se tiene una forma alternativa que puede establecerse como la velocidad para un planeta varía inversamente como su distancia al Sol. Esta es denominada la Ley de distancia inversa. En un tiempo Kepler las observó a ellas como matemáticamente equivalentes, pero en efecto ellas no lo son; la Ley de distancia inversa es una buena aproximación para elipses de excentricidad pequeña, excepto que no son exactas. Para 1621, sin embargo, cuando la última parte para el *Epitome* fue publicada, él tuvo que probar que las dos leyes no eran idénticas y que la Ley de áreas era correcta.

Cuando Kepler publicó su teoría en 1609 la rotación solar no había sido aun observada. Él entonces postuló sobre argumentos puramente teóricos un período de menos de tres meses- éste es el tiempo empleado por Mercurio-, el acercamiento del planeta al Sol, para completar su órbita. Cuando, pocos años después, las observaciones de Galileo sobre las manchas solares mostraron que el Sol hace su rotación en la dirección requerida, con un período de 28 días, Kepler naturalmente observó esto como una fuerte confirmación para su teoría. Analizando el período perteneciente a 1609-1630, encontramos que la *Astronomia Nova* llamó poco la atención cuando

<sup>24</sup>*Miscellanies of Mr. Samuel Foster* (London, 1659). Despista el dato de publicación, Foster falleció en 1652. Cf. Ibid. n. 15.

<sup>25</sup>Todos excepto Ward pertenecieron al pequeño grupo de miembros fundadores de la Royal Society. Es posible que Hooke fuese un miembro de dicho grupo, desde su estancia en Oxford en 1653 y a lo largo de su vida manifestó serios intereses en la Astronomía. Su celebrada carta a Newton del 6 de Enero de 1679/80 muestra que él estaba lo suficientemente familiarizado con Kepler para citar su formulación alternativa para la segunda Ley (a saber, que la velocidad para un planeta en su órbita es inversamente proporcional de su distancia al Sol.) Cf. Ibid. n. 17.

ésta fue publicada por vez primera. Este es un libro de difícil lectura. Éste es difuso, y mucho de éste es simplemente un recuento de los ensayos tempranos de Kepler para resolver el problema de la órbita de Marte. No es hasta la pp. 284 (de las 337 que lo componen) que las dos primeras leyes aparecen. Kepler y sus contemporáneos no estaban completamente familiarizados con las propiedades de las elipses; su aprovechamiento matemático para ellas es tosco y no sistemático, mientras que sus lectores menos cualificados que él conocían las propiedades y las aplicaban para computaciones astronómicas.

Para 1630, se han encontrado pocas referencias para las ideas de Kepler.

Uno de los primeros lectores de la *Astronomia Nova* fue el Astrónomo y Matemático, Thomas Hariot, quien recibió una copia prontamente después de la publicación y recomendó ésta a otro Matemático y pupilo suyo, William Lower. Se conoce la reacción de Lower por una carta que él le escribió a Hariot en Febrero de 1610.<sup>26</sup>

Él claramente encontró el trabajo casi intolerablemente difícil, excepto que al mismo tiempo intensivamente estimulante. De su lectura él aceptó muchas de las ideas de Kepler, incluyendo las órbitas elípticas, excepto que él posteriormente necesitó la ayuda de Hariot. Parece que de la carta de Lower's, Hariot por sí mismo aceptó las ideas de Kepler, a lo sumo en sustancia, excepto que él no publicó ninguna cosa sobre el tema.

En 1612 el sabio Italiano, Federico Cesi, un amigo y patrón de Galileo y joven miembro de la Lyncean Academy, en una carta escrita para Galileo, mencionó la teoría planetaria Kepleriana de las elipses con aprobación. Es importante mostrar que Galileo estuvo al corriente de dicha teoría, puesto que él nunca mencionó esto en sus escritos y ciertamente él no aceptó esto. El soporte más fuerte fue en 1615 cuando Giovanni Magini, Profesor de Matemáticas en Bologna, publicó su *Supplementum Ephemeridum* en que él empleó las leyes de Kepler en la computación de efemérides para Marte. Sin embargo, aparte de un conocimiento general de como él aplicó la teoría de Kepler, él no da detalles de como era la teoría.

La publicación para el *Harmonices Mundi* en 1619 esparció el conocimiento de las ideas del autor, aun reducido número de astrónomos. Éste fue aparentemente el menos leído de sus mayores trabajos y se tienen pocas referencias para éste en la literatura astronómica subsecuente. Su próximo trabajo, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, fue una poderosa defensa para el Sistema Copernicano, en el curso que el da una narración completa para ambas, su teoría física y sus tres leyes. Este fue publicado en tres partes en 1618, 1620 y 1621, y eventualmente sería muy influenciado y ampliamente leído, excepto que éste lo hizo lentamente famoso.

La teoría Kepleriana para Marte fue brevemente notificada por dos escritores en 1622: Longomontanus en *Astronomia Danica* y Nathanael Carpenter en la segunda ed. para su *Philosophia Libera*. Ambos rechazaron las elipses; ellos aquí estaban mal dispuestos para abandonar el principio de que los movimientos planetarios serían reducidos a círculos perfectos.

Otras críticas se repitieron en la segunda ed. de la *Astronomia Danica* (1640) y la tercera ed. para la *Philosophia Libera* (1635). Kepler tuvo, sin embargo, a lo sumo un discípulo durante los inicios de 1620: Philip Müller, profesor de Matemáticas en la Universidad de Leipzig. No se observa que Müller haya publicado algo sobre el tema, excepto su aceptación para sus ideas que es mostrada en sus cartas para Kepler y en su correspondencia con Peter Crüger.

Se tiene alguna evidencia de que Willebrord Snel (1591-1626) también aceptó las elipses. El astrónomo Alemán, Ambrosius Rhodius, en un prefacio de Michael Havemann's *Astraea* (1624), comentó la *Astronomia Nova* para su defensa del sistema Copernicano.

Él dispuso claramente bien de las ideas Keplerianas.

<sup>26</sup>Publicado en *Thomas Hariot: the Mathematician, the Philosopher, and the Scholar*, by Henry Stevens; 1900. pp. 120-124. Cf. *Kepler Laws of planetary motions: 1609-1666*. J.L.Russell. BJHS. Vol 2. N°5 (1964). n. 8.

El punto de retorno en la fortuna Kepleriana lo constituyó la publicación de su último gran trabajo, *Rudolphine Tables*, en 1627. Este fue un evento por el que el mundo científico esperó largo tiempo. Ellas están basadas sobre datos observacionales de primera clase acumulados por Tycho Brahe en la última parte del siglo XVII, y en ellas, por vez primera, las leyes fueron colocadas en conjunto. A partir de ahí, los astrónomos compararían las predicciones para las tablas con las posiciones actualmente observadas para el Sol, la Luna y los planetas, y compararían entonces los resultados con aquellas teorías astronómicas rivales.

La impresión hecha por esas tablas sobre Peter Crüger es vívidamente conocida por extractos con Philip Müller, publicada por von Dyck y Caspar en 1927.

Únicamente la parte de Crüger está disponible, excepto que claramente Müller fue un soporte de Kepler y, de 1620 en adelante, fue Crüger quién estudió sus trabajos.

El soporte público para las Tablas Rudolfinas se hizo casi inmediatamente después de la publicación de Jacob Bartsch, un pupilo de Müller en Leipzig, posterior a (1630) sería un hermano-en la Ley de Kepler-. En 1629 él publicó un volumen de Efemérides basado sobre las tablas de Kepler, excepto que fueron calculadas para la localidad de Strasbourg. En éstas él habló de las teorías de Kepler en términos muy elogiosos, sólo que no son expandidas. Por tanto él refiere a el lector al *Epitome* para los principios teóricos sobre los que las tablas están basadas.

Si ahora, avizoramos el período de 1630-1666, nos encontramos con que el *Epitome* Kepleriano atrajo modestamente la atención cuando fue publicado por vez primera en 1618-1622, excepto que para 1630 fue evidente que estimuló un nuevo interés en el sistema Copernicano.

Éste es fuertemente ilustrado por el hecho de que en 1631 dos trabajos anticopernicanos fueron publicados por J.B.Morin en París y Libert Froiddmont en Antwerp respectivamente. Ambos autores fueron perturbados por el prestigioso aumento del Copernicanismo y ambos hicieron del *Epitome* uno de los dos blancos principales para posteriores ataques- el otro es Landsberg's *Commentationes in Motum Terrae*, publicado en 1630. Froiddmont da un breve bosquejo para las teorías físicas Keplerianas excepto que escasamente mencionó las elipses. En 1633 Morin retornó brevemente al mismo tema en el prefacio de su *Trigonometricae Canonicae*, donde él expresó el deseo de que en un trabajo subsecuente tuviese la oportunidad de expandir sus ideas sobre la teoría planetaria "*ex mente Copernici et Kepleri*".

En 1632 las teorías Keplerianas fueron posteriormente soportadas por el Astrónomo Alemán, Wilhelm Schickard.

En el año previo Gassendi, continuó una sugerencia de Kepler mismo, y publicó una carta abierta para los astrónomos de Europa preguntándoles a ellos por la observación del tránsito de Mercurio hacia el Sol que tendría lugar el 7 de Noviembre de 1631. Schickard fue uno de quienes cooperó. En un panfleto publicado en Tübinge (1632) él da un breve bosquejo para las ideas principales de Kepler, incluyendo un estamento para las dos primeras leyes- la segunda es únicamente mencionada, sin embargo, en la forma distancia-inversa cualitativa. El refirió a los lectores al *Epitome* y las *Rudolphine Tables* para detalles posteriores. Desde entonces éste panfleto estuvo en forma de carta abierta para Gassendi quién debería conocerlo, y, presumiblemente, para otros Astrónomos Franceses.

En el mismo año, 1632, las dos primeras leyes de Kepler fueron discutidas en el *Directorium Generale* de Bonaventura Cavalieri.

El *Directorium* fue un libro de texto avanzado de astronomía esférica, designado principalmente a la enseñanza del uso de los logaritmos en computaciones astronómicas.

Pueden mencionarse otros dos usuarios más de las *Rudolphine Tables* por ésta época:

Adrian Vlacq en Holanda (1632), y Laurence Eichstadius en Stettin, Alemania del Norte (1634).

En 1635 las teorías Keplerianas recibieron un estímulo posterior con la publicación de una segunda Ed. para el *Epitome* en Frankfurt. Este trabajo es un volumen substancial de cerca de 100 pp; el hecho de que fuese reimpresso 5 años después de la muerte del autor es una buena evidencia de un interés vivo en sus ideas durante éste tiempo.

Otra referencia para las tablas de Kepler en 1630 puede ser agregada. Vincent Renieri, un monje Italiano y amigo de Galileo, publicó sus *Tabulae Medicaeae* en 1639, en la que da instrucciones detalladas para el uso de seis conjuntos diferentes de tablas: las de Kepler, Landsberg, Longomontanus, y otras tres antiguas: las Pruténicas, Alphonsine y Ptolemaicas.

Las reglas fueron puramente prácticas; no había discusión sobre la teoría y no se juraba sobre un uso relativo, exceptuando el hecho de que aquí Kepler era colocado en primer lugar sugiriendo que era el más importante de ellos. Claramente Renieri tuvo que estar familiarizado por sí mismo con las dos primeras leyes.

En Bélgica el primer soporte prominente de Kepler fue el bien conocido Astrónomo Gottfried Wendelin, quien en 1647 mencionó y aceptó la primera Ley y en 1652 da un conteo detallado para la tercera Ley. Él propuso, sin embargo, algunas modificaciones de la primera Ley para la Luna, sugiriendo que su órbita fuese abolida en lugar de la elíptica y que el foco primario no fuese exactamente el centro de la Tierra, excepto que estuviese a 2,500 millas de distancia de éste.

En 1650 encontramos una entusiasta discípula en María Cunitia- la única mujer Astrónomo notable del siglo XVII. Una nativa de Silesia, ella publicó su *Urania Propitia* en Oels, 1650 (2 Ed. Frankfurt, 1851). Este fue un conjunto simplificado de tablas basadas sobre las Rudolphines y sobre las teorías físicas de Kepler, con sus propias modificaciones para la segunda Ley. El volumen es principalmente práctico en intención y ella da únicamente un breve resumen para las ideas de Kepler, dejando en claro que ella las aceptó de todo corazón.

Ahora, considerando que es de extremada importancia, hacer más explícito la influencia Lutero-Platónica (como ya se ha dicho) en los trabajos científicos del Matemático de los Estados de Estiria, argüiremos que Kepler preocupado con la Astronomía Copernicana al inicio de su carrera, desarrolló su sentido para la naturaleza distintiva del Copernicanismo y las hipótesis astronómicas únicamente en forma gradual. Un estado en tal desarrollo apareció en un trabajo relucientemente poco conocido, observándose que tuvo que formar los puntos de vista de Kepler bajo la construcción de las hipótesis astronómicas. En la puja de Tycho de Brahe, Kepler agregó una composición como réplica contra Nicolaus Raymarus Ursus, quién Tycho había acusado en 1596 de plagio. En 1597 Ursus afirmó en un texto impreso que el sistema de Tycho no era de éste y atacó su soberbia. Tycho respondió contra Ursus afirmando que éste era un plagiador y llevó la acción hasta la corte. Desafortunadamente, Kepler escribió en 1595 una carta laudatoria para Ursus, a quién él en un tiempo llamó un matemático ejemplar de la época, y Ursus incluyó esta cita en su carta para publicarla en la polémica contra Tycho. Tycho incita a Kepler para que juntos escribieran una réplica contra Ursus, una "Apología Tychonis contra Ursus", en la que "la naturaleza para las hipótesis astronómicas son explicadas y se muestra que las afirmaciones de Ursus son incorrectas". Este tratado "contra Ursus" fue escrito en la década de 1600-1601 quedando incompleto debido al deceso de Tycho (24 de Octubre de 1601; Ursus había fallecido en Agosto de 1600) y no publicado hasta la primera edición moderna de las obras de Kepler: *Johannes Kepler, Opera omnia, 8 Vols. ed. Cristian Frisch (Frankfurt a. M.: Heyder and Zimmer, 1858-1871), "Contra Ursus" Vol. I: 215-287.*<sup>27</sup>

Cuando escribiendo a Michael Maistlin (29 de Agosto de 1599), Kepler habla de la afirmación absurda en Ursus de que la dirección tomada por Tycho para su hipótesis fue pavimentada por

<sup>27</sup>Cf. *Kepler as Historian of Science: Precursors of Copernican heliocentrism according to Revolutionibus*, I. 10. Bruce Stansfield Eastwood. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 126. N. 5. 1982.

Copérnico en el *De Revolutionibus* V, 35 (la explicación helio-estática para las estaciones y retrogradaciones de Mercurio y Venus); y cuando Ursus ridículamente encontró la hipótesis de Tycho en *De Revolutionibus* III, 25 (computando la aparente posición del Sol), Kepler escribió "asinus ille, nom jam Ursus".

En breve, dice Kepler, Ursus no pudo haber leído a Ptolomeo ó tener conocimiento de Copérnico. Por otro lado, después de haber pensado y escrito sobre la materia (y después de la muerte de los antagonistas), Kepler por sí mismo se muestra en un humor más moderado. En una carta a David Fabricius (2 de Diciembre de 1602), Kepler notó que deseaba estudiar a Proclo y Averroes sobre la cuestión para las hipótesis antes de publicar "contra Ursus", y en algún caso el deseaba observar el claro aire para el polvo de las polémicas antes de imprimir el tratado. Entre esas dos cartas, mientras escribía la defensa para Tycho, Kepler organizó sus argumentos bajo cuatro capítulos anunciados:

1. Qué es una hipótesis Astronómica.
2. Una historia para la hipótesis Astronómica.
3. Una consideración para la hipótesis perdida de Apollonius.
4. La originalidad para la hipótesis de Tycho.

En el interior del último de esos capítulos puede ser hallado un fascinante repaso de Kepler para los posibles predecesores del sistema planetario geo-heliocéntrico, entre quienes encontró a Martianus Capella excepto que también a Macrobius, Pliny, Vitruvius, y hasta Platón. Este excursus sobre los orígenes de la idea geo-heliocéntrica proporciona una comprensión del conocimiento de Kepler para los precursores del Copernicanismo y su reconstrucción para el significado de los textos involucrados.

Este es casi el lugar donde esos orígenes fueron mencionados. Kepler deliberadamente los colocó a ellos como una afrenta para Ursus. No únicamente falló Ursus en el conocimiento apropiado para los escritos de Apollonius, que Ursus erróneamente afirmó como orígenes de la hipótesis de Tycho.

El corazón para la referencia de Kepler en su repaso para el pasado fue el *De Revolutionibus* I, 10., en el que se lee, después de ensayar la evidencia de los períodos orbitales para los planetas en favor de un heliocentrismo razonable:

*"Consecuentemente Yo pienso que a nosotros no debería despistarnos el argumento bien conocido de Martianus Capella, quien escribió la Encyclopedia, y otros ciertos escritores Latinos. Ellos creían que Venus y Mercurio giraban alrededor del Sol que está en el medio de ellos, y pensaban que esta es la razón por la que ellos no divergen posteriormente de la curvatura para otras esferas permitidas, por que ellos no giran alrededor de la Tierra, similar al resto, excepto que tienen ápsides conversos (apsides conversae). ¿Qué otras personas, entonces, comprenderían, que el centro para las órbitas está en la región del Sol?."*<sup>28</sup>

Los trabajos de Platón sobre los planetas inertes también son oscuros, las observaciones de Kepler, son pistas que muestran su significado real como Macrobius posteriormente explicará. El caso es hecho por Platón por el empleo de sus propias palabras; Martianus, y especialmente Macrobius. Kepler inicia con una cita del *Timaeus* 38 C-D:

"Cuando Dios tuvo que hacer los diferentes cuerpos [trotamundos], el conjunto de sus revoluciones con el circuito que cada uno requeriría, seis [cuerpos] en seis [órbitas], la Luna en el primero a

<sup>28</sup>Cf. Ibid. pp. 368. n. 9.

continuación la Tierra, el Sol en el segundo bajo la Tierra, entonces la Estrella Nocturna [Venus] y el uno sagrado llamado Mercurio en tales [círculos] como por la razón de sus velocidades iguales para la órbita del Sol, aunque hayan recibido una potencia contraria (*contrariam vim*) para este, por tanto el Sol, Mercurio y Venus incluido (*comprehendunt*) están incluidos uno en cada otro.”<sup>29</sup> Es notable que Kepler empleara únicamente el pasaje del *Timaeus* y no el pasaje corroborativo en la República. Él pudo haber elegido emplear únicamente el trabajo conocido durante la Edad Media Latina. Él lo elige por que el *Timaeus* contiene el pensamiento cosmológico, y la República no lo hace, observándose que es el origen apropiado para un tema cosmológico. Ahora, es conveniente subrayar, que para Copérnico Platón simplemente en el *Timaeus* coloca a Mercurio y Venus bajo el Sol.<sup>30</sup>

En el establecimiento del pedegree Platónico, Kepler usa la narración de Macrobius como pieza central para la reconstrucción del pensamiento antiguo.

Tomando una sucesión de citas del *Commentary on the Dream of Scipio*, I, 19 de Macrobius, Kepler hace las siguientes anotaciones:

1. Ambas tradiciones la supra-solar y la infra-solar concernientes a la posición de Mercurio y Venus son correctas, y Macrobius conocía esto.  
La causa para la inversión intermitente de Mercurio y Venus no es buscada, y Macrobius dice que Platón tuvo una explicación.
2. Platón razonó que el orden para los planetas corresponde a su período orbital.
3. En la presentación de las órbitas de Venus, Mercurio y el Sol, Macrobius habla de los tres teniendo un simple coelum en el que ellos orbitan en un período de, más o menos, un año. Esto Kepler lo encuentra significativo, el coelum tendrá una física distinta y no justamente un fenómeno de igualdad- como si los tres estuvieran empatados y simplemente no aparecieran juntos.
4. Los planetas Mercurio y Venus están mucho más propiamente asociados con el Sol que con la Luna, los movimientos son más cerrados en el Sol que en la Luna.
5. El sentido completo de Platón interpretado en la dirección de Macrobio puede ser auxiliado por la mejoría de una simple palabra, dice Kepler.

En muchas direcciones el *Commentary* de Macrobius constituye el testigo clave para Kepler en la traza de la conexión Platónica.

Para todos los orígenes Keplerianos Macrobius es el único autor que reconoce el Platonismo y el Heliocentrismo.

Dos términos usados en el pasaje de Kepler en “contra Ursus” y requiriendo delimitaciones son *circulus* y *vertex*. Macrobius emplea *circulus* como órbita, no como epiciclo. Para suponer la interpretación de los epiciclos se requiere un número de suposiciones inaceptables. Esto requiere primero que todo que Macrobius leyó el *Commentary on Platon’s Timaeus* de Calcidius y considerara involucrar la explicación de los epiciclos hallado en el *Commentary*.

Aún cuando el *Commentary* de Calcidius<sup>31</sup> emplee círculos comúnmente para órbitas ó órbitas

<sup>29</sup>Cf. *Ibid.* pp. 381-82. n. 74-75.

<sup>30</sup>*De Revolutionibus* (1543), f.7v,19-22. transl. Rosen, *On the Revolutions*, pp. 18, 35-36. Cf. Eastwood. *Op. cit.* n. 78.

<sup>31</sup>En la versión de Calcidius para el *Timaeus* 36 D (Ed. Waszink, pp. 28, 21-24) el movimiento relativo para cada planeta no es dado; uno encuentra únicamente que tres movimientos para la misma velocidad y las cuatro velocidades son proporcionales. Esas traslaciones por Calcidius representan adecuadamente a Platón, así que se necesitan

aparentemente en lugar de epiciclos. Sin embargo, Calcidius describe distintivamente el orden Platónico para los planetas como ellos son dados por Platón, que se comportan de forma diferente en Macrobius el orden Platónico para la Luna-Mercurio-Venus, y así. La interpretación para los círculos de Macrobius como epiciclos requiere la suposición de que su audiencia, ostensiblemente su Joven hijo, Eustachius, y más generalmente una audiencia no-sofisticada (astronómicamente), inmediatamente conocieran el futuro del círculos (órbita) para el Sol del círculos (epiciclo) para el planeta, aunque Macrobius nunca mencionara los epiciclos en algún lugar del *Commentary*!

¿Cómo hace Kepler para encontrar una trayectoria heliocéntrica en el pasaje de Macrobius? En primera instancia se observa que él conocía en avanzada lo que deseaba ó esperaba hallar. Evidencia colateral ayuda al marco de sus oportunidades. Por otra parte, ninguna de las referencia tempranas en el siglo XVI para el sistema de Martianus hace alguna referencia a Macrobius, ó las referencias del siglo XVII tales como Riccioli, Argoli, Sherburne y Cellarius. De otro lado, las adiciones de Macrobius son una referencia para Martianus Capella en tiempo de Kepler. Para las 33 ediciones separadas antes de 1600 para el *Commentary of the Dream of Scipio* de Macrobius se tiene una, tal como la de Leiden, 1597, añade una nota para el estamento de Macrobius concerniente a las órbitas (circuli) para el Sol-Mercurio-Venus es equivalente a Copérnico para el conocimiento de Martianus Capella. Es conveniente agregar que Kepler hizo esta anotación, excepto que no hay razón para dudar de esto. Sobre la base de las citas de Kepler para Macrobius, el texto de Leiden 1597 se observa que no pudo ser uno de los orígenes de Kepler, al menos cuando se asienta bajo la copia del texto de Macrobius.

El último origen Kepleriano para el esclarecimiento sobre Platón es el escrito identificado como el *Vetus commentarius* de Bede.

Las citas hechas dejan en claro que éste *Vetus commentarius* emplea el comentario de Calcidius sobre el Timaeus de Platón, excepto que Kepler no lo reconoce e identifica el trabajo en tal dirección.

#### REFERENCIAS

- [1] Peter Barker and Bernard R. Goldstein. Theological foundations of kepler's astronomy. The History of Science Society, pp. 88 – 113, 2001.
- [2] Chang Hai-Chau and Hsiang Wu-Yi. The epic journey from kepler's laws to newton's law of universal gravitation revisited. arXiv:0801.0308v1[physics.hist-ph], 1 Jan 2008.
- [3] Imre Lakatos. La metodología de los programas de investigación científica. Capítulo 4. ¿Por qué superó el programa de investigación de Copérnico al de Ptolomeo?. Versión española de Juan Carlos Zapatero. Alianza Universidad, 1998.
- [4] Cuold Lakatos, even with Zahar's criterion for novel fact, evaluate the Copernican research programme?. Neil Thomason. Brit. J. Phil. Sci. 43 (1992). 161-200.

---

observar los comentarios sobre Platón para más definiciones. El comentario de Calcidius sobre el Timaeus ofrece una clarificación no explícita para el orden exacto del Sol-Mercurio-Venus elaborada en 38 D; y nosotros aprendemos el orden detallado únicamente de su comentario sobre 36 D, donde las proporciones para el movimiento planetario son dadas. Calcidius emplea la sucesión 1,2,3,4,9,8,27 como múltiplos para la distancia unidad Tierra-Luna en la localización para las posiciones relativas de los planetas. Macrobius sigue un trabajo perdido de Porphyry, no a Calcidius, en el empleo de la sucesión 1,2,3,4,9,8,27 como múltiplos sucesivos cada uno para la distancia planetaria inmediatamente precedente, así Marte, V.g., es 9 veces la distancia entre la Tierra y Mercurio. únicamente con esta elaboración posterior de Platón por los comentaristas Platónicos, tales como Calcidius y Porphyry, el Timaeus da una definición adecuada para el orden adecuado de los planetas, y en todos los comentadores se observa ignoran la dificultad en la afirmación de que el Sol con Venus y Mercurio tienen períodos orbitales similares mientras se observan tres marcas diferentes en los intervalos "armónicos". Cf, Ibid. n. 90.

- [5] C. M. Linton. From Eudoxus to Einstein. A history of Mathematical Astronomy. Cambridge University Press, 2004.
- [6] Jean-Pierre Luminet. El Tesoro de Kepler. Traducción de Carlos Gómez. Ediciones B. 2009.
- [7] J. L. Russell. Kepler's laws of planetary motion:1609-1666. BJHS, 2 (5) 1964.
- [8] Victor E. Thoren. Kepler's second law in england. BJHS, 7(27), 1974.
- [9] Derek T. Whiteside. Newton's early thoughts on planetary motion: fresh look. BJHS, 2(6), 1964.

*E-mail address:* taborda50@gmail.com