

Guillermo Coronado Céspedes

## Johannes Kepler y el movimiento del planeta Marte. Un primer momento de la Revolución Kepleriana.

---

*"... Le ruego que me perdone que no le contestase por extenso. Estoy muy ocupado. Acabo de terminar mis estudios sobre los movimientos de Marte, y esto exige un enorme trabajo vital. Estoy escribiendo, pues, una filosofía celeste (o física celeste) en lugar de la teología o la metafísica celeste de Aristóteles. ..."* Kepler a Johann Georg Brengger. Praga, 4 de octubre de 1607.

*"... Creo que como los astrónomos somos en relación con el libro de la naturaleza los sacerdotes del Dios supremo, debiéramos pensar no en la gloria de nuestro ingenio, sino en la de Dios. Quien esté convencido de ello no publicará a la ligera lo que él mismo no crea... Yo me doy por satisfecho con el honor de vigilar con mi descubrimiento la puerta del templo en cuyo altar mayor celebra Copérnico..."* Kepler a Herwart von Hohenburg. Graz, 26 de marzo de 1598.

**Summary:** *This paper deals with the doctrinal shift in Classical Astronomy produced by Kepler's **Astronomia nova**. It deals with the two laws regarding the movement of the planet Mars; laws that imply the rejection of circularity and uniformity as the basic criteria of astronomical theory. It also considers a more general doctrinal framework, that is, a celestial physics that assumes a machine view and a magnetic Sun. All these developments mean a first step toward the Astronomical Revolution.*

**Resumen:** *Se considera el cambio doctrinal de la Astronomía Clásica provocado por la obra de Kepler **Astronomia Nova**. En especial, las dos le-*

*yes del planeta Marte que suponen el rechazo de la circularidad y la uniformidad como criterios básicos de la teoría astronómica. También se trata del marco teórico más amplio, a saber una física de los cielos que supone un enfoque máquina y un sol magnético. Todo ello implica un primer momento en la Revolución Astronómica.*

### I- El problema del movimiento del planeta Marte

En el año de 1600, Johannes Kepler se incorpora al grupo de los asistentes de Tycho Brahe, por ese entonces en la corte de Rodolfo II de Bohemia, en el castillo de Banatek, cerca de la bella

ciudad de Praga. Tycho Brahe le asigna, después de otros encargos, la tarea de establecer matemáticamente la trayectoria u órbita del planeta Marte de acuerdo con los datos astronómicos recopilados durante las investigaciones en el Castillo de los Cielos y del sistema planetario bosquejado por él algunos años antes, en su *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis* de 1588<sup>1</sup>.

Gracias a esta situación, Kepler culmina su deseo de colaborar con Tycho a fin de disponer de las observaciones astronómicas del gran observador del Castillo de los Cielos, y en consecuencia, ser capaz de establecer si las construcciones teóricas apriorísticas de su *Misterio del Cosmos* realmente corresponden a los hechos. Para Kepler tal correspondencia no era simplemente una cuestión de verificación, sino algo mucho más significativo, pues la falta de correspondencia entre las estructuras matemático-teológicas basadas en los cinco poliedros y los datos o hechos implicaría su rechazo a pesar de la belleza y coherencia lógica que él había encontrado gracias a su maravilloso descubrimiento de 1695<sup>2</sup>.

Los supuestos teóricos para realizar la tarea impuesta por Tycho Brahe eran en consecuencia, la versión débil del Axioma 1 de la astronomía clásica, el supuesto o postulado de la circularidad y la uniformidad, por una parte, y el sistema astronómico mixto de Brahe, por la otra<sup>3</sup>. Además, la cuestión consistía no en la utilización de algún modelo basado en esferas etéreas realmente existentes, sino en la trayectoria libre del planeta mismo. Ello porque Tycho Brahe había llegado a la conclusión respecto de la no existencia de las esferas celestes por varias razones entre las que destacan la intersección de las órbitas de Marte y el Sol, y el movimiento de los cometas en tanto cuerpos celestes y no sublunares<sup>4</sup>. En otros términos, se plantea el problema más en el sentido moderno de órbita, y no en el clásico o antiguo de orbe o esfera.

Ahora bien, vale la pena anotar que de la misma cuestión de la trayectoria libre del planeta se desprende la insuficiencia de los enfoques simplemente geométricos o cinemáticos tan comunes en la tradición astronómica clásica, tanto desde los contextos eudoxiano como ptolemaico, como en la misma propuesta copernicana.

En 1601 ocurre otro evento significativo para la cuestión en discusión, a saber, la muerte de Tycho Brahe. Posteriormente Rodolfo II de Bohemia y Sacro Emperador Romano nombra a Johannes

Kepler como sucesor del astrónomo danés en el puesto de astrónomo imperial, título que Kepler ostentará hasta su muerte en 1630. Por supuesto, este nuevo contexto burocrático-personal implica que ya no rige la condición de cumplir con el sistema mixto ideado por el gran observador de los cielos, Tycho Brahe.

En consecuencia, será el heliocentrismo copernicano el marco teórico de referencia para los esfuerzos de Kepler para vencer a Marte, según una imagen bélica sumamente atractiva para él. Pero si se mantiene la consideración de la base empírica tiónica como el referente fáctico indiscutible.

"Los astrónomos no sabían cómo domeñar a ese dios de la guerra (Marte). Pero el magnífico caudillo Tycho ha estudiado sus argucias bélicas en 20 años de guardia nocturna y con la ayuda del curso de la madre Tierra sorteó todas sus sinuosidades".

En realidad, el cambio de esquema astronómico no es muy importante pues se debe recordar que para los efectos planetarios el sistema de Tycho Brahe era heliocéntrico. El geocentrismo de su sistema es de índole básicamente cosmológica, esto es, la Tierra se postula como centro de la esfera de las estrellas fijas, pero la Tierra es únicamente el centro de los movimientos de la Luna y el Sol, entre los cuerpos celestes.

## II- Contexto de descubrimiento

Gracias a las narraciones keplerianas respecto de su batalla con el planeta Marte, se pueden establecer tres etapas básicas en su proceso de descubrimiento de la expresión matemática del movimiento del mismo. En cada una de ellas destaca un problema a resolver y una solución que supone importantes cambios doctrinales en el enfoque astronómico. Brevemente expuestas son las siguientes:

Primera etapa: cuestión de la forma de la órbita. Kepler a pesar de ingentes esfuerzos de cálculo en el sentido tradicional de combinaciones de círculos se enfrenta a la ineludible insuficiencia del círculo como elemento explicativo. Sorprendentemente los datos encajan en una construcción geométrica de tipo "oval". No obstante, se debe rechazar esta posibilidad interpretativa de lo fáctico pues ella no responde a la perfección de los movimientos planetarios. Dependencia del Axioma Segundo de la astronomía clásica, esto es el postulado de la he-

terogeneidad del cosmos y la correspondiente perfección de los cuerpos celestes<sup>5</sup>.

Segunda etapa: la cuestión de la velocidad, esto es, la exigencia de la uniformidad. De la consideración de los datos y los modelos matemáticos se abre para Kepler la posibilidad que, dada una excentricidad en la trayectoria, el radio vector barra áreas iguales en tiempos iguales. Los hechos encajan adecuadamente en el modelo matemático. Se tiene un primer descubrimiento.

Tercera etapa. De nuevo el problema de la forma de la órbita. Y nuevamente se tiene una aparente correspondencia entre los hechos y la "forma oval". Sin embargo, al contrario que en la primera etapa, ahora se plantea una posibilidad de aceptación puesto que Kepler la concibe como una elipse, esto es, una curva geométrica dignificada por una expresión matemática, una ecuación algebraica. Una tal naturaleza matemática le asegura su razón de ser en la naturaleza, es decir, su dignidad como estructura armónica para expresar el movimiento del planeta Marte. Se tiene un segundo descubrimiento<sup>6</sup>.

### III- La publicación. Astronomia nova

Como resultado de un enorme esfuerzo intelectual que se prolongó por varios años, Johannes Kepler, en su obra de 1609, *Nueva Astronomía basada en la causalidad, o Física del Cielo, derivada de las investigaciones sobre los movimientos del Astro Marte fundadas en las observaciones del noble Tycho Brahe*, ofrece al mundo las dos leyes que expresan el movimiento del planeta Marte.

Con el descubrimiento y publicación de las dos leyes específicas del movimiento del planeta Marte, Kepler no solamente cumple con la tarea sugerida por Brahe, sino que conmueve los fundamentos mismos tanto de la astronomía copernicana como clásica. Pero antes de considerar este impacto doctrinal es necesario considerar cada una de las dos leyes en más detalle.

**Primera ley:** la forma de la trayectoria del planeta Marte es una elipse -de muy pequeña excentricidad- con el Sol en uno de sus focos.

**Segunda ley:** El radio vector que une a Marte y al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales. De ella se desprende que la velocidad del planeta Marte no es uniforme sino que varía.

Se debe mantener en mente que la segunda ley fue formulada en primera instancia, según se des-

prende de las etapas psicológicas del proceso de descubrimiento expuestas más arriba.

Sin embargo, la denominación inversa responde a la mayor importancia relativa de la circularidad en el contexto de las ideas filosófico-científicas clásicas.

### IV- La solución. Contexto de justificación

Se debe replantear nuevamente el problema del planeta Marte en su trayectoria o movimiento alrededor del Sol. Y preguntar ¿por qué Marte se comporta de manera tan especial? La justificación radica en que Johannes Kepler no encuentra correlación entre los datos y las construcciones teóricas tradicionales, esto es, edificadas sobre combinaciones de movimientos circulares y uniformes. En forma más específica: no hay tal correlación cuando se respetan los nuevos márgenes de error establecidos por las maravillosamente exactas observaciones de Tycho Brahe.

"Pero nosotros, que tenemos gracias a Dios un observador tan exacto como Tycho, estábamos obligados a reconocer ese don divino y a hacer uso de él... A partir de ahora seguiré para alcanzar la meta el camino que me indiquen mis propios pensamientos. Si hubiera creído que podíamos despreciar esos 8 minutos tendría que haber remendado también mi hipótesis. Pero como no era posible pasarlos por alto, esos 8 minutos señalan el camino que conduce a una transformación total de la astronomía, habiéndose convertido en material para la construcción de una gran parte de esta obra..."

Y no debe olvidarse que Kepler, a pesar de su profunda tendencia a admirar los esquemas armónicos a priori, también reconoce que ellos solamente se justifican o validan cuando corresponden a los datos, a los hechos. Por ello las bellas estructuras de los poliedros regulares que expuso en el *Misterio del Cosmos* se ven cuestionadas por esta situación de la falta de correlación entre hechos y teoría. Y su esperanza que los datos ticónicos confirmaran el esquema geométrico astronómico fracasa.

Ahora bien, esa necesaria correlación entre lo empírico y lo teórico se cumple cuando se asumen las formulaciones matemáticas -elipses y áreas iguales- expresadas por las dos nuevas leyes del planeta Marte. Además, y esto es de naturaleza muy significativa, en tal caso se requiere una única construcción teórica para expresar el movimiento de Marte. No el conjunto de diversos

constructos circulares, según la estrategia de la combinatoria de círculos. En consecuencia, en el caso del planeta Marte, se entreeve la simplicidad que es símbolo de verdad.

Ahora bien, se debe volver al tema de la con-moción respecto de los fundamentos mismos de la Astronomía Clásica. En particular, al cuestionamiento del Axioma Primero de la misma, esto es, la afirmación fundamental que establece que la circularidad y la uniformidad son los criterios para construir y justificar toda explicación astronómica. En efecto, la circularidad y la uniformidad como condiciones de explicación habían regido desde los planteamientos de los primeros astrónomos racionales de los griegos del siglo IV A.C. hasta las propuestas de Copérnico y Brahe en el XVI.

Empero, las dos leyes descubiertas para el planeta Marte como expresión de la base empírica acumulada por Brahe, y además, matemáticamente simples y por ende sugerentemente verdaderas en el mejor de los espíritus copernicanos, quiebran esas dos condiciones de inteligibilidad racional, a saber, la circularidad y la uniformidad. Marte no se mueve respondiendo a combinaciones de círculos, sino de manera de elíptica -sin importar cuán pequeña sea la excentricidad. Marte no se mueve de manera uniforme con respecto a algún posible centro, sino que su velocidad varía aunque no de manera arbitraria sino respondiendo a la constancia del barrido de áreas iguales en tiempos iguales. Sin embargo, lo crucial en este punto, es que Marte no encaja en los criterios tradicionalmente básicos del quehacer teórico de la Astronomía Clásica.

Para reiterarlo, en el caso de Marte se tiene que la relación entre datos y construcciones teóricas supone un abandono total de la prioridad de lo circular y lo uniforme. Esta prioridad, esta primacía de la denominada por Copérnico Regla del Movimiento Absoluto<sup>7</sup>, se resquebraja radicalmente, al menos para el beligerante planeta rojo. La Astronomía Clásica entra en radical crisis puesto que si un planeta no encaja en sus principios fundamentales, hay que empezar a preguntarse por el caso de los demás. Pero esto será objeto de estudio en un futuro ensayo.

Aunque en el caso del mismo planeta Marte, cabe preguntarse por razones más profundas para considerar tan radical cuestionamiento. Es decir, razones que vayan más allá de la importante y fundamental falta de relación entre la base empírica y los modelos geométrico-astronómicos tradicionales.

## V- La explicación causal del movimiento de Marte.

Kepler ofrece una clave de esta plena transformación doctrinal de la astronomía en el mismo título de su obra de 1609, a saber, *Nueva Astronomía basada en la causalidad, o Física del Cielo, derivada de las investigaciones sobre los movimientos del Astro Marte fundadas en las observaciones del noble Tycho Brahe*. En efecto, Kepler ofrece a su lector no solamente una astronomía nueva, con sorprendentes resultados como las dos leyes para el planeta Marte, sino que plantea, más específicamente, una física de los cielos basada en la causalidad.

Para empezar recuérdese parte del primer epígrafe que encabeza este trabajo. "Acabo de terminar mis estudios sobre los movimientos de Marte, y esto exige un enorme trabajo vital. Estoy escribiendo, pues, una filosofía celeste (o física celeste) en lugar de la teología o la metafísica celeste de Aristóteles. ..."

Kepler señala que su propuesta doctrinal supone un rompimiento radical con la manera de interpretar la naturaleza de la astronomía. Él diferencia entre su nueva física de los cielos o filosofía celeste y la teología o metafísica celeste al estilo aristotélico. Es necesario darle sentido a tales distinciones.

El rompimiento se debe a que en la concepción filosófica que da sustento a la Astronomía Clásica, a saber la concepción cosmológica del tipo aristotélico, se tiene el principio de la diferenciación del cosmos en dos regiones esencialmente distintas. Se tiene el Axioma Segundo de la Astronomía, el axioma de la heterogeneidad del Cosmos. Por una parte una región celeste, de lo superior y perfecto, de lo inmutable, de los cuerpos celestes con sus movimientos circulares y uniformes. Por la otra, la región terrestre, inferior, de lo imperfecto y cambiante, de las cosas temporales y físicas conformadas por combinaciones de los cuatro elementos, en que los movimientos son de índole finita -espacialmente y temporalmente-, ya sea hacia abajo o hacia arriba, para aquellos movimientos naturalmente dados.

El supuesto de la heterogeneidad supone que los principios explicativos aplicables a una región son distintos de los de la otra región. En consecuencia, la astronomía y la física no tienen una verdadera conexión doctrinal o real.

Empero, Kepler está proponiendo una física celeste basada en las relaciones de causalidad. Y la esencia de esa causalidad física se manifiesta en la acción magnética, esto es, un tipo de fenómeno o interacción fundamentalmente propio del mundo terrestre, puesto que los magnetos son simplemente piedras provenientes del mundo de los cuatro elementos, no del mundo de los cielos.

"Estoy muy atareado con la investigación de las causas físicas. Mi propósito es demostrar que la máquina celeste ha de ser comparada no a un organismo divino, sino más bien a un mecanismo de relojería..., en la medida en que casi todos los múltiples movimientos se realizan gracias a una única fuerza magnética muy sencilla, como en el caso de una maquinaria de relojería; todos los movimientos [son causados] por un simple peso. Además, demuestro cómo esta concepción física ha de ser presentada por medio del Cálculo y la Geometría". Kepler a Herwart von Hohenburg, 1605.

Kepler agrega, al reto básico supuesto por la causalidad física, la idea de una máquina del universo, de un mecanismo de relojería funcionante a partir de una fuerza magnética, así como en los relojes los contrapesos son la fuente de los movimientos. Y esta idea es crucial puesto que rompe con el organicismo tradicional propio de la imagen del cosmos, en que este era visto como un ser animado, como un todo superior a las partes, o como Platón lo denominó en su *Timeo*, el animal divino por excelencia.

En síntesis, al todo o viviente cósmico, Kepler antepone la máquina celeste, con su conjunto de partes regidas por relaciones mecánicas, mecanismo de relojería, y la fuerza magnética. Fuerza magnética que con asiento en el Sol, el cual rota sobre sí mismo -con ello se modifica una de las afirmaciones fundamentales de Copérnico, quien por razones de analogía teológica lo afirma inmóvil-, es la fuente y fundamento del movimiento del planeta Marte, y por derivación, de todos los cuerpos celestes.

Así, en la propuesta kepleriana se tiene el germen de la homogeneidad constitutiva y operativa -causal- del cosmos, puesto que los cuerpos celestes funcionan por las mismas razones que los cuerpos terrestres. El imán, realidad y acción causal propia del mundo inferior o terrestre, se convierte en la clave para el funcionamiento del mundo celeste<sup>6</sup>. Y una tal homogeneidad constitutiva y causal de lo real, debe recordarse es la esencia misma de la nueva y triunfante física y filosofía

del siglo XVII. De la nueva filosofía y ciencia, como les gustaba denominarla a aquellos que normalmente se asocian con esta radical innovación doctrinal. Descartes, Boyle y Newton.

Lo interesante en este punto es reconocer a Johannes Kepler como un abanderado, lamentablemente casi nunca reconocido, de esta radical y fecunda transformación conceptual.

En efecto, Kepler lo resume perfectamente en la Introducción a su *Astronomia nova*, cuando escribe

"He comenzado diciendo que en esta obra trataré la Astronomía no sobre la base de hipótesis ficticias (hypotheses ficticias), sino sobre la base de causas físicas, y que para este propósito he visto que es necesario proceder por etapas. La primera etapa fue la demostración de que las excéntricas de los planetas concurrían en el cuerpo del Sol. Luego, deduciendo por razonamiento, probé, como había demostrado Tycho, que, puesto que los orbes sólidos no existen, se seguía de ello que el cuerpo del Sol es la fuente y la sede de la fuerza que hace que todos los planetas giren alrededor del Sol. Demostré igualmente que el Sol realiza eso de la siguiente forma: aunque permanece en el mismo lugar, el Sol gira, sin embargo, como sobre una torre y emite, de hecho, a través de la anchura del mundo, una especie (species) inmaterial de su cuerpo, análoga a la especie inmaterial de su luz".

"Esta especie a causa de la rotación del cuerpo solar, gira en forma de torbellino muy rápido que se extiende a través de toda la inmensidad del universo y arrastra a los planetas con ella, arrastrándolos en un círculo con una vehemencia (raptus) que es más intensa o más débil según la densidad de esta especie de acuerdo con la ley de su flujo (effluxus), sea mayor o menor".

El rompimiento doctrinal con los fundamentos de la Astronomía Clásica no puede ser mejor expresado. Por ello, se afirma en este trabajo, que la solución del problema de la trayectoria de Marte, el problema sugerido por Tycho, es la primera etapa en la revolución kepleriana, la estricta Revolución Astronómica.

## Notas

1. *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis*, edición privada de 1588. Publicado de manera póstuma a inicios del siglo XVII. El nuevo sistema de Tycho Brahe era de carácter geo-heliocéntrico: Tierra centro del sistema y el Sol centro de los movimientos planetarios. Con el geocentrismo se respondía a la ausencia del paralaje

estelar, elemento crucial desde el punto de vista astronómico. Y respecto del cual Tycho no acepta la solución de la inconmensurabilidad del tamaño del cosmos y el radio de la orbe terrestre -axioma cuarto del *Commentariolus*. Además se resuelven cuestiones físicas y religiosas que Copérnico simplemente no trata, lo primero por convención y lo segundo por omisión. En el sistema de Tycho, dado su geocentrismo cosmológico, estos problemas simplemente no se presentan. La dimensión heliocéntrica respecto de los movimientos planetarios es equivalente a la concepción copernicana, y por ello la nueva propuesta goza de todas las ventajas y economías de pensamiento de la de Copérnico.

2. Véase Coronado, Guillermo, "Kepler y el misterio del cosmos", *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, XXXIII, # 81, Dic. 1995.

3. Véase Coronado, Guillermo. "Los orígenes de la ciencia moderna y la revolución astronómica". *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*. XXV, #62, 1987.

4. Ver Coronado, Guillermo. "Tycho Brahe: observador de los cielos". *Revista Comunicación*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vol 2, # 3, Año 6, Dic 1986. [Revisado].

5. Coronado, Guillermo. "Los orígenes de la ciencia moderna y la revolución astronómica". *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*. XXV, 62, 1987.

6. Para una exposición estrictamente técnica, véase Wilson, Curtis "Kepler's Derivation of the Elliptical Path", *Isis*, 59, 1968; Aiton, E. J. "Kepler's Second Law

of Planetary Motion", en *Isis*, 60, 1969. También la sección titulada la Conquista de Marte, en Stephenson, Bruce, *Kepler's Physical Astronomy*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.

7. Véase el *Commentariolus* de Copérnico. También Coronado, Guillermo, "Copérnico: reorganizador de los cielos". *Repertorio Científico*. Universidad Estatal a Distancia. Vol 2. #1, Enero-Abril 1994. 22-28.

8. Referencia significativa de Kepler al pensamiento de William Gilbert, Nicolás Copérnico y Tycho Brahe como las fuentes inspiradoras de su quehacer y propuestas teóricas, y de su amor por la verdad y no por la simple gloria o fama. "But I even in private free myself from the blame of seeking after novelty by suitable proofs: let my doctrine say whether there is love of truth in me or love of glory; for most of the ones I hold have been taken from other writers: I build my whole astronomy upon Copernicus' hypothesis concerning the world, upon the observations of Tycho Brahe, and lastly upon the Englishman, William Gilbert's philosophy of magnetism. If I rejoiced in novelty, I could have devised something like the Fracastorian or Patrician systems, ...; similarly for me there is so much importance in the true doctrine of others or even in correcting the doctrines which are not in every respect well established, that my mind is never at leisure for the game of inventing new doctrines that are contrary to the true..." *Epitome*. iv. To the reader.

Guillermo Coronado  
Escuela de Filosofía  
Universidad de Costa Rica