

Algunos Astrónomos después del Renacimiento

José Antonio García-Barreto

*Instituto de Astronomía,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Apdo Postal 70-264, México D.F. 04510, México;
tony@astroscu.unam.mx*

Abril 2006

1 Copérnico (1473 - 1543)

Copérnico estudió leyes y medicina, pero su gran pasión era la Astronomía.

Sus ideas acerca de tener al Sol en el centro del Sistema Solar en vez de a la Tierra se dieron a conocer en 1530 a través de un manuscrito que hizo circular entre sus conocidos. Copérnico no era un astrónomo observacional, sino que su fuerte eran las Matemáticas.

Sus ideas en detalle se publicaron en su libro *De Revolutionibus* en el año de su muerte en 1543. Osiander, un predicador luterano, probablemente fué el responsable del título extenso **De Revolutionibus Orbium Coelestium** y donde también escribió un prefacio expresando el punto de vista en el que la ciencia presentada (en el libro) era sólo un esquema de cálculo. El prefacio era ciertamente en contradicción con las propias ideas de Copérnico.

El libro incluye ciertos postulados, de los cuales deriva su sistema de movimiento de los planetas. Sus postulados incluyen las suposiciones de que el Universo **es esférico** y que los movimientos de los objetos en la esfera celeste **deben estar compuestos de combinaciones de movimientos circulares uniformes**.

1. Copérnico introdujo la idea de **Movimiento relativo** (Ver Fig. 1):

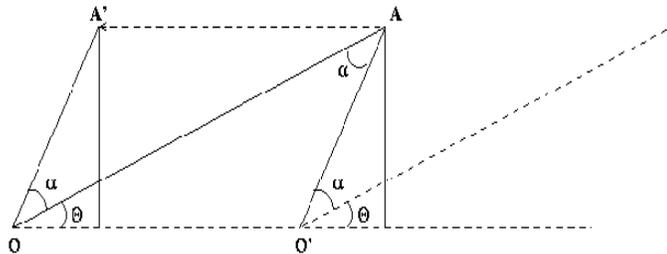


Figure 1:

Si originalmente un observador en O ve a un objeto en la posición A (haciendo un ángulo θ con respecto a la horizontal) y un tiempo después el objeto se mueve de A a la posición A' , el observador ahora tendrá la línea de visión OA' con un ángulo con respecto a la horizontal de $\theta + \alpha$.

Sin embargo, si en vez de que el objeto se mueva de la posición A a la posición A' , es el observador el que se mueve de O a O' , el observador tendrá la línea de visión $O'A$ que hace el **mismo ángulo** $\theta + \alpha$ con respecto a la horizontal.

Por lo tanto no existe una manera categórica de decir si fue el objeto el que se movió ó si fué el observador.

Con esa idea en mente Copérnico argumentó que el movimiento anual aparente del Sol alrededor de la Tierra podría también ser representado como un **movimiento de la Tierra** alrededor del Sol.

Con la misma idea, el movimiento diario aparente de la bóveda celeste alrededor de la Tierra podría muy bien representarse como teniendo a la Tierra rotando alrededor de su eje de rotación y teniendo a la esfera celeste fija.

Contrario a lo que se cree públicamente, Copérnico **no probó** que la Tierra está en movimiento, pero ofreció la suficiente evidencia como para mostrar que la **Hipótesis de una Tierra en movimiento** involucraba menos suposiciones (básicas o ad-hoc) que la otra hipótesis de tener a la Tierra fija y a la esfera celeste en movimiento.

Hubo oposición a la idea de que la Tierra rotase alrededor de un eje, argumentando que la Tierra volaría en pedazos. A esto, Copérnico contestó que si la hipótesis fuese verdadera

de que la rotación de la Tierra haría que esta volase en pedazos, entonces la velocidad de rotación de la esfera celeste causaría **daños** mucho **mayores** (separando sus partes en forma más devastadora).

2. **El concepto más importante** incluido en su libro es el de **considerar a la Tierra como uno de los 6 planetas que se trasladan alrededor del Sol**. El colocó a los planetas en el siguiente orden: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Después dedujo que entre más cerca está un planeta del Sol, mayor será su velocidad de traslación (o mejor dicho, menor será el número de días para completar una revolución alrededor del Sol).

3. Conceptos:

- Planeta **Superior**: Cualquier planeta cuya órbita sea más grande alrededor del Sol comparada a la órbita de la Tierra.
- Planeta **Inferior**: Cualquier planeta con órbita menor a la Tierra.
- Planeta en **Oposición**: Es cuando de vez en cuando la Tierra se encuentra en una posición tal que el Sol está en un lado y en dirección opuesta se encuentra el planeta. El planeta es visible al inicio de la noche y se observa **toda la noche** justo cuando el Sol (o cerca de esa hora) se encuentra en la posición que conocemos como **Amanecer** (Ver Fig. 2).

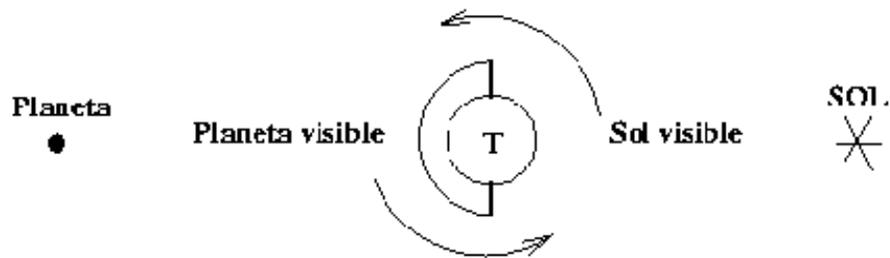


Figure 2:

- Planeta en **Conjunción**: Es cuando un planeta superior se encuentra en la **misma** línea de visión de la Tierra y el Sol. Sobre esta línea el planeta no se podría observar (Ver Fig. 3).

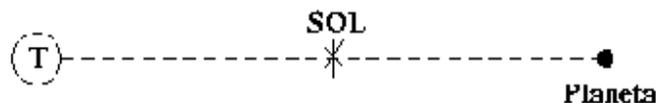


Figure 3:

Para planetas inferiores se denomina Conjunción Superior cuando el planeta está del otro lado del Sol en comparación a la Tierra, y Conjunción Inferior cuando el planeta está en la misma línea, entre el Sol y la Tierra (Ver Fig. 6).

- Planeta en posición de **Cuadratura**: Cuando un planeta superior aparece en la línea de visión 90° con respecto a la línea de visión entre la Tierra y el Sol (Ver Fig. 4).

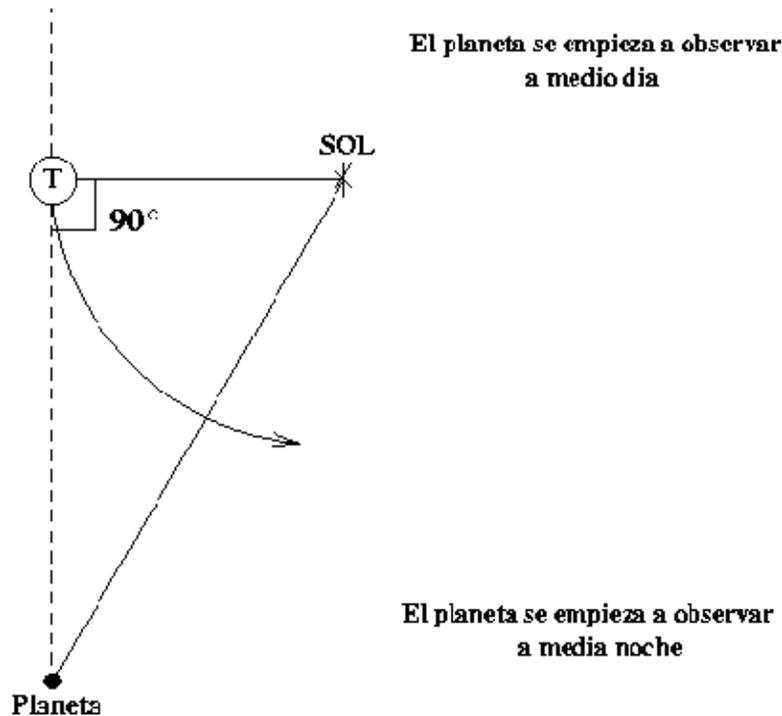


Figure 4:

- El ángulo que forman las líneas entre la Tierra y el planeta, y entre la Tierra y el Sol, se conoce como **Elongación** (Ver Fig. 5).

Un planeta superior está en Oposición cuando su elongación es 180° .

Un planeta superior está en Conjunción cuando su elongación es 0° . De igual forma para un planeta inferior, se encuentra en Conjunción Superior o Inferior cuando su elongación es 0° .

Un planeta superior está en Cuadratura cuando su elongación es 90° .

- **Un planeta inferior nunca se puede encontrar en oposición** (Ver Fig. 6).
- **Periodo sideral de un planeta:** Es el periodo de tiempo que un planeta tarda en trasladarse alrededor del Sol con respecto a la posición de estrellas fijas.
- **Periodo sinódico de un planeta:** Es el periodo de tiempo que el planeta tarda en trasladarse alrededor de la bóveda celeste con respecto al Sol. Es el tiempo que se tarda en regresar de la posición de **Conjunción** a **Conjunción** ó de **Oposición** a **Oposición**.

Cuando T_1 da una revolución alrededor del Sol y regresa al mismo lugar (con respecto a las estrellas lejanas), el planeta sólo recorre una menor distancia y llega al punto P_2 (Ver Fig. 7).

A la Tierra le toma un tiempo extra para que el Sol, la Tierra y el Planeta se encuentren en la misma línea (oposición) con respecto a las estrellas lejanas. Este es el año sinódico (del planeta, en el caso de ser un planeta superior).

Lo que se observa desde la Tierra es el periodo sinódico de un planeta (por ejemplo, de oposición a oposición).

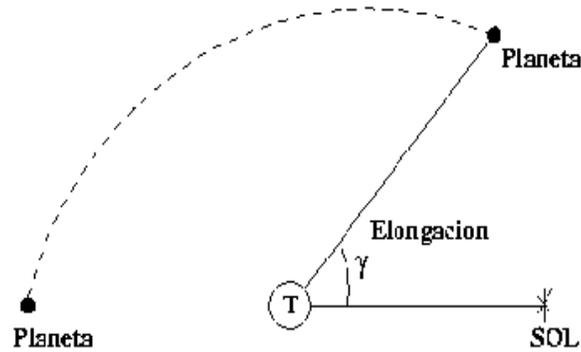


Figure 5:

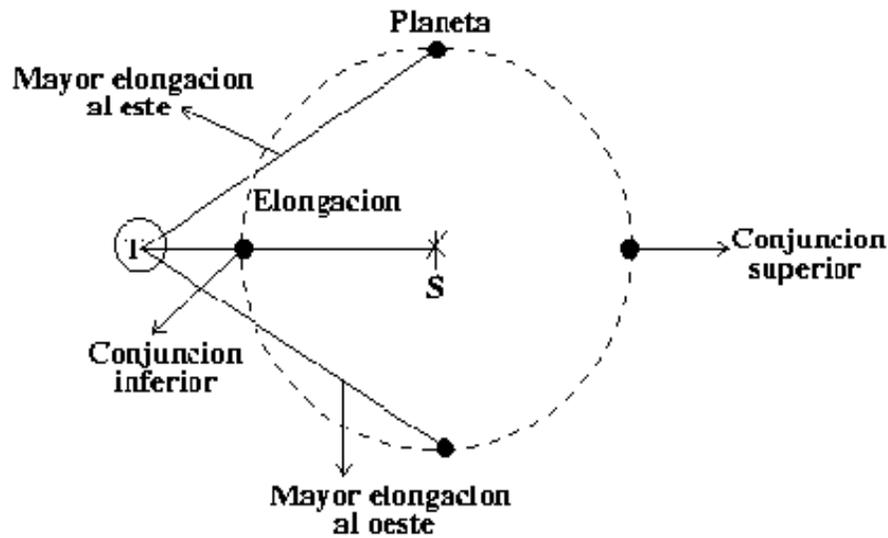


Figure 6:

4. Copérnico fue capaz de encontrar o deducir los **periodos siderales** de los planetas en base a sus **periodos sinódicos**.

Sea el periodo sideral de un planeta P_S y su periodo sinódico S_P . En un lapso de S_P años, la Tierra (que completa un periodo de traslación alrededor del Sol por año) debe de hacer un número S_P de viajes (o traslaciones alrededor del Sol).

El otro planeta que realiza un periodo de traslación en P_S años, haría $\frac{S_P}{P_S}$ traslaciones en un periodo de tiempo igual a S_P .

- **Planeta inferior:** El planeta realiza una vuelta de traslación más alrededor del Sol durante su periodo **sinódico** comparado a la Tierra, de tal forma que:

$$(\text{Planeta inferior}) S_P + 1 = \frac{S_P}{P_S} (\text{Tierra})$$

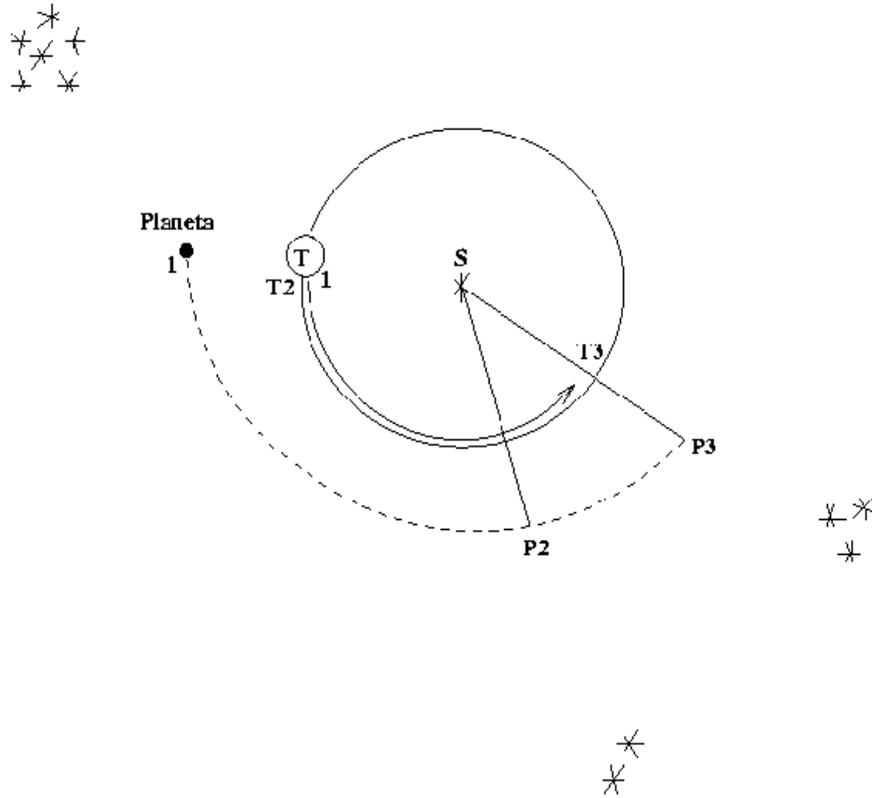


Figure 7:

Por lo tanto : $\frac{1}{P_S} = 1 + \frac{1}{S_P}$ **Para planeta Inferior**

- **Planeta superior:** La Tierra es la que realiza una vuelta más de traslación alrededor del Sol durante el periodo sinódico del planeta superior de tal forma que:

$$\text{(Planeta superior)} S_P = \frac{S_P}{P_S} + 1 \text{ (Tierra)}$$

Por lo tanto : $\frac{1}{P_S} = 1 - \frac{1}{S_P}$ **Para planeta Superior**

Ejemplo: Para Júpiter el periodo sinódico (S_P) es 1.09211 años (se supone que en todo este tratado los años se refieren a “años Tierra”). Por lo tanto su periodo sideral (el tiempo que tarda en su movimiento de traslación alrededor del Sol con respecto a las estrellas lejanas) es:

$$\frac{1}{P_S} = 1 - \frac{1}{1.09211}$$

$$\frac{1}{P_S} = 0.0843$$

Table 1: Tabla de distancias.

Planeta	Copérnico	Actual
Mercurio	0.38 TS	0.39 TS
Venus	0.72	0.72
Tierra	1.00	1.00
Marte	1.52	1.52
Júpiter	5.22	5.20
Saturno	9.17	9.54

TS : Distancia entre la Tierra y el Sol. Actualmente se le conoce como una Unidad Astronómica ($1UA \sim 1.5 \times 10^{13}$ cm).

de donde se obtiene : $P_{S(Júpiter)} = 11.86$ años.

5. Distancias relativas de la Tierra a los planetas:

- Planeta Inferior (Ver Fig. 8):
 θ : Máxima elongación (medible)
 TS : Distancia de la Tierra al Sol
 $\cos \theta = \frac{TP}{TS}$, por lo tanto: $TP = TS \cos \theta$
 $\tan \theta = \frac{PS}{TS}$, por lo tanto: $PS = TS \tan \theta$

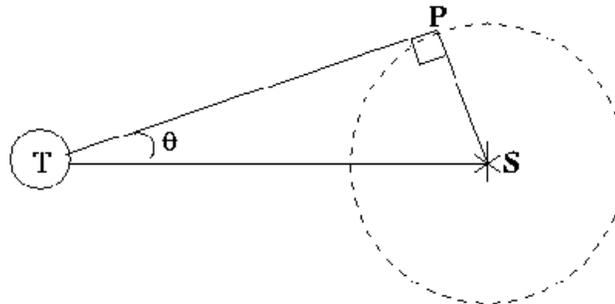


Figure 8:

- Planeta Superior (Ver Fig. 9):
 P_2 : Posición de planeta en cuadratura, es decir, la línea P_2T^1 está a 90° de la línea T^1S .
 $\cos \alpha = \frac{T^1S}{SP_2}$, por lo tanto: $SP_2 = T^1 \sec \alpha$

2 Tycho Brahe (1546 - 1601)

Hijo de una familia de la Alta Nobleza de Dinamarca, desarrolló un interés desde su niñez por la Astronomía. En 1572 observó una “**Nueva estrella**” o **Nova**, la cual fue más brillante que el planeta Venus; la observó por 16 meses hasta que su brillo en el cielo desapareció.

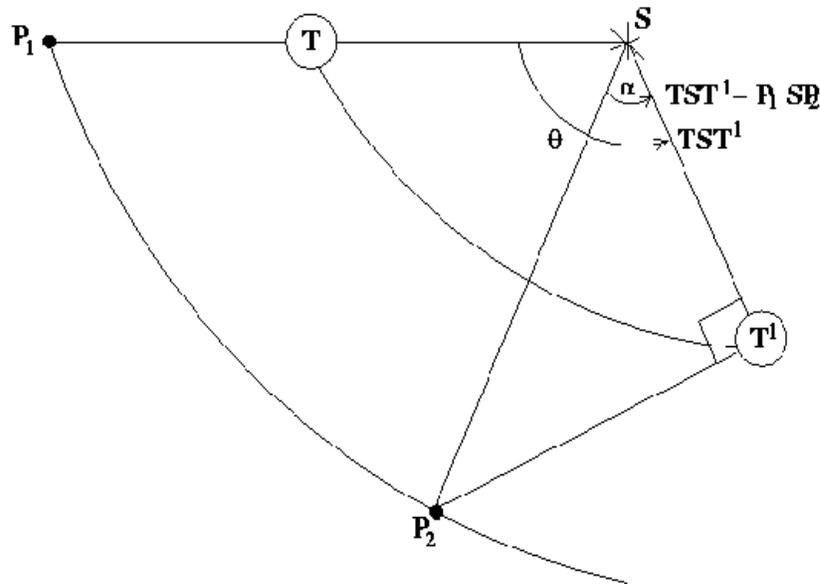


Figure 9:

Actualmente sabemos que no era una nueva estrella, sino que era una estrella en la última etapa de su vida, en la cual sus capas internas son atraídas hacia el centro (calentándose y emitiendo ondas de choque hacia el exterior) y las capas externas son empujadas a distancias mayores del centro a grandes velocidades (entre 2,000 y 10,000 km/seg). A este fenómeno se le conoce como **Supernova**.

El efecto de Paralaje era conocido por Tycho para la Luna y las estrellas de fondo. Sin embargo, nunca pudo “observar” o detectar ningún paralaje de la supernova y por lo tanto concluyó que la supernova debería de estar a una mayor distancia que la Luna (con respecto a la distancia Luna - Tierra). El haber observado una “nueva estrella” y haber continuado su observación hasta que su luz desapareció del cielo fue de **gran importancia** ya que mostró que el hasta entonces considerado Universo quieto, podía mostrar cambios y ser inestable.

Tycho se ganó el apoyo de Frederick II y en 1576 pudo construir y establecer un observatorio en la Isla de Hveen. Tycho era arrogante y prepotente y después de la muerte de Frederick II, el nuevo rey Christian IV decidió no apoyarlo más. Así, en 1597, Tycho tuvo que salir de Dinamarca. Se fue a un lugar cerca de Praga y pasó sus últimos 20 años de vida analizando sus observaciones. En 1600 vino a trabajar con él un asistente de nombre Johannes Kepler.

Tycho observó y creyó que los cometas eran efectos luminosos que se formaban en la atmósfera de la Tierra. En 1577 observó un cometa para el cual **nunca pudo observar el fenómeno de paralaje** y concluyó que por lo menos los cometas deberían estar a distancias mayores que la distancia de la Luna a la Tierra.

Tycho era famoso por sus observaciones precisas de las posiciones de las estrellas y planetas. Sus observaciones de las 9 estrellas principales las realizó con una precisión mejor que 1 minuto de arco. Entre sus observaciones están las del Sol, la Luna y los planetas.

Tycho **re-determinó la longitud (en tiempo) del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol** (ó el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste) **con una exactitud de 1 segundo** (de tiempo).

Tycho rechazaba la Teoría Heliocéntrica de Copérnico, basado en lo que él creía buenos argumentos:

- Encontraba difícil reconciliar una Tierra que se moviera con las frases escritas en la Biblia.

- No se imaginaba un objeto tan grande como la Luna en movimiento.
- No detectaba paralaje de ninguna estrella y eso significaba que las estrellas deberían estar a distancias muy grandes si es que la Tierra se movía alrededor del Sol.

Tycho sugirió una configuración para el sistema planetario solar con la Tierra en el centro, el Sol girando a su alrededor y los demás planetas girando alrededor del Sol en el orden: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (Ver Fig. 10).

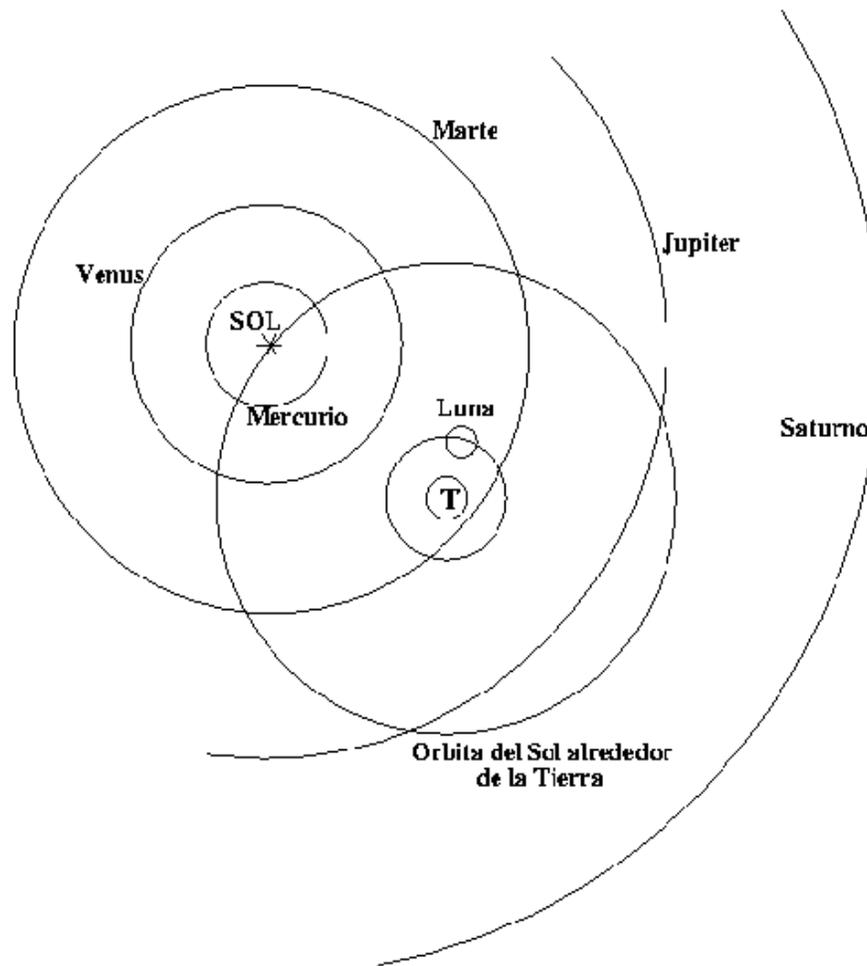


Figure 10:

3 Johannes Kepler (1571 - 1630)

Nacido en Weilder - Staat, Württemberg, en el Sur de Alemania. Estudió teología y asistió a la Universidad de Tübingen donde estudió las ideas de Copérnico. Se convirtió en un defensor de la hipótesis **Heliocéntrica**.

Por su facilidad para las matemáticas, le ofrecieron un trabajo como profesor en matemáticas y astronomía en Gratz; ahí preparó almanaques que contenían datos astronómicos. Sin embargo, siendo Kepler protestante, tuvo que abandonar su trabajo bajo las presiones de la Iglesia Católica y se trasladó a Praga para trabajar como ayudante de Tycho Brahe.

Tycho puso a trabajar a Kepler para encontrar un modelo del Sistema Planetario Solar que estuviese de acuerdo con las múltiples observaciones que se realizaron en la isla de Hveen. A la muerte de Tycho, Kepler fue su sucesor como matemático del Emperador Rudolph y tomó posesión de la mayoría de los datos y notas de Tycho.

Sin duda el estudio más detallado de Kepler fue del planeta Marte y publicó los primeros resultados de su trabajo en 1609 en **“La Nueva Astronomía”** ó **“Comentarios sobre los movimientos de Marte”**.

Al principio Kepler trató de ajustar diferentes órbitas circulares al movimiento de Marte pero no tuvo éxito. Finalmente trató de ajustar o representar la órbita de Marte con una trayectoria ovalada y pronto se dió cuenta de que en verdad la órbita de Marte se podía ajustar mejor, mucho mejor, con una curva que ahora conocemos como elipse (Ver Fig. 11).

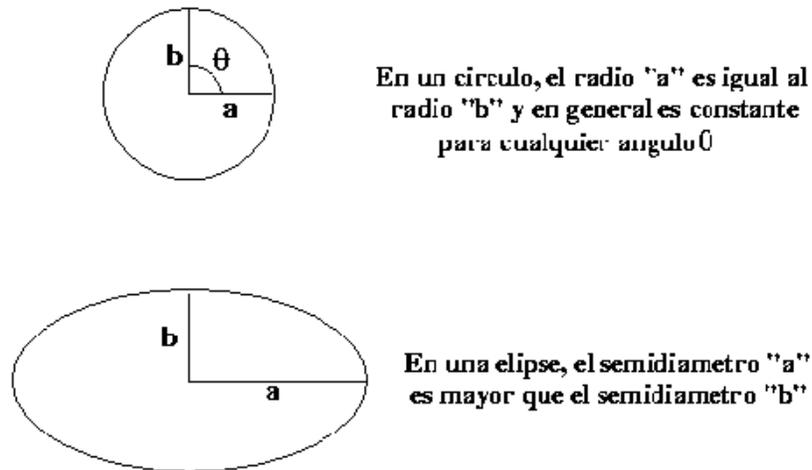


Figure 11:

La elipticidad ϵ se define como:

$$\epsilon = \left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

Para un ángulo $\epsilon = 0$. Si $a = 5b$, $\epsilon = 0.8$ (elipse muy “ovalada”).

Otra propiedad de la elipse es que la distancia $AO + OB$ siempre es constante a lo largo de toda la circunferencia de la elipse, es decir, no importando donde se encuentre el punto O . A los puntos A y B se les conoce como focos de la elipse (Ver Fig. 12).

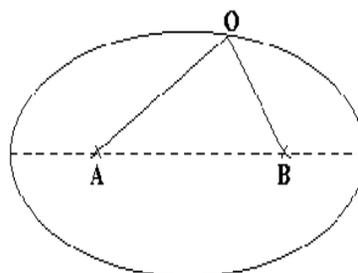


Figure 12:

Johannes Kepler encontró que **Marte tiene una órbita elíptica** y que el Sol está en una posición que coincide con uno de los focos de la elipse. La elipticidad de la órbita de Marte es $\epsilon \simeq 0.10$, es decir, $b = 0.9a$; o sea que el semidiámetro menor es muy parecido al semidiámetro mayor. Este resultado se obtuvo gracias a **las múltiples observaciones de Tycho Brahe y a la perseverancia, paciencia y estudio de Johannes Kepler.**

Al mismo tiempo Kepler determinó que la velocidad de Marte alrededor del Sol **era variable**, es decir, la **velocidad de Marte aumentaba al acercarse Marte al Sol y su velocidad disminuía al alejarse de él.**

Kepler expresó su relación de velocidad variable de Marte como si hubiese una **línea imaginaria entre el Sol y Marte que los conectara.**

Mientras Marte viaja alrededor del Sol en su órbita, en intervalos de tiempo iguales, la **línea imaginaria barrería o cubriría áreas iguales**, algo que se conoce como la **Ley de áreas** (Ver Fig. 13).

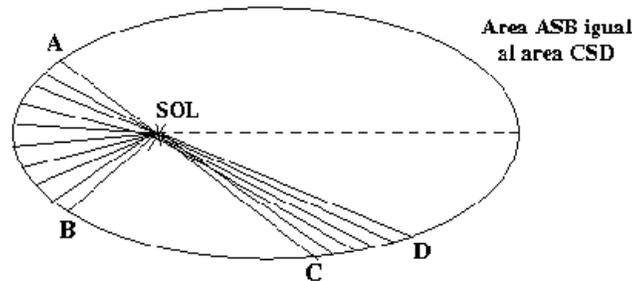


Figure 13:

En la Fig. 14 se encuentra la manera o método que empleó Kepler para estimar la distancia del Sol a Marte.

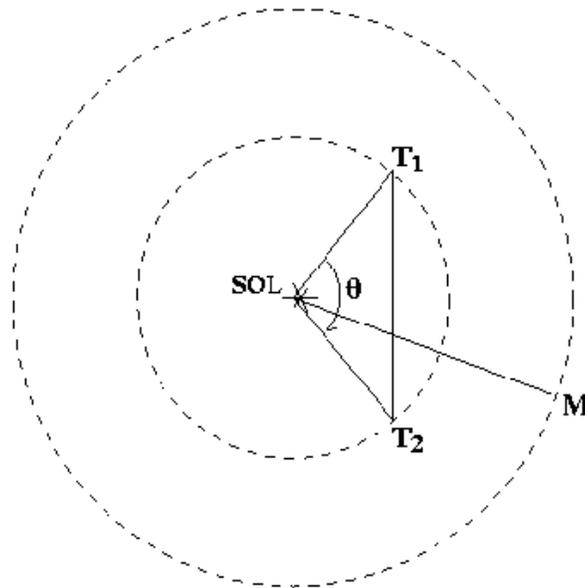


Figure 14:

El periodo Sideral o tiempo de traslación de Marte es 687 días, lo que significa que la Tierra

casi completa 2 vueltas alrededor del Sol. En 687 días la Tierra se encuentra en la posición T_2 y en 730.5 días (365.25×2) estará en la posición T_1 (completa 2 vueltas alrededor del Sol).
 $730.5 - 687 = 43.5$ días que nos da el ángulo T_1ST_2

$$\frac{360^\circ \times 43^d.5}{365^d.25} = 42^\circ.9$$

ST_1 y ST_2 son la distancia del Sol a la Tierra.
 De la Ley de los Cosenos se tiene (Ver Fig. 15):

$$\begin{aligned} c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta \\ &= (ST)^2 + (ST)^2 - 2(ST)(ST) \cos 42^\circ.9 \\ &= 2(ST)^2 (1 - \cos 42^\circ.9) \\ &= 2(ST)^2 (1 - 0.73) \\ &= 2(ST)^2 (0.267) \end{aligned}$$

Por lo tanto : $c = 0.73ST$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \\ \cos \alpha &= \frac{(ST)^2 + (0.73ST)^2 - (ST)^2}{2(ST)(0.73ST)} \\ \cos \alpha &= 0.365 \end{aligned}$$

Por lo tanto : $\alpha = 68^\circ.6$

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \\ \cos \beta &= \frac{(ST)^2 + (0.73ST)^2 - (ST)^2}{2(ST)(0.73ST)} \\ \cos \beta &= 0.365 \end{aligned}$$

Por lo tanto : $\beta = 68^\circ.6$

Leyes de Kepler

1. Cada planeta se mueve alrededor del Sol en una órbita que es una elipse, con el Sol en la posición de uno de sus focos.
2. Ley de las Areas: Cada línea (imaginaria) entre un planeta y el Sol barre o abarca áreas iguales en el espacio en intervalos de tiempo iguales.

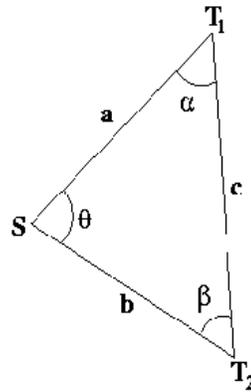


Figure 15:

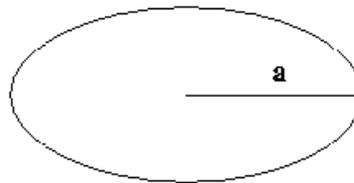


Figure 16:

3. Los cuadrados de los periodos siderales (tiempo de traslación alrededor del Sol) de los planetas son directamente proporcionales a los cubos de los semiejes (semidiámetros) mayores de sus órbitas (Ver Fig. 16):

$$P^2 = Ka^3$$

Ejemplo:

Tierra: $a = 1UA$, $P = 1$ año, $K = 1$

Marte: $a = 1.524UA$, $P = 1.881$ años (terrestres)

UA : Unidad Astronómica (distancia de la Tierra al Sol).

4 Galileo Galilei (1564 - 1642)

Nació en Pisa, Italia. Estudió Medicina pero después se inclinó por las Matemáticas. Por su carácter inquisitivo siempre rehusó aceptar frases dogmáticas basadas solamente en la autoridad de “escritores anteriores”.

En 1589 se ganó el título de Profesor de Matemáticas y Astronomía en la Universidad de Pisa. En 1592 se trasladó a la Universidad de Padua, donde permaneció hasta 1610 cuando se convirtió en el matemático del Gran Duque de Toscana.

Alrededor de 1590's Galileo aceptó y adoptó la hipótesis de Copérnico donde el Sol está en el centro y todos los demás planetas se trasladan a su alrededor.

1. Galileo había establecido el principio de inercia (la cual indica que cuerpos sobre los que no actúe ninguna fuerza permanecerán sin movimiento (si ese era su estado original) o en movimiento continuo (si se estaban moviendo).

2. Galileo se percató de los primeros telescopios manufacturados en Holanda por Hans - Lipershey en 1608, y él mismo construyó su propio telescopio con un poder de amplificación de 3X (los objetos aparecen 3 veces más cercanos y 3 veces de mayor dimensión) y su mejor telescopio tenía un poder de 30X.
3. Galileo descubrió que Venus presentaba fases (lado brillante y parte oscura) justo como la Luna.
4. Descubrió las Lunas o satélites más grandes de Júpiter y dedujo que podría haber objetos moviéndose alrededor de otro que a su vez se traslada (alrededor del Sol). Por ejemplo, la Tierra tiene a la Luna moviéndose a su alrededor y a su vez trasladándose alrededor del Sol.
5. Galileo descubrió las manchas solares dándose cuenta que se movían más rápido las que se encontraban cerca del ecuador y más lentamente las que se encontraban cerca de los polos.

Periodos orbitales de los planetas (Ver Fig. 17):

$$T_n = T_0 A^n : \text{Periodo orbital del } n \text{ planeta}$$

$$T_0 \simeq T_e : \text{Periodo de rotación del planeta o Sol}$$

$$\log_{10} T_n = n (\log_{10} T_0 + \log_{10} A)$$

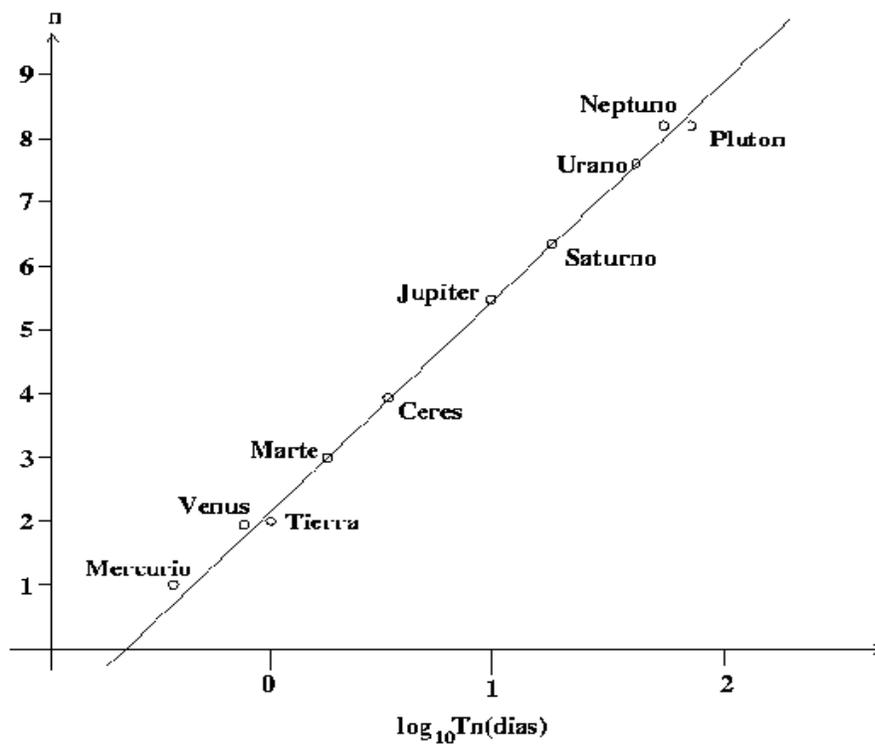


Figure 17:

Table 2: Propiedades de los planetas.

Planeta	Día	a	P	ϵ	i
Mercurio	58.6 ^d	0.387 <i>UA</i>	0.241 años	0.206	7°
Venus	243 ^d	0.723	0.615	0.007	3°24'
Tierra	24 ^h	1	1	0.017	0°0'
Marte	24 ^h	1.524	1.881	0.093	1°51'
Júpiter	10 ^h	5.203	11.862	0.048	1°18'
Saturno	10 ^h	9.534	29.456	0.056	2°29'
Urano	10.8 ^h	19.2	89.02	0.047	0°46'
Neptuno	15.8 ^h	30.1	164.8	0.009	1°46'
Plutón	6 ^d 9 ^h	39.4	248	0.250	17°10'

Agradecimientos

JAG-B desea agradecer a la alumna Tula Bernal Marín por la ayuda en la elaboración de las figuras y transcripción del texto manuscrito a este documento.

Bibliografía

- Abell, G. 1969 *Exploration of the Universe*, Nueva York: Holt, Reinhart & Winston Press.
 Harwitt, M. 1973 *Astrophysical Concepts*, Nueva York: Ed. Wiley.