

Distancia Tierra - Sol

Dr. José Antonio García Barreto

Investigador Titular B

Instituto de Astronomía,

Universidad Nacional Autónoma de México

Material didáctico para su uso en el curso Astrofísica General a nivel licenciatura en la Facultad de Ciencias, UNAM, sólo para estudiantes de física. Abril 2020

Los conceptos de planetas (estrellas viajeras) en oposición, planetas en conjunción, ángulo de elongación, planeta en ángulo de elongación de 90° , en cuadratura, su concepto de movimiento relativo, y su gran idea de considerar a la Tierra como un planeta, le dieron a Nicolás Copérnico las bases para formular su modelo teórico para interpretar todas las observaciones desde tiempos inmemorables de los movimientos relativos de los planetas, la luna y el sol sobre la bóveda celeste. Con la publicación de su libro en 1543, se presentaba al mundo académico el modelo Heliocéntrico del Sistema Solar.

En éste modelo los planetas Mercurio y Venus se trasladan alrededor del Sol en movimientos circulares pero a distancias menores que la distancia entre la Tierra y el Sol (ya que ninguno de esos 2 planetas se podían observar en cuadratura, ni en oposición. En ese modelo, los planetas Marte, Júpiter y Saturno se trasladan alrededor del Sol en movimientos circulares pero con distancias mas grandes ya que se podían observar en cuadratura y en oposición.

La vista de perfil del sistema solar heliocéntrico de Copérnico colocaba los planetas de la siguiente manera en función de su distancia mayor a menor del planeta al Sol (caricatura, ***no está a escala***):

Saturno Júpiter Marte Tierra Venus Mercurio Sol.

Con ésta distribución de los planetas, Nicolás Copérnico denominó planetas inferiores a Mercurio y Venus, y planetas superiores a Marte, Júpiter y Saturno.

Este modelo podía explicar sin menos suposiciones todos los movimientos relativos del Sol, La Luna, y los planetas. Por ejemplo: el movimiento de todos ellos saliendo por el oriente y ocultándose por el poniente, se podría explicar solamente con el concepto de que la Tierra gira sobre su eje (lo que da el intervalo de 24 horas o 1 día).

El movimiento relativo del Sol sur -norte – sur se podría explicar por el concepto de la traslación de la Tierra alrededor del Sol (intervalo de 365 días y 6 horas). Este concepto también podría explicar el movimiento relativo del sol con respecto a las constelaciones.

El concepto de periodo sideral (intervalo de tiempo en el que un planeta se traslada desde un punto de inicio , con respecto a estrellas fijas en la bóveda celeste, alrededor del Sol hasta regresar al mismo punto, con respecto a estrellas fijas en la bóveda celeste) y el concepto de periodo sinódico (intervalo de tiempo en el que un planeta superior se traslada desde su posición en oposición alrededor del Sol, hasta que se observa en forma consecutiva en oposición), le permitieron a Nicolás Copérnico estimar los periodos siderales de los cinco planetas en función del periodo sideral de traslación de la Tierra, el cual ya habíamos mencionado que era de 365 días y 6 horas, o 1 año.

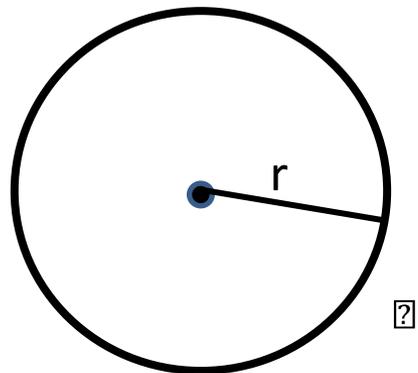
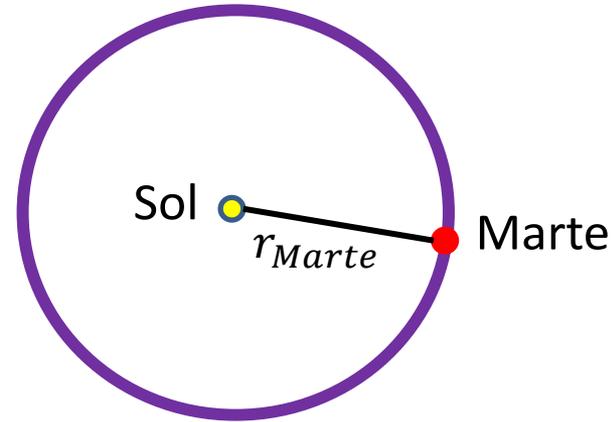
Utilizando funciones trigonométricas, **Nicolás Copérnico** pudo estimar las distancias relativas de cada planeta al Sol en función de la distancia entre la Tierra y el Sol que consideraba como 1.

Planeta	Distancia al Sol
Mercurio	0.4
Venus	0.7
Tierra	1
Marte	1.5
Júpiter	5
Saturno	9

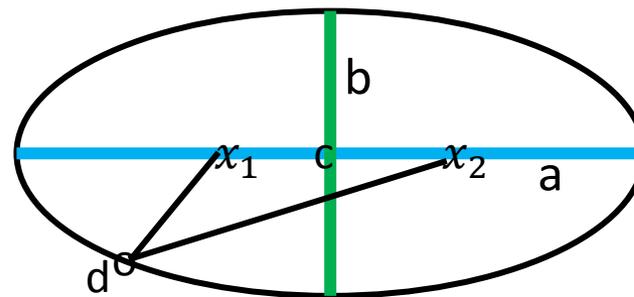
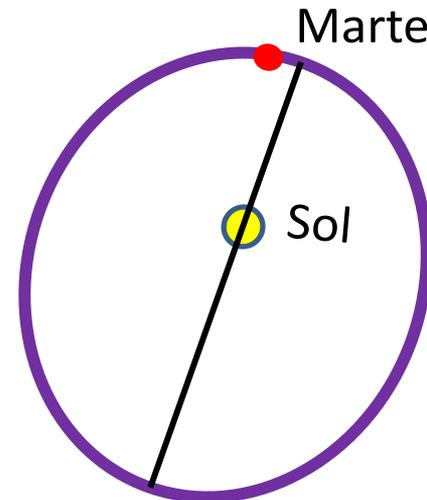
Con las observaciones a través de su telescopio, **Galileo Galilei** en 1609 y publicadas en 1610 dio los argumentos experimentales para apoyar el modelo Heliocéntrico de Copérnico. El gran reto desde entonces era estimar la distancia Tierra – Sol en unidades físicas, por ejemplo en kilómetros.

J. Kepler con las bitácoras de observación de Tycho Brahe principalmente del planeta Marte, pudo interpretar sus movimientos relativos, en el modelo heliocéntrico de Copérnico, siempre y cuando el **movimiento de traslación** de Marte alrededor del Sol **no fuera con forma de círculo**, sino con **forma de elipse**, con el Sol en uno de sus focos.

Caricaturas de la órbita circular según Copérnico (izquierda) y la órbita elíptica de Kepler (derecha, *no están a escala*)



En coordenadas polares (r, θ) una trayectoria en forma de círculo se define como
 $r = constante$



a = semieje mayor
 b = semieje menor
 c = centro geométrico
 d = punto sobre la elipse
 e = elipticidad

Para una trayectoria en forma de elipse, la distancia
 $(x_1 - d) + (d - x_2) = constante$

$$e = \sqrt{1 - \frac{b}{a}}$$

Durante la segunda guerra mundial, se desarrolló y se maximizó la técnica de **RADAR**.

Esta técnica involucra enviar una radiación electromagnética en ondas de radio hacia una superficie reflectora de ondas E&M, recibirla y estimar el intervalo de tiempo. Con el intervalo de tiempo y la velocidad de propagación de la radiación E&M, de la solución de las ecuaciones de Maxwell, es posible estimar la distancia de la superficie reflectora, $d = \frac{1}{2} \Delta t \times c$.

El valor estimado experimentalmente en Inglaterra en el artículo publicado en la revista Nature en 1958, Volumen 181, página 258 es $c = 299,792,458 \text{ m/s}$.

Debido a que las órbitas de los planetas son elipses y no círculos, la distancia de un planeta al Sol varía con respecto a la posición del planeta en su trayectoria.

En Astronomía se llegó al acuerdo de estimar el **semieje mayor de la órbita** de un planeta en su traslación alrededor del Sol y a esa dimensión se le denomina la

Distancia del Planeta al Sol

Distancia Tierra – Sol, a_T : historial

THE ASTRONOMICAL JOURNAL

VOLUME 72, NUMBER 3

APRIL 1967

Astronomical Constants and Planetary Ephemerides Deduced from Radar and Optical Observations

MICHAEL E. ASH, IRWIN I. SHAPIRO, AND WILLIAM B. SMITH

Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts*

(Received 16 September 1966)

Lugar	Frecuencia	Fecha	Segundos τ	Distancia ($\tau \times c$)
	Onda E&M			Tierra-Sol = a_T
EE UU	Luz visible	Antes de 1961	Paralaje Sol	150,886,423 km
Millstone (MIT), Massachusetts	440 MHz	1961	499.0052 \pm 0.001	149,598,000 km \pm 300
Golstone (JPL), California	2388 MHz	1961	499.0071 \pm 0.001	149,598,600 km \pm 250
Jodrell Bank (UK)	408 MHz	1961	499.011 \pm 0.017	149,600,000 km \pm 5,000
Goldstone (JPL)	2388 MHz	1964	499.006 \pm 0.0002	149,598,388 km \pm 50
MIT, JPL, JB		1967	499.004785 New 499.004786 Eins	149,597,871.049 \pm 2.218 km
JPL (Voyagers)		2010's	499.004783806 \pm 0.00000001	149,597,870.691 \pm 0.003 km

Mercurio, Venus, Tierra

THE ASTRONOMICAL JOURNAL

VOLUME 72, NUMBER 3

APRIL 1967

Astronomical Constants and Planetary Ephemerides Deduced from Radar and Optical Observations

MICHAEL E. ASH, IRWIN I. SHAPIRO, AND WILLIAM B. SMITH

Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts*

(Received 16 September 1966)

	Mercurio		Venus		Tierra	
Orbita	Newton	Einstein	Newton	Einstein	Newton	Einstein
Semieje Mayor, a	0.3870984504	0.3870984149	0.7233299028	0.7233298596	$\tau=499.$ 004785 $a_T = 1$	$\tau=499.$ 004786 $a_T = 1$
Excentricidad, ϵ	0.2056252912 $\epsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$	0.2056252616	0.0067893379	0.0067893036	0.0167	
Inclinación plano de la órbita	$7^\circ.0055$ ± 0.0059		$3^\circ.3977$ ± 0.0004		0°	

$$a_T = 149,597,870.691 \pm 0.003 \text{ km}$$