

Cosmovisión desde Grecia a Galileo

Diego Mardones
Departamento de Astronomía,
Universidad de Chile



- ONU: **año internacional de la astronomía** para conmemorar los 400 años desde que Galileo Galilei observara por primera vez el cielo por un telescopio.

Galileo en Contexto:

1. Inicios de la Astronomía: Mesopotamia a Grecia.
2. Cosmovisión: Grecia hasta **Ptolomeo**.
3. Renacimiento: **Copérnico a Galileo**.
4. Desenlace: Newton a Bessel.

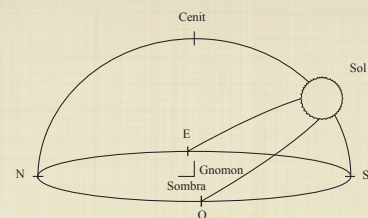
1. OBSERVACIONES:

- **DÍA Y AÑO:**
- **VISIBILIDAD DE ESTRELLAS,**
- **POSICIÓN DEL SOL EN EL CIELO (C/R ESTRELLAS).**
- **MES:**
- **FASES DE LA LUNA.**

1. MEDICIONES:

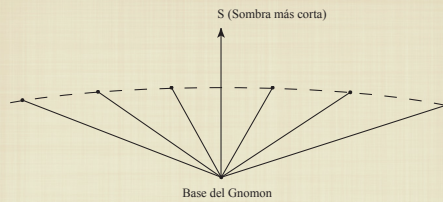
- **GNOMON PERMITE MEDIR HORA, FECHA, LATITUD, DIRECCIONES CARDINALES.**
- **CUADRANTE PERMITE MEDIR ÁNGULOS.**
- **1 HORA $\approx 15^\circ$ EN EL MOVIMIENTO DIURNO, 4 MIN $\approx 1^\circ$**
- **TAMAÑO ANGULAR DE LUNA $\approx$ SOL $\approx 1/2^\circ$**

USO DEL GNOMON



- **SOMBRA MÁS CORTA INDICA DIRECCIÓN NS, MEDIODÍA LOCAL, Y ALTURA MÁXIMA DEL SOL.**
- **ALTURA MÁXIMA DEL SOL INDICA LATITUD LOCAL Y "LATITUD" CELESTE DEL SOL.**

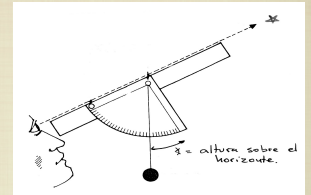
USO DEL GNOMON



- PRECISIÓN DE 1° EQUIVALE A:
 - 4 MINUTOS EN MEDIODÍA LOCAL;
 - 4 DÍAS EN DETERMINACIÓN DE SOLSTICIOS O EQUINOCCIOS.

CUADRANTE

MIDE ALTURA SOBRE
EL HORIZONTE.
PRECISIÓN $\approx 1^\circ$



- SI USAMOS UNA MARCA CADA MM PARA INDICAR $1/6^\circ$ SE NECESITAN 540 MM PARA EL CUADRANTE O UN RADIO DE 34 CM.
- SI EL RADIO ES DE 1 M, 1 MM CORRESPONDE A $3.4'$

OBSERVATORIOS



1. MOVIMIENTO DEL SOL

- SOL SE MUEVE HACIA EL ESTE C/R A LAS ESTRELLAS FIJAS, COMPLETANDO UN GIRO AL AÑO, O BIEN 1° POR DÍA. LUEGO LAS ESTRELLAS SALEN CADA DÍA 4 MINUTOS ANTES QUE EL DÍA ANTERIOR (2 HORAS POR MES).
- MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL EN EL CIELO DEFINE LA ECLÍPTICA, ZODÍACO (Y ESTACIONES).
- PERÍODO SIDERAL (C/R A ESTRELLAS) VS PERÍODO SINÓDICO (C/R AL SOL) CONOCIDO EN ANTIGÜEDAD.

1. CALENDARIO

1 AÑO = 365.2422 DÍA; 1 MES = 29.5306 DÍA

12 MES = 354.3671 D $\Rightarrow$ AÑOS DE 12 O 13 MES

PROBLEMA:

ENCONTRAR UN PERÍODO MÚLTIPLO DE 1 MES Y 1 AÑO

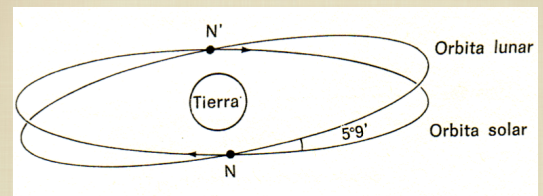
8 AÑOS = 2921.94 D VS 99 MESES = 2923.53 D

19 AÑOS = 6939.60 D VS 235 MESES = 6939.69 D

Dif = 2.16 horas

≈ 160 A.C. HIPARCO CONOCÍA EL AÑO CON UN ERROR DE 12S

1. SOL VS LUNA



- **FASES:** CICLO DE FASES LUNARES SE REPITE APROXIMADAMENTE CADA 19 AÑOS.
- **ECLIPSES:** CICLO DE ECLIPSES SE REPITE CADA 18 AÑOS 11 DÍAS 8 HORAS (1 SAROS).

1. CONCLUSIONES

- **ESFERA CELESTE ES MUY PREDECIBLE:**
 - CALENDARIO
 - FASES LUNARES
 - ECLIPSES
- **EVENTOS CELESTES (SOL) AFECTAN A TIERRA (ESTACIONES)**

1. PERO ...

- **PLANETAS SE MUEVEN CERCA DE LA ECLÍPTICA HACIA EL ESTE C/R ESTRELLAS FIJAS.**
 - LUNA, SOL, MERCURIO, VENUS, MARTE, JÚPITER, SATURNO
- **OCASIONALMENTE INVIERTEN SU MOV.**
 - SALVO LUNA Y SOL
- **TIENEN BRILLO VARIABLE.**
- **VENUS Y MERCURIO CERCANOS AL SOL.**

PLANETAS:

PLANETA	P _{SIDERAL}	P _{SINÓDICO}
LUNA	27.3 DÍA	29.5 DÍA
MERCURIO	88 D	116 D
VENUS	225 D	584 D
SOL (TIERRA)	1 AÑO	-
MARTE	1.9 A	780 D
JÚPITER	11.9 A	399 D
SATURNO	29.5 A	378 D

2. Modelando el Cosmos

- *Grecia Clásica (Atenas)*
 - **Pitágoras** (s. VI ac): Rol privilegiado de matemática (geometría)
 - **Empédocles** (s. V ac): tierra-agua-aire-fuego
 - **Platón** (s. IV ac):

Guarden los datos (explicar observaciones)

Movimiento esférico uniforme

2. Eudoxio 410-355 ac

- **Cuatro esferas homocéntricas por planeta:**
 1. Gira en 24 horas, eje paralelo al Eje del Mundo (NS).
 2. Gira con el Período Sideral (año) del planeta, eje perpendicular al plano de la eclíptica.
 3. Ejes sobre la eclíptica (pero no paralelos) y giran con la misma velocidad angular pero en sentido contrario. Reproducen el movimiento retrógrado de los planetas.
- **El planeta se encuentra sobre el ecuador de la esfera interna.**
- **27 esferas:** 1 para las Estrellas fijas; 20 para los cinco planetas (4 c/u); 6 para el Sol y la Luna (3 c/u).

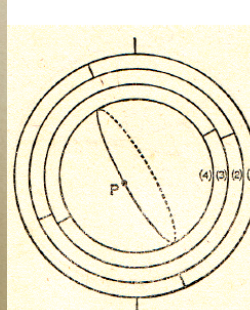


DIAGRAMA 6. La teoría de Eudoxio sobre las esferas concéntricas. El planeta (P) se halla en el ecuador de la esfera (4), fuera del plano del resto del diagrama.

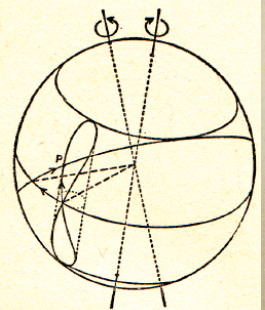
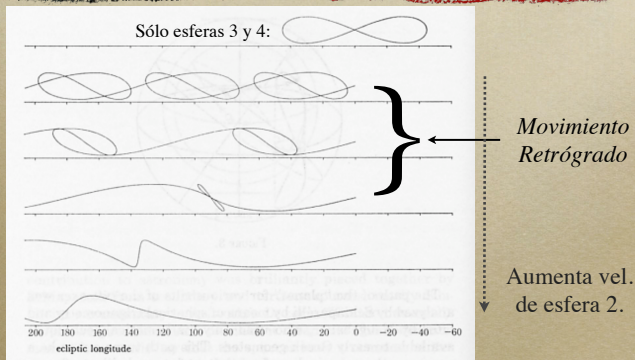


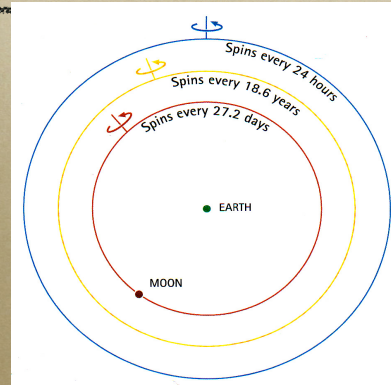
DIAGRAMA 7. Ilustración de la "hipópede" de Eudoxio. De la Scripta Mathematica de Neugebauer, número 19 (1953), p. 229.

Eudoxio: Hipópede



Esfera 1 (exterior) representa el movimiento diurno.

Eudoxio: Luna



1. Movimiento diurno
2. Regresión de los nodos
3. Período Sideral

2. Aristóteles 384-322 ac

- Gran discípulo de Platón; se acerca a la filosofía a través principalmente de la observación.
- Física distinta en el cielo y la tierra:
Cielo **inmutable**: éter, esfera.
Tierra **cambiable**: tierra-agua-aire-fuego.
- Movimiento se explica por la tendencia natural de los cuerpos de buscar su equilibrio entre estos 4 elementos.
- Universo mecánico: 53 esferas cristalinas



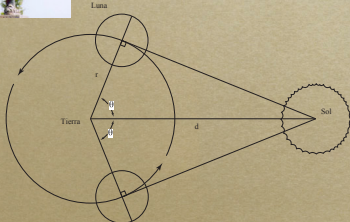
2. Alejandría

- Euclides 323-283 ac
- Aristarco de Samos 310-230 ac
- Eratóstenes 276-194 ac
- Apolonio de Perга 262-190 ac
- Hiparco de Rodas 190-120 ac
- Ptolomeo 100-160 dc

2. Aristarco de Samos

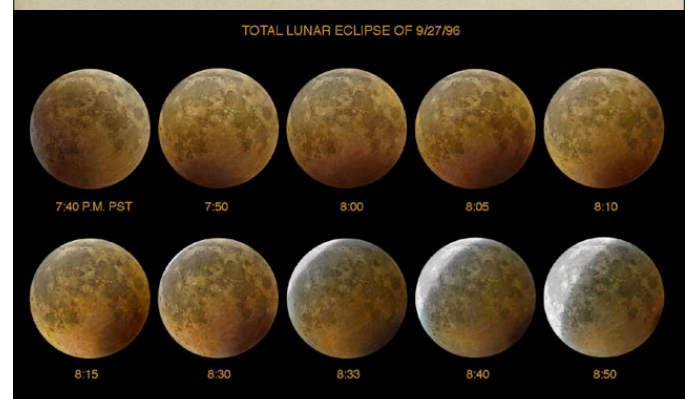
Mide la razón entre las distancias al Sol y a la Luna:

$$d_{\text{sol}} = 19 d_{\text{luna}} \text{ luego } R_{\text{sol}} = 19 R_{\text{luna}}$$



$$\begin{aligned} 2\theta &= 14^\circ \\ 360^\circ - 2\theta &= 15d \\ \theta &\sim 87^\circ \end{aligned}$$

Eclipse total de Luna, notar forma de la sombra terretre

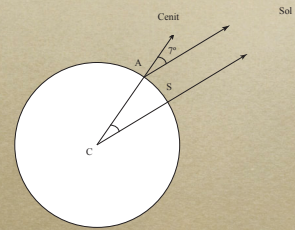


Aristarco de Samos

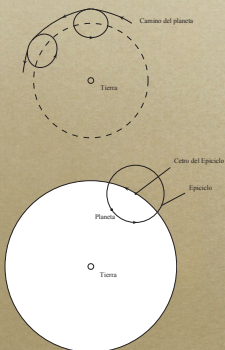
- Pero midiendo la sombra de la tierra en un eclipse de Luna concluye que $R_{\text{tierra}} = 3 R_{\text{luna}}$
- Luego el Sol debe ser más grande que la tierra y propone sistema heliocéntrico.
 - movimiento diurno debido a rotación terrestre
 - año debido a traslación terrestre

2. Eratóstenes

- *Mide el radio terrestre*



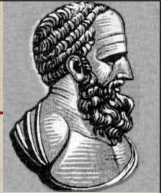
2. Apolonio: epiciclos



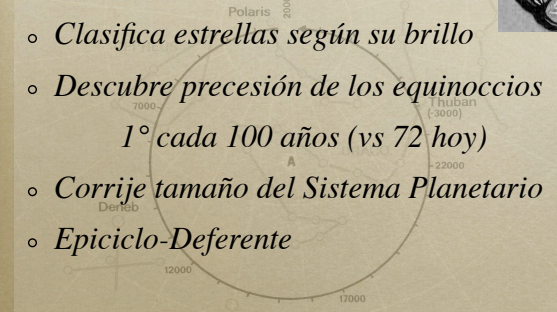
Utiliza una combinación de dos movimientos circulares (epiciclo y deferente) para explicar el movimiento retrógrado de los planetas.

Ojo: epiciclo gira con el deferente!

2. Hiparco 190-120 ac



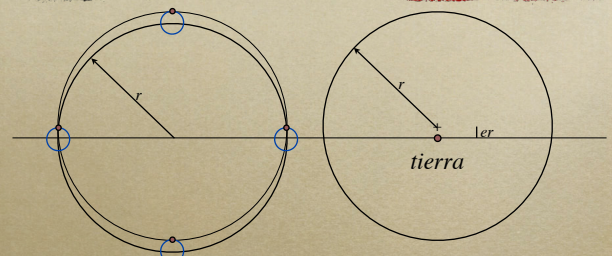
- *Clasifica estrellas según su brillo*
- *Descubre precesión de los equinoccios*
1° cada 100 años (vs 72 hoy)
- *Corrige tamaño del Sistema Planetario*
- *Epiciclo-Deferente*



Hiparco: epiciclos

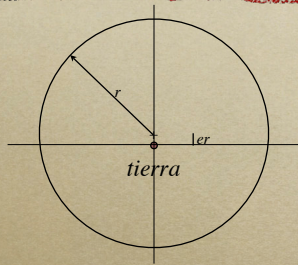
- Demuestra que es equivalente:
 1. El Sol describe un círculo de radio r centrado a una distancia e de la tierra en un año
 2. El Sol se mueve en un epiciclo de radio e en dirección EO mientras el epiciclo describe un círculo de radio r en dirección opuesta.
- Desplaza el centro del Deference Solar del centro de la tierra de modo de reproducir el largo desigual de las estaciones:
 - Verano 89.0d, Otoño 92.9d, Invierno 93.7d, Primavera 89.6d

Hiparco: epiciclos



- Demuestra que es equivalente:
 1. El Sol describe un círculo de radio r centrado a una distancia e de la tierra
 2. El Sol se mueve en un epiciclo de radio e en dirección EO mientras el epiciclo describe un círculo de radio r en dirección opuesta.

Hiparco: epiciclos



- Desplaza el centro del Deferente Solar del centro de la tierra de modo de reproducir el largo desigual de las estaciones:
 - Verano 89.0d, Otoño 92.9d, Invierno 93.7d, Primavera 89.6d

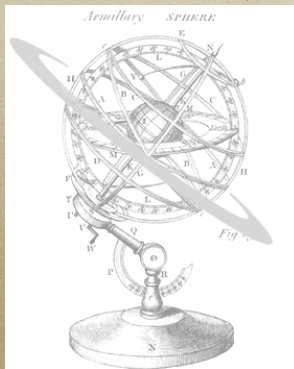
2. Claudio Ptolomeo



- Almagesto (150 dc):*
 - Libro I: Cosmología aristotélica
 - Libros II, III: Esfera celeste, Sol, estaciones, ...
 - Libros IV, VI: Luna, eclipses
 - Libros VII, VIII: Estrellas, precesión
 - Libros IX, XII: Mov. planetario en longitud (eclíptica)
 - Libro XIII: Mov. planetario en latitud
- Almagesto: Descripción matemática predictiva*

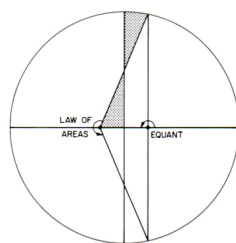
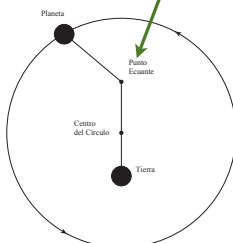
Ptolomeo

Describe el uso de una esfera armillar para realizar observaciones:



Ptolomeo

- Introduce punto **Ecuante**, opuesto (equidistante) a la tierra del centro del Deferente.
- Velocidad angular de un planeta es constante visto desde el Ecuante; una buena aproximación a la 2^{da} Ley de Kepler! (Adiós Platón-Aristóteles)



Ptolomeo: Sistema Geocéntrico

Mercurio y Venus:

- Deferente con $P = 1$ año
- Epiciclo con $P = P_{\text{sinódico}}$

$$R = R_{\text{sol}}$$

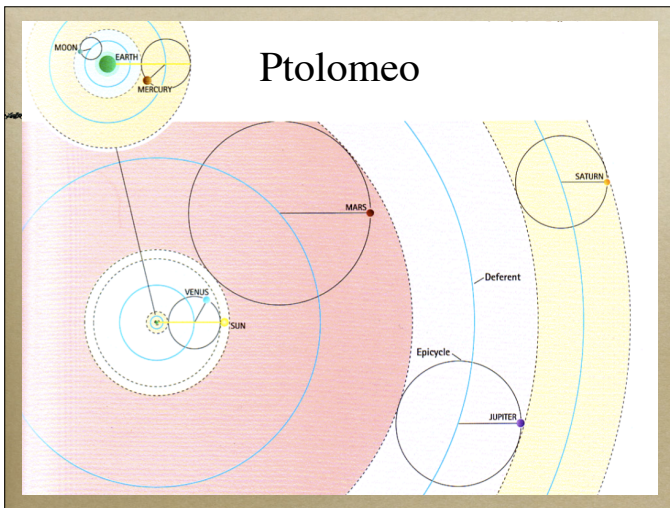
$$R = R_{\text{orb}}/R_{\text{sol}}$$

Marte, Júpiter, Saturno:

- Deferente con $P = P_{\text{sinódico}}$
- Epiciclo con $P = 1$ año y radio siempre paralelo a dirección del Sol!

$$R = R_{\text{orb}}/R_{\text{sol}}$$

$$R = R_{\text{sol}}$$



Ptolomeo

Ptolomeo

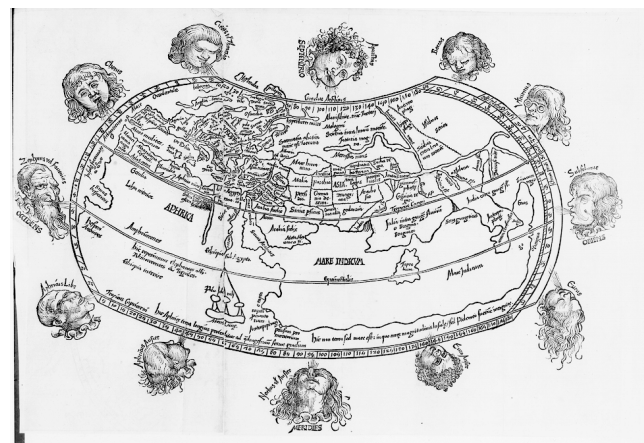
Planeta	$P_{\text{sinódico}}$	años	P_{sideral}	e
Saturno	$57 \text{ ps} =$	$59 \text{ y} + 1.75 \text{ d} =$	$2 \text{ r} + 1.7^\circ$	0.114
Júpiter	$65 \text{ ps} =$	$71 \text{ y} + 4.9 \text{ d} =$	$6 \text{ r} + 4.8^\circ$	0.092
Marte	$37 \text{ ps} =$	$79 \text{ y} + 3.2 \text{ d} =$	$42 \text{ r} + 3.^\circ$	0.200
Venus	$5 \text{ ps} =$	$8 \text{ y} + 2.3 \text{ d} =$	$8 \text{ r} + 2.2^\circ$	0.042
Mercurio	$145 \text{ ps} =$	$46 \text{ y} + 1.03 \text{ d} =$	$46 \text{ r} + 1^\circ$	---

Ptolomeo: latitud eclíptica

- Agrega un “epiciclito vertical” con período = P_{sideral} para Saturno, Júpiter, Marte.
- Venus y Mercurio: 2 epiciclitos verticales del epiciclo c/r al deferente; y 1 epiciclito vertical del deferente c/r eclíptica.

Mercurio: órbita ovalada

Ptolomeo: primer mapa con Lat-Long



2. Tamaño Sistema Planetario:

Distancia	Aristarco	Hiparco	Ptolomeo	Hoy
d_{Luna}	20	60.5	59	60.3
R_{Luna}	$\frac{1}{3}$	0.29	0.294	0.272
d_{Sol}	400	2550	1210	23400
R_{Sol}	7	$12 \frac{1}{3}$	5.5	109

(En radios terrestres)

2. Conclusiones

- Sistema de Ptolomeo es un modelo matemático **muy adecuado** para reproducir observaciones de la época (precisión de $\frac{1}{4}^\circ$).

Edad Media

- ♦ Árabes llevan conocimiento griego y el dígito **cero** indio a Europa.
- ♦ Tablas de Toledo; Tablas Alfonsinas 1252
- ♦ Aquino, Dante, Petrarca, Boccaccio.
- ♦ Universidades, imprenta, brújula.
- ♦ Ockam, Leonardo, Colón ...



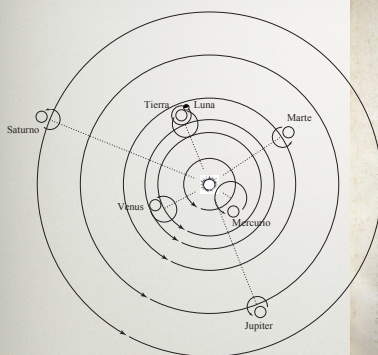
3. RENACIMIENTO CIENTÍFICO

- Nicolás Copérnico 1473-1543
- Tycho Brahe 1546-1601
- Johannes Kepler 1571-1630
- Galileo Galilei 1574-1642
- Isaac Newton 1643-1727

3. NICOLÁS COPÉRNICO

- Sol al centro del sistema para iluminar el mundo.
- Sistema Solar adquiere escala espacial natural.
- Estrellas fijas las ubica a 2000 UA de modo de no tener paralaje anual medible.
- Movimiento diurno es "natural" luego no hay consecuencias mecánicas debido a rotación terrestre.
- Elimina el punto ecuante de Ptolomeo y lo reemplaza por un epiciclo.

1543: De Revolutionibus Orbium Coelestium



Total 48 círculos!

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBUS ORBIVM
COELESTIVM, Libri VI.

Habes in hoc operam reconditam, & editam,
studiosè lector, Motus Stellarum, sunt fixarum,
quoniam errantium, sunt ex terrestribus, sunt etiam
ex remotis observationibus refutatos: & no-
va inlucet ac admirabilibus hypotheticis or-
nata: Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex
quibus eisdem ad quodvis tempus quoniam facili-
ter calculare poteris. Ignotum enim, fuisse, fruisse.

Exemplum huius libri.

Noviſſime apud Ioh. Petrum,
Anno M. D. XLIII.

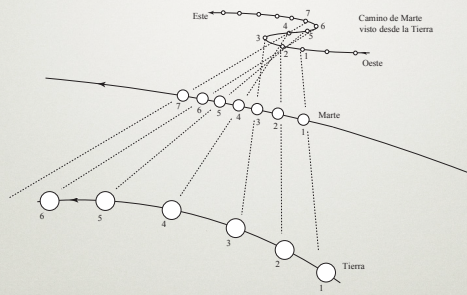
PREFACIO DE OSIANDER

To the Reader Concerning the Hypotheses of this Work

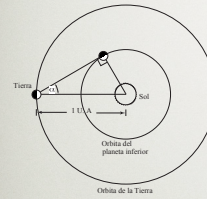
There have already been widespread reports about the novel hypotheses of this work, which declares that the earth moves whereas the sun is at rest in the center of the universe. Hence certain scholars, I have no doubt, are deeply offended and believe that the liberal arts, which were established long ago on a sound basis, should not be thrown into confusion. But if these men are willing to examine the matter closely, they will find that the author of this work has done nothing blameworthy.

For it is the duty of an astronomer to compose the history of the celestial motions through careful and expert study. Then he must conceive and devise the causes of these motions or hypotheses about them. **Since he cannot in any way attain to the true causes, he will adopt whatever suppositions enable the motions to be computed correctly [...].** The present author has performed both these duties excellently. **For these hypotheses need not be true nor even probable.** On the contrary, if they provide a calculus consistent with the observations, that alone is enough. [...] For this art, it is quite clear, is completely and absolutely ignorant of the causes of the

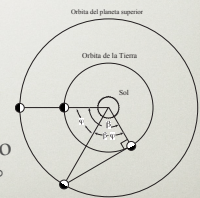
MOV. RETRÓGADO SIN EPICICLOS



DISTANCIA A PLANETAS



Planeta interior (Mercurio y Venus):
elongación máxima



Planeta Exterior: intervalo de tiempo
entre oposición y elongación de 90°

MODELO DE COPÉRNICO

- El Sol está desplazado del centro del deferente de la tierra (como Hiparco).
- Todas las órbitas planetarias son centradas en el centro del deferente de la tierra.

TAMAÑO SISTEMA SOLAR

Planeta	Copérnico	Hoy
Mercurio	0.38	0.3871
Venus	0.72	0.7233
Tierra	1.0	1.0
Marte	1.52	1.5237
Júpiter	5.22	5.2026
Saturno	9.07	9.5549

COPÉRNICO VS PTOLOMEO

- Movimiento en Longitud: ambos modelos son equivalentes.
 - Movimiento en latitud:
 - Ptolomeo: planos orbitales pasan por la Tierra;
 - Copérnico: planos orbitales pasan por centro de órbita terrestre (que no es el Sol!).
- ⇒ Copérnico es mucho más preciso en Latitud!

Uso de paralaje para medir distancias.



3. TYCHO BRAHE

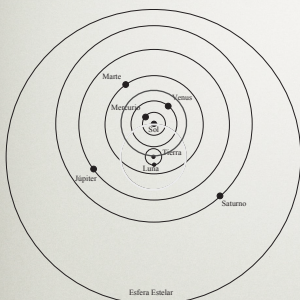
- Observatorio de Uraniborg en isla de Hveen.
- 25 años de observaciones estelares y planetarias con precisión de 1'
- Nova de 1572 no tiene movimiento propio: en esfera de estrellas fijas.
- Cometa de 1577 no tiene paralaje geocéntrico: 5x más lejano que Luna.
- Propone Sistema híbrido Ptolomeo-Copérnico.



TYCHO BRAHE



MODELO DE TYCHO BRAHE



- Tierra estática al centro.
- Planetas giran en torno al Sol.
- Sol gira en torno a Tierra.
- Estrellas Fijas también.

Esencialmente idéntico a Copérnico pero sin paralaje anual.

Navaja de Ockam s.XIII

De todas las explicaciones posibles de cualquier fenómeno natural, aceptamos como probablemente más correcto el que sea conceptualmente más simple.

Giordano Bruno s.XVI

- Universo es Infinito
- Estrellas son Soles

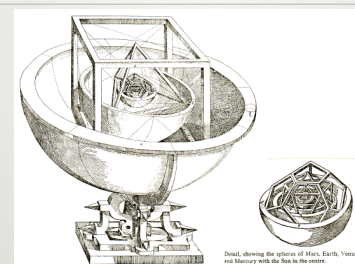
3. JOHANNES KEPLER

Gran matemático, se encantó con la simplicidad del modelo de Copérnico.

Dedica su vida a buscar la **causa** del orden del sistema planetario (Sol).



KEPLER



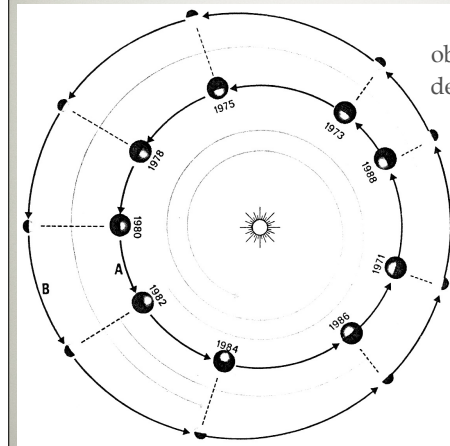
1596: **Mysterium Cosmographicum**

Modelo de las distancias de los 6 planetas al Sol a partir de los 5 polihedros regulares .

KEPLER HEREDA A TYCHO:

- Se dedica principalmente a estudiar e intentar reproducir la órbita de Marte, que mostraba las mayores desviaciones c/r al sistema de Ptolomeo.
 - A partir de observaciones de Marte siempre en el mismo punto de su órbita, dibuja la órbita terrestre.
 - A partir de observaciones de Marte en Oposición, dibuja órbita de Marte.
 - Prueba ajustar todo tipo de curvas hasta que encuentra la elipse.

Marte en Oposición:

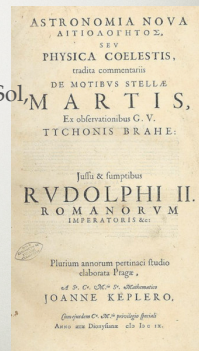


Tycho tenía 10 observaciones precisas de Marte en oposición.

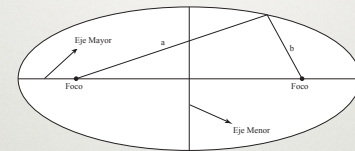
KEPLER HEREDA A TYCHO:

- 1609: **Astronomía Nova**
 - Marte gira en órbita elíptica en torno al Sol, que ocupa uno de sus focos.
 - El radio vector Sol-Marte barre áreas iguales en tiempos iguales.

No a órbitas circulares
No a velocidad constante

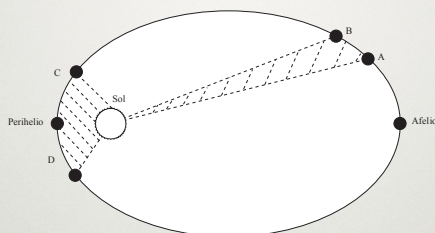


PRIMERA LEY DE KEPLER:



órbitas elípticas con el Sol en un foco.

SEGUNDA LEY DE KEPLER:

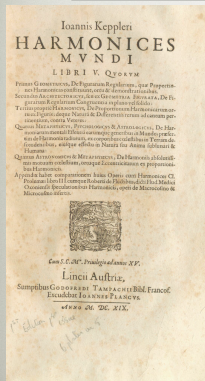


Línea Sol-Planeta barre áreas iguales en tiempos iguales:
no hay velocidad uniforme.

KEPLER

- 1610: Dissertatio cum Nuncio Sidereo.
- 1611: Doptrice (telescopio de Kepler).
- 1619: **Harmonía Mundi** (3ª ley).
- 1617, 1620, 1621: **Epitome Astronomía Copernicana**.
Aplica sus 3 leyes a todo el Sistema Solar.
- 1627: **Tablas Rudolfinas**.
- 1634: **Somnium** (viaje a la Luna).

TERCERA LEY DE KEPLER



Planeta	a	P	a ³	P ²
Mercurio	0.3871	0.2409	0.0580	0.0580
Venus	0.7233	0.6152	0.3784	0.3785
Tierra	1.0	1.0	1.0	1.0
Marte	1.5237	1.8809	3.5375	3.5377
Júpiter	5.2028	11.8622	140.8350	140.7130
Saturno	9.5388	29.4577	867.9230	867.7560

KEPLER

- Órbitas NO-circulares, no hay epiciclos.
- Velocidad orbital NO es constante.
- El Sol empuja a los planetas en sus órbitas, mientras más lejos del Sol es menor su influencia.

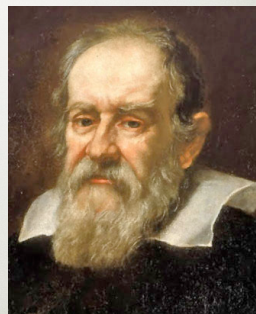
3. GALILEO GALILEI

Gran físico italiano.

Caída de los cuerpos:
aceleración no depende de su masa.

⇒ Contradice mecánica de Aristóteles.

Gran divulgador/escritor.



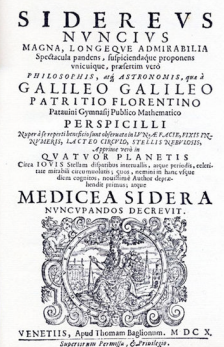
GALILEO GALILEI

1609: construye telescopios ...

1610 Mensajero Sideral:

- Cráteres Lunares.
- Vía Láctea compuesta de estrellas.
- Satélites de Júpiter.

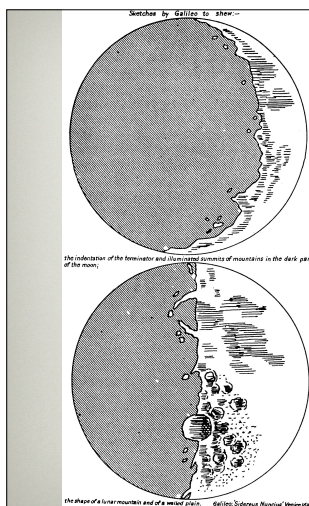
Plática de Luis Felipe Rodriguez



Galileo 1609

Observa directamente los
cráteres lunares.
Estudiando sus sombras
durante el mes lunar,
determina la altura de varios
de ellos:

La Luna NO es esférica!



Galileo 1609

Descubre numerosas
estrellas nuevas en Orion,
las Pleiades ...
La Vía Láctea está
compuesta de millares de
estrellas.

[illegible]

Figure 5-21 Drawings of Jupiter's satellites from Galileo's notebook.

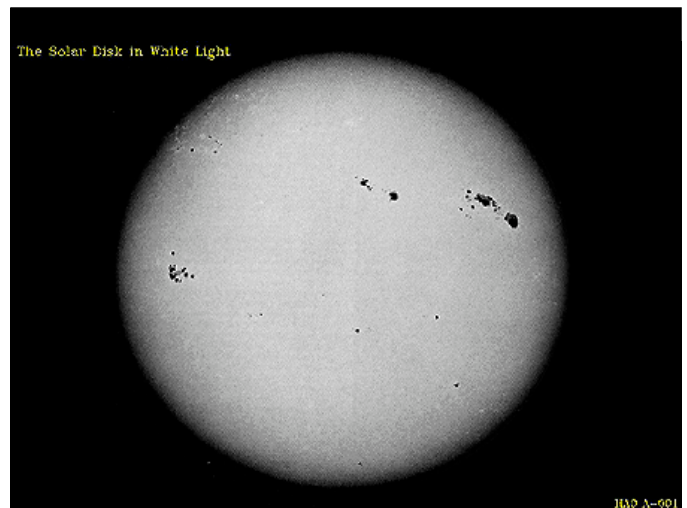
THE SIDEREAL MESSENGER.

75

Pro.	DATE.	EAST.	WEST.
30	Jan. 31	* ○	*
31	Feb. 1	* ○	*
32	2	* ○	*
33	2	* * ○ * *	*
34	3	* ○ *	*
35	4	* * ○ * *	*
36	4	* * ○ *	*
37	6	* ○ *	*
38	7	* * ○	
39	8	* * *	
40	9	* * ○ *	
41	10	* * ○	
42	11	* * ○ *	
43	11	* * * ○ *	
44	11	* * * ○ *	
45	12	* * ○ * *	
46	13	* ○ * *	
47	15	* * ○	
48	15	* * ○	

Pro.	DATE.	EAST.	WEST.
49	Feb. 15	* * ○ *	
50	16	* ○ *	*
51	17	* ○ *	*
52	18	* ○ * *	*
53	18	* * ○ *	*
54	19	* ○ *	*
55	21	* ○ *	*
56	25	* * ○ *	
57	26	* ○ *	
58	26	* ○ * *	
59	26	* ○ * *	
60	27 ⊙ Star.	* * ○ *	
61	28 Star ⊙	* ○ *	
62	28	* ○ *	
63	Mar. 1	* * ○ *	
64	2	* * ○ *	Star ⊙

Prefacio de Ossiander sobre fases



Este diagrama ilustra el modelo geocéntrico. El Sol (Sol) está a la izquierda, la Tierra (Tierra) en el centro y Venus (Venus) a la derecha. Se muestran las órbitas concéntricas y la línea de visión desde la Tierra hacia Venus.

A diagram illustrating a total solar eclipse. On the left is the Sun, in the middle is the Moon, and on the right is the Earth. They are all aligned horizontally. The Moon is positioned between the Sun and the Earth. The Moon's shadow is cast onto the Earth's surface, representing the path of totality.

⇒ Venus gira en torno al Sol!

GALILEO

- 1632: Dialogo dei due massime sistemi del mondo. (⇒ condena inquisición)
- 1638: Discorsi i dimostrazioni matematiche intorno a due nuova scienze. (Mecánica y Materiales)

3. CONCLUSIONES

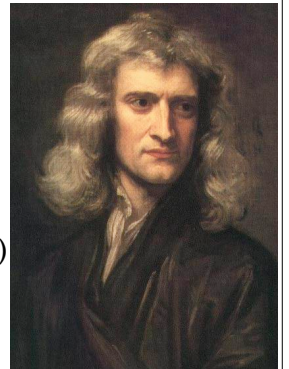
- Modelos de Ptolomeo/Copérnico/Tycho son correctos a primer orden en e.
- Fases de Venus privilegia modelos de Copérnico-Kepler/Tycho por sobre Ptolomeo.
Búsqueda de paralaje anual.
- Tablas Rudolfinas de Kepler son nuevo estandard de cálculo planetario.
Espera teoría sobre Gravitación.
- Nacimiento de mecánica y óptica.

4. Desenlace

- Gilbert: "De Magnete" (1600),
Tierra es un imán, **acción a distancia.**
- Kepler, Galileo, Descartes
- Newton: Gravitación Universal (1687)
- Medida de UA, c, aberración, paralaje

4. Isaac Newton

- Cálculo
- Mecánica (Galileo)
- Gravitación Universal (1687)
Leyes de Kepler
Mareas
Precesión de los Equinoccios
- Óptica



4. Conclusiones

- Sistema planetario gira "en torno" al Sol:
Tierra se mueve.
Paralaje anual es la base de escala de distancias en astronomía hoy.
- Mecánica es la base de la física moderna:
Gravitación Universal su primer gran éxito.