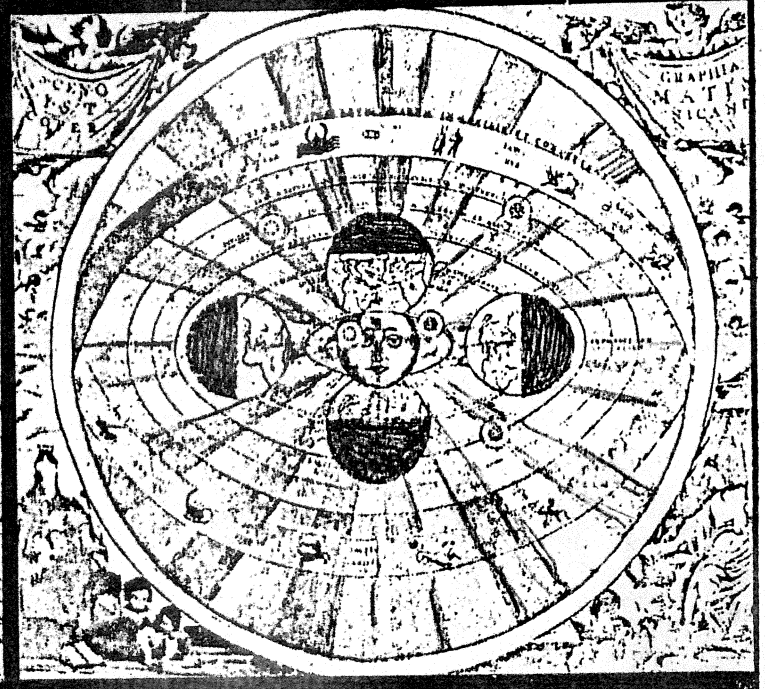
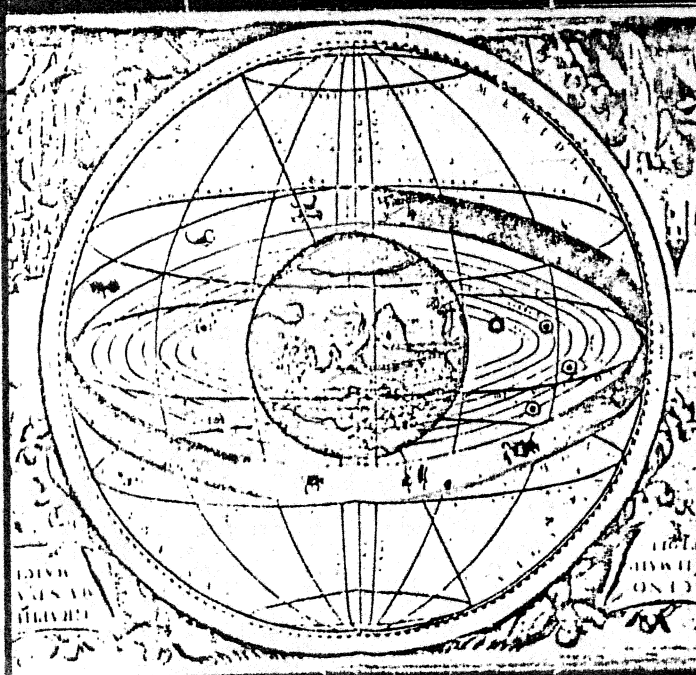




ASOCIACION DE ASTRONOMOS  
AUTODIDACTAS DE COLOMBIA

# LOS SISTEMAS DEL UNIVERSO DE TOLOMEO Y COPERNICO



## LOS SISTEMAS DEL UNIVERSO DE TOLOMEO Y COPERNICO

La concepción que el hombre tiene de la naturaleza, y de su relación con ella, determina toda su actividad. Dicha concepción ha sido completamente distinta en diversas culturas; en la cultura de occidente sufrió un cambio drástico durante los siglos XV, XVI y XVII. Es la época en la cual pensadores como Copérnico, Kepler y Galileo, inconformes con el sistema conceptual netamente aristotélico predominante, desataron una revolución científica que dió origen al posterior desarrollo científico y técnico de la sociedad industrial moderna.

"Visto a distancia, el hilo conductor de la entera revolución científica consiste en una transformación relativamente autónoma. Se trata del paso a la nueva astronomía, esto es, como prefiere decir Kuhn, de la revolución copernicana". (1)

En este artículo se pretende dar una idea de cual fue el cambio que se dió en la concepción de la naturaleza, durante los siglos XV, XVI y XVII, en Europa. Primero veremos el movimiento de los astros tal como se observa desde la Tierra, y después diremos como explican estos fenómenos el sistema De Tolomeo y el de Copérnico.

### 1. ESTRELLAS Y ESTRELLAS ERRANTES.

Si observamos las estrellas durante la noche, veremos que todas se mueven, pero mantienen siempre sus posiciones relativas de

---

(1) Darío Rei, La revolución científica, p. 7, Ed. Icaria, Barcelona, 1978.

unas con respecto a otras, lo cual permite agruparlas en Constelaciones. Si nos encontramos en un lugar situado a la misma latitud de Europa, veremos que durante la noche las estrellas que se ven hacia el oeste van bajando hacia el horizonte; las estrellas del este se van levantando del horizonte; hacia el norte hay estrellas que son visibles durante toda la noche y describen círculos alrededor de una estrella que permanece fija (estrella polar); en el sur las estrellas permanecen toda la noche muy cerca del horizonte y apenas se elevan unos pocos grados describiendo un pequeño arco antes de ocultarse. (figura 1)

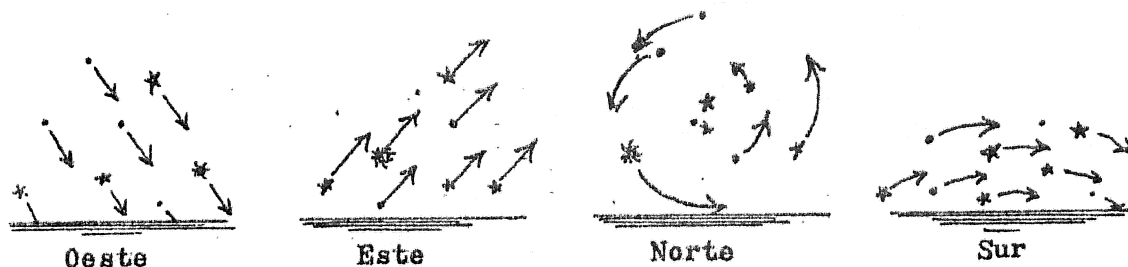


Figura 1- Movimiento de las estrellas durante la noche

Si repetimos la observación a la noche siguiente, veremos que todas las estrellas están exactamente en la misma posición que tenían el día anterior, cuatro minutos más tarde; es decir, por ejemplo, el 8 de mayo a las 8.56 pm las estrellas están en la misma posición que estaban el 7 de mayo a las 9 p.m. Y es así como al oscurecer todos los días, las estrellas están desplazadas todas hacia el oeste con respecto a la noche anterior; hacia el este se van viendo estrellas que antes no se veían a la misma hora, y en el oeste dejan de verse algunas estrellas; después de un año vuelven a aparecer las mismas estrellas del año anterior. Las estrellas circumpolares son visibles durante todo el año.

Hay algunos astros que los antiguos llamaban astros errantes, que van cambiando su posición con respecto a las estrellas fijas;

si se miran durante una noche, parecen moverse igual que todas las estrellas vecinas, pero si se observan durante varias noches, se puede observar que se mueven con respecto a las estrellas, hacia el este, después de unos días comienzan a moverse mas despacio, y luego su movimiento es en la dirección contraria; nuevamente se van frenando y vuelven a moverse hacia el este, describiendo trayectorias como la que se muestra en la figura 2.

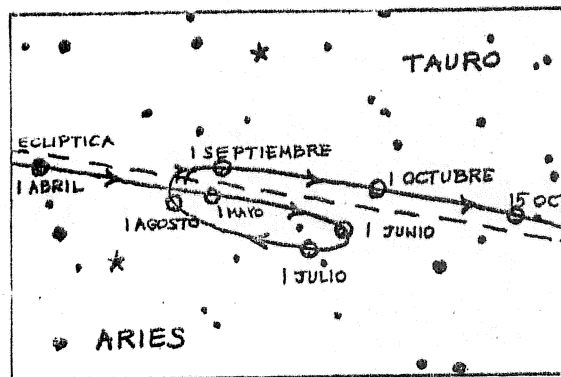


Figura2- Movimiento de Marte entre Aries y Tauro

Asimple vista se observan 6 estrellas errantes: Luna, Mercurio, Venus, Marte, Jupiter y Saturno. Mercurio y Venus describen las trayectorias descritas arriba, sin alejarse mucho del Sol; la Luna se mueve siempre hacia el este.

Ahora veamos como es el movimiento del Sol. Solamente durante dos fechas en el año (21 de Marzo y 23 de Septiembre) nace exactamente por el este y se oculta por el oeste. Después del 21 de Marzo, comienza a salir cada día un poco mas hacia el norte del este, y a ocultarse un poco mas hacia el norte del oeste; el 22 de Junio alcanza su mayor desplazamiento hacia el norte: en el hemisferio norte hay verano y en el sur invierno. A partir del 22 de Junio comienza a regresarse nuevamente, hasta que el 23

de Septiembre vuelve a salir por el este y a ponerse por el oeste; continua moviendose hacia el sur y el 22 de Diciembre se empieza a devolver hacia el norte, comenzando nuevamente el ciclo en Marzo del año siguiente; este ciclo es el que hace que el ángulo de incidencia del Sol sobre el piso varíe durante el año y se presenten las cuatro estaciones. La figura 3 muestra la trayectoria del Sol en tres fechas diferentes.

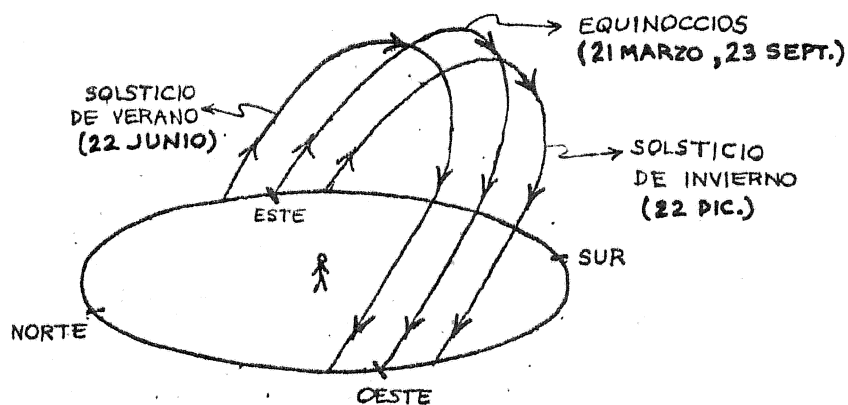


Figura 3- Movimiento del Sol durante los días de equinoccio y solsticio.

La forma como un observador interprete las observaciones que acabamos de describir puede ser muy diversa dependiendo de su esquema conceptual. " Asi pues, puede darse el caso de que dos astrónomos estén plenamente de acuerdo en cuanto a los resultados de una observación pero en completo desacuerdo sobre cuestiones tan básicas como la de si es real el movimiento de las estrellas."(2)

#### EL SISTEMA DE TOLOMEO.

En el siglo segundo Tolomeo escribió su libro "Almagesto", en el cual describía la estructura del universo. Se basa completamente

(2) Thomas S. Kuhn, La revolución copernicana, Ed. Ariel, p. 53, Barcelona, 1.981

en la física de Aristóteles. Según Aristóteles todo movimiento tiene una causa y una finalidad; la carreta se detiene cuando el buey deja de tirarla; la caída de una piedra es un movimiento natural causado por el desorden cósmico que se ha creado al desplazarla de su lugar natural; su movimiento tendrá como finalidad restaurar el orden y cesará tan pronto la piedra regrese a su lugar natural en el suelo. (3)

El mundo está compuesto por cuatro elementos; tierra, agua, viento y fuego. Cada uno posee su lugar natural; el elemento tierra tiene como lugar natural el centro del universo, y como nuestro planeta está compuesto principalmente de tierra, debiera estar inmóvil en el centro del universo, ya que no hay ninguna causa externa que la esté sacando de su lugar natural; si no estuviera en el centro del universo volvería rápidamente a él. Los objetos celestes están compuestos por un quinto elemento (éter) perfecto e inmutable, a diferencia de los cuatro elementos terrestres que son impredecibles e imperfectos; Un árbol muere y se destruye, mientras que los astros continúan siempre iguales.

Los astros se encuentran todos fijos sobre esferas que rotan alrededor de la Tierra; la esfera más grande, que envuelve a todo el universo, tiene fijas a las estrellas, y rota dando un poco más de una vuelta cada día, de manera que rota 366 veces durante el año. La esfera más cercana a la Tierra es la de la Luna, la cual separa el cielo del mundo terrestre de los cuatro elementos corruptibles. Entre la Luna y las estrellas se encuentra la esfera del Sol, cuyo eje no coincide con el de la esfera de las estrellas, de manera que a medida que el Sol da una vuelta con respecto a la esfera de las estrellas (1 año), en un punto se encuentra hacia el norte del ecuador celeste (prolongación del ecuador terrestre); durante la otra mitad del año se encuentra hacia el

---

(3) Una buena descripción de la teoría Aristotélica del movimiento se puede hallar en las notas para el curso de Relatividad, del prof. José Granés, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, Bogotá.

sur de la esfera celeste (ver figura 4). De esta manera Tolomeo logra explicar perfectamente el movimiento del Sol como se observa desde la Tierra (fig. 3).

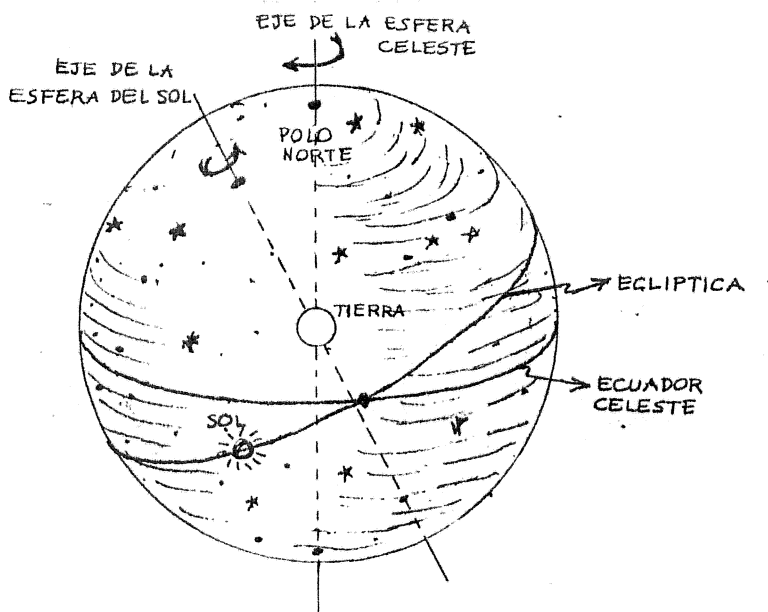


Figura 4- Esferas de las estrellas fijas y del sol.  
La tierra se encuentra inmóvil en el centro de estas.

Para explicar el movimiento de los planetas Tolomeo les asigna a cada uno una esfera mas pequeña (epiciclo) que los hace rotar sobre las esferas mas grandes a medida que estas tambien rotan alrededor de la Tierra, obteniendose las trayectorias de la figura 2 (ver figura 5).

#### EL SISTEMA DE COPERNICO.

Copérnico acaba con todo el sistema de epiciclos <sup>(4)</sup> y con la separación entre cielo y Tierra, suponiendo que la Tierra y

(4) Realmente Copérnico termina con una serie de artificios como los puntos ecuanter, pero al final tuvo que introducir algunos epiciclos. Kepler resuelve el problema después con las órbitas elípticas.

todos los planetas giran en círculos alrededor del Sol. Las estrellas se encuentran inmóviles, pero al girar la Tierra, sobre su eje (rotación), parece que fueran las estrellas las que se mueven.

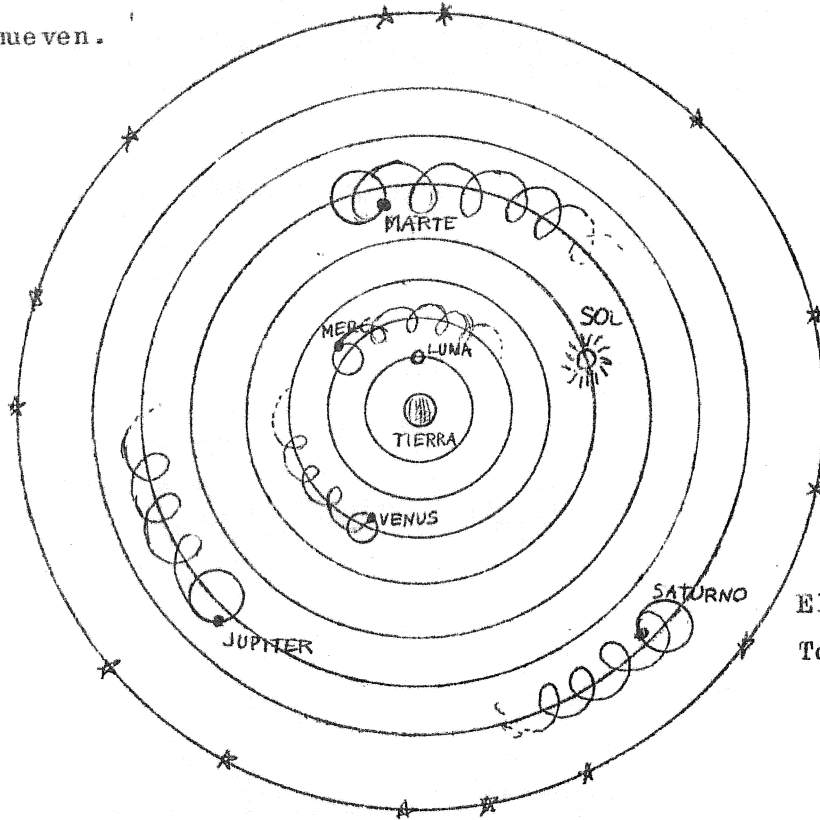


Figura 5-  
El sistema de  
Tolomeo.

El eje de rotación de la Tierra no es paralelo a su eje de translación alrededor del Sol (fig.6), de manera que durante el año que dura la translación alrededor del Sol, en un periodo del año el Sol alumbra mas al hemiferio norte, y al polo sur no le llegan los rayos del Sol en todo el día (A, en la fig.6); en otro periodo le llega menos luz al hemiferio norte que al sur (C), y durante dos días del año el Sol alumbra exactamente igual ambos hemisferios ( B y D).

El movimiento observado de los planetas (fig.2) se puede explicar como un movimiento aparente resultante del movimiento simultaneo de los planetas y la Tierra alrededor del Sol. En la figura 7 se muestra la órbita de Marte alrededor del Sol. Marte se



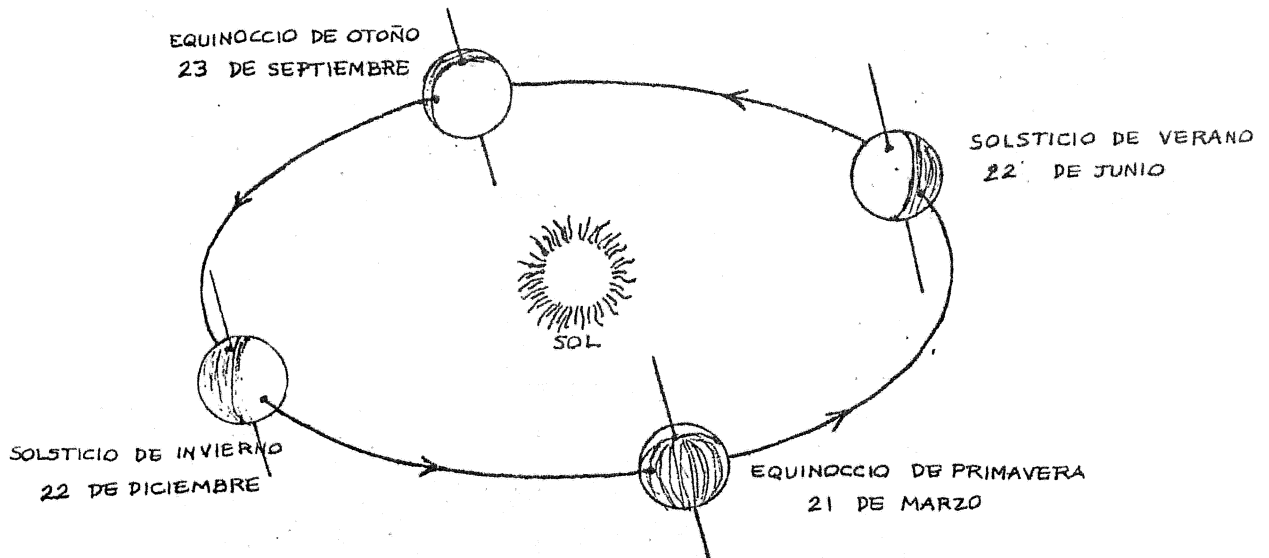
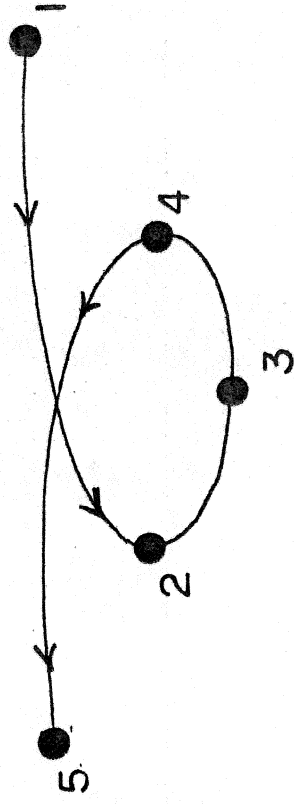
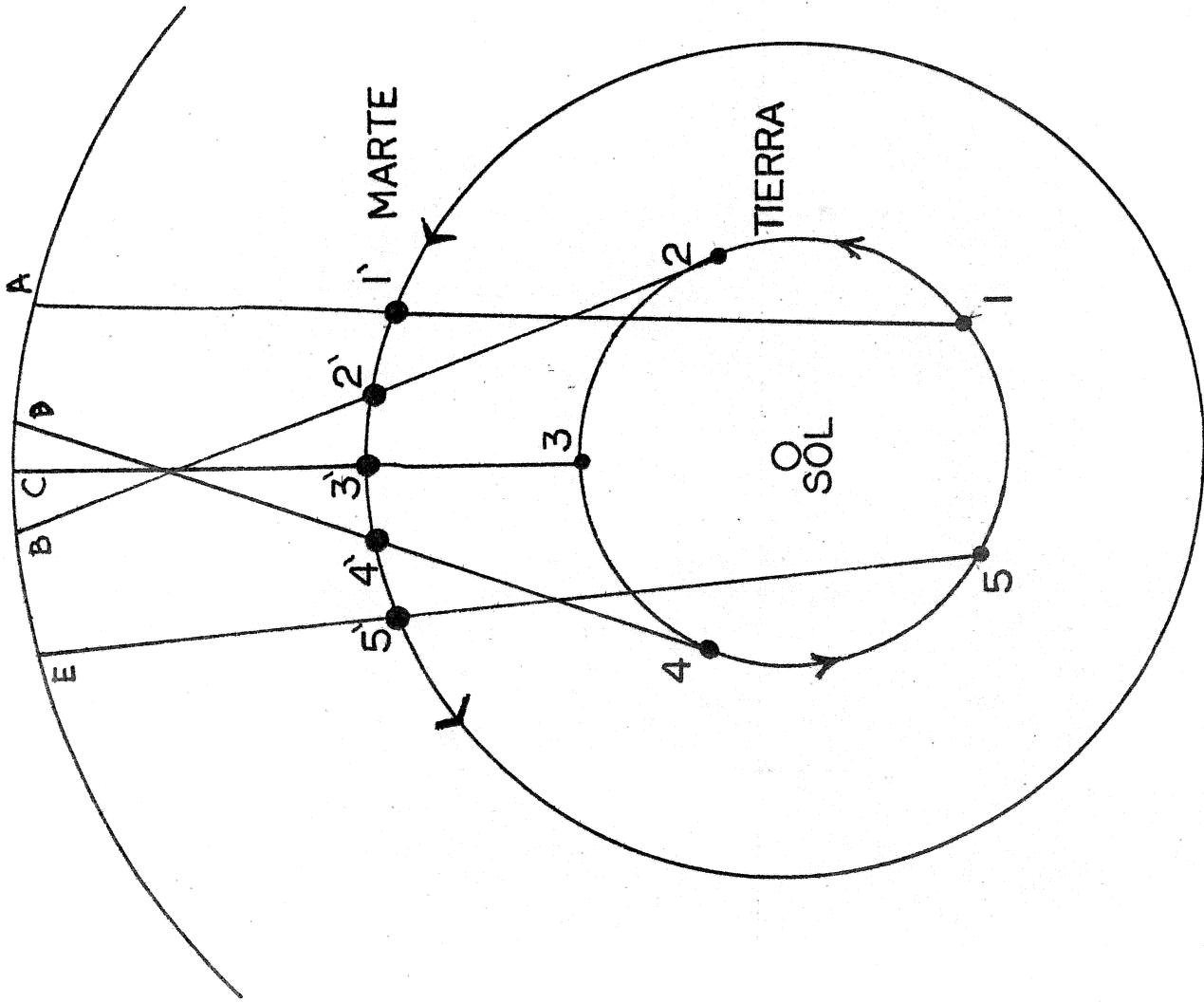


Figura 6- Translación de la tierra y estaciones.

mueve alrededor del Sol mucho mas lentamente que la Tierra, de manera que mientras la Tierra recorre cada uno de los intervalos 1-2, 2-3, 3-4, y 4-5, Marte recorre los intervalos 1'-2', 2'-3', 3'-4', y 4'-5'. Al observar a Marte desde la Tierra en la fecha 1, aparece en el sitio A del firmamento, luego en la fecha 2 se verá en B, y así sucesivamente en C, D, y E durante las fechas 3, 4, y 5; además la órbita de la Tierra se encuentra un poco mas arriba que la de Marte en el punto 3, y mas abajo en los puntos 1 y 5; de manera que el movimiento aparente de Marte visto desde la Tierra es el 1-2-3-4-5 que aparece al lado derecho de la figura 7.

Aunque Copérnico coloca a las estrellas sobre una esfera, al considerarla inmóvil acaba con el problema que hacía que Tolomeo introdujera una esfera para mantener el movimiento comun de las estrellas; por lo tanto, como dice Koyré, resulta bastante natural interpretar a Copérnico como un defensor de la infinitud del mundo (5).

(5) Alexandre Koyré, Del mundo cerrado al Universo infinito, pp 33, 34, siglo XXI edit., Méjico.



7-MOVIMIENTO APARENTE DE MARTE

A pesar de que el sistema de Copérnico lograba explicar el movimiento de los astros de una manera mucho mas sencilla que el sistema Tolemaico, la experiencia sensible parecía en principio estar de acuerdo con la idea de la inmovilidad de la Tierra. Con el movimiento que le atribuye Copérnico a la Tierra, esta se mueve casi medio kilómetro mientras una piedra cae durante un segundo, lo cual parece completamente absurdo a primera vista, pero que después logró ser aceptado a partir del estudio mas cuidadoso del movimiento, hecho por Galileo en el siglo XVII.