

## GUILERMO CORONADO

### Tycho Brahe: observador de los cielos

#### I- Introducción.

Si se recuerda el problema epistemológico suscitado por la **Carta al Lector** que abre el libro de Nicolás Copérnico, **De Revolutionibus Orbium Coelestium**, esto es, la declaración de un instrumentalismo extremo, se debe reconocer que uno de los primeros astrónomos en percatarse de la incompatibilidad entre dicha carta y el todo de la doctrina copernicana fue el danés Tycho Brahe.

En consecuencia, Tycho tomó el sistema copernicano como una hipótesis que debía ser, o bien verdadera o bien falsa -no simplemente una de tantas que podía coexistir con las anteriores, y se abocó a decidirlo mediante la consideración de sus consecuencias más significativas. A esta última tarea consagró Tycho gran parte de su vida, especialmente en lo pertinente al tema de las consecuencia del movimiento terrestre, y en particular, a la cuestión del paralaje estelar.

No obstante, su labor como astrónomo observacional produjo suficientes resultados para consagrar su nombre y obra. Además, algunos de estos resultados tuvieron gran impacto en la victoria final del copernicanismo en tanto que debilitaron la concepción tradicional. Otros le confirmaron en su rechazo del movimiento de la Tierra.

En el presente trabajo, luego de ofrecer unas breves notas biográficas, se estudiará el impacto de la obra de Tycho en tres apartados: la supernova de 1572, el cometa de 1577 y el rechazo de la existencia de las esferas celestes.

#### II- Notas biográficas.

Tycho -forma latinizada de Tyge- nació en año de 1546, el 14 de diciembre, en Knudstorp, Escania (sur de Suecia que en aquel entonces formaba parte de Dinamarca). Como hijo de noble y perteneciente a la nobleza feudal de Dinamarca, debía, por tradición, consagrarse o bien a la guerra o bien a la administración del reino. Sin embargo, la estricta correlación entre la predicción de un eclipse y la observación del evento, lo impresionó al grado de querer dedicarse al estudio de los principios científicos que permitía tal correlación. Corría el año de 1560 y Tycho era un adolescente.

La reacción tanto de su familia como de su tutor fue negativa; pero ello, simplemente, aumentó el deseo del joven noble. En esa época se acentuaba su vocación como observador de los cielos, y así, el 17 de agosto de 1563, al observar un acercamiento de los planetas Júpiter y Saturno, se percató de ello acacia con un mes de diferencia a la fecha predicha en las **Tablas Alfonsinas** (1), y con varios días en las nuevas tablas copernicanas -las **Tablas Prusianas** de Reinhold del año de 1551- (2). Por ello, decidió que era necesario recopilar nueva información y obtener nuevos instrumentos (3).

Nótese cómo los acontecimientos que marcan la dedicación de Tycho a la astronomía, tienen que ver con la cuestión de la correspondencia entre predicción y observación: en uno la total correspondencia y en el otro su ausencia. Así ambos están en la base de su votación por la exactitud de sus observaciones. Su dedicación personal al establecimiento de excelentes

catálogos de estrellas, registro continuo de las posiciones planetarias, y estudio de otros fenómenos en el cielo, llenarán el resto de su vida y le asegurarán un lugar en la historia de la Astronomía.

Tras conocimiento astronómico, Tycho inicia estudios, no muy propios de un señor feudal, y emprende viajes en Alemania con el fin de ponerse en contacto con los círculos astronómicos, en particular con el Landgrave de Hesse-Cassel. En este, Guillermo IV, lo acoge calurosamente y lo ayuda en sus primeros pasos como astrónomo.

Guillermo IV, nacido el 24 de junio de 1532 y muerto el 25 de agosto de 1592, era un astrónomo observacional que había establecido un observatorio astronómico en el castillo de Casel, el primero en Alemania, en 1561; lo dotó de los mejores instrumentos e hizo él mismo las observaciones. Luego se rodeó de colaboradores como Rothmann (astrónomo copernicano) y Byrge (gran constructor de instrumentos), y completó con ellos un catálogo de 900 estrellas.

Cuando regresó a Dinamarca, Tycho tuvo su primera oportunidad dorada. En 1572 una nueva estrella en la constelación Casiopea, con su enorme esplendor, conmocionó tanto al mundo intelectual como al popular. Tycho la observó en el mes de noviembre, la noche del día 11, aunque otros astrónomos la habían observado en los primeros días del mismo mes. El joven astrónomo realizó detenidas observaciones del fenómeno y como resultado de ellas publica, luego de ciertos titubeos, un pequeño libro, **De Nova Stella** (4), en que se establece que el fenómeno es celeste y esto le trae fama como astrónomo.

A raíz de todo ello, el canciller del reino y el mismo rey Federico II de Dinamarca lo colman de regalos con el fin de que permanezca en el reino.

En 1575, en forma pomposa, viaja otra vez a Alemania y visita nuevamente al Landgrave Guillermo, quien ahora solicita al rey de Dinamarca que dote al joven astrónomo de un observatorio. Al año siguiente, el rey le otorga una pequeña isla -Huene- a la entrada del Mar Báltico, para que prosiga allí sus observaciones, una pensión de 500 escudos, un feudo, y una canonjía cuya renta, de alrededor de dos mil escudos, serviría para cubrir los gastos de la construcción de un observatorio. Este será el Castillo de los Cielos -**Uraniburgo**- que quedará terminado en los años ochenta y Tycho con su propia fortuna lo dotará de instrumentos.

Los instrumentos serán los más grandes y exactos de su tiempo y estarán diseñados especialmente para las necesidades de las investigaciones iniciadas por Brahe. El observatorio-castillo contaba, además, con talleres auxiliares, imprenta, fabrica de papel, biblioteca. Tycho tenía varios ayudantes para el quehacer diario de las mediciones celestes, lo que constituía una novedad en la técnica de observación astronómica a simple vista. Con tales facilidades, el Castillo de los Cielos se convierte en la máxima construcción de observación astronómica a simple vista. El observatorio será detalladamente descrito en una obra posterior, **Astronomia Instauratae Mechanica**, 1598, que sirve para hacerse una idea de la magnitud de la obra.

El trabajo de Tycho llega a considerarse como el tercer y más elevado estadio en el desarrollo "natural" del estudio de los cielos (5); el primero estaba representado por las tablas mesopotámicas; el segundo, por el catálogo de Hiparco.

Lamentablemente para el impacto histórico de Tycho, pero dichosamente empleadas por Kepler para obtener, en primera instancia, las dos leyes del movimiento de Marte, y luego de todos los planetas, estas tablas resultaron obsoletas por el uso del telescopio galileano aún antes de ser completadas y publicadas por el mismo Kepler en 1627, bajo el título de **Tablas Rudolfinas** (*Tabulae Rudolphinae*, Ulm, 1627).

La segunda oportunidad dorada se le presentó a Tycho en 1577 con la aparición de un cometa que siendo objeto de detenidos estudios, en esta oportunidad en el incipiente observatorio de la isla del Mar Báltico, permitió la publicación de un segundo libro: **De Mundi Aetheri Recentioribus Phaenomenis**. En 1588 circularon algunas copias entre los círculos de especialistas, pero realmente apareció al público en 1602. Este texto le sirvió no sólo para proponer un nuevo sistema astronómico distinto tanto del geocentrismo como del copernicanismo, sino para mostrar que dicho cometa era un objeto celeste moviéndose alrededor del Sol en una órbita no precisamente circular.

Durante este tiempo, Tycho, mantiene una interesantísima correspondencia con el astrónomo Rothmann sobre la cuestión de las ventajas y desventajas del sistema copernicano.

Ahora bien, el mismo apoyo real que junto con el aporte económico de Tycho, permitió convertir al Uraniburgo en el máximo centro de investigación, fue germen de su caída posterior. En 1588, al morir el rey Federico II, el joven rey Cristián IV mantuvo el apoyo a Tycho; pero poco a poco se volvió más opaco a las necesidades del observatorio y se sintió más a disgusto con las maneras de Tycho como señor del Castillo de los Cielos, hasta que finalmente, por incitación de uno de sus poderosos ministros, Walchendorp, no solamente lo despojó del observatorio-castillo, sino que habiendo regresado Tycho a Copenhague, también le impidió establecerse y continuar allí sus observaciones.

Tycho tuvo que abandonar Dinamarca en 1597, y viajar rumbo al sur hasta encontrar en Rodolfo II, de Bohemia, un nuevo protector quien le otorgó pensión, castillo y, más tarde, un joven asistente-matemático llamado Johannes Kepler (6).

En estos últimos años, Tycho se interesa primordialmente por resolver el problema de la órbita de Marte de acuerdo con sus propias concepciones astronómicas; aspecto que resultaba cada vez más difícil al aumentarse la calidad y el grado de exactitud de las observaciones. Pero lo mismo sucedía en los otros sistemas astronómicos. A esta tarea se dedicará a partir de 1600 el joven Kepler. Pero la muerte sorprende a Tycho en Praga, un 24 de octubre de 1601. Kepler es nombrado en el puesto del gran observador de los cielos y también "se hereda" sus valiosas tablas celestes.

### **III- La supernova de 1572.**

Como se señaló antes, la primera gran oportunidad para la carrera astronómica del joven Tycho se presentó en noviembre de 1572. Se cuenta que regresaba de una reunión social cuando, al observar la región celeste de la constelación de Casiopea, se percató de la presencia de una brillante estrella no vista por él con anterioridad. Tycho llamó la atención tanto de sus sirvientes como amigos, y requirió de ellos la confirmación de que antes no se observaba tan brillante cuerpo luminoso en dicha región del cielo.

La "nueva" estrella era realmente brillante y claramente distinguible. Al principio, su brillantez era comparable con la del planeta Venus, y aunque después del mes de diciembre inició un lento proceso de disminución de su brillo, la nueva estrella fue visible durante dieciocho meses. No solamente fue observada en Europa, sino también observadores chinos y coreanos efectuaron registros bastante detallados del fenómeno.

Cierto es que Tycho no fue el primero en observar el fenómeno, pero sí será quien dedique mayor atención y esfuerzo a su subsiguiente estudio. En particular, Tycho considerará detenidamente la cuestión de su posición en los cielos y concluirá que la nueva luminaria está mucho más allá de la Vía Láctea, y muy "cercana" a la esfera de las Estrellas Fijas. En tratamientos ulteriores, en el **Progymnasmata**, Tycho colocará a Saturno a una distancia de la Tierra de 12.300 unidades (semidiámetros terrestres), a las estrellas fijas a 14.000 y a la nueva estrella a una distancia de al menos 13.000. Y esto es así puesto que descubre que la nueva estrella no muestra paralaje como debiera si estuviera a la distancia de los planetas. Con mucha más razón se desprendía que no pertenece a la región terrestre, es decir, a la atmósfera como se suponía en la concepción escolástico- aristotélica del cosmos, pues en tal caso el paralaje sería mucho más grande. Y como se ha apuntado antes, Tycho no observó paralaje alguno en sus detenidas observaciones de la nueva estrella.

Esto último, el que la nueva estrella no sea atmosférica, es muy significativo, pues aparte de lo llamativo de la estrella desde el punto de vista fenoménico y el impulso que dio al quehacer astronómico, el suceso ofrece una instancia refutadora de la tesis aristotélica de la inmutabilidad de los cielos. Y no puede ser un "meteoro" en terminología aristotélica estricta, pues la ausencia del paralaje lo hace imposible (7). Ahora bien, si la nueva estrella pertenece a la región celeste, particularmente al cielo estrellado, y ella no era visible antes y ahora sí lo es, simplemente significa que en el cielo también hay instancia de cambio, esto es, de generación y corrupción.

Cuando Tycho especula que la nueva estrella está hecha de materia celeste, pero no de aquella permanente, propia de las verdaderas estrellas, sino de materia nebulosa y temporaria, tomada de la Vía Láctea, y además al no igualar la substancia de las estrellas con la de la Tierra, se puede afirmar que la brecha en la concepción tradicional está ya planteada.

En una versión estricta de la concepción tradicional, si en la región celestial hay cambios, ella no puede ser distinguida de la región terrestre, pues esta última era el único ámbito de la generación y corrupción; y si se recuerda que según esta misma concepción, las dos regiones cósmicas implican distinción en la constitución elemental (8), los cuatro elementos para la del cambio ya que ellos son contrarios entre sí -en pares-, y la quintaesencia o éter -sin contrario- para la región supralunar o de la inmutabilidad y perfección, la presencia de "este cambio" celeste hace insostenible la tesis de la heterogeneidad cósmica.

Y aunque este fenómeno, la nueva estrella, en sí mismo no repercute directamente en el enfrentamiento de los sistemas astronómicos aristotélico-ptolemaico y copernicano, sí es importante que del estudio realizado por Tycho se cuestiona uno de los supuestos básicos de toda la concepción tradicional del mundo, la heterogeneidad del cosmos, Heterogeneidad que ciertamente está también presente en el sistema copernicano, ya que en este nuevo modelo el "mundo terrestre" se traslada alrededor del Sol; pero distinción que no es necesario que se esgrima puesto que en el nuevo modo de ver el movimiento y organización planetaria cumple una función netamente defensiva, a saber, hacer posible respuestas a las

objecciones al movimiento de la Tierra -derivadas a su vez de la física terrestre de Aristóteles. Pero si el cosmos no es necesariamente diferenciable en dos regiones completamente distintas, luego no es necesario emplear dos físicas y dos tipos de movimiento para su comprensión. (9)

Ciertamente Tycho no explotó el significado total de su interpretación del novedoso fenómeno de 1572, pero en sus manos estaba una de las claves para la comprensión unitaria del cosmos. Unidad que es uno de los rasgos fundamentales de la concepción moderna del cosmos que emergerá como resultado de la Revolución Científica del siglo XVII. (10)

#### **IV- El cometa de 1577.**

Como en el caso anterior, la observación y estudio detallado del gran cometa del año de 1577 proporciona a Tycho Brahe su segundo gran éxito.

Los resultados pueden considerarse desde una doble perspectiva. Por una parte, como trabajo meramente observacional, sus mediaciones de la posición del cometa le permiten establecer su colocación en el cielo estrellado y anticipar la determinación de su trayectoria. Por la otra, el carácter celeste y temporal del cometa nuevamente cuestiona la tesis de la inmutabilidad de los cielos, y lleva a vislumbrar la posibilidad de que un cuerpo celeste no se mueva en forma estrictamente circular.

Al discutir el tema de la nueva estrella de 1572, Tycho tiene buen cuidado de diferenciarla de fenómenos meteorológicos tales como los cometas y los meteoritos "que no son generados en los cielos sino que existen debajo de la Luna en la región superior de la atmósfera, tal como todos los filósofos lo sostienen". Pero ante la posibilidad de que un cometa haya sido observado arriba de la esfera lunar, Tycho formula un interesante y muy fecundo deseo al expresar... "Pero si un cometa naciera en cualquier momento de nuestra época, por la gracia de Dios que investigaré lo correcto y lo incorrecto de tal posibilidad. Aún si asumimos que fuera verdadero, lo que difícilmente admito, junto con todos los filósofos, sin embargo no se sigue que esta estrella es una clase de cometa." (11)

La buena suerte tychoneana no se hace esperar y en 1577 un gran cometa se hace presente, y como se dijo antes, será estudiado por el astrónomo danés en su incipiente observatorio en la isla del Mar Báltico. Como resultado del registro de posiciones y determinación de paralajes, Tycho será capaz de establecer varias conclusiones que se resumen en las siguientes proposiciones y que se discutirán en algún detalle:

a- El cometa no es fenómeno sublunar pues su paralaje es mas pequeño que el propio para la región de los meteoros (no presenta paralaje diurno perceptible).

b- Que su órbita es alrededor del Sol en una trayectoria circular exterior a la órbita de Venus.

c- Sin embargo, dadas las desigualdades en el movimiento del cometa, para mantener la uniformidad, se concluye que muy probablemente su órbita sea de tipo oval.

Con la primera conclusión, Tycho refuta la tesis aristotélica de la naturaleza sublunar de los cometas que había imperado férreamente en la concepción escolástica. Aristóteles en su **Meteoros**, Libro I, Capítulo 7, dice que un cometa es el resultado de un fuego de la región superior que enciende una acumulación de la exhalación seca y caliente que constituye la región superior del mundo terrestre, y que al igual que los meteoritos y la Vía Láctea, pertenece a la región sublunar. Ahora bien, en un capítulo anterior Aristóteles discutió varias otras concepciones de la naturaleza de los cometas, entre ellas una que los hacía fenómenos celestes; él las rechaza todas pero lo interesante es que queda abierta la interrogante. Tycho con sus exactas y constantes observaciones y mediciones, y aunque no fue el primero que lo intentó ya que Regiomontanus lo había hecho en 1472, resolvió la cuestión más allá de toda duda razonable. El cometa es celeste, no es sublunar, y la tesis aristotélica se derrumba.

Sin embargo, es interesante hacer notar que la tesis aristotélica aunque dominante no necesariamente fue única. Es posible encontrar opiniones diferentes, posteriores a Aristóteles, aunque no estrictamente vigentes. Una de las más interesantes se encuentra en la obra de corte científico de Séneca, los **Ocho Libros de Cuestiones Naturales**.

"5. Lo mismo sucede con los cometas. Si alguna de estas raras figuras ígneas e insólitas aparece en el firmamento, cada uno quiere saber qué será, se olvida de los demás cuerpos celestes, solamente del intruso indaga, ignorando si debe admirarlo o temerlo. Porque no faltan quienes lancen la alarma y aseguren la significación nefasta del fenómeno. De este modo os acosan a preguntas, pues se desea saber si es un prodigio o un astro.

6. A fe mía, no se podría estudiar nada más magnífico, conocer nada más útil que la naturaleza de las estrellas y de las constelaciones. ¿Son llamas concentradas como lo asegura nuestra vista, la luz que de ellas emana y el calor que nos irradian? ¿O bien no son globos flamígeros, sino una especie de cuerpos sólidos y terrosos que sin tener luz propia se deslizan por regiones ígneas, de las que toman la brillante luz y su calor?..

II.1. Conviene, al investigar esta cuestión, preguntarse si los cometas son de la misma naturaleza que los cuerpos de que acabo de hablar. Porque parece que tienen con los astros ciertas características comunes: su aurora, su ocaso, su aspecto general, y aunque se difundan más y terminen en una gran cola, son igualmente ígneos y luminosos.

2. así, pues, si todos los astros son terrosos, los cometas también serán terrosos. Si en cambio, los cometas no son más que un fuego puro que se mantiene durante seis meses sin que lo anule la rápida rotación del mundo, entonces las estrellas también pueden estar formadas de una materia sutil y no desaparecer por el perpetuo movimiento celestial" (12)

Por supuesto que el texto anterior no sólo representa una opción diferente de la naturaleza de los cometas, como objetos celestes, sino que también recoge otros aspectos de la cuestión como el asombro, perplejidad, pánico que tales "mensajeros" ocasionaban en la población. Pero al mismo tiempo, se ofrece una tesis completamente contraria a la concepción aristotélica de la naturaleza de los planetas, al referir Séneca que los astros pueden ser terrosos -rocas opacas- que no poseyendo luz propia la toman y la reflejan de las regiones ígneas. En consecuencia, Séneca abre también la posibilidad de que los cometas sean o bien terrosos o bien ígneo celestiales.

Sin embargo, la opinión que motivó a Tycho provenía de una referencia de Cardanus que se hacía eco de opiniones árabes.

Con la segunda proposición, Tycho logra plasmar con éxito el primer intento de establecer la órbita de un cometa. A pesar de que el fenómeno sea temporal y que fenoméricamente no cierra una trayectoria, la exacta base de datos de los proposiciones observadas permite calcular el todo de la trayectoria. Así Tycho calcula que el cometa se mueve alrededor del Sol en una órbita circular exterior a la de Venus, su más grande elongación del Sol es de 60 y su movimiento retrógrado.

Igualmente la órbita del cometa fue calculada por el astrónomo Maestlin. Y lo que más llama la atención es la pertenencia del cometa al Sol.

La misma exacta base empírica brillantemente acumulada por el astrónomo danés lleva a la tercera proposición. Tycho descubre que las posiciones observadas del cometa no parecen encajar en un movimiento uniforme en la órbita circular calculada. Y se ve obligado a suponer un movimiento no uniforme. Sugiere que se podría utilizar un epiciclo para resolver la desigualdad, -Maestlin lo resolvió mediante ciertos artificios circulares-, pero no se detiene en hacerlo, posiblemente porque no interesa perder mucho tiempo salvando las apariencias de un fenómeno celeste pero precedero como un cometa.

Sin embargo, Tycho sugiere que la forma de la órbita puede no ser exactamente circular sino oblonga u oval: "Sive igitur cometa hic noster non undequaque et exquisite rotundum ad solem circuitum sed aliquantulum oblongiorem, in modum figurae quam Ovadam vulgo vocant, confecerit..."(13)

A pesar de ser una tímida sugerencia, resulta crucial el que se conciba que un cuerpo celeste no se mueva con el movimiento perfecto y propio de lo planetario, a saber, circularmente.

Establecida, por Tycho, la naturaleza supralunar de los cometas, no se discutirá su impacto en la cuestión de la inmutabilidad de los cielos, puesto que ello significaría una cierta repetición de lo ya dicho, en la sección anterior, respecto de la supernova.

## **V. La cuestión de la existencia de las esferas planetarias.**

Tycho Brahe consideró que uno de sus más grandes logros en astronomía fue el rechazo de la existencia de las esferas planetarias como entidades sólidas, etéreo-cristalinas, que arrastran con su movimiento al planeta. Igualmente, Tycho consideró que este rechazo afectaba por igual a la concepción tradicional y a la nueva astronomía copernicana.

La base empírica que le servía de fundamento para tal inferencia incluía tanto la cuestión de la naturaleza de los cometas, la de la trayectoria establecida para Marte y el Sol, y finalmente la ausencia de refracción de la luz proveniente de las luminarias del cielo.

Pero antes de discutir con algún detalle el tema y considerar su fundamento histórico, véase un ejemplo de cómo sí pertenece a la tradición astronómica, tal y como la vivieron los astrónomos mismos, concebir a las esferas celestes como realidades en sí. El ejemplo está tomado del **Epitome de Astronomia Copernicana**, IV, de Kepler, donde el gran astrónomo se pregunta si hay esferas sólidas que acarreen a los planetas, y a continuación responde:

"Tycho Brahe rechazó la solidez de las esferas por tres razones: la primera tiene que ver con el movimiento de los cometas; la segunda deriva del hecho de que la luz no es refractada; y la tercera deriva del radio de las esferas.

Pues si las esferas fueran sólidas, los cometas no se verían cruzando de una a la otra como lo ha demostrado Brahe.

El argumento a partir de la luz es como sigue: puesto que las esferas son excéntricas, y puesto que la Tierra y su superficie -donde el ojo está situado- no están colocadas en el centro de cada esfera; por lo tanto, si las esferas fueran sólidas, es decir, mucho más densas que el muy sutil éter, los rayos de las estrellas debieran ser retractados antes que alcancen nuestro aire, como se desprende de la óptica, y en consecuencia, los planetas aparecerían irregularmente y en lugares distintos a los predichos por parte del astrónomo.

La tercera razón tiene su base en los principios de Brahe mismo, pues mantiene, como lo hacen los copernicanos, que Marte está algunas veces más cercano a la Tierra que el mismo Sol. Pero Brahe no cree que este intercambio sea posible, pues si las esferas son sólidas la de Marte tendría que intersecar a la esfera del Sol."

El texto no deja el menor lugar para la duda. Kepler toma a Tycho rechazando la existencia de las esferas. Y un tal rechazo obligará a plantear un problema nuevo, a saber, la órbita del planeta, su movimiento constante alrededor del centro del cosmos, problema que al mismo Kepler intentará solucionar recurriendo a la idea del Sol como magneto.

No obstante, la historiografía actual cuestiona que el sistema copernicano asumiera esferas físicas. Y en el caso del aristotelismo, dicha interpretación se remontaría a una mala interpretación del Calcidio. Y como lo argumentar Rosen en reciente artículo (14), Duhem sería para la historiografía moderna el creador de tales esferas sólidas.

Ahora bien, Tycho asumió la existencia de tales esferas físicas y consideró haberlas refutado, entre otras cosas, por el hecho de que los cometas -ahora cuerpos celestes- no chocan con ellas a pesar de cortarlas en su movimiento. Sin embargo, es importante establecer que esto no es una consecuencia directa de su estudio del cometa de 1577 sino que emerge de la consideración de aquel de 1585 -inferencia probablemente anticipada por Rothmann-, pero que Tycho plantea como resultado del intercambio epistolar entre ambos.

Pero mucho más importante fue el descubrimiento del entrecruce de las trayectorias de Marte y el Sol, que se le presentó muy claramente como resultado de sus exactas observaciones, y que entre los años de 1582 y 1583 lo induce a abandonar también el sistema ptolemaico y a vislumbrar un nuevo orden de los planetas. Tycho descubrió que en oposición Marte está más cercano a la Tierra que el mismo Sol, y como dice Kepler ello es incompatible con las esferas físicas.

## Notas:

- 1). Alfonso de Castilla, el Sabio (Burgos 1221, Sevilla 1284), como parte de sus intereses intelectuales, impulsó la revisión de las tablas astronómicas por un grupo de eruditos. Estas tablas serán publicadas con motivo de su ascenso al trono, en 1252. Las **Tablas Alfonsinas**, de las que se dice que no colmaron las expectativas del rey, son el mejor logro que la Edad Media puede ofrecer en este campo, y serán superadas únicamente en el Renacimiento. Fueron impresas en 1483.
- 2). **Tabulae Prutenicae** de Erasmus Reinhold (1511-1553). Estas tablas fueron computadas mediante los métodos matemáticos de Copérnico. Aunque Reinhold no aceptó explícitamente el sistema heliocéntrico, la obra sirvió como medio para la difusión de las ideas copernicanas. Las **Tablas Prusianas** son superiores a todas las anteriores pues la exactitud buscaba es mayor y los intervalos menores que los mismos de Copérnico -se proporcionan segundos donde Copérnico daba minutos-. Cf. Dreyer.
- 3). Brahe estudiaba en Leipzig acompañado de su tutor, quien no favorecía su interés en lo astronómico.
- 4). Su importancia será considerada más adelante. Los escrúpulos de Tycho surgen del no estar completamente seguro que sea propio de su categoría al hacer correr libros por el mundo.
- 5). Como comparación véase la cuestión de grados de exactitud: mientras que para Ptolomeo diez minutos de arco era un margen tolerable, para Tycho uno de dos minutos era apenas aceptable.
- 6). Tycho llegará a Praga en junio de 1599; el castillo de Benatek está a 22 millas al noroeste de Praga. Tycho tomó posesión del mismo en agosto, solicitando a Kepler en carta de diciembre 9, y encontrándose con él en Benatek en febrero de 1600. Tycho trasladó su equipo astronómico del Castillo de los Cielos, pues mucho del mismo había sido diseñado para ser desmontable.
- 7). Meteorológico, de Meteoros o fenómenos atmosféricos, esto es, que acaecen de la esfera lunar hacia abajo, en la región superior del mundo terrestre, tales como estrellas fugaces o meteoritos, y también los cometas. Cf. Aristóteles, los **Meteoros**, I, 1.
- 8). Igualmente se supone distintos tipos de movimientos: circular uniforme y completamente constante para la región celeste, rectilíneo finitos o bien hacia o bien desde el centro del cosmos=Tierra para la segunda. Aristóteles, **Del Cielo**.
- 9). Recuérdese que el nuevo concepto de "gravitas", **De Revolutionibus**, también implica el cuestionamiento de la tesis de la heterogeneidad, pero que igualmente Copérnico no se percató de toda la significación del mismo. Cf. Copérnico, **De Revolutionibus**, I, 9.
- 10). Es interesante notar que según Stephenson y Clark ("Historical Supernovas", **Scientific American**, June, 1976) la supernova de Tycho ocuparía el sexto lugar en la serie de solamente siete supernovas registradas a simple vista hasta ese momento.
- 11). **De Nova Stella** (Copenhague, 1573). Citado por Rosen, E., "Dissolution of the solid celestial spheres", **Journal of History of Ideas**, Jan., 1985, p 21.
  - 12). Séneca, L.A. los **Ocho Libros de Cuestiones Naturales**, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1948.
  - 13). Citado en Dreyer, J.L.E. **A History of Astronomy from Thales to Kepler**, Dover, 1953, p 366.
  - 14). Rosen, E. "Dissolution of the solid celestial spheres". Idem.

## **Bibliografía.**

Aristóteles. **Los meteoros** (texto completo). En **Científicos Griegos**. Vol 1. Francisco Vera recopilador. Madrid: Aguilar, 1970.

Aristóteles. **Obras**. Madrid, Aguilar, 1964.

Copernicus. **On the Revolutions of the Heavenly Spheres**. Great Books of the Western World. Vol 16 Enciclopedia Británica, Chicago, 1971.

Boas, Marie, **The Scientific Renaissance: 1450-1630**. New York: Harper y Row, 1966.

Crombie, A.C. **Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo**. Vol.1 y 2. Madrid: Alianza Universidad, 1974.

Dreyer, J.L.E. **A History of Astronomy from Thales to Kepler**. New York: Dover, 1953.

Kepler, Johannes. **Epitome of Copernican Astronomy**. Great Books of the Western World, Vol. 16. Enciclopedia Británica. Chicago, 1971.

Koestler, Arthur. **The Sleepwalkers**. New York: Grosset y Dunlap, 1966.

Kuhn, Thomas S. **The Copernican Revolution**. Cambridge: Harvard University Press, 1966.

Laplace, P.C. **Breve historia de la astronomía**. Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1947.

Rosen, E., "Dissolution of the solid celestial spheres", **Journal of History of Ideas**, Jan., 1985

Sarton, George. **Seis Alas**. Buenos Aires: Eudeba, 1965.

Séneca, L.A. **Los Ocho Libros de Cuestiones Naturales**. Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1948.

Toulmin, Stephen y Goodfield, June. **The Fabric of the Heavens**. New York: Harper y Row, 1961.

(Versión revisada del texto aparecido en Revista **Comunicación**, I.T.C.R., Vol 2, N° 3, año 6, Dic, 1986).