UNIVERSIDAD DE CHILE Curso EH28A
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Prof. José Maza Sancho
Departamento de Astronomía Mayo 2003

6. TYCHO BRAHE

6.1 Introducción:

La revolución copernicana, que se iniciara en 1543 con la publicación del libro de Copérnico *De Revolutionibus*, de un lento desarrollo inicial, concluye en 1687 con la publicación de la obra monumental de Newton *Principia Matematica*. El establecimiento de las leyes de la mecánica, unido a la formulación y desarrollo de la ley de gravitación universal, proporcionaron la base de sustentación teórica que la hipótesis heliocéntrica necesitaba. La obra de Newton destronó definitivamente a la mecánica aristotélica y al sistema geocéntrico de Ptolomeo. Newton se nutre en su creación intelectual de dos fuertes vertientes: Kepler, el gran legislador de los movimientos planetarios y Galileo, precursor de las leyes de la mecánica. Newton unifica, clarifica y completa magistralmente el trabajo de ambos. Kepler y Galileo fueron contemporáneos y sus obras no se influenciaron. Aquí trataremos primero a Kepler por haber publicado sus libros más importantes con anterioridad a Galileo.

Kepler, hombre de gran intuición y matemático destacado, habría torturado su espíritu en vano en búsqueda de la armonía del mundo, si no hubiese contado con las observaciones astronómicas realizadas por el noble danés Tycho Brahe, el más grande observador de los tiempos pre-telescópicos. Tycho y Kepler constituyen un ejemplo notable en la historia de la ciencia, que muestra como el conocimiento va siendo creado gracias al complemento del trabajo de distintas personas. Tycho, observador extraordinario, nunca hubiese extraído de sus observaciones las leyes del movimiento planetario, debido a su falta de genialidad teórica. Por su parte Kepler, matemático de excepción, nunca hubiese podido realizar observaciones tan precisas. La afortunada coincidencia que puso en manos de Kepler las valiosas observaciones de Tycho fue la que permitió el complemento, y la fama inmortal de ambos. Veamos a continuación quién fue y qué hizo Tycho Brahe.

6.2 Boceto biográfico:

Tres años después de la muerte de Copérnico nace Tycho Brahe, el 14 de diciembre de 1546, en Knudstrup, provincia de Scania, parte, en ese entonces, de Dinamarca, actualmente de Suecia. Danés de noble ancestro, era hijo de Otto Brahe, Gobernador del castillo de Helsingborg, hombre de considerable influencia. Su tío Jörgen (Joergen) Brahe era vicealmirante de la Armada Danesa. La vida del joven Tyge o Tycho se inició de un modo bastante peculiar. Su tío Joergen, que no tenía hijos, había obtenido la promesa de su hermano, el gobernador, que cuando tuviese un hijo hombre se lo daría en adopción. Otto y su esposa Beate tuvieron primero una niña, y luego todo parecía perfecto para el arreglo pues en 1546 Beate tuvo mellizos, uno de

ellos Tycho. Desgraciadamente el otro mellizo murió al nacer y Otto no mantuvo su promesa de entregar su hijo a Joergen. Sin embargo, Joergen no se dio por vencido, y al nacer el próximo niño, raptó a Tycho llevándoselo a su casa de Torstrup. El Gobernador amenazó a su hermano de muerte, pero finalmente se calmaron los ánimos y aceptó que su hijo fuese criado por Joergen, ya que sin duda estaría bien atendido con su tío y, además, heredaría la fortuna de éste.

Tycho Brahe. This engraving clearly shows the part of his nose, cut off in a duel, which Tycho remade with gold, silver and wax

La niñez de Tycho en casa de su irascible tío parece haberle formado un carácter excéntrico y autoritario. A la edad de 12 años, en 1559, fue enviado a estudiar a la Universidad de Copenhague. Durante su estadía allí observó un eclipse de Sol que le causó una profunda impresión. Ocurrió el 21 de agosto de 1560; fue total en Portugal y sólo parcial en Dinamarca. Pese a no ser, por lo tanto, una visión espectacular la que tuvo del eclipse, le impactó profundamente el que pudiera ser anunciado con anticipación. En sus propias palabras describe como *"algo divino que el hombre conozca los movimientos de las estrellas tan exactamente que sea capaz, con mucha anterioridad, de predecir sus ubicaciones y posiciones relativas"*. Parece haber sido la predictabilidad de los eventos astronómicos lo que atrajo fuertemente al joven Tycho, que empezó entonces a comprar libros de Astronomía.

Después de tres años en Copenhague, su tío Joergen consideró que era tiempo que fuese a una universidad extranjera. Su intención era convertir a Tycho en una figura importante en la política danesa. Por tanto Derecho era la carrera mas apropiada y la Universidad de Leipzig tenía una excelente Escuela de Derecho. El tío Joergen, conocedor del interés astronómico de Tycho, que había adquirido en Copenhague una traducción latina del Almagesto de Ptolomeo, lo envió a Leipzig con un tutor, Anders Soerensen Vedel, que luego se hiciera famoso como el primer gran historiador danés. Vedel tenía entonces 20 años, sólo 4 más que su pupilo, y su misión era cuidar que Tycho abandonara su afición astronómica y concentrara su energía en los estudios de derecho. Al cabo de un año Vedel parece haberse dado cuenta que Tycho no tenía remedio y le permitió hacer las observaciones que Tycho venía realizando a sus

espaldas, cuando el dormía. A partir de ese momento las relaciones entre ellos mejoraron y llegaron a ser muy buenos amigos.

En 1563, mientras se encontraba en Leipzig tuvo lugar otro evento astronómico que influenció a Tycho profundamente. El 24 de agosto ocurrió una conjunción de Júpiter y Saturno, llegando ambas imágenes casi a confundirse en una sola. Este evento era perfectamente predecible y Tycho se dio cuenta que las tablas astronómicas existentes a la fecha estaban equivocadas. Las Tablas Alfonsinas, basadas en el sistema geocéntrico de Ptolomeo, estaban erradas en un mes, mientras que las Tablas Prutenicae de Reinhold, de 1551, basadas en Copérnico, aun siendo mejores, predecían el evento con varios días de error. Esto le hizo ver a Tycho la urgente necesidad de nuevas y precisas observaciones planetarias sobre las cuales se pudiese construir tablas más exactas. Tycho observó la conjunción con instrumentos muy primitivos y se dio cuenta de la necesidad de disponer de instrumentos de calidad para realizar buenas observaciones.

En 1565 recibieron pupilo y tutor una carta de Joergen Brahe llamándolos de regreso a casa. Tycho probablemente se alegró, ya que mientras más estudiaba leyes, menos le gustaba. Sin embargo, había estallado una guerra entre Dinamarca y Suecia lo que mantenía a Joergen muy ocupado, por su puesto de vicealmirante. Al poco tiempo de regresar Tycho, su tío Joergen encontró un accidentado final para su vida. Mientras el Rey Federico II cruzaba el puente que conducía al Castillo de Copenhague, en compañía de Joergen Brahe y un número de otros nobles, su caballo se encabritó, cayendo a las heladas aguas junto con el Rey. Joergen con la osadía típica de los Brahe, se lanzó al agua y lo rescató, pero apenas logró salir con vida. Desgraciadamente contrajo un resfrío que se transformó en neumonía y nada se pudo hacer para salvarlo, muriendo el 21 de junio de 1565. Tycho a la sazón un joven de 18 años, fue golpeado duramente por la noticia, pues, a pesar de las diferencias de opinión que ambos tenían, había desarrollado una alta estimación por su tío. Ya no había nada que lo retuviera en casa o lo obligara a continuar con su estudio de leyes. Aconsejado por otro tío, Steen Bille, después de ver sus asuntos en Dinamarca (había heredado algunas propiedades de Joergen) decidió regresar a Alemania al año siguiente, ahora a estudiar lo que el quería. Se dirigió primero a la Universidad de Wittenberg y luego a la de Rostock.

Mientras se encontraba en la Universidad de Rostock le ocurrieron un par de eventos inusuales. Su inclinación a la astronomía también cubría el dominio de la astrología, y en base a ella anunció públicamente que el eclipse de Luna de octubre de 1566 predijo el fallecimiento del Sultán de Turquía Suleiman. Al poco tiempo llegaron las noticias diciendo que efectivamente el sultán había dejado este mundo terrenal; sin embargo, después se supo que el Sultán había muerto antes del eclipse y no después, lo que arrojó serias dudas acerca de la validez de la conexión entre ambos hechos. Un evento más desgraciado para Tycho tuvo lugar en diciembre de ese mismo año. En una fiesta en casa de uno de los profesores, Tycho sostuvo una violenta discusión con otro noble danés, Manderup Parbjerg, debatiendo cual de los dos era mejor matemático. Sus amigos los separaron rápidamente y es posible que el asunto no hubiese pasado de ahí si no hubiese sido por la desgraciada coincidencia que ambos se volvieron a

encontrar una semana mas tarde en una fiesta de Navidad. Allí surgió nuevamente la discusión y esta vez ambos exigieron que fuese la espada la que dirimiera el asunto. En el mas puro estilo de los caballeros medievales, se batieron a duelo justo después de Navidad. Ellos se encontraron cerca de un cementerio a las 7 de la tarde. Estaba tan oscuro que no podían ver ni su propia mano, mucho menos el arma del adversario. En esas circunstancias el duelo fue de muy corta duración. Tycho pudo haber sido mejor matemático pero desgraciadamente eso no le valió en un duelo a espada: resultó con la nariz seriamente dañada, perdiendo parte del puente. Se la reparó con oro, plata y cera, utilizando esa prótesis por el resto de su vida. No hay evidencia que indique que la lesión le causara molestias posteriores, más allá de los problemas psicológicos derivados de su disminuida estética. Posteriormente llegó a ser bastante amigo de Parbjerg.

De Rostock regresó a Dinamarca pero no quedó muy contento con la recepción que tuvo, pese a haber obtenido una promesa de Federico II que le daría la primera canonjía vacante que se presentara. Retorno a Rostock para observar otro eclipse lunar pero pronto se marcho a Wittenberg y a la Universidad de Basilea, en la cual se graduó a comienzos de 1569. Inmediatamente después se dirigió a Augsburg, la capital de Suabia, ahora parte de Bavaria. Allí estableció amistad con los hermanos Paul y Johann Hainzel, regidores de la ciudad (Johann era el Alcalde), astrónomos aficionados. Tycho diseño para ellos un inmenso cuadrante de 5,8 metros (19 pies) de diámetro, y un sextante de menores dimensiones.

En 1570 Tycho supo que su padre se encontraba enfermo. Llegó a casa en diciembre, enterándose que la condición de su padre era terminal. Otto Brahe falleció el 9 de mayo de 1571, a la edad de 53 años. Heredó la mitad de la propiedad de Knudstrup pero aparentemente no le gustó vivir ahí, pues se fue a la casa del hermano de su madre en Heridovad Abbey, cerca de Helsignor. Allí Tycho continuó con sus prácticas de química. En esa época la Alquimia, madre de la química, era considerada parte de la astrología; a cada planeta se le asociaba un elemento químico (a la Luna la plata, a Mercurio el mercurio, al Sol el oro, a Marte el hierro, a Júpiter estaño u oro, a Saturno el plomo). Por tanto no era inusual encontrar a un astrólogo-astrónomo que practicara alquimia. Sin embargo, al año siguiente ocurría el evento que lo llevó de vuelta a sus observaciones para luego convertirlo en el más grande observador de su tiempo. El 11 de noviembre de 1572 miró al cielo mientras daba un paseo y notó una estrella muy brillante en la constelación de Casiopea, donde el sabía muy bien que nunca hubo estrella de semejante brillo. Se trataba de una nova (estrella nueva). Tycho la observó cuidadosamente registrando sus variaciones de brillo y color. Publicó sus resultados en un libro titulado *"De Nova Stella"* en 1573. Este libro contribuyó a aumentar la fama de Tycho como astrónomo.

Por esa época Tycho contrajo matrimonio o estableció unión, con una joven llamada Cristina. Ella era de origen humilde, de un nivel social muy inferior al de Tycho y por eso la familia de éste objetaba la unión. Aunque no hay registro de un matrimonio sancionado por la Iglesia, la unión parece haber funcionado bien, ya que Cristina habría de acompañar a Tycho por el resto de su vida y dio a luz ocho hijos de ambos, de los cuales sólo dos murieron a corta edad.

En 1575 dio una serie de conferencias sobre astrología y los orígenes de la astronomía, en la Universidad de Copenhague, por petición expresa del Rey Federico II. Al terminar las conferencias Tycho emprendió un largo viaje por Europa, pasando por Cassel, Basilea y Venecia. En Cassel visitó al Landgrave (Conde) de Hesse, Guillermo IV, que era un astrónomo entusiasta y aventajado. Tycho parece haberle comentado sus intenciones de establecerse con un observatorio astronómico en Alemania. Guillermo IV al saber semejante cosa le escribió al Rey Danés: *"Su Majestad no debe permitir que Tycho se vaya, ya que con ello Dinamarca perdería su más grande ornamento".* A esta se sumó una recomendación del canciller Oxe y con ellas el Rey Federico II, de por sí inclinado a favorecer las ciencias, hizo una oferta tan generosa a Tycho para que se estableciera en Dinamarca, que éste naturalmente aceptó. Por un Decreto Real del 23 de mayo de 1576, el Rey Federico II le otorgaba a Tycho Brahe la pequeña isla de Hven en el estrecho de Sund, no lejos de Copenhague, más cerca aún de la moderna ciudad sueca de Malmo, incluidos todos los arrendatarios y sirvientes que en ella vivían, con toda la renta e impuestos de ellos, en forma vitalicia, junto con una renta anual de 500 ducados (equivalente a 400 libras, en ese tiempo una suma considerable), un feudo situado en Noruega y una canonjía, cuya renta de 2000 ducados debía servir para construir un observatorio dotado de los mejores instrumentos y para contratar asistentes y calculistas.

Tycho construyó en la isla de Hven el Castillo de Urania *"Uraniborg"*, el mejor observatorio astronómico de la era pre-telescópica. Posteriormente agregó un segundo observatorio en Hven, el Castillo de las Estrellas *"Stjerneborg"*. Tycho tuvo trabajando para él un gran número de estudiantes y asistentes, llegando a sumar 40 el número de personas que trabajaban para él en materia científica. El más conocido de sus estudiantes fue Longomontano (Christen Sörensen Longberg 1562-1647), hijo de un campesino. Longomontano se había cansado de ayudar en el campo después de morir su padre y así, a los 15 años de edad fue a la escuela básica. Estuvo allí 11 años pasando luego a la Universidad de Copenhague, y al año siguiente llegó a ser ayudante de Tycho. Permaneció en Uraniborg hasta 1597, cuando ambos se fueron. El trabajo principal de Tycho en Uraniborg fue la confección de un catálogo estelar. Midió la posición de 777 estrellas con gran precisión. También realizó numerosas observaciones de los planetas, en particular del planeta Marte, que posteriormente sirvieron a Kepler para establecer las leyes del movimiento planetario. Durante su permanencia en Hven aparecieron 7 cometas, el primero en noviembre de 1577, que fue observado por Tycho con su cuidado habitual. Aunque en ese momento no disponía de todos los elementos que utilizó en observaciones posteriores, midió la paralaje del cometa la noche del 23 de noviembre, cuando el cometa se encontraba cerca de la estrella Epsilon Pegasi. Observando durante varias horas y al no poder detectar paralaje diurno para el cometa, eso le hizo ubicarlo al menos 5 veces más allá de la órbita de la Luna. Esto lo llevó de inmediato a descartar la antigua teoría que describía a los cometas como exhalaciones atmosféricas, a unos pocos kilómetros de altura. Además propinó un segundo golpe a la inmutabilidad aristotélica de la región supralunar. Encontró que el cometa debía girar alrededor del Sol, más allá de la órbita de Venus. En 1582-1583 él encontró, o creyó haber encontrado, que la distancia a Marte era menor a la distancia al Sol, lo cual lo hace abandonar el sistema de Ptolomeo, pues en éste eso es imposible. No

atreviéndose a adherir a Copérnico propone un sistema híbrido, donde la Tierra inmóvil es el centro del cosmos y entorno a ella giran la Luna y el Sol. Todos los planetas giran entorno del Sol. Desde un punto de vista cinemático el sistema propuesto por Tycho es equivalente al copernicano.

Al morir el Rey Federico II en 1588 la situación de Tycho en Hven comenzó a complicarse. El príncipe heredero, Christian, tenía sólo 11 años, por lo cual se designó un consejo de protectores, compuesto de 4 miembros, que gobernarían hasta que el príncipe cumpliera los 20. Entre los protectores se encontraba el canciller Niels Kaas gran amigo de Tycho, que le permitió seguir gozando de los privilegios que poseía con Federico II. Sin embargo, el carácter autoritario y fogoso de Tycho lo llevó a tener problemas. Tuvo una disputa con uno de sus arrendatarios, Rasmus Pedersen, y el caso llegó a la Corte Suprema de Justicia. Tycho había ido lo suficientemente lejos en su disputa para mantener engrillado a Pedersen (en el subterráneo de Uraniborg tenía una cárcel para encerrar a quienes no cumplían). Cuando la Corte Suprema falló contra Tycho, éste continuó hostilizando al pobre hombre, lo que indispuso a Tycho frente al joven príncipe, que se preciaba a sí mismo de ser justo con todo el mundo, independiente de su condición social. Otros asuntos en contra de Tycho eran que no se preocupaba de mantener una capilla en una de sus posesiones, de la cual disfrutaba de las entradas, pero la tenía despreocupada pese a varias advertencias. Igualmente él debía mantener el famoso faro Kullen y no lo hacía en buena forma. Cuando Niels Kaas falleció en 1594, Tycho perdió su gran apoyo. El fin sobrevino cuando Christian VI, que ya había ascendido al trono, cortó varia de las entradas de Tycho, entre ellas los 500 ducados anuales. Naturalmente el joven Rey no tenía el interés de su padre por la ciencia, y consideró que los grandes gastos de Hven eran superfluos. Además, molesto con Tycho, quería demostrarle quien era el patrón. Por otra parte conocedor de su reputación astronómica en Europa, no le cortó totalmente sus ingresos. Tycho en una reacción temperamental, abandono Hven para irse primero a Copenhague y luego a Rostock en Alemania donde tenía amigos. Allí parece haber reaccionado, enviando una carta al Rey en la que le ofrece regresar si se le asignaban nuevamente sus recursos y si sus servicios eran valorados adecuadamente. La respuesta del Rey fue cortante, donde le enumera varias de sus quejas y le sugiere que regrese a Dinamarca primero. Ese fue el fin del incidente para Tycho, que decidió permanecer en el exilio y buscar un nuevo patrono. La última observación anotada por Tycho en Hven fue hecha el 15 de marzo de 1596.

En 1598 se estableció con su familia en la casa del general Heinrich Rantzan, en Wandesbeck, cerca de Hamburgo. Allí escribió un libro en el que describe sus instrumentos *“Astronomiae Instauratae Mecánica”*, que dedica a Rodolfo II, emperador de Bohemia y Hungría. La dedicatoria surgió efecto, pues Rodolfo II lo invita a Praga y le ofrece el puesto de Matemático Imperial, con un sueldo anual de 3000 florines (unas 900 libras), cantidad apreciable, superior a la que recibía en Praga cualquier otra persona de la corte. Además le dieron a elegir entre varios castillos para que instalara su observatorio. Eligió el castillo Benatek, a unos 30 km al norte de Praga. Tycho se traslada allí con su familia y los instrumentos que conservaba con él. El resto de los instrumentos le fueron enviados desde Dinamarca. Escribió a varios de sus ayudantes para que trabajaran con él en Praga, entre ellos a Longomontano, que llegó en 1600.

La situación en Praga para Tycho no fue nunca tan buena como en Dinamarca. No tenía poder político y el emperador estaba siempre corto de fondos por lo cual incluso a veces no recibía su salario. Tuvo que dejar el castillo de Benatek y regresar a Praga. Lo más importante que ocurrió en ese momento fue la llegada de un nuevo ayudante para Tycho, un joven matemático llamado Johannes Kepler, que había adquirido cierta reputación con la publicación de un libro llamado *"Mysterium Cosmographycum"*. Longomontano, después de terminar la teoría lunar y las tablas correspondientes, regresó a Dinamarca, donde llegaría a ser profesor en la Universidad de Copenhague. Así Kepler quedó como el primer ayudante de Tycho. La posición no era fácil para Kepler que tuvo que soportar el carácter autoritario de Tycho, a veces con dificultad. Sin embargo, la situación no fue tan agobiante para Kepler ya que el 24 de octubre de 1601 Tycho murió sorpresivamente, cuando aún no cumplía los 55 años. La causa de la muerte habría sido una retención de orina que se impuso a si mismo mientras efectuaba un largo paseo con el Emperador, según algunos de sus biógrafos. La versión de los hechos que nos refiere Kepler es la siguiente: *"El 13 de octubre, Tycho Brahe, …, cenaba en casa del señor Rosenberg y retuvo su orina más allá de las demandas de la cortesía. Cuando bebió más, sintió la tensión en su vejiga, pero prefirió la cortesía a la salud. Al regresar a casa apenas pudo orinar. Después de cinco noches sin dormir, todavía apenas podía orinar con gran dolor. El insomnio continuaba y la fiebre lo hacía delirar. No pudieron impedirle comer. El 24 de octubre su delirio cesó por varias horas; expiró dulcemente entre los rezos, consuelos y lágrimas de los suyos"*. (Koestler pp.315-316).

En su agonía Tycho repetía una y otra vez: *"Que no haya vivido en vano"*. Al efecto, le había hecho prometer a Kepler que usaría sus observaciones para construir un nuevo sistema del universo basado no en Copérnico o Ptolomeo sino en su propia teoría. Si bien Kepler no respeto a la letra el deseo de Tycho, logró el espíritu de este, pues gracias a la elaboración Kepleriana, la obra astronómica de Tycho Brahe alcanzó la inmortalidad.

6.3 La Nova de 1572:

El primer gran trabajo astronómico emprendido por Tycho Brahe fue la observación de la nova de 1572. Su descubrimiento de una estrella nueva en la constelación de Casiopea lo describe con las siguientes palabras: *"al anochecer, después de la puesta de Sol, cuando, de acuerdo a mi hábito, estaba contemplando las estrellas en un cielo despejado, noté que una nueva e inusual estrella, sobrepasando a todas las otras estrellas en brillo, estaba brillando casi directamente sobre mi cabeza; y dado que yo conocía perfectamente, casi desde la niñez, todas las estrellas del cielo (no es muy difícil obtener ese conocimiento), resultó muy evidente para mi que nunca antes había habido una estrella en ese lugar en el cielo, ni siquiera la mas pequeña, y ni que decir de una tan conspicua y brillante como ésta. Yo estaba tan asombrado con la visión que no me avergonzó dudar la veracidad de mis propios ojos. Pero al darme cuenta que también otros, al señalárseles el lugar, podían ver que había una estrella allí, no tuve ya más dudas. Un milagro en verdad, ya sea el más grande de todos los*

que han ocurrido en todo el dominio de la naturaleza desde el comienzo del mundo, o uno que ciertamente debe ser catalogado con esos confirmados por el Sagrado Oráculo." (Moore pp.93-95).

¿Por qué estaba tan sorprendido Tycho? Simplemente porque según la doctrina de Aristóteles la región supralunar era totalmente inmutable. Este era un hecho sorprendente. El mundo europeo no sabía de algo similar desde el año 125 a. de C., cuando Hiparco había observado la aparición de una nova en el cielo, de acuerdo al relato que nos hace Plinio en el segundo libro de su *Historia Natural*. Esta supuesta observación de Hiparco podía ser explicada suponiendo que se había tratado de un cometa, fenómeno atribuido en esa época a la atmósfera terrestre, en la región sublunar. ¿Cómo distinguir si el fenómeno observado era una nueva estrella o un nuevo planeta, cometa o meteoro? Era necesario observar cuidadosamente su posición en el cielo para detectar un posible desplazamiento. Tycho se volcó de lleno a esta tarea. Al día siguiente se dio cuenta que era tan brillante que podía observarla incluso antes que se pusiera el Sol. Era tan brillante como el planeta Venus. La estrella mantuvo su luminosidad durante Noviembre, empezando a declinar en diciembre, siendo visible durante todo el año 1573, para desaparecer en marzo del año siguiente.

Tycho no fue el primero en descubrir la nova. El 6 de noviembre la observó Wolfgang Schuler de Wittenberg; al día siguiente la vio Hainzel en Augsburg y también B. Lindauer en Winterthur, Suiza. Tycho, como ya se dijo, la observó el 11 de noviembre y pese a no ser por tanto su descubridor, la nova se conoce como la estrella de Tycho, por haber sido él quien acumuló las mejores observaciones de este extraordinario objeto celeste.

Varios astrónomos se abocaron a la tarea de medir un posible desplazamiento de la nova en el cielo. Entre ellos cabe mencionar a Michael Maestlin, profesor de Astronomía en la Universidad de Tuebingen (que más tarde fuera profesor de Kepler), quién con instrumentos muy rudimentarios no le detectó movimientos. Tampoco Thomas Digges, en Inglaterra, le detectó movimiento. Tycho disponía de un nuevo instrumento, un sextante similar al que le había hecho a Paul Hainzel. Tenía un radio de 164 centímetros, con un arco metálico de 30° dividido en minutos. Ese instrumento era notablemente más poderoso que los utilizados por los otros astrónomos de la época. Tycho observó la distancia relativa entre la nova y las nueve estrellas más brillantes de la constelación de Casiopea y no encontró desplazamiento alguno de la nova. Realizó observaciones espaciadas durante la noche a fin de encontrar un posible paralaje diurno (geocéntrico); no logró detectar desplazamiento alguno, esto le llevó a concluir que la nova había ocurrido en la octava esfera, la correspondiente en el esquema aristotélico a las estrellas fijas.

Las observaciones de Tycho nos dan también una descripción cualitativa de los cambios de brillo y color de la nova. En noviembre de 1572 su luminosidad aparente era como la del planeta Venus en su brillo máximo; en diciembre se había debilitado, siendo comparable al planeta Júpiter; en enero era algo más brillante que las estrellas de primera magnitud (las más brillantes del cielo); en febrero y marzo era como ellas. En abril y mayo era como una estrella de segunda magnitud; en junio, julio y agosto como

una de tercera magnitud, de modo que era como las estrellas más importantes de Casiopea. Continuó decreciendo en septiembre llegando a la cuarta magnitud en octubre, siendo como Kappa Casiopea en noviembre. Hacia fines de año y enero del año siguiente era de quinta magnitud, llegando a la sexta en febrero; hacia fines de marzo dejó de ser visible. El color de la nova varió gradualmente. Al comienzo era blanca, para irse haciendo lentamente amarilla y luego rojiza como Betelgeuse o Aldebarán (hacia marzo de 1573). En mayo se hizo como el plomo, o algo como Saturno, permaneciendo de ese color mientras fue visible (el ojo no puede apreciar el color de una estrella débil por la que la descripción anterior de los colores de la nova es confiable sólo en la primera parte, es decir la estrella cambió del blanco al rojo y luego volvió al blanco donde deja de ser posible juzgarlo a simple vista, como lo hizo Tycho).

Tycho confeccionó un diario con sus observaciones de la nova a las cuales agrega el posible significado astrológico de la misma. Sus amigos le pidieron que publicara un libro con los resultados, pero Tycho creía impropio de un hombre de su condición el publicar un libro por lo cual dudó hacerlo. Ante la insistencia de muchas personas y al ver otros escritos publicados sobre la nova que contenían afirmaciones totalmente infundadas, finalmente accedió a publicarlas bajo el título de: *"De Nova Stella"*, que fue impreso en Copenhague en 1573. El libro constituye la más valiosa recopilación de observaciones sobre la estrella.

La nova de Tycho no fue una nova ordinaria, sino lo que ahora se llama una **supernova**, fenómeno astronómico mucho menos frecuente. Literalmente una nova es una estrella nueva, que aparece en un lugar del cielo donde nunca antes se vio estrella alguna. Sin embargo, no se trata de una estrella nueva, sino de una estrella que aumenta su brillo pasando a ser visible (a simple vista) por un corto tiempo. Tanto las novas como las supernovas son estrellas viejas, que en sus fases finales de evolución sufren un proceso violento que las hace aumentar su brillo. Las novas aumentan su brillo un factor 10^6 y se trata de un fenómeno que afecta a las capas más internas de la estrella, de modo que unos pocos años después de la erupción su estructura es muy similar a la que tenía antes. La supernova es un fenómeno que afecta a toda la estructura de la estrella que, en una explosión muy violenta, arroja al espacio la mayor parte de su masa y durante unos pocos meses radia una cantidad de energía por segundo unas 10^9 veces mayor que su estado previo. La supernova es la muerte de la estrella. En varios casos una supernova deja además de un remanente gaseoso en expansión, una estrella compacta de altísima densidad (10^{15} gr/cm^3) que es una estrella de neutrones; esta sería el remanente del núcleo de la estrella.

En el último milenio existen registros históricos que describen la presencia de 5 supernovas, ocurridas en los años 1006, 1054, 1181, 1572 y 1604. La del año 1054 la observaron astrónomos chinos y dio origen a la Nebulosa del Cangrejo en la constelación de Tauro. La de 1604 fue observada por Kepler y se conoce como la supernova de Kepler. Se cree que en nuestra galaxia debe ocurrir una supernova cada 30 o 50 años, por lo cual deberían verse en principio 20 o 30 supernovas en un milenio. Desgraciadamente la presencia de polvo en el espacio interestelar oscurece la luz de los objetos más distantes en nuestra galaxia. Por eso sólo las supernovas más cercanas al Sol han sido detectadas a simple vista. Si una de las estrellas más

cercanas explotara como supernova sería un evento que no podría pasar desapercibido pues en su brillo máximo sería unas 100 veces más brillante que la Luna llena y posteriormente produciría un efecto devastador sobre la Tierra al aumentar considerablemente el nivel de radiación cósmica lo cual sería letal para los organismos vivos. Se cree que hace 70 millones de años podría haber ocurrido un fenómeno semejante, explicándose así la brusca desaparición de los dinosaurios sobre la faz del planeta.

6.4 Uraniborg:

Entre Copenhague y Elsinore, en el estrecho de Sund se sitúa la isla de Hven. Está a unos 22 km. al norte de Copenhague y unos 14 km. al sur de Elsinore, más cerca de la costa de Scania que de la de Seeland. De superficie casi plana, con una pequeña pendiente hacia el este, tiene una forma irregular cuyo diámetro mayor es de 5 kilómetros.

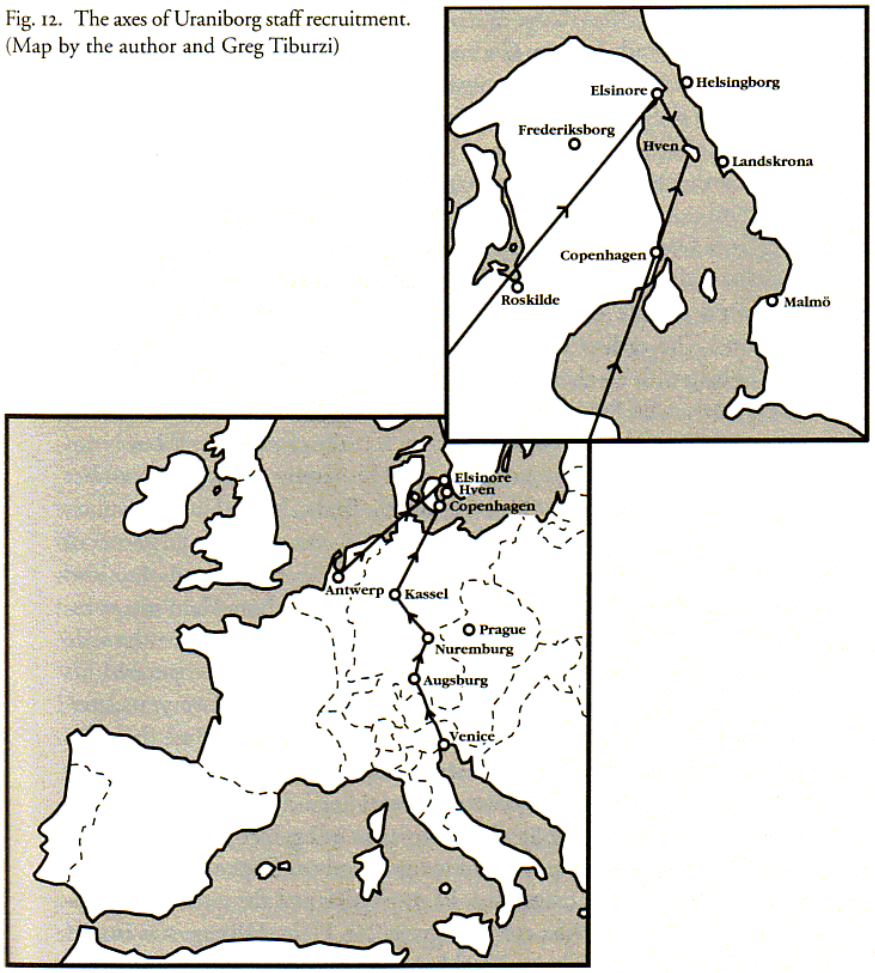
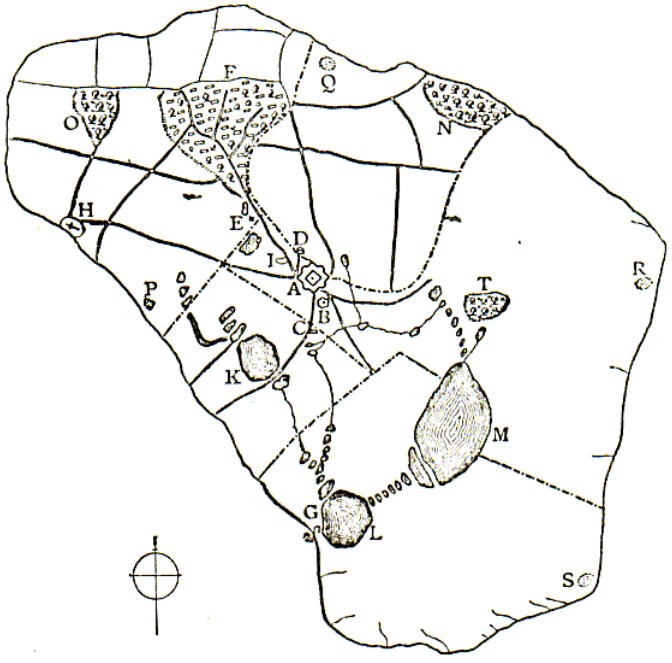


Fig. 12. The axes of Uraniborg staff recruitment. (Map by the author and Greg Tiburzi)

Cerca del centro de la isla, a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar, Tycho decidió levantar su residencia y observatorio, que el bautizó como Uraniborg, el Castillo de Urania. La primera piedra fue colocada el 8 de agosto de 1576. Muy pronto la construcción parece haber estado lo suficientemente avanzada para que Tycho residiera en ella. Inició sus observaciones en Hven en diciembre de 1576 y que habrían de durar 20 años.

Uraniborg estaba situado en el centro de un cuadrado cuyas diagonales apuntaban en la dirección de los puntos cardinales. El cuadrado estaba formado por gruesos muros de esquina a esquina. En el

centro, algo más elevado que el resto de los jardines se alzaba Uraniborg. Construido en estilo gótico renacentista, representó un hito dentro de la arquitectura escandinava. El cuerpo principal del edificio tiene una sección cuadrada de 15 metros de lado, a la cual se le agregan en los lados mirando hacia al norte y al sur sendas torres de 6 metros de diámetro. Había además varias torres secundarias, que terminaban en terrazas desde donde se realizaban observaciones astronómicas. Estaba provisto además de una buena biblioteca, imprenta y talleres para la construcción de instrumentos. Al aumentar el número de ayudantes que trabajaban con Tycho, las varias facilidades observacionales comenzaron a ser insuficientes. A fin de poder contar con observaciones hechas por varias personas sin influencia mutua, Tycho construyó en 1584 otro observatorio en una pequeña colina a unos 30 metros al sur de la esquina sur de las murallas que rodeaban a Uraniborg, y algo hacia el este. En este observatorio, que Tycho llamó *Stjerneborg* (Castillo de Estrellas), los instrumentos fueron emplazados en piezas subterráneas, sobresaliendo el suelo sólo sus techos móviles, con lo cual los instrumentos quedaban protegidos del viento durante la observación. Los instrumentos astronómicos con que Tycho dotó a su observatorio eran muy superiores a los instrumentos utilizados por otros astrónomos. Estos fueron diseñados por Tycho y construidos bajo su supervisión. Eran instrumentos de grandes dimensiones (cuadrantes, sextantes, etc. con radios de hasta 2 metros), dotados de arcos de bronce divididos finamente.



HVEEN AT THE TIME OF TYCHO BRAHE.

EXPLANATION OF THE MAP.

A. Uraniborg.
B. Stjerneborg Observatory.
C. Farm.
D. Workshop.
E. Windmill.
F. Village.
G. Paper-mill.
H. Church.
I. Hill where Petty Sessions were held.
K, L, M. Fish-ponds.
N. Grove of nut-trees.
O. Morass with alder trees.
P, Q, R, S. Ruins of old forts.
T. A small wood.

La gran calidad de los instrumentos de Uraniborg y la variedad de estos, unidos a la gran habilidad observacional de Tycho hicieron que en la isla de Hven se realizaran las mejores observaciones astronómicas de la historia, que sólo serían superadas un siglo más tarde al desarrollarse instrumentos dotados con óptica (telescopios). Pese a que sus instrumentos sólo contaban con miras y se observaba a simple vista, alcanzaban precisiones de medio minuto de arco. Esta elevada precisión la logró estudiando cuidadosamente los errores instrumentales para poder corregir las observaciones, y también estudió los errores personales, que redujo al combinar observaciones de distintos observadores. Tycho logró mantener en funcionamiento su observatorio por espacio de 20 años gracias a la

generosa ayuda del Rey Federico II, que al otorgarle distintas prebendas, le otorgaba algo así como 2400 dalers anuales (unas 550 libras). En 1598 Tycho estimó el costo total de todos sus edificios e instrumentos en 75.000 dalers (unas 17.000 libras).

6.5 Catálogo estelar:

Uno de los trabajos de largo aliento que Tycho Brahe abordó en Uraniborg fue la construcción de un catálogo estelar que mejorara aquel de Hiparco consignado por Ptolomeo en el Almagesto. Adopta el ecuador como círculo máximo de referencia en la esfera celeste en lugar de la elíptica, utilizada hasta esa época. De este modo Tycho introduce las coordenadas celestes modernas llamadas *ascensión recta* y *declinación*; mide la declinación de las estrellas (su distancia angular al ecuador celeste) por su altura meridiana. La ascensión recta (equivalente a la longitud en la Tierra) la determina comparando las posiciones de las estrellas y el Sol, utilizando a Venus en lugar de la Luna como enlace. La mayor simplicidad del movimiento de Venus le permitió mejorar substancialmente los errores en las ascensiones rectas estelares.

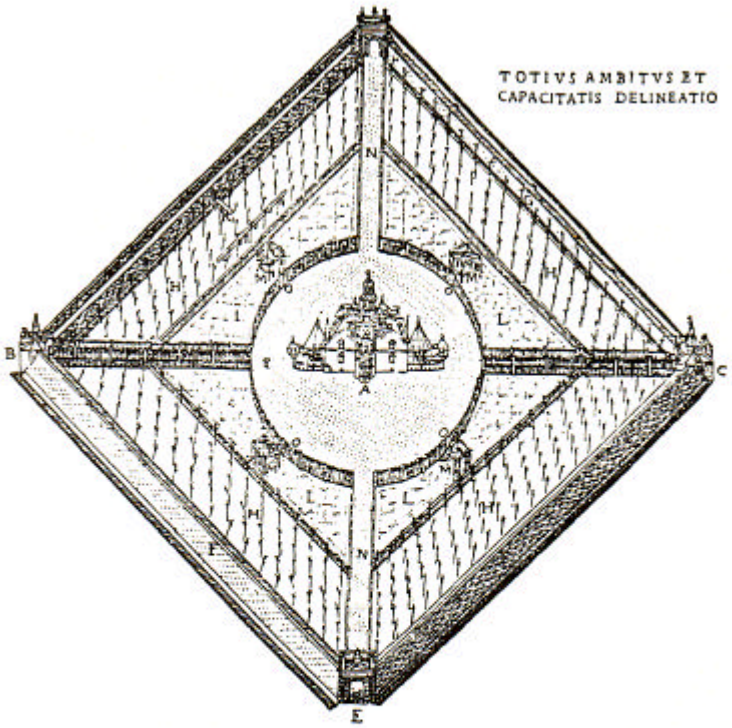


Fig. 26. The Uraniborg complex: Bird's-eye perspective of the ramparts and gardens as they appeared ca. 1586. Uraniborg (A) was approached through the eastern gatehouse (E), which was rusticated in the Tuscan manner, with English mastiffs in kennels above to announce the approach of visitors. The printing office (B) and servants' quarters (C) were like miniatures of the main house. Paths (N) led from the four cardinal points to the house, and to the fountain of water within. The orchards (H) contained around three hundred trees, and the botanical gardens (L) included both herbs and ornamentals in great variety, as well as four pavilions (M). Wooden palings surrounded the gardens, articulating a square outward and a circle inward, surrounding the house. In the southwestern orchard were facilities for playing. (From *Astronomiæ instauratæ mechanica*)

Al determinar la latitud de su observatorio en Uraniborg notó una diferencia sistemática entre dos métodos diferentes: la altura de la estrella polar y la altura máxima del Sol en los solsticios. La diferencia alcanzaba los 4' para la latitud. Tycho interpretó correctamente el fenómeno como debido a la refracción atmosférica que hace que la altura aparente de un astro sea mayor que su altura real sobre el horizonte. Elaboró una tabla de los valores de la refracción para distintas alturas que a pesar de sus errores, como suponer que la refracción es nula para alturas mayores a 45°, es un gran paso por ser la primera vez que se abordaba ese problema en Astronomía.

Observando la altura máxima del Sol en los solsticios de verano e invierno se puede

determinar la inclinación de la elíptica respecto al ecuador. Tycho encontró el valor 23°31,5 ’ mientras Copérnico había encontrado sólo 23°28’. Tycho pensó que la diferencia se debía a que Copénico no había tomado en cuenta la refracción atmosférica que falsea particularmente la altura máxima del Sol en el solsticio de invierno. En 1584 envió en una expedición a Frauenburg a su ayudante Elias Olsen, con el fin que este repitiera la determinación de ese punto. Encontró una diferencia de 2,75 ’ en la latitud, que junto con el hecho que Copérnico efectivamente no consideró la refracción, explicaba el valor de la inclinación encontrado por éste. Olsen llevó consigo a Uraniborg , dos de los instrumentos de Copérnico que le fueron regalados por unos canónigos de Frauenburg. Estos instrumentos habían sido confeccionados por el propio Copérnico. Tycho los ubicó en un lugar de honor en su castillo, dada la gran admiración que sentía por el astrónomo polaco. Hoy desgraciadamente se han perdido junto con todos los otros instrumentos que Tycho tuvo en la isla de Hven.

FIG. 51.—Uraniborg. From a collection of letters published by Tycho.

Las observaciones estelares de Tycho están reunidas en un catálogo de 777 estrellas que se encuentra incorporado en su libro *“Astronomiae Instauratae Progymnasmata”*. Comparando sus observaciones astronómicas con las realizadas en el siglo XVIII por el gran James Bradley, tercer Astrónomo Real en Greenwich, los errores en las observaciones de Tycho son inferiores a 36" en ascensión recta y a 39" en declinación.

Sus cuidadosas observaciones de la Luna lo llevan a reconocer las perturbaciones que experimentan los nodos lunares en su retrogradación a lo largo de la elíptica, observando además las fluctuaciones periódicas de la inclinación de la órbita lunar. Independientemente de Abul Wefa, estudia la variación del movimiento lunar, que se traduce en una aceleración con un posterior retardo en la traslación del satélite alrededor de la Tierra.

6.6 Nuevo Sistema del Mundo:

Tycho rechazó el sistema copernicano basándose en consideraciones diversas, algunas de ellas de carácter religioso y otras derivadas de la física aristotélica. Considera además, que de ser cierta la teoría heliocéntrica, la distancia a las estrellas fijas sería 700 veces la distancia del Sol a Saturno, el planeta más lejano conocido en ese entonces. Rechaza esa idea, pues implicaría que la mayoría del Universo estaría vacío *"y así debería ser obligatoriamente en el caso que el camino anual de la Tierra, visto desde las estrellas fijas, fuese equivalente a sólo un minuto de grado".*

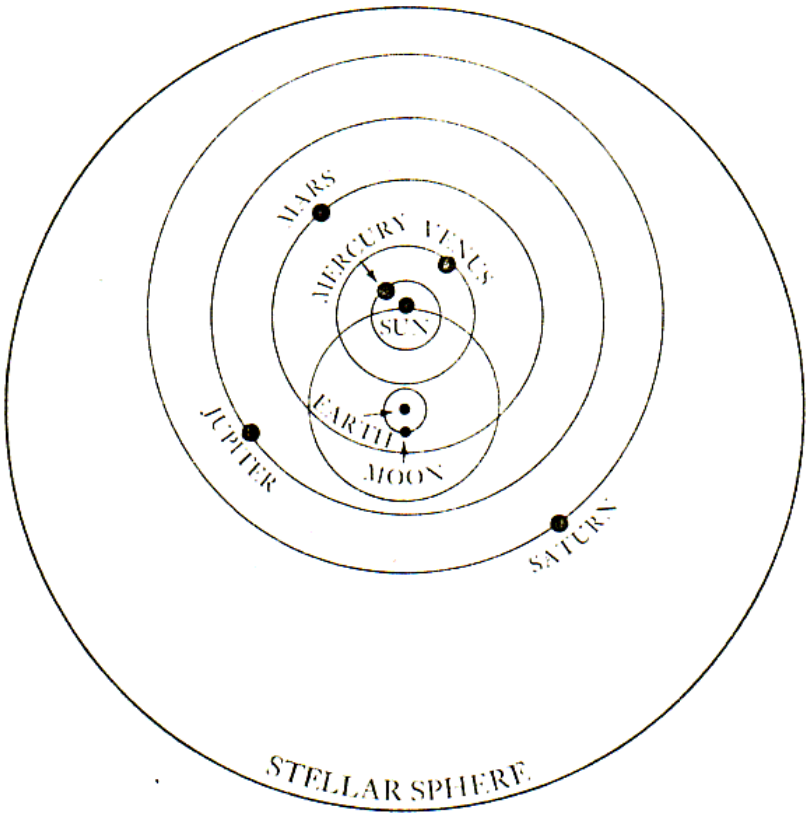


FIGURE 12. The Tychonic system

Tycho también rechazó el sistema geocéntrico de Ptolomeo, pues sus observaciones parecían indicarle que Marte se encontraba más cerca de la Tierra que el Sol, contrario a lo afirmado por Ptolomeo. Tycho Brahe propone entonces un sistema que es una generalización de la sugerencia hecha dos mil años antes por el griego Heráclides de Ponto: la Tierra inmóvil se encuentra en el centro del Universo, a su alrededor giran la Luna y el Sol; entorno al Sol giran todos los planetas. Presenta su sistema planetario en el capítulo VIII de su libro sobre cometas: *"De Mundi aetherei recentioribus phaenomenis"*, publicado en 1588.

Desde un punto de vista cinemático el sistema propuesto por Tycho es equivalente al de Copérnico. En el, la órbita del Sol entorno a la Tierra es absolutamente equivalente (y en principio idéntica) a la órbita terrestre del sistema copernicano. Además, por simplicidad, siempre se presentan en las efemérides actuales las coordenadas del Sol en su movimiento anual aparente entorno a la Tierra. Por lo tanto el sistema de Tycho es igualmente útil que el copernicano. Sin embargo, desde el punto de vista dinámico es un retroceso, pues no tiene ningún fundamento. Su impacto en la ciencia de su tiempo fue modesto. Si hubiese sido propuesto antes que el sistema heliocéntrico hubiese sido una contribución mucho más interesante y tal vez hubiese gozado de más adeptos. Muy pocos astrónomos lo adoptaron; incluso el fiel ayudante de Tycho, Longomontano, lo adopta, pero modificándolo al introducirle la rotación diaria de la Tierra. De todos modos el sistema de Tycho permitió que unos pocos astrónomos pudiesen romper con la tradición de Ptolomeo sin tener que adoptar el modelo de Copérnico, que les parecía demasiado audaz.

Tycho Brahe fue un excelente astrónomo observacional. Introdujo instrumentos y técnicas de observación que nunca habían sido utilizado o refinados a ese extremo. Sin embargo, como astrónomo teórico nunca alcanzó gran estatura. Su innata capacidad experimental no logró salvarlo de un gran número de prejuicios comunes de su época. Entre ellos cabe destacar su fe ciega en la astrología. En una conferencia que pronunció en la Universidad de Copenhague en 1574, Tycho expresa: *"La influencia de los planetas y la estrellas sobre los destinos humanos sólo puede ser puesta en duda por filósofos ignorantes. El cuerpo humano esta compuesto por los cuatro elementos. El temperamento, los dones intelectuales, la predisposición a las enfermedades, la vida y la muerte del hombre, dependen como lo ígneo, lo frío, lo seco y lo húmedo, se encuentran mezclados en su cuerpo. La naturaleza de esta mezcla de los cuatro elementos es impuesta al hombre por la posición de los astros en el momento de su nacimiento. Cada órgano está sometido a la acción de un determinado planeta…".* Tycho busca por ejemplo en la conjunción de Júpiter y Saturno en la constelación de Leo, la explicación de la peste que azotó a Europa en 1563. Cuando pierde su nariz, se consuela buscando en su horóscopo un presagio de su desdicha.

BIBLIOGRAFÍA:

J.L.E Dreyer: *"Tycho Brahe"*, Dover, N. York, 1963
P. Moore: *"Watchers of the Stars"*, Putnam's, 1973
G.E. Christianson: *"This Wild Abyss"*, Free Press, N. York, 1978
D. Papp y J. Babini: *"Panorama General de Historia de la Ciencia"*, Vol. VI, Espasa-Calpe, Buenos Aires,1952
A. Koestler: *"The Sleepwalkers"*, Penguin, Harmondsworth, 1973.