**Tema 3.1. La astronomía en las civilizaciones antiguas.**

El hombre contemporáneo acostumbrado a la luz de la ciudad ha dejado de ver el cielo nocturno. Las luces de la urbe no dejan contemplar el magnífico espectáculo de una noche despejada a simple vista.

Sin embargo, durante milenios los hombres de todo el mundo han podido observar el cielo nocturno y han estado atentos a reconocer formas y objetos en él. La identificación de figuras o personajes no es sino una forma nemotécnica de facilitar el seguimiento de las estrellas en sus evoluciones por el firmamento.

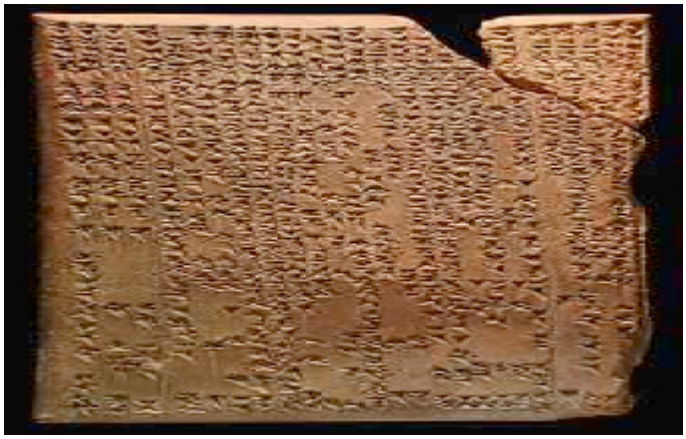
Una observación evidente que cualquiera podía hacer es que el hombre no puede alcanzar las estrellas ni influír en su movimiento. Su movimiento es regular y no sujeto a nuestra acción y esto ha despertado la curiosidad y la imaginación del hombre. Además sus movimientos parecían poder servir para predecir la sucesión de estaciones.

Sabemos que en torno al año 3000 antes de Cristo se empleaba un calendario lunar con ciclos de 28 días y midiendo el tiempo en "lunas" o periodos entre los que tenemos luna llena –mes *sinódico*-. Es la forma más evidente que cualquiera puede emplear para medir el tiempo, aunque tiene la desventaja de que no permite describir el ciclo de estaciones con un número entero de unidades.

**Babilonia**

La invención de la escritura y el empleo de un sistema numérico práctico basado en fracciones y los conocimientos geométricos elementales permitieron el registro de datos astronómicos durante largos periodos de tiempo, lo cual permite mejorar mucho la precisión en la determinación de los ciclos.

Entre el 2000 y 1200 a.C. se compilaron en Babilonia las tablillas "Enuma Anu Enlil" que son una especie de oráculos basados en la observación astronómica, de forma que ligan los sucesos futuros como la salud, un reinado largo o cosas similares con los suscesos que puedan observarse como la duración de un día o la visibilidad de la luna.



En torno al 1700 a.C. comenzaron a dividir el día en 24 horas, aunque el día comenzaba a la puesta del Sol. Emplearon un calendario basado en 12 meses de 29 ó 30 días (el mes sinódico es de 29,520589 días). De vez en cuando se agregaba un mes más, estableciéndose en el 383 a.C. una regla para esto: se añadían 7 meses intercalares cada 19 años (235 meses sinódicos son 19 años dentro de una aproximación de $10^{-4}$). Este tipo de calendario se denomina lunisolar puesto que se basa en el calendario lunar pero añade meses para ajustarse al ciclo solar.

Los astrónomos babilonios observaron un eclipse de sol el 763 a.C. y parece que llegaron a determinar una duración del mes sinódico con una preción de $10^{-6}$ según Naburi'Annu (s. III a.C.) o Kidinnu (s IV a.C.).

A los babilonios les debemos el empleo de medidas sexagesimales como empleamos en los minutos de una hora o los segundos de un minuto. También pusieron la mayor parte de los nombres de las constelaciones que ahora empleamos.

**Egipto**

El aprovechamiento agrícola del valle del Nilo depende críticamente de la determinación exacta de la crecida del río. Esto les obligó a seguir un calendario solar acorde con las estaciones desde posiblemente el 3000 a.C. En torno del 2500 a.C. sabemos que eran tres estaciones de cuatro meses: crecida, retirada y cosecha. Empleaban la salida de Sirio por el levante (en el duodécimo mes) para predecir la crecida del Nilo. Parece que empleaban 43 constelaciones y además usaban las estrellas para dividir el tiempo de la noche en 36 "decanos" de 40 minutos cada uno.

Bajo relieve de la tumba del faraón Akhenaton de la dinastía decimoctava (1350 a.C.) Museo del Cairo

Posteriormente se emplearon 12 meses de 30 días más 5 días adicionales o epagómenos, esto es años de 365 días. A partir del s. III a. C. se introdujo un sistema de bisiestos cada cuatro años que es esencialmente el mismo calendario adoptado por Julio César para Roma y empleado en occidente hasta 1582.

**El calendario hebreo**

Teniendo en cuenta que Abraham salió de Ur de caldea y que posteriormente permaneció 70 años deportados en Babilonia por el rey Nabucodonosor II (del 586 al 516 a.C.) no es de extrañar que el pueblo hebreo emplee un calendario lunisolar y que los nombres de los meses coincidan con los babilonios.

El día hebreo comienza como el babilonio a la puesta del sol. Según la tradición cuando pueden "contarse tres estrellas en el cielo". Nótese que esta tradición de comenzar el día al atardecer ha quedado en la tradición cristiana incorporando la

“víspera” de una festividad a la misma. La celebración de la Pascua de resurrección se celebra cuando ya ha anochecido el sábado y por tanto es domingo según este criterio.

El mes hebreo es lunar como el babilonio, coincidiendo el medio del mes con la luna llena. Esto hace que haya meses de 29 y de 30 días. Los años “normales” tienen 12 meses, comenzando por el mes de Nisán (marzo o abril) conforme manda Dios en el Éxodo (Ex. 12, 2) por ser el mes en que sacó al pueblo de Israel de Egipto (pascua). El último mes se denomina Adar. Para adaptarse al ciclo solar deben añadir un mes adicional algunos años que se denominan embolismales o preñados. Añaden un mes de “Adar” adicional de forma que esos años tienen un mes Adar aleph y un mes Adar bet.

Los métodos de introducir este mes no son simples y se basan tanto en la observación de la luna como en el estado de la vegetación. Puesto que en Nisán deben presentar las primicias como ofrendas, para entonces la primavera debe haber comenzado. En el siglo VI a.C. hacían tres años preñados en cada ciclo de ocho, mientras que ya en el siglo V a.C. (justo coincidiendo con la deportación a Babilonia) se hacían siete en cada diecinueve. Esto hace que el día de celebración de la pascua judía sea distinto cada año.

Calender
für die
Jüdische Gemeinde
auf das Jahr 5591 (1831).

לוח לשנת תקצא לפק

סימן הקביעות זש"ג פשוטה
ימי' הש"לך על ה' יהבך (355)
ושבתותי' הצליחה נ"א (51).

עם כל המועדי' והנומו' והמולדו' והתקופו' ויתרונס,
ואמירת היוצרות וההפטורות וההושענות ופרקי
אבות עם החגים והירידים הכוהגים במדינות
ברלנדנבורג, פאמרן שלעזיען אונד אנדערן
קעניגליכן פראוויינצען גם זמן מנחה וקבלת
שבת חמן ק"ש ותפלת שחרית ואכילת חמץ בערב
פסח עד קצה האחרון.

בערלין
zu haben bei J. N. Beer,
Papenstraße No. 7.

**1 Calendario Judío del año 1831.**

Siendo que Jesucristo fue crucificado en un viernes anterior a la celebración de la Pascua y resucitó en el domingo posterior, la celebración litúrgica cristiana de la pasión, muerte y resurrección de Jesucristo vino ligada tanto a los días de la semana como a la "pascua" judía. Sin embargo dada la arbitrariedad del calendario judío en la inclusión de años preñados, los obispos cristianos acordaron en el primer concilio de Nicea (325) celebrar la semana santa de forma que el domingo de resurrección fuera el primero después de la primera luna llena que hubiera tras el equinoccio de primavera. De esta forma las reglas eran claras y sencillas.

Sin embargo los hebreos, reticentes de aceptar la decisión cristiana, adoptaron a partir del 359 unas normas redactadas por el sabio Hilel II. A partir de entonces el año hebreo empezaba en el mes de Tishrei mientras que Nisán pasó a ser el séptimo.

El día 1 del mes de Tisheri de su año 1 lo consideran el primero de la creación del mundo que además la fechan en el 3761 a.C. de forma que el año 2009 es "aproximadamente" para los hebreos el 5770.

Pero esto se complica aún un poco más porque las celebraciones requieren que el inicio del año no puede ser domingo, miércoles ni viernes por lo que las duraciones de los meses se modifican entre 29 y 30 días para ajustar la duración del año de forma que los años "normales" pueden ser de 353, 354 ó 355 días. Si a esto añadimos que la aceptación de las normas varía con las zonas de la diáspora puede entenderse que la traducción de una fecha del calendario hebreo al cristiano es una tarea no trivial, un verdadero reto para los historiadores.

**China**

Cuenta una tradición que en el 2637 a.C. el emperador amarillo o Huangdi introdujo el calendario chino que se ha utilizado hasta el mismo siglo XX. Consiste en cinco ciclos de doce años, llevando cada año el nombre de un animal (rata, buey, tigre, liebre, dragón, serpiente, caballo, oveja, mono, gallo, perro y cerdo). Además usan 28 constelaciones que recorre la luna en el cielo y combinan el ciclo solar con el lunar, es pues lunisolar.

Cada año "normal" tiene 12 meses de 29 ó 30 días con duraciones entre 353 y 355 días. Además constituyen ciclos de 19 años de forma que los años 3º, 6º, 9º, 11º, 17º y 19º constituyen años embolismales con trece meses y entre 383 y 385 días de duración. El año empieza con la primera luna nueva después de que el sol entre en Piscis. Para complicar más la conversión de calendarios las semanas chinas son de diez días.

En el 104 a.C. estimaron la duración del año solar en 365,2502 días, es decir 26 segundos al año más que el año gregoriano que empleamos actualmente.

Astrónomos chinos determinando el solsticio.

La importancia del conocimiento astronómico era fundamental en un país en el que todo venía determinado por el “tao”. Una función principal del gobernante, investida de un carácter sagrado, era la de promulgar anualmente un Calendario exacto, que se publicaba en el famoso "Libro de Instrucciones para los Tiempos". En este libro había instrucciones sobre las siembras, las cosechas, las lluvias, los días buenos para realizar tareas de cualquier tipo como casarse o emprender viaje: “Los empleados del Tribunal Matemático iban en cortejo y traje de gala al Pabellón del Dragón y depositaban allí los ejemplares destinados al Emperador y sus esposas; en otros pabellones se depositaban en mesas rojas, los ejemplares para los príncipes y los más altos dignatarios y al fin seguía, como señal de reverencia hacia la nueva ley del año, una pro cesión solemne por todo el Palacio. En el Calendario estaban fijados exactamente todos los actos y omisiones con arreglo a puntos de vista macrocósmicos. Con letra roja se anunciaban lo días favorables y desfavorables, las horas de la labor del campo, para celebrar matrimonio, para mudarse de casa, para reparaciones de barcos, para la caza, para el pastoreo de ganado, para los entierros y para las ejecuciones”.

Cuando el jesuita Mateo Ricci (1552-1610) llega en 1583 a China en el siglo XVI los astrónomos del “tribunal matemático” chino hacen previsiones muy desacertadas con las terribles consecuencias de inestabilidad que supone para el

emperador. Mateo Ricci realiza un nuevo calendario previendo con mayor precisión los eventos astronómicos y esto le granjea el favor del emperador que llega a nombrarle Matemático oficial de la corte. (Interesados en la curiosa historia de Ricci en China tienen una historia detallada en http://www.lablaa.org/blaavirtual/historia/cseii/cseii02b.htm )

**2 Sello de la República Popular China conmemorativo de Mateo Ricci**

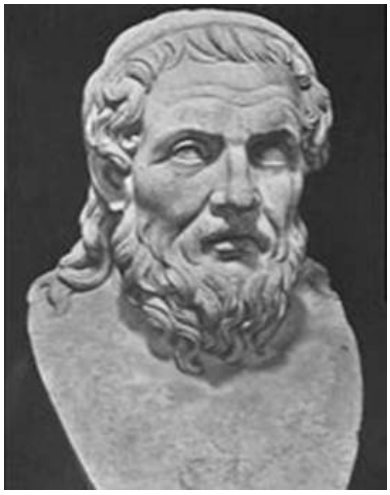
El gran astrónomo también jesuita padre Adam Schall fue el que realizó por encargo imperial el nuevo calendario. Este había predicho un eclipse de sol con precisión mientras que los astrónomos chinos no habían dicho nada. En China se tenían los eclipses de sol como acontecimiento muy importante y el Emperador debía ser informado de ellos un mes antes y todos los altos mandarines debían reunirse en tiempo oportuno, portando las insignias de su dignidad, en el patio del Tribunal Matemático.

Cuando a la hora pronosticada por Schall el disco del sol comenzó a oscurecerse; cuando todos los signatarios reunidos, respondiendo al rito fijado, se echaron al suelo, y pegaron la frente a la tierra cuando sonó por toda la ciudad el ruido de tambores y timbales se había evidenciado que los métodos de cálculo de los astrónomos chinos no eran correctos y que el Calendario con arreglo al cual era gobernado el país resultaba falso. Este acontecimiento llegó a desencadenar la caída de la dinastía Ming.

**3 Mapa mundi eleborado por Mateo Ricci**

El jesuíta español Diego De Pantoja colaboró a principios del s. XVII con el erudito chino Sun Yuanhua en la redacción del "Libro ilustrado sobre el reloj de sol" que contribuyó a una mejora del conocimiento técnico en China sobre la fabricación de relojes y la medida del tiempo, avances tecnológicos que se aplicarían a las reformas del calendario oficial.

**Grecia**



En torno al 700 a.C. Hesíodo en su obra "Los trabajos y días" dice: "*cuando las Pléyades salen es tiempo de usar la hoz, mas cuando se ponen es tiempo de usar el arado; cuarenta días están en el cielo; cuando Arturo asciende desde el mar y, elevándose en la tarde, se mantiene visible toda la noche, las viñas deben podarse; mas cuando Orión y Sirio vienen a lo alto del cielo y los dedos sonrosados de Eos ven a Arturo, las uvas deben cogerse; cuando las Pléyades, las Híades y Orión se ponen, entonces acuérdate del arado; cuando las Pléyades, siguiendo a Orión, se hunden en el oscuro mar, deben esperarse tormentas; 50 días después de la vuelta del sol es el momento adecuado para navegar; cuando Orión aparezca, el regalo de Demetrio debe traerse al trillo bien liso*".

Emplearon los griegos primero un calendario de 12 meses de 30 días, pero debido a su rápido desfase con la luna comenzaron a usar un calendario con seis meses de 30 días y seis de 29 días que aunque muy ajustado a la luna se desfasaba con respecto a las estaciones. Este fue empleado hasta el 600 a.C. En este momento –la época de Tales- Solón de Atenas –uno de los siete sabios de Grecia- introdujo un calendario que llevaba su nombre basado en un ciclo de dos años: 13 meses de 30 días y 12 meses de 29 días.

Pitágoras, en torno del año 500 a.C. reconoció que la Tierra era una esfera y que la órbita de la luna estaba inclinada respecto del ecuador de la Tierra. Además identificó a Venus como lucero vespertino y a Venus como lucero matutino. Pitágoras, amante de la perfección y la matemática buscaba la simplicidad y la perfección. Este es un principio fundamental para la ciencia: describir lo complejo en términos de elementos simples. Así, parece que entendía que los objetos celestes se movían siguiendo la combinación de movimientos regulares simples que hacían que parecieran variables e irregulares.

En el 450 a.C. Oenípides parece que descubrió el ángulo de la eclíptica y puede que midiera un valor de 24º, medida que mejoraría Eratóstenes en el 250 a.C. Se dice que además propuso un ciclo de 59 años con 730 meses.

Simultáneamente el pitagorino Filoleo propuso un ciclo de 59 años pero de 729 meses ¡por ser $9^3$ y ser el 9 el número pitagorino asociado a la Tierra!. Además este propuso que la Tierra orbitaba en torno de un fuego central, pero no por observaciones empíricas sino porque consideraban que 10 era un número más perfecto para los cuerpos celestes. Como puede entenderse el valor científico de estas tésis basadas en cómo pensamos que deben ser las cosas o cómo queremos que sean es nulo.

Sabemos por Teofrasto en su obra "Sobre los signos del tiempo (atmosférico)" y también por Vitrubio que Metón de Atenas en torno del 432 a.C. estudiaba ya la astronomía y realizaba observaciones desde el monte Licabeto aunque

desgraciadamente no nos ha llegado ninguna de sus obras. Uno de los cráteres de la Luna lleva su nombre.

Es famoso por identificar el ciclo de 19 años solares que coincide con 235 lunas de las que 110 son de 29 días y 125 de 30 días. Por eso a este ciclo se le denomina Metónico, aunque no sabemos si lo pudo aprender de los babilonios o lo descubrió independientemente. Junto con su discípulo Euctemón (también da nombre a otro cráter lunar) estudiaron la posición del sol en el equinoccio que para los atenienses era el comienzo de su año. Metón parece ser el autor del *Parapegma* o calendario de marmol con placas de bronce erigido en el centro de Atenas en el 432 a.C. en el que se detallaban los meses, los años, las fiestas y la salida y puesta del sol y las estrellas.

Simultáneamente Demócrito de Abdera, que viajó por Egipto, Babilonia, Persia y posiblemente la India escribió hasta 8 libros de astronomía y geografía como "descripción de los Cielos" ó "descripción del firmamento" en el que debió hacer un catálogo de las estrellas y constelaciones.

En el siglo IV a.C Eudoxo construyó un observatorio en Cnido desde el que observó a la estrella "Canopus", la cual no puede verse ya desde un poco más al norte. Estas observaciones junto con las realizadas desde Heliópolis sirvieron para realizar un libro sobre las constelaciones. Siguiendo los principios pitagorinos y platónicos propuso una teoría de esferas concéntricas para explicar mediante movimientos regulares –perfectos- el movimiento aparente de los objetos celestes.

Aristóteles adoptó esta descripción de Eudoxo mejorada después por sus discípulos Polemarco y Calipo. La regularidad del movimiento de las estrellas llevó a que Aristóteles (384-322 a.C.) considerase a las estrellas como algo inmutable, mientras que la esfera sublunar estaba compuesta de cuatro elementos mutables: tierra, fuego, agua y aire. Los cielos estarían formados por un quinto elemento: la "quintaesencia". Puesto que los cielos en su evolución siguen una regularidad perfecta debemos deducir que sus leyes son perfectas, superiores a las leyes del mundo sublunar.

En el 330 a.C. Autolico escribe "Sobre la esfera móvil", un tratado sobre la geometría de la esfera que es fundamental para desarrollar la teoría de Eudoxo. Poco después es el gran Euclides (330-270 a.C.) en Alejandría quien además de establecer los fundamentos de la geometría escribió los "*Fenómenos"* que es una introducción a la astronomía matemática y resuelve cuándo una estrella en una determinada posición sale o se pone.

Entre el 290 y 260 a.C. encontramos en Alejandría tres astrónomos destacados: Aristarco, Timócaro y Aristilo llegando a una precisión de 5' en la posición de las estrellas fijas. Además se empiezan a emplear las coordenadas ecuatoriales y eclípticas.

Aristarco midió aplicando geometría de triánguos la razón entre las distancias al Sol y a la Luna y la relación entre sus tamaños. Determinó que la distancia al Sol era mucho mayor que a la Luna y que su tamaño debía ser también considerablemente superior. Esto lo reflejó en un libro titulado " De los tamaños y distancias del Sol y la Luna" en el que se usa un modelo geocéntrico. Sin embargo Arquímedes cita a

Aristarco como proponente del heliocentrismo quizá basado en el mayor tamaño del Sol.

Hay ciertas dudas sobre las traducciones de los textos de Plutarco en que reconocen a Aristarco esta propuesta. Lo cierto es que Aristarco podía aportar un argumento para justificar que siendo la Tierra la que gira respecto del Sol no se observen cambios en la posición de las estrellas.

Recuérdese que justamente la distancia a las estrellas puede determinarse mediante el paralelaje -1 parsec es la distancia de una estrella en la que observamos una diferencia de paralelaje de 1 segundo de arco- pero es necesario un telescopio para observarlo. Con una precisión de 5' de arco los griegos no podían observar paralelaje alguno de las estrellas. Aristarco podía argumentar que las estrellas están tan lejos como para que no se observe ningún paralelaje.

**4 Aristarco de Samos (310-230 a.C.)**

Arquímedes determinó el tamaño aparente del Sol y diseñó un planetario, Eratóstenes midió el tamaño de la Tierra y con mayor precisión el ángulo de la eclíptica y Apolonio desarrolló una teoría cicloidal que fue la base del modelo Ptolemaico. Apolonio (262-190 a.C.) escribe por entonces "Sobre las secciones cónicas" estudiando la elipse, parábola e hipérbola.

**5 Apolonio de Perge (262-190 a.C.)**

Hiparco de Nicea (190-120 a.C.) fue, además de uno de los directores de la biblioteca de Alejandría, uno de los más importantes astrónomos y matemáticos de todos los tiempos. Inventó la trigonometría y realizó una tabla de senos. Realizó observaciones precisas catalogando 1080 estrellas, descubriendo la precesión de los equinocios, la diferencia entre el año sidéreo y el año trópico y midió con mayor precisión la distancia a la luna empleando datos de eclipses de luna y el ángulo de la eclíptica. Observó una nueva estrella: Nova Scorpii en el 132 a.C. Además inventó instrumentos –como un teodolito- para medir con precisión no sólo posiciones sino también magnitudes de las estrellas. Dividió la Tierra en meridianos y paralelos. Es impresionante la meticulosidad y precisión que logró Hiparco, así como el conocimiento geométrico y cálculo necesario para alcanzar los resultados que obtuvo.

En torno al 70 a.C. Gémino de Rodas escribe el Isagogo o "Introducción a los Fenomenos" en el que recoge el conocimiento de los astrónomos antiguos y describe el zodiaco, la esfera celeste, el movimiento del sol, las fases de la luna, eclipses y los lugares de la Tierra. El cráter Gémino de la Luna lleva ese nombre en su honor.

Ptolomeo (100-175) realizó observaciones y mediciones –sin telescopio claro- determinando que el universo debía estar compuesto de esferas concéntricas que rodeaban la esfera de la Tierra. Se pensaba que la esfera más exterior movía a las interiores donde estaban el Sol, la Luna y los planetas. Este modelo explicaba bastante bien la mayoría de los fenómenos astronómicos observables a simple vista: el movimiento de las estrellas, del Sol y la Luna. Además, que la Tierra tuviera que estar quieta era entendido por todo el mundo porque si no debería notarse una brisa de Este a Oeste permanente… o mediante otros argumentos de una mecánica que aún no se conocía bien podría decirse que si la Tierra girase y tirásemos una flecha, ésta debería desviarse al Este. En el movimiento de los planetas sin embargo se notaban ciertas

irregularidades como retrocesos en su trayectoria general y de ahí viene el nombre de planeta (vagabundo) pero estas podían explicarse empleando los epiciclos de Apolonio.

Como buen observador del cielo Ptolomeo intuye la enormidad del universo y dice en el Almagesto –su obra principal- que "la Tierra guarda una relación de un punto con respecto de los cielos". Además se da cuenta de que el movimiento es tanto más perfecto cuanto más exterior sea la esfera y más imperfecto cuanto más cerca esté de la Tierra. Las estrellas son las más regulares, luego el Sol, los planetas –que ya hacen movimientos más irregulares- la Luna –con fases- y la Tierra en donde podemos todos los días contemplar la imperfección y la corrupción. No es por tanto de extrañar que Dante en su Divina Comedia sitúe el Empíreo más allá de las estrellas y el infierno en el mismísimo centro de la Tierra y por tanto del Universo. Es fácil entonces pensar que los cuerpos caen atraídos hacia la Tierra por su propia corruptibilidad.

Como se ve el modelo de Ptolomeo es ciertamente experimental. Es un modelo consecuente con la observación a simple vista del cielo y en el que todavía se desconocen las leyes de la mecánica. De hecho, con las observaciones disponibles en el siglo II d.C. es un modelo mucho más preciso en las predicciones que el heliocéntrico de Aristarco.