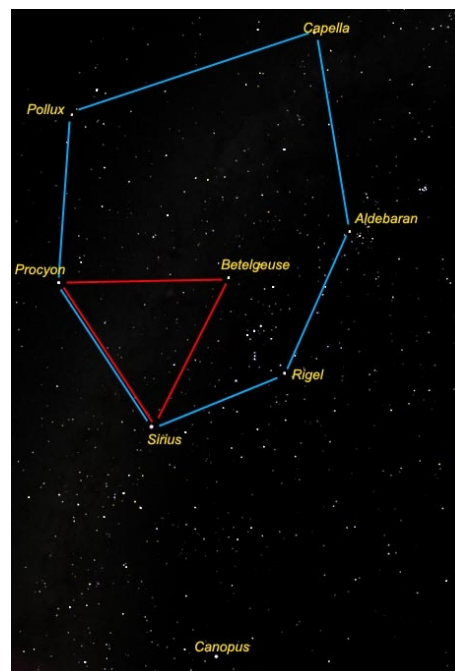


# INTRODUCCIÓN A LA ASTRONOMÍA



ADAPTACIÓN DE LOS RESÚMENES DEL CURSO DEL AULA DE  
MAYORES DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

AUTORES: Simón García, Javier Bussons, Juan Luis Sánchez, Gregorio  
Molina Cuberos, Alfonso Navarro Mateu

EDITOR: Javier Bussons, 2012

# 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. *Simón García*

La historia de una ciencia – en este caso la Astronomía - es la historia de los intentos por encontrar un modelo teórico, racional, que sea capaz de explicar, o al menos de dar cuenta, de un conjunto de hechos o datos observacionales.

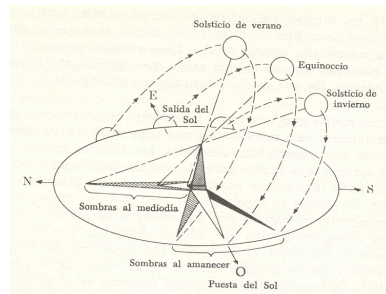
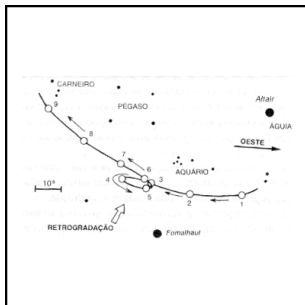
## *0.- Apariencias que se han de explicar*

### **Rotación aparente de las estrellas**

Uno de los datos que una teoría astronómica ha de recoger es la aparente rotación diaria de las estrellas alrededor del polo celeste.

Las estrellas parecen describir una circunferencia completa cada 23 horas y 56 minutos.

### **Retrogradación de los planetas**



La palabra «planeta» es un término griego que quiere decir «trotamundos». Así llamaban a los astros que «vagabundeaban» entre las estrellas que mantienen fijas sus posiciones relativas. La Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno, los siete planetas de la antigüedad, disfrutaban de un movimiento diario hacia el Oeste que es justamente el que tienen las estrellas fijas. Pero, además, se mueven lentamente hacia el Este. Este último movimiento –excepto en el caso del Sol y la Luna- se ve a veces reemplazado por un movimiento de retroceso hacia el Oeste, llamado «retrogradación». Los astrónomos tenían, en este particular movimiento de los planetas, el principal reto a la hora de formular un modelo teórico.

### **Movimiento aparente del Sol**

A lo largo del año el Sol sale siempre en algún punto del horizonte situado hacia el Este y se pone hacia el Oeste. Pero el lugar exacto por donde sale, el número de horas de luz, la longitud de las sombras y el lugar exacto por donde se pone, cambia de un día a otro. El solsticio de invierno (22 de diciembre) es el día que el Sol sale y se pone más hacia el Sur, las sombras a mediodía son más largas que cualquier otro día del año. En los equinoccios de primavera y otoño el Sol sale exactamente por el Este y se pone por el Oeste. En el solsticio de verano (21 de junio) el Sol sale y se pone más hacia el Norte, las sombras al mediodía son las más cortas del año. Así mismo cambia la duración del día, es decir, la cantidad de horas de luz.

## Las cuatro estaciones del año

Las variaciones de posición del Sol en el horizonte a la salida y la puesta se corresponde con el ciclo de las estaciones del año. Por esta razón la mayor parte de los pueblos de la antigüedad creyeron que era el Sol el que controlaba las cuatro estaciones.

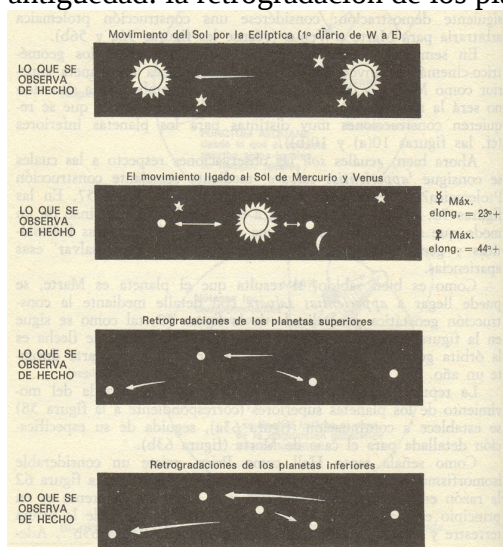
La trayectoria aparente del Sol y su relación con las cuatro estaciones también son datos que se han de incorporar y explicar en cualquier teoría astronómica.

A modo de resumen estas son las cuatro principales apariencias que se han de salvar en una teoría astronómica:

**En primer lugar** el movimiento anual del Sol: si se registra el punto por donde sale el Sol cada día en un mapa estelar, a lo largo del año, quedará dibujada una circunferencia: la eclíptica.

**En segundo lugar**, los llamados planetas inferiores, esto es, mercurio y Venus, siempre se encuentran en el punto de la eclíptica en el que se encuentra el Sol.

**En tercer y cuarto lugar**, el dato más difícil de integrar por todos los astrónomos de la antigüedad: la retrogradación de los planetas



## 1. La astronomía prehistórica

### La Astronomía paleolítica

Desde la más profunda antigüedad, el hombre ha contemplado los cielos y se ha maravillado con su aspecto. No podemos imaginarnos cuales fueron las explicaciones que construyó en su mente al contemplar al Sol, la Luna y las estrellas.

Con un cerebro en proceso de formación, los primeros **homínidos** debieron encontrarse a merced de las inclemencias del medio ambiente. Los fenómenos naturales como la lluvia, la sequía, el frío o el calor tuvieron que sembrar en su mente más miedo y temor por lo desconocido, que admiración.

Es el **Pleistoceno tardío** y el **Cro-Magnon** se mueve en la Tierra. Muy poco podemos intuir sobre el grado de conocimiento de la astronomía que manejó la humanidad en esta etapa de su evolución

El **Paleolítico Superior**, periodo de tiempo que va desde **40.000 a 10.000 años a.C.** se caracterizó por un conocimiento astronómico muy básico. Son muy pocos los indicios que se han descubierto, pero el haber dominado el fuego, trajo como consecuencia el desarrollo ulterior de la humanidad.

De la última **glaciación**, la humanidad emerge con un conocimiento primario que la va a permitir iniciar su desarrollo.

Se atribuye a esta era, el inicio del conocimiento astronómico de la humanidad: el hallazgo de huesos tallados, mostrando secuencias de 28 o 29 puntos, es una clara alusión a la medida de las lunaciones. De manera similar se han encontrado labrados en piedra, de lo que se cree son representaciones del Sol, la Luna y las estrellas.

### **La revolución neolítica**

La mejora de sus herramientas de trabajo le permitió incrementar su dieta alimenticia y por primera vez, la raza humana, mejor alimentada, comienza a profundizar sus habilidades existenciales.

Con el Neolítico, adviene la agricultura y con ella la necesidad de precisar los mejores momentos para realizarla. Se han descubierto asentamientos agrícolas que ya existían en el año **9.000 a.C.** y pueblos organizados, como el de las cercanías de **Chatal Huyuk**, al suroeste de Turquía, que en el año **6.500 a.C.**, que poseía casas de dos pisos que permitían alojar a unas veinte personas.

El cultivo de la tierra trajo como consecuencia dos factores:

Necesidad de predecir los movimientos de los astros principales (el Sol y la Luna) en el cielo.

Agotamiento de la fertilidad del suelo por la monotonía del cultivo.

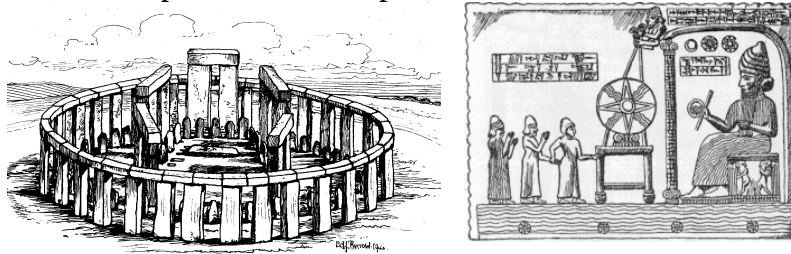
### ***Predicción de los movimientos del Sol y la Luna.***

Con el transcurrir del tiempo, la raza humana tuvo que vincular los cambios climáticos con las posiciones del Sol en el cielo. Al repetirse las temporadas de frío o calor, lluvia o sequía, debió preocuparse por poder predecir sus instantes de ocurrencia: había nacido la astronomía de posición. Para poder determinar los puntos de salida y puesta del Sol, comenzó a fabricar alineaciones de piedra o palos. Con el correr de los años fue afinando sus observaciones y mejorando sus métodos de predicción.

Son ejemplos de estas estructuras:

Las alineaciones de **Carnac** y **Le Menec**, en Francia, de 4 y 1 Kilómetros, tienen 2.934 y 1.099 bloques de piedras (**menhires**) respectivamente. Se encuentran alineados con la salida del Sol en las fechas en que debe comenzar la siembra (6 de mayo y 8 de agosto). Los análisis arrojan una antigüedad de **6.700 años a.C.**

**Stonehenge**, en Inglaterra, complejo de círculos para determinar la salida y puesta del Sol y la Luna a través de todo el año. Uno de sus círculos internos; el Círculo de Sarsen, está compuesto de 30 bloques de piedra, uno de los cuales es la mitad de los otros: los estudiosos coinciden que es una clara alusión a los 29,5 días que dura cada lunación. Se le calcula una antigüedad entre **3.700 a 2.100 a.C.** Ya en el año 2.500 a.C. se utilizaba para calcular eclipses de Luna.

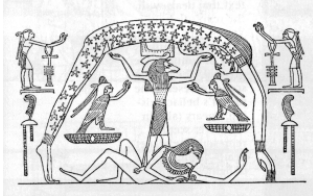


### ***Astronomía en Mesopotamia***

Una de las regiones del planeta que se vio beneficiada con el fin de la era glaciaria, fue Mesopotamia. De hecho se piensa que esta zona del planeta es el punto de partida de la civilización actual; ya que se ha determinado influencia sumeria en las civilizaciones egipcias, hindú y china.

## Egipto

Los **egipcios** usaban un calendario basado en el ciclo anual de 365 días, seguramente desde el cuarto milenio antes de Cristo. El Nilo empezaba su crecida anual al principio del año, en el momento en que la estrella **Sirio**, tras haber sido invisible bajo el horizonte, podía verse de nuevo poco antes de salir el Sol. Con el tiempo observaron que este fenómeno se retrasaba, y de ahí se dedujo que la duración del año era en realidad de 365,24 días. Esta diferencia se corrigió en 238 a.C. cuando se agregó un día cada cuatro años, para compensar este retraso. **Herodoto**, dice en sus Historias: "los egipcios fueron los primeros de todos los hombres que descubrieron el año, y decían que lo hallaron a partir de los astros".



## 2.- Teorías precopernicanas

### El Universo de las dos esferas

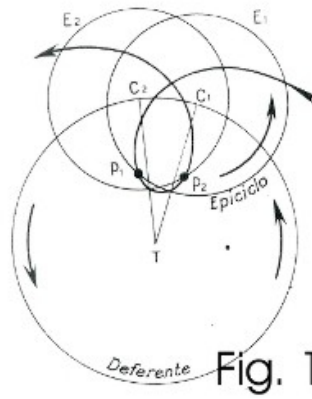
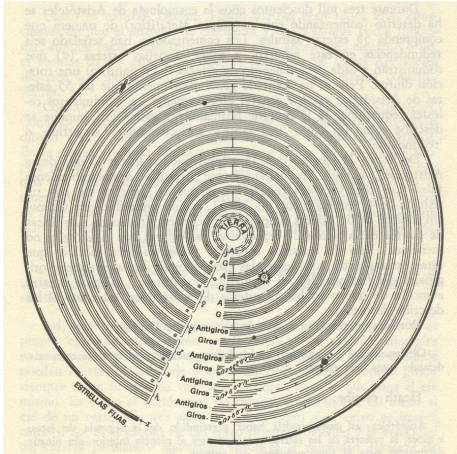
Una de las primeras y más sencillas teorías astronómicas es el Universo de las dos esferas. Desde el S.IV a.C. La mayoría de los pensadores y astrónomos griegos, creían que la Tierra era una pequeña esfera inmóvil en el centro geométrico de otra esfera en rotación de Oeste a Este, mucho más grande, que arrastraba con ella a las estrellas. Más allá de esta enorme esfera no había nada, ni espacio, ni materia.

La insuficiencia más importante del modelo de las dos esferas reside en el especial y aparentemente complicado movimiento de los planetas. Eso convertía en poco probable la presunción que los planetas se encontrasen situados en la esfera exterior, de manera que los astrónomos griegos comenzaron a rellenar el espacio entre la Tierra y la esfera de las estrellas con otras esferas para cada uno de los planetas. La proximidad relativa de las esferas planetarias a la Tierra se decidió de acuerdo con la velocidad del planeta correspondiente. Así, el planeta más lento, Saturno, se colocó cerca de las estrellas fijas; la Luna, la más rápida de los planetas cerca de la Tierra.

### Cosmología aristotélica

Aristóteles se basó en el modelo anterior a la hora de formular su cosmología. El Universo, para Aristóteles, lo formaba un conjunto de carcasas cristalinas concéntricas en las cuales estaban incrustados los planetas. Había exactamente 55 carcasas esféricas cristalinas que en un complicado movimiento, impulsado por las estrellas fijas, daban lugar a los movimientos aparentes de los planetas. Estas esferas tenían ejes diferentes, se movían uniformemente, pero con velocidades y sentidos diferentes. Así, por ejemplo, Marte tenía asignadas cuatro esferas. En la más interior se encontraba incrustado el planeta, otra daba lugar a su movimiento diario. Otra al movimiento anual y la última a las retrogradaciones.

Este modelo no explicaba porqué los planetas brillan más cuando retrogradan.



## El sistema básico epiciclo- deferente

Ptolomeo, un astrónomo de Alejandría que vivió en el siglo II d. De C., elaboró un modelo astronómico que perduró hasta Copérnico. Ptolomeo admitía de entrada que la Tierra era el centro inmóvil del Universo, que el cielo es esférico y gira, que todos los astros se mueven a velocidad uniforme y en movimientos circulares. Pero con estas suposiciones no era suficiente una sola circunferencia por planeta para explicar sus movimientos aparentes.

Para explicar cuantitativamente los movimientos de los planetas era necesario complicar el sistema con epiciclos sobre epiciclos y otros artificios geométricos.

## Excéntricas

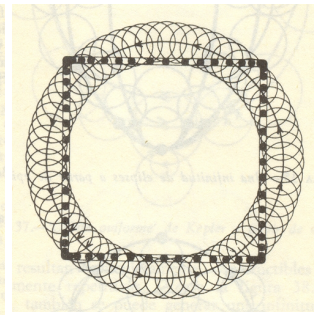
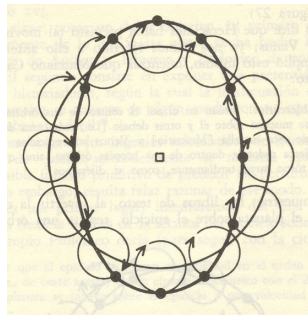
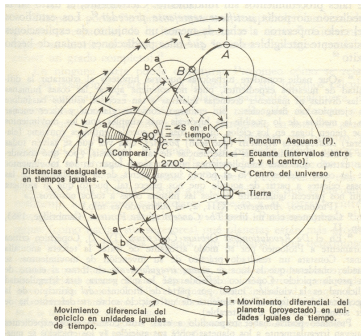
Así, a Ptolomeo le hizo falta introducir la excentricidad en su sistema para evitar algunas discrepancias entre lo que su modelo de epiciclos y deferentes preveía y los resultados de la observación de los movimientos reales.

Con las excéntricas, la tierra ya no es exactamente el centro geométrico de las órbitas planetarias y pasa a ser un punto imaginario en los alrededores de la Tierra. Todavía fue necesario complicar más el sistema: el punto ecuante es diferente para cada uno de los planetas. Para algún planeta el punto ecuante recorre un deferente, el centro del cual es la Tierra y todavía se da el caso que el punto ecuante tenga que recorrer un deferente, el centro del cual, por su parte, sea excéntrico respecto de la Tierra.

## Punto equante

Eso no era suficiente para dar cuenta de los movimientos planetarios observados. Hacía falta otro dispositivo geométrico: el equante. Este artificio del modelo geométrico de Ptolomeo es particularmente interesante, porque las objeciones de carácter estético que Copérnico le hizo fueron uno de los motivos esenciales que le llevaron a rehusar el modelo ptolemaico.

El equante es el punto respecto del cual la velocidad angular de rotación del deferente del planeta es constante.



## Generación de una órbita elíptica y de otra cuadrada mediante epiciclos

Con todos los artificios geométricos citados el problema de intentar explicar el movimiento de los planetas se había convertido en una simple cuestión de disposición de los diferentes elementos que entraban en juego: un juego combinatorio.

La pregunta que se planteaban los astrónomos era: ¿qué particular combinación de deferentes, excéntricas, epiciclos y equantes pueden explicar los movimientos planetarios con la mayor sencillez y precisión?

Con los artificios geométricos de Ptolomeo, por ejemplo, se puede explicar, por ejemplo, una trayectoria elíptica.

Y ¡más difícil todavía! ¡Un adecuado sistema de movimientos circulares combinados puede dar lugar a una órbita planetaria cuadrada!! Y en general, cualquier forma geométrica se puede generar a partir del modelo de Ptolomeo.

Este modelo llegó a preocupar tanto a Alfonso X El Sabio que llegó a decir que si Dios le hubiera preguntado a él a la hora de hacer el Universo le habría recomendado un modelo más sencillo

### 3.- Innovación copernicana

«El muy afamado y muy erudito Nicolaus Copérnicus, astrónomo incomparable» fue canónigo de Warmia – provincia gobernada por su tío y tutor el obispo Luís Watzelrode-. Copérnico nació en Torun el año 1473 y murió el 1543, el mismo año que se publicaba su obra más importante. «De revolutionibus orbium coelestium».

Copérnico hizo personalmente muy pocas observaciones astronómicas.

Primero estudió en la Universidad de Cracovia – capital en aquellos tiempos de su patria: Polonia -. Más tarde amplió sus estudios en las universidades italianas de Bolonia y Padua donde tomó contacto con los ambientes renacentistas. Su contacto con los neoplatónicos florentinos es el origen de su concepción heliocéntrica del mundo.



## El sistema copernicano

Representación heliocéntrica de los planetas conocidos en tiempos de Copérnico, tal como fue dibujada en su libro « De revolutionibus orbium coelestium »:

I. Esfera inmóvil de las estrellas fijas.

II. Saturno hace un giro completo cada 30 años.

III. Júpiter cada 12 años.

IV. Marte cada 2 años.

V La Tierra, junto con la Luna, cada año

VI. Venus cada 9 meses.

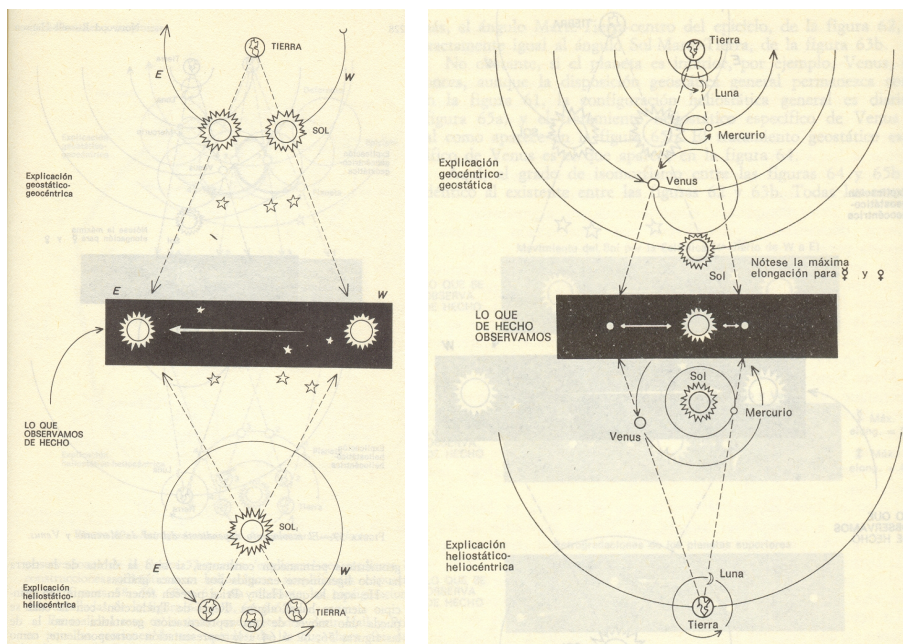
VII. Mercurio cada 80 días.

El Sol está, en el modelo de Copérnico, situado en el centro del Universo y de las órbitas de los planetas, la tierra no es más que uno de ellos.

## El movimiento eclíptico del Sol

En la imagen se representa un dato observacional explicado según el modelo geocéntrico de Ptolomeo y según el modelo heliocéntrico de Copérnico.

El dato observacional es el aparente movimiento anual del Sol por su eclíptica. El Sol efectúa un movimiento regresivo a través del Zodíaco.



## El movimiento que depende del Sol, de Mercurio y de Venus

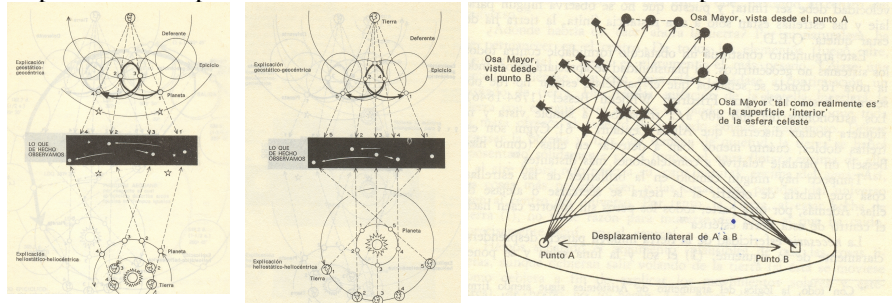
Los llamados planetas inferiores – Mercurio y Venus – tienen un movimiento siempre ligado al Sol del cual Mercurio no se separa más de  $23^\circ$  y Venus más de  $44^\circ$ . La Astronomía ptolemaica explicaba esta observación vinculando los deferentes de ambos planetas al del Sol, de manera que el centro del epiciclo del planeta se mantenía constantemente sobre una recta que pasa por la Tierra y el Sol. Copérnico explicaba los movimientos de estos planetas de una manera más sencilla y natural.



## Retrogradación de los planetas superiores

En el sistema copernicano los planetas retrogradan cuando su movimiento les lleva a ocupar el punto de su trayectoria más cerca de la Tierra. Este momento es también cuando el planeta brilla más.

La Astronomía ptolemaica – geocéntrica – también explicaba estos fenómenos, pero necesitaba recurrir a los epiciclos, cosa que el sistema copernicano no necesitaba para explicar sus aspectos cualitativos de los movimientos planetario.



## Retrogradación de los planetas inferiores

Este dibujo, tomado como los anteriores del libro póstumo de Norwood Russell Hanson « Constelaciones y conjeturas », explica de una manera original el aparente movimiento de retroceso de los planetas inferiores y como unas mismas apariencias se salvan de manera diferente según que la explicación sea heliocéntrica o geocéntrica.

## La paralaje estelar

Uno de los argumentos más fuertes a favor de la inmovilidad de la Tierra y, por tanto, en contra del sistema de Copérnico, era la ausencia de la paralaje estelar.

Si las constelaciones están en la esfera estelar y si la Tierra se mueve, entonces se habrían de observar cambios en la configuración de las constelaciones, es decir, en las posiciones relativas de las estrellas. Ahora bien: las configuraciones no cambian y por otra parte la esfera celeste está a una distancia finita, como lo demuestra el giro a nuestro alrededor en un tiempo finito. Por tanto la Tierra no se mueve.

La única contra argumentación la dio Copérnico: « la distancia de la Tierra al Sol es prácticamente ínfima en comparación con las magnitudes del firmamento ». La paralaje estelar es pues inapreciable.

El argumento solamente admitía tres opciones: negar el heliocentrismo, negar la finitud de la distancia a las estrellas o esperar que una mayor precisión en los instrumentos astronómicos consiguiera detectar finalmente la paralaje.

La paralaje estelar no se detectó hasta 1838 por Friedric Wilhelm Bessel.

## 4. Tycho Brahe

Tycho brahe (1546 – 1601) después de estudiar en diversas universidades europeas, volvió a Dinamarca, su patria, donde fue nombrado astrónomo real. Gracias a la ayuda del monarca, consiguió construir un observatorio en la isla de Wen en el estrecho de Sund, en el Báltico, el observatorio Uraniborg que se convirtió en uno de los centros de la ciencia de la época.

Cuando perdió el favor del rey emigró a Praga, donde completó su obra y murió. Su importancia para la Astronomía reside en la sistematización de las medidas astronómicas realizadas hasta ahora. En sus « Tablas Rudolfinas » resumió las observaciones que se pueden hacer sin instrumentos ópticos sobre los astros. Demostró también el carácter astronómico – supralunar – y no meteorológico – sublunar – de las

« novas » y de los cometas, con lo cual refutaba la afirmación aristotélica, dominante en su tiempo, de la perfección e inmutabilidad de los cielos.

### **El sistema ticoico**

Tycho Brahe propuso un modelo del sistema planetario en el cual la TIERRA ERA EL CENTRO, LA Luna y el Sol se movían a su alrededor, y los otros planetas se movían alrededor del Sol.

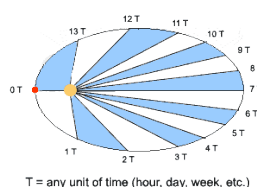
Tycho Brahe consiguió con su modelo conciliar la Biblia, las leyes del movimiento de la física aristotélica y la ausencia de la paralaje estelar. Al mismo tiempo su sistema es equivalente, desde el punto de vista matemático, al de Copérnico. El modelo de Tycho obliga a dejar de lado las esferas cristalinas que hasta ahora se había pensado que arrastraban a los planetas a lo largo de sus órbitas. El modelo de Tycho fue rápidamente admitido por los jesuitas, que lo explicaron por tierras de misión.

El sistema geo – heliocéntrico tiene antecedentes en la Astronomía antigua (Heráclides y Ecfantos) y medievales (Juan Escoto Eriúgena) pero Copérnico, aunque lo conocía, no le hizo caso.

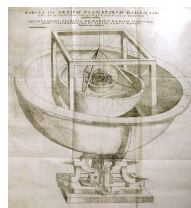
## **5. Johannes Kepler**

Kepler nació en Well el año 1575 y murió en Ratisbona en 1630. Estudió Astronomía con el copernicano Mästlin. Además de un gran matemático, fue astrónomo y astrólogo de diferentes monarcas europeos. Obtuvo más recursos de esta última actividad que de sus conocimientos científicos. Su vida fue una continua desgracia. Su madre fue acusada de brujería, su mujer murió loca, siete de sus hijos murieron. Todo eso hizo que dijera que se refugió en los cielos para huir de esta Tierra. En 1600 se encontró con Tycho Brahe. En 16009 publicó la « Astronomía nova » y en 1619 « Armonices Mundi », obras que son los fundamentos de la Astronomía científica. Kepler consiguió transformar la concepción heliocéntrica de Copérnico en un modelo matemático exacto. Si embargo sus teorías científicas no pueden considerarse del todo acertadas

### **Las dos primeras leyes de Kepler**



T = any unit of time (hour, day, week, etc.)



Aunque Kepler descubrió la segunda ley

antes que la primera, cuando estudiaba las irregularidades de hasta 8 minutos que presentaba el planeta Marte respecto a los sistemas copernicano y ticoico, en su libro “Astronomía Nova” (1619) aparecen enunciadas en orden habitual.

- 1ª. Los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos.
- 2ª. La línea que une el centro de un planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

### **Esferas de Kepler**

Kepler era un astrónomo y matemático **fascinado por la geometría de Euclides**. Veía en el Universo la obra de un divino creador, el **Geómetra Perfecto**. En el afán de descubrir esa geometría pasó gran parte de su vida intentando asociar los 5

sólidos pitagóricos a las órbitas de los planetas alrededor del Sol, anidando unos dentro de otros, en lo que él llamo su "**misterio cósmico**", publicado en 1596.

Basándose en el dodecaedro y en las esferas que surgen del cruce de sus diagonales, pudo situar las órbitas de algunos planetas. Kepler intentaba dar una explicación a las distancias de las orbitas planetarias propuestas por Copérnico, pero atribuyendo su origen al Geómetra Perfecto, ya que no estaba de acuerdo con la visión de Copérnico, que parecía carente de **armonía** y, sin embargo, la presencia del gran Geómetra, suponía que debía contener una geometría perfecta.

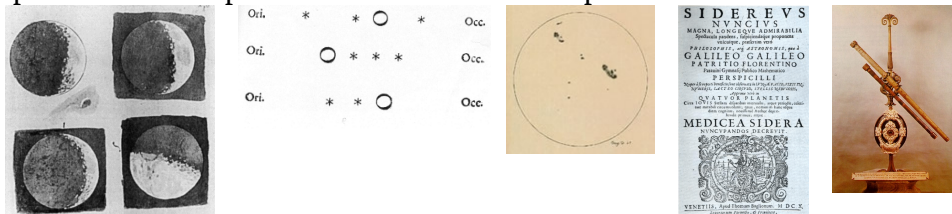
A medida que se fueron descubriendo más planetas en el Sistema Solar ésta hipótesis fue cayendo en descrédito, pero su legado más importante fue la idea de un universo que se puede explicar mediante funciones geométricas y fue un anticipo de la **tercera ley de Kepler**

## 6. Galileo

Galileo nació en Pisa en 1564 (año en le que murió Miguel Ángel) y murió en Arcetri en 1642 (Año en el que nació Newton). Desde 1597 era un copernicano convencido. En 1604 estudió una estrella *nova* que había aparecido en la constelación de Ofiucus. En 1610 publicó el « Sidereus nuntius » donde describió todos los descubrimientos realizados con un telescopio de unos 20 aumentos construido por él. Los datos obtenidos le sirvieron para confirmar el sistema copernicano. Nadie como él supo esbozar la problemática filosófica de la nueva ciencia. Sus conflictos con la ideología dominante: la Iglesia y el aristotelismo, culminaron en 1632, año de la publicación de « Los dos Sistemas Máximos del Mundo » y en el proceso al que fue sometido por la Inquisición por sus ideas copernicanas. Se le puede considerar como uno de los creadores de la nueva ciencia.

### Telescopio de Galileo

El mismo Galileo describe en « Sidereus Nuntius » (1610) como construyó su primer telescopio: « Basándome en la doctrina de la refracción, primeramente preparé un tubo de plomo, en cuyos extremos coloqué dos lentes, las dos planas en una de sus caras, mientras que, en la otra, una de las lentes era convexa y la otra cóncava ». Con este primitivo telescopio, Galileo se convirtió en el principal propagandista del sistema copernicano, ya que, por una parte, tira por tierra algunas tesis del aristotelismo, como era la perfección y la inmutabilidad de los cielos y, por la otra, sus descubrimientos empíricos tienen explicación en un Universo copernicano.



### Dibujos de la superficie de la Luna

Gracias a su telescopio, Galileo descubrió que « la Luna no se encuentra recubierta por una superficie lisa y pulida, sino que, como la faz de la Tierra, está llena de grandes protuberancias, profundas lagunas e infructuosidades ». Este descubrimiento falseaba la creencia tradicional según la cual los cuerpos celestes eran perfectamente esféricos. El dibujo de la Luna está en el « Sidereus Nuntius » de Galileo.

## **Los astros medicos**

Uno de los descubrimientos más espectaculares que realizó Galileo con su telescopio fue el de los satélites de Júpiter, a los que bautizó como « astros medicos » (Medicea sidera) en honor de los Médicis florentinos. Este descubrimiento resultaba de gran importancia para dar crédito al sistema copernicano. El mismo Galileo dijo: « hay cuatro estrellas en el cielo que se mueven alrededor de Júpiter como Venus y Mercurio lo hacen alrededor del Sol ».

## **Las manchas solares**

Con el descubrimiento de las manchas solares, Galileo asesta otro golpe a la tradicional inmutabilidad del cielo. Por otra parte, este descubrimiento nos muestra la ambigüedad científica del siglo XVII. Con su grandeza y sus miserias, porque al parecer fue Kepler el primero en descubrir por accidente las manchas solares. Sin embargo fueron los chinos que libres de prejuicios aristotélicos, ya las habían descubierto hacía siglos.

Contemporáneo de Galileo, el Jesuita P. Christoph Scheiner observó en 1611 las manchas del Sol con el telescopio de Galileo.

## **Las fases de VENUS**

Las fases de Venus, previstas por Copérnico y descubiertas por Galileo gracias a su telescopio, suponían una refutación del sistema ptolemaico mientras que resultaban explicadas por el sistema copernicano.

En el sistema ptolemaico un observador desde la Tierra no podría ver más que la primera media Luna de la cara iluminada de Venus. En el sistema copernicano puede ver casi toda la cara iluminada de Venus en el momento en que este está a punto de pasar por detrás del Sol o en el momento en que lo acaba de hacer. Puesto que en este momento es cuando se encuentra más lejos de la Tierra, es, por eso, que se ve más pequeño.

## **Portada del libro « Diálogo sobre los dos sistemas máximos »**

En esta portada se ve como discuten Aristóteles, Ptolomeo y Copérnico, tema real del diálogo, porque en ellos se enfrentan los dos sistemas principales paradigmas de la época. Galileo, desde su copernicanismo militante, expondrá los argumentos que dan soporte no solamente a la sencillez y a la elegancia del sistema copernicano, sino a su validez objetiva. Esta obra será la que llevará ante la inquisición en 1633

## **7. Isaac Newton**

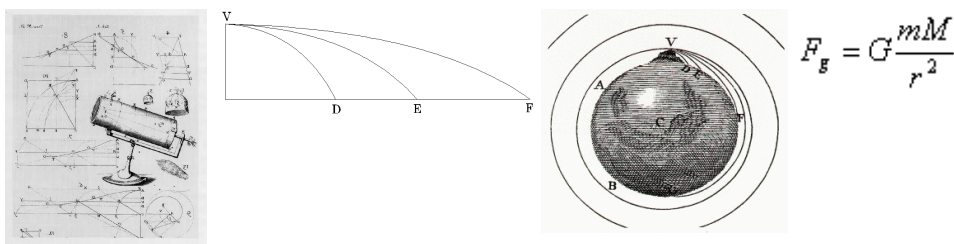
Nació en Woolsthorpe (Lincolnshire) el año 1642 y murió en Londres el año 1727. Fue estudiante y profesor del Trinity College de Cambridge. Los primeros 35 años de su vida fueron los más creativos, porque formuló el teorema del binomio, descubrió el cálculo de fluxiones (análisis infinitesimal), construyó el primer telescopio de reflexión, descubrió la naturaleza de la luz blanca y comprendió el carácter universal de la atracción gravitatoria. Para muchos historiadores de la ciencia es el científico más grande de todos los tiempos. Hombre desagradable, ambicioso, malhumorado, fue de la Royal Society y director de la Casa de la Moneda.

Creó la nueva física y clausuró la revolución copernicana con su ley de la gravitación universal, dándole una base física. Sus obras más importantes son: « Philosophiae Naturalis Principia Mathematica » (1687) y la « óptica » (1704).

### El telescopio reflector de Newton

Newton construyó el primer telescopio reflector en 1671. De 5 cm. de diámetro y 15 cm. de largo, podía amplificar objetos de la misma manera que un telescopio ordinario de la época de 180 cm.

El telescopio reflector de Newton es una muestra de los avances de la teoría (Óptica de Newton) y la necesidad de la ciencia de un instrumento tecnológicamente avanzado.



### Los satélites como proyectiles

Newton explicó el movimiento de los planetas y satélites como si fuesen enormes proyectiles lanzados a una velocidad tan grande que no acaban de caer nunca sobre la superficie de la Tierra y así giran siempre a su alrededor. En « De Systemate Mundi » (1666) Newton explicaba así la figura: « Si examinamos el movimiento de los proyectiles entenderemos. Fácilmente que los planetas se mantienen en sus órbitas gracias a las fuerzas centrípetas (...). Si ahora imaginamos cuerpos lanzados en direcciones paralelas hacia un horizonte cada vez más alto, 5, 10, 100, 1000 o más millas o como varios semidiámetros de la Tierra entonces aquellos cuerpos, según sus diferentes velocidades y diferentes fuerzas de gravedad de acuerdo con sus altitudes, describen curvas concéntricas a la Tierra o bien diversamente excéntricas y seguirán girando en el cielo con estas mismas trayectorias tal como lo hacen los planetas en sus órbitas ».

### Fuentes de consulta

RUSSELL HANSON, Norwood.: *Constelaciones y conjeturas*. Alianza Editorial. Madrid, 1978

KUHN, Thomas S.: *La revolución copernicana*. Ariel; Barcelona, 1978.

KOESTLER, Arthur.: *Los sonámbulos*; EUDEBA; Buenos Aires, 1967.

Ferrys, Timothy.: *La aventura del Universo*. Crítica; Barcelona, 1990

TATON, René.: *Historia General de las ciencias*. Orbis, Barcelona, 1988

<http://www.tayabeixo.org/historia/>; [www.astromia.com](http://www.astromia.com)

[www.thales.cica.es/rd/recursos](http://www.thales.cica.es/rd/recursos) ; [www.iac.es](http://www.iac.es)

## 2. LA ESFERA CELESTE. *Simón García*

### **Posiciones aparentes de los astros en el cielo**

Desde cualquier punto de la superficie terrestre siempre parece que todos los cuerpos celestes se encuentran a una misma distancia de nosotros como si formaran una esfera de radio indeterminado a la que llamamos **bóveda celeste, firmamento o cielo**.

De día vemos los astros celestes más brillantes: el Sol, a veces la Luna y raramente otros cuerpos celestes como el planeta Venus. El cielo se ve de color azul.

De noche el cielo es oscuro y en él vemos brillar las estrellas, la Luna, los planetas, las nebulosas y ocasionalmente otros astros como los cometas o el fenómeno de las "estrellas fugaces"

Cuando se mira el cielo estrellado por primera vez se tiene la impresión de estar ante un número incontable de estrellas dispuestas en total desorden. En realidad las estrellas visibles a simple vista son muchísimas menos de lo que uno se imagina. En total son unas seis mil. En el momento de la observación solo vemos la mitad de la esfera celeste por lo que el número de estrellas serían unas tres mil.

La observación detenida y atenta de las estrellas permite descubrir que a lo largo de la noche todas las estrellas van a la vez desplazándose en una misma dirección pero sin cambiar la distancia relativa entre ellas. Si se repite la observación noche tras noche y se ha tenido la preocupación de imaginar algún dibujo uniendo mentalmente algunas de las estrellas más brillantes hasta formar nuestras propias constelaciones podremos comprobar que la figura de estas constelaciones no cambia con el paso del tiempo. En realidad se necesitan muchos miles de años para que se deformen las constelaciones que conocemos. Esta circunstancia permite crear un sistema de orientación entre esos miles de estrellas cuya disposición parecía en principio tan caótica.

### **Las constelaciones**

Cuando se unificaron por primera vez las estrellas más brillantes con el fin de orientarse en el cielo nacieron las **constelaciones**. Actualmente respetamos los nombres con que designaron las constelaciones las primeras culturas históricas, especialmente la griega. Los nombres de las constelaciones representan animales, generalmente cargados de leyenda como **Osa mayor, Osa Menor, León, Dragón, Etc.** o nombres de los héroes y personajes de la mitología griega como **Cefeo, Casiopea, Andrómeda, Perseo, Pegaso, etc.** o simplemente objetos que recuerdan las figuras que forman los grupos de estrellas como la **Corona Boreal, El Triángulo, Sagitario, La Balanza, etc.**

En el siglo XVII el astrónomo Bayer propuso que en cada constelación se nombraran las estrellas con las letras del alfabeto griego de tal forma que las estrellas más brillantes se nombraran por las primeras letras del alfabeto según el orden decreciente de sus brillos. Así la estrella más brillante de cada constelación sería (con pocas excepciones)  $\alpha$ , (*Alfa*), la siguiente  $\beta$ , (*Beta*) y así sucesivamente. Poco después se introdujo la designación numérica que se usa fundamentalmente para las estrellas más débiles. No obstante, desde mucho antes, un gran número de estrellas (mas de 130) recibieron nombres propios que todavía se conservan:  $\alpha$  del **Cisne** se llama *Deneb* (palabra árabe que significa *la cola*), la  $\beta$  de **Perseo** se llama *Algol* (*el Demonio*),  $\beta$  de **Orión** se llama *Betelgeuse* (*la estrella del sobaco del cazador*),  $\gamma$  de **Orión** es *Rigel* (*el pie*),  $\alpha$  del **Cochero** se llama *Capella* (*la Cabra*). Estos nombres se utilizan actualmente.

Los límites de las constelaciones trazados por los antiguos eran líneas sinuosas de posición imprecisa por lo que a partir de 1922 se fue estableciendo una parcelación matemática en la que los límites serían arcos de meridiano o paralelo celestes quedando establecido por la Unión Astronómica Internacional (I.A.U.) que el número de constelaciones sería de 88.

## **Movimientos visibles de las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas.**

### Movimiento de las estrellas

La bóveda celeste, con todos los astros que vemos sobre ella, gira alrededor de un eje imaginario dando una vuelta entera en unas 24 horas. Es el **movimiento diario**. Como resultado de este movimiento diario las estrellas y los demás cuerpos celestes cambian continuamente de posición con respecto al horizonte.

La dirección del movimiento diario depende del lado del horizonte al que estemos mirando. Si se observa desde nuestro hemisferio norte, mirando hacia el lado sur del horizonte el movimiento de las estrellas en su conjunto transcurrirá "en el sentido de las agujas del reloj" (El mismo sentido que observamos en el movimiento diario del sol). Del mismo modo las estrellas se ven ascender por el este, también llamado **levante** (de levantarse) y ocultarse por el oeste, también llamado **poniente** (de ponerse). Estos nombres sirven por igual para las estrellas, el Sol, la Luna o los planetas. También se dice el **orto** para la salida de un astro y el **ocaso** para la puesta.

Mirando hacia el norte observamos que hay estrellas que salen y se ponen pero también hay otras que describen círculos por encima del horizonte, girando alrededor de un punto inmóvil conocido como **polo norte celeste**.

La posición del polo norte celeste es fácil de localizar porque está a menos de 1° de la estrella  $\beta$  de la Osa Menor que por ello se conoce como **Estrella Polar**.

### Movimientos del Sol y de la Luna

El Sol y la Luna salen por el lado oriental del horizonte como las estrellas. Ascenden por encima del lado sur y se ponen por el lado occidental. Pero, a diferencia de las estrellas, el Sol y la Luna no salen y se ponen siempre por el mismo punto del horizonte sino que lo hacen a lo largo de un amplio sector comprendido entre el noreste y el sureste para la salida y entre el noroeste y el suroeste para la puesta.

### **Las estaciones**

En torno al día 22 de diciembre comienza el invierno. Es el **solsticio de invierno**. En esta fecha el Sol sale por el sudeste y se pone por el sudoeste. A partir de esta fecha los puntos del orto y del ocaso se van desplazando hacia el norte de día en día.. Con ello el recorrido diario del sol sobre el horizonte se hace cada vez más largo y crece su altura al mediodía. Los días son cada vez más largos y las noches más cortas.

Hacia el 21 de junio comienza el verano en el hemisferio norte. Es el **solsticio de verano**. En esta fecha el Sol sale por el noreste y se pone por el noroeste. A partir de esta fecha los ortos y ocasos se van desplazando hacia el sur. Los días se van haciendo más cortos y las noches más largas. La altura del sol a mediodía va siendo cada día más baja.. Los puntos intermedios los alcanza el sol en los equinoccios. Solamente entonces sale el Sol exactamente por el Este y se pone por el Oeste. Hacia el 21 de marzo comienza la primavera. Es el **equinoccio de primavera**. El día y la noche duran lo mismo al igual que el día 23 de septiembre, día del **equinoccio de otoño**.

## La eclíptica

La Luna se mueve sobre el fondo de las estrellas "fijas" de occidente a oriente desplazándose unos 13° diarios. En 27,32 días atraviesa todas las constelaciones de la **eclíptica** en una vuelta completa. Esta observación es fácil de realizar: basta con mirar la Luna varias noches seguidas para apreciar este desplazamiento en dirección contraria al movimiento diario.

Una observación más minuciosa nos permite apreciar que el Sol también tiene un movimiento de oeste a este, a razón de casi un grado diario, completando una vuelta completa en un año. El camino (aparente) recorrido por el Sol recibe el nombre de **la eclíptica** (línea de los eclipses).

## El zodiaco

Las constelaciones por las que pasan el Sol y la Luna se denominan **zodiacales** ( de la palabra griega *zoon* que significa animal). Sus nombres latinos y castellanos son: **Piscis** (los Peces), **Aries** (el Carnero), **Tauro** (el Toro), **Geminis** (los Gemelos), **Cancer** (el Cangrejo), **Leo** (el León), **Virgo** (la Virgen), **Libra** (la Balanza), **Scorpio** (el Escorpión), **Sagitario** (el Arquero), **Capricornio** (el Macho Cabrío) y **Acuario** (el Aguador). Las tres primeras constelaciones las recorre el Sol en primavera, las tres siguientes en los meses de verano, otras tres en otoño y las últimas tres en invierno. Las constelaciones en las que se encuentra el sol no pueden verse más que pasados unos meses, por ejemplo seis meses después en que las veremos a medianoche.

## El movimiento de los planetas

Desde muy antiguo se observó que entre las estrellas "fijas" se desplazaban cinco astros que parecían estrellas a los que los griegos dieron el nombre de planetas que quiere decir astros errantes. Los romanos dieron a los planetas los nombres de sus dioses : **Mercurio**, **Venus**, **Marte**, **Júpiter** y **Saturno**. En 1781 se descubrió **Urano**, en 1846: **Neptuno** y en 1930: **Plutón**.

Los planetas se desplazan por las constelaciones zodiacales con un movimiento dominante de oeste a este, pero una parte del espacio lo recorren también de este a oeste. El primer movimiento, el mismo que el del Sol y la Luna, se denomina **directo**; el movimiento contrario, de este a oeste se denomina **retrógrado**. En los cambios de sentido se dice que el planeta está **estacionario**.

## Cartas celestes

GalacticSky Charts

<http://www.calweb.com/~mcharvey/>

## Constelaciones

Guía de las constelaciones. AAGC

<http://ccdiss.dis.ulpgc.es:8086/AAGC/constelaciones/homepage.html>

Fernando Martín Asín

<http://www.alucine.com/astro/ASTRO.HTM>

Estrellas y constelaciones.

**Programas**



Sky Map

<http://www.skymap.com/>

### **Otras direcciones**

<http://www.observamurcia.com> (Desde aquí se puede acceder a casi todo el orbe astronómico de las páginas de Internet)

Instituto de Astrofísica de Canarias. (Con interesantes enlaces)

[www.iac.es](http://www.iac.es)

Observatorio Astronómico Nacional

<http://www.oan.es>

Agrupación Astronómica de la Región de Murcia

[www.observamurcia.com](http://www.observamurcia.com)

Relojes de Sol

<http://sundials.com> Página de la NASS: North American Sundials Society. Nos lleva a todos lo concerniente a la Gnomónica en todo el mundo

Mitología griega

[www.tesalia.com](http://www.tesalia.com)

[www.planetarios.com](http://www.planetarios.com)

(Se puede descargar una descripción muy detallada de la mitología de las constelaciones)

### **BIBLIOGRAFÍA**

BAKULIN, P.I. y otros. *Curso de Astronomía General*. Mir. Moscú

ERATÓSTENES. *Catasterismos*.

CORNELIUS, Geoffrey.: *Manual de los cielos y sus mitos*. Blume

HERRMANN, J. *Astronomía*. Alianza. Madrid.

PASACHOFF, J.M. y MENZEL D.H.: *Guía de campo de las estrellas y los planetas de los hemisferios norte y sur*. Omega. Barcelona

DICKINSON, T.: *Descubrir y comprender el Cosmos. Guía práctica para observar el cielo*. Tutor. Madrid.

### **REVISTAS**

*Astronomía*. Equipo Sirius. Madrid. (Mensual)

*Sky and Telescope* y *Astronomy* son las revistas extranjeras más conocidas junto a la francesa *Ciel et Espace*.

### **GUIAS DEL CIELO**

Cuadernos Procivel : *Guía del cielo (anual)*

### **3. LA OBSERVACIÓN DEL CIELO.** *Simón García*

**Los nombres de las estrellas. Catálogos de estrellas. Nombres de las constelaciones. Constelaciones del zodiaco. Mitos y leyendas.**

#### **Introducción**

*"Constelario" en un paraguas.*

Pese a que hoy en día conocemos y comprendemos muchas más cosas de nuestro mundo que el hombre de la antigüedad, todavía el cielo de la noche conserva para nosotros su misterio y fascinación, ya sea simplemente por el romanticismo natural de las estrellas o por el desafío intelectual que representan.

El hombre de la antigüedad dio los primeros pasos hacia el conocimiento de los cielos al crear un sistema para poder reconocer las estrellas. Las agrupó utilizando los dibujos que formaban como morada de las figuras mitológicas, como medio para encontrar rutas en el firmamento, y como telón de fondo para el movimiento de otros astros. De un plumazo, el hombre transformó el cielo, pasando de un conglomerado de luces parpadeantes a un sistema ordenado de estrellas.

Con el transcurso de los siglos, algunos de los dibujos estelares o constelaciones recibieron la aceptación general. A medida que se perfeccionaba la observación astronómica, y se medía y catalogaba un número de estrellas cada vez mayor, la lista de constelaciones fue ampliada y perfeccionada. Actualmente los astrónomos utilizan un conjunto de constelaciones internacionalmente aceptado.

#### **Las Constelaciones: una sumatoria de aportes de diversas culturas**

Las constelaciones actuales, visibles desde las zonas templadas del Hemisferio Norte, tienen su origen en tres fuentes principalmente:

- Las constelaciones zodiacales y parazodiacales (aquellas asociadas a las zodiacales por situación o por su historia) se forman en Mesopotamia entre el 2500 y el 500 a.C. Los mitos que las originaron no han llegado casi en ningún caso a nuestros tiempos, pero sí en muchos casos su nombre y las figuras que las representaban (mediante tablillas y cilindros-sello).

- Las constelaciones circumpolares serían producto de las tradiciones de pueblos marineros del antiguo Mediterráneo. En ellas, fueron decisivos los fenicios y los griegos, aunque su origen podría deberse a las tradiciones de la civilización minoica.

- Los egipcios influyeron poco en la composición del firmamento clásico, aunque algunas constelaciones hayan transmitido sin ningún mito asociado. Los griegos fueron los que les proporcionarían mitos y representaciones, aunque de forma poco profunda y con numerosas variantes.

Todas estas tradiciones fueron ensambladas por los griegos de la época helenística y utilizadas en los tiempos modernos por todos los astrónomos. Un último pueblo sería de gran importancia en este tránsito: los árabes, que a partir del firmamento clásico adaptarían gran parte de las constelaciones. Su más destacada aportación es la de poner nombre a la mayoría de las estrellas que lo tienen (a parte de la clasificación de

Bayer, claro está), algunas veces haciendo referencia a antiguas tradiciones árabes y en la mayoría de las restantes refiriéndose a mitos clásicos.

En 1922 la Unión Astronómica Internacional (IAU), fijó la lista definitiva de 88 constelaciones en la primera asamblea general de la organización. En 1930, gracias al trabajo del belga Eugene Delporte, se delimitaron claramente las fronteras entre ellas (en muchos casos, de forma inevitable, el criterio fue bastante subjetivo), siguiendo las coordenadas de ascensión recta y declinación correspondientes al equinoccio 1875.0, con lo cual dichas fronteras se van desplazando respecto al sistema de coordenadas actual debido a la precesión.

### **Las Constelaciones del Mundo Antiguo**

Se sabe que muchos pueblos identificaron de manera distinta a las estrellas principales de las constelaciones, pero la herencia helénica se impuso sobre las otras culturas y de todas las conocidas, la IAU aceptó 48 constelaciones, cuyo origen se pierde en la historia. La lista actual se remonta a 50 constelaciones, ya que el antiguo Navío Argos, fue dividido en Popa, Quilla y Vela.

Las constelaciones son: Acuario, Aguila, Altar, Andrómeda, Balanza (Libra), Ballena, Boyero, Can Menor, Can Mayor, Cangrejo (Cáncer), Capricornio, Carnero (Aries), Casiopea, Cefeo, Centauro, Cisne, Cochero, Crater, Corona Austral, Corona Boreal, Cruz del Sur, Cuervo, Delfín, Dragón, Erídano, Escorpión (Escorpio), Flecha, Gemelos (Géminis), Hércules, Hidra, León, Liebre, Lira, Lobo, Ofiuco, Orión, Osa Mayor, Osa Menor, Peces (Piscis), Pegaso, Perseo, Pez Austral, Popa\*, Quilla\*, Sargatario, Serpiente, Toro (Tauro), Triángulo, Vela\*, Virgen (Virgo).

### **El Aporte de los Astrónomos de la Edad Moderna**

Uno de los primeros astrónomos que comenzó con la creación de constelaciones en la era moderna fue Tycho Brahe, quién a finales del siglo XVI y comienzos del XVII, separó el asterismo de Cabellera de Berenice de la constelación de la Virgen y la convirtió en constelación.

En el año 1603, Johannes Bayer presenta su Catálogo de Estrellas en donde se evidencian la época de viajes hacia los mares del Sur y los descubrimientos que se realizaron. En el catálogo se encuentran once constelaciones nuevas: Ave del Paraíso, Camaleón, Dorado, Fénix, Grulla, Hidra, Macho Indio, Pavo, Pez Volador, Triángulo Austral, Tucán.

En 1687, Johannes Hevelius en su Catálogo de Ggansk, Polonia, inserta once nuevas constelaciones: Escudo, Jirafa, Lagarto, Lebreles, León Menor, Lince, Mosca, Paloma, Raposa Sextante, Unicornio.

A mediados del siglo XVIII, Nicolás de Lacaille introduce catorce constelaciones: Brújula, Buriel, Compás, Escuadra, Escultor, Horno Químico, Máquina Neumática, Mesa, Microscopio, Octante, Pintor, Reloj, Retículo, Telescopio.

## **La Anarquía llega a las Constelaciones**

Durante los siglos XVII y XVIII se produce lo que podríamos denominar el “asalto” del cielo por parte de aduladores y eclesiásticos. Astrónomos, algunos de renombre, comenzaron a colocar a reyes y reinas con la finalidad de obtener beneficios económicos para sus estudios y observaciones. Bajo esta óptica mezquina, comienzan a aparecer constelaciones nuevas en sustitución de las antiguas, algunas de las cuales cuentan con más de 3.000 años de antigüedad. Es de especial renombre, la proposición de unos astrónomos alemanes, aduladores de Napoleón, que propusieron cambiarle el nombre a la constelación de Orión, por el del recientemente nombrado emperador. Otra circunstancia digna de reseña fue la intención de la iglesia católica de cambiar los nombres paganos de los astros y constelaciones, por nombres cristianos. En la propuesta, el Sol sería Jesucristo y la Luna, la virgen María. La constelación de Aries (el Carnero) pasaría a ser el apóstol Pedro, mientras Los Peces, el apóstol Mateo.

## **La Organización de la IAU, Unión Astronómica Internacional.**

En el año 1922 se realizó el Congreso de la Unión Astronómica Internacional, en donde se decidió realizar una organización de las constelaciones que sepultó definitivamente las intenciones de aduladores y eclesiásticos que aspiraban con realizar modificaciones sustanciales en el cuadro de constelaciones. En las comisiones de trabajo de este congreso desaparecieron las Regalías de Federico II, el arpa de George y el Corazón de Carlos II y otras 24 constelaciones, entre la que se encontraba la del Gato, de Lalande. Se establecieron límites definitivos entre las 88 constelaciones restantes.

Fue así que se aceptaron las 47 constelaciones antiguas que fueron compiladas en el primer catálogo de estrellas elaborado por Hiparco en el año 132 ac y transcritas en el Almagesto de Claudio Ptolomeo en el año 137 dc. De manera similar se aceptó una creada por Tycho Brahe en 1600, once creadas por Johannes Bayer en 1603, once creadas por Johannes Hevelius en 1687, quince creadas por Nicolás de Lacaille, catorce en 1752 y una posteriormente. Las tres restantes son Popa, Quilla y Vela, que constituyeron el antiguo navío Argos en el Almagesto de Ptolomeo.

## **Catálogos de estrellas**

Excepto las relativamente pocas estrellas visibles a simple vista, a las estrellas se las denomina mediante números de acuerdo con los atlas y catálogos de estrellas realizados por los observatorios astronómicos. El primer catálogo de estrellas fue obra del astrónomo griego Tolomeo en el siglo II d.C. Conocido como *Almagesto*, enumeraba los nombres y las posiciones de 1.028 estrellas. En 1603, el astrónomo alemán Johann Bayer publicó en Augsburgo un atlas estelar. Bayer mencionaba una cantidad de estrellas mucho mayor que Tolomeo y las designaba mediante una letra griega y la constelación, o configuración celeste, donde aparece la estrella.

En el siglo XVIII, el astrónomo inglés John Flamsteed también publicó un atlas en el que las estrellas eran denominadas según su constelación, pero Flamsteed las diferenciaba con números en vez de letras. Este atlas contenía la situación de unas 3.000 estrellas. El primer catálogo de estrellas moderno, realizado en 1862 por el Observatorio de Bonn, en Alemania, contiene la situación de más de 300.000 estrellas.

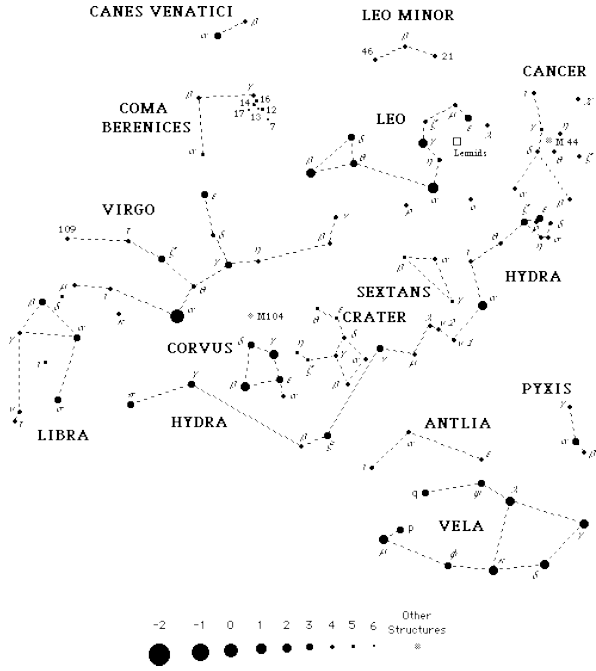
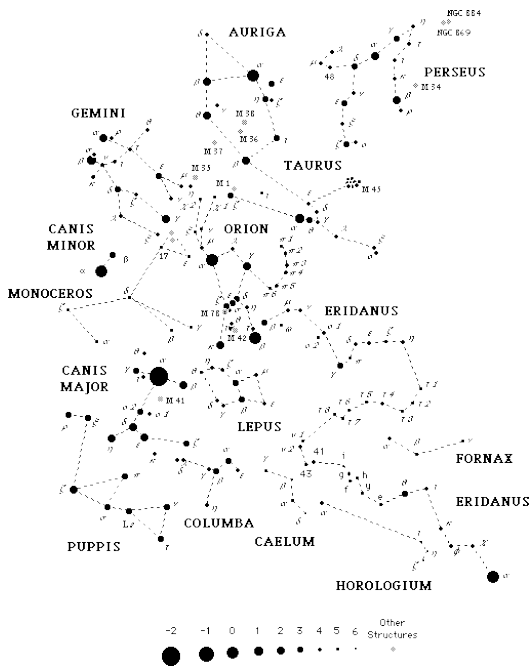
En 1887 un comité internacional comenzó a trabajar en un catálogo detallado de estrellas. Fue realizado a partir de fotografías tomadas por unos 20 observatorios, incluyendo 21.600 placas individuales, que muestran de 8 a 10 millones de estrellas.

Los catálogos de estrellas modernos no son libros, sino copias de placas fotográficas de cristal tomadas con telescopios de gran alcance. El primer informe importante de este tipo se completó a mediados de los años cincuenta, utilizando el telescopio Schmidt de 1,22 m en Monte Palomar (Estados Unidos). Cada placa cubre una región del cielo de 6° por 6°, y 1.035 mapas cubren todo el cielo visible desde este lugar. El conjunto de mapas correspondiente al sur del cielo se ha realizado utilizando telescopios Schmidt en Australia y Chile.

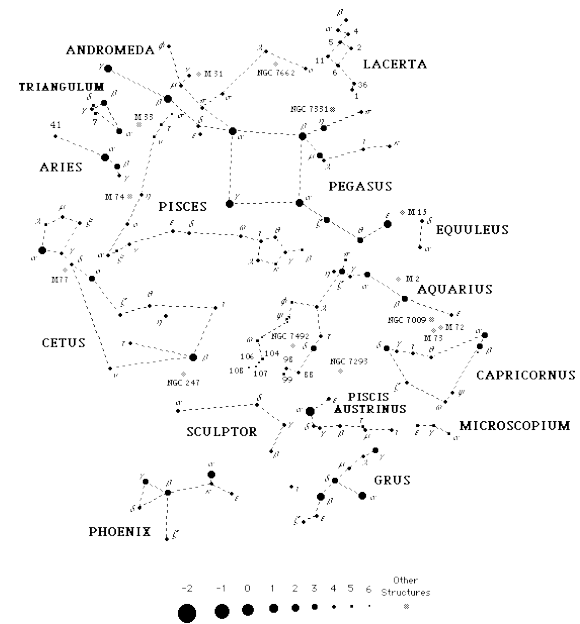
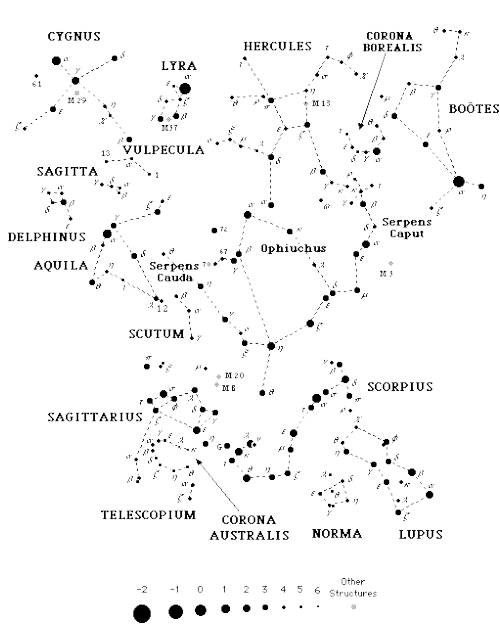
Actualmente los atlas han pasado del papel a los ordenadores. Hoy disponemos de atlas del cielo digitalizados a todos los niveles incluso atlas interactivos de libre acceso el Internet como el reciente de Google Maps

**El Zodíaco** Uno de los grupos de constelaciones más famosos es el zodiaco y es también uno de los más antiguos. Actualmente está formado por doce constelaciones, y posee una importancia especial porque es el grupo de constelaciones por donde discurre la eclíptica, es decir, por donde se va desplazando el Sol a lo largo del año. Como la Luna y los planetas poseen órbitas que además se encuentran prácticamente en el mismo plano que la órbita terrestre, estos también se mueven en el cielo cerca de la eclíptica, cruzando también todas las constelaciones del zodiaco.

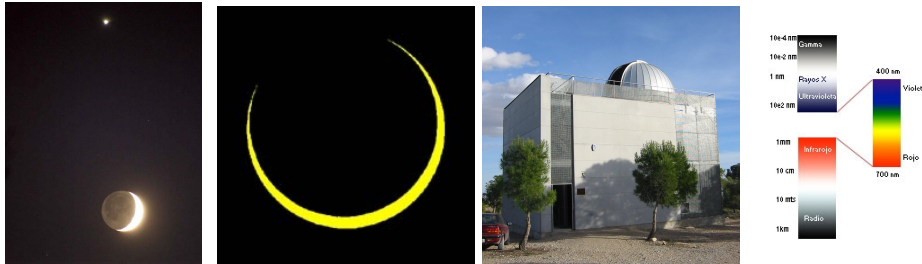
<p><b>CANCER</b> Nombre latino: Cáncer. Recorrida por el Sol entre el 21 de julio y el 11 de agosto. Visible desde principios de septiembre (al noreste, al amanecer) a principios de junio (al noroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: enero y febrero. Altura al culminar: 70°. Extensión: 506 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 0, de tercera: 0, de cuarta: 4.</p>	<p><b>LEO</b> Nombre latino: Leo. Recorrida por el Sol entre el 11 de agosto y el 17 de septiembre. Visible desde principios de octubre (al noreste, al amanecer) a principios de julio (al noroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: febrero y marzo. Altura al culminar: 70°. Extensión: 947 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 1, de segunda: 2, de tercera: 4, de cuarta: 9.</p>	<p><b>VIRGO</b> Nombre latino: Virgo. Recorrida por el Sol entre el 17 de septiembre y el 1 de noviembre. Visible desde mediados de noviembre (al este, al amanecer) a mediados de agosto (al oeste, al anochecer). Mejor visibilidad: marzo y abril. Altura al culminar: 50°. Extensión: 1.294 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 1, de segunda: 0, de tercera: 3, de cuarta: 12.</p>	<p><b>LIBRA</b> Nombre latino: Libra. Recorrida por el Sol entre el día primero y el 24 de noviembre. Visible desde principios de diciembre (al este, al amanecer) a principios de octubre (al oeste, al anochecer). Mejor visibilidad: abril y mayo. Altura al culminar: 30°. Extensión: 538 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 0, de tercera: 3, de cuarta: 12.</p>
<p><b>ESCORPIO</b> Nombre latino: Scorpius. Recorrida por el Sol entre el día 24 y el 30 de noviembre. Visible desde mediados de enero (al sureste, al amanecer) a mediados de octubre (al suroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: mayo y junio. Altura al culminar: 20°. Extensión: 497 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 1, de segunda: 5, de tercera: 9, de cuarta: 9.</p>	<p><b>SAGITARIO</b> Nombre latino: Sagittarius. Recorrida por el Sol entre el 18 de diciembre y el 20 de enero. Visible desde mediados de febrero (al sureste, al amanecer) a mediados de noviembre (al suroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: junio y julio. Altura al culminar: 20°. Extensión: 867 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 2, de tercera: 9, de cuarta: 9.</p>	<p><b>CAPRICORNIO</b> Nombre latino: Capricornus. Recorrida por el Sol entre el 20 de enero y el 16 de febrero. Visible desde finales de marzo (al sureste, al amanecer) a principios de enero (al suroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: julio y agosto. Altura al culminar: 30°. Extensión: 414 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 2, de tercera: 2, de cuarta: 7.</p>	<p><b>ACUARIO</b> Nombre latino: Aquarius. Recorrida por el Sol entre el 16 de febrero y el 12 de marzo. Visible desde principios de mayo (al este, al amanecer) a mediados de enero (al oeste, al anochecer). Mejor visibilidad: agosto y septiembre. Altura al culminar: 40°. Extensión: 960 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 0, de tercera: 3, de cuarta: 13.</p>
<p><b>PISCIS</b> Nombre latino: Pisces. Recorrida por el Sol entre el 12 de marzo y el 19 de abril. Visible desde mediados de junio (al este, al amanecer) a mediados de febrero (al oeste, al anochecer). Mejor visibilidad: septiembre y octubre. Altura al culminar: 60°. Extensión: 889 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 0, de tercera: 9, de cuarta: 7.</p>	<p><b>ARIES</b> Nombre latino: Aries. Recorrida por el Sol entre el 19 de abril y el 14 de mayo. Visible desde principios de junio (al este, al amanecer) a principios de abril (al oeste, al anochecer). Mejor visibilidad: octubre y noviembre. Altura al culminar: 70°. Extensión: 441 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 0, de segunda: 1, de tercera: 1, de cuarta: 2.</p>	<p><b>TAURO</b> Nombre latino: Taurus. Recorrida por el Sol entre el 14 de mayo y el 22 de junio. Visible desde mediados de julio (al noreste, al amanecer) a finales de abril (al noroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: noviembre y diciembre. Altura al culminar: 70°. Extensión: 797 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 1, de segunda: 1, de tercera: 4, de cuarta: 15.</p>	<p><b>GEMINIS</b> Nombre latino: Gemini. Recorrida por el Sol entre el 22 de junio y el 21 de julio. Visible desde mediados de agosto (al noreste, al amanecer) a finales de mayo (al noroeste, al anochecer). Mejor visibilidad: diciembre y enero. Altura al culminar: 75°. Extensión: 514 grados cuadrados. Número de estrellas de primera magnitud: 1, de segunda: 2, de tercera: 4, de cuarta: 12.</p>



### Constelaciones de Julio, Agosto y Septiembre y Octubre, Noviembre y Diciembre



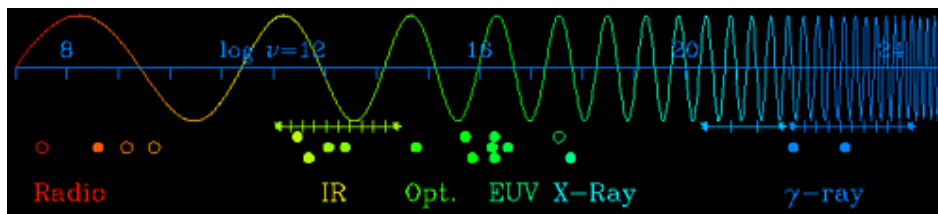
## 4. INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN DEL CIELO. *Simón García*



Los objetos celestes, aparte de los cuerpos del Sistema Solar, están tan lejos que la luz que emiten es en la práctica el único medio que tenemos para estudiarlos y entender su naturaleza. Uno de los descubrimientos fundamentales de la física del siglo XX fue que la luz tiene una naturaleza dual: a veces se comporta como ondas y a veces como partículas, llamadas fotones. Algunos fenómenos pueden interpretarse en base al modelo ondulatorio de la luz, y en otras situaciones debe enfocarse el problema pensando en la luz como un conjunto de fotones.

Una propiedad básica de la luz es su **longitud de onda**, que se define como la distancia entre crestas o depresiones consecutivas de las ondas.

La luz visible representa apenas una pequeña porción del **espectro electromagnético**, que se extiende desde los rayos gamma hasta longitudes de onda de radio. Aunque en realidad ambos extremos del espectro electromagnético se extienden desde cero hasta el infinito.



La luz blanca es en realidad una mezcla de longitudes de onda. Cuando hacemos que la luz blanca pase a través de un prisma, se descompone en longitudes de onda o **colores** que la integran, formando un **espectro**. La ciencia encargada del análisis de los espectros se llama **espectroscopía**.

Una onda electromagnética consiste de campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Estos campos se propagan en el vacío con una velocidad constante  $c = 300\,000\,000$  km/s. Este valor es una constante fundamental de la naturaleza y uno de los pilares en que se sustenta la Física moderna, en especial la Teoría de la Relatividad. Para la luz visible la unidad de medida usada es el Angstrom:

1 Ångstrom =  $10^{-8}$  cm ; y abarca el rango de 4000 Å a 7000 Å.

Otras propiedades ondulatorias de la luz son su **frecuencia** y su **energía**:

$f = c/\lambda$  ;  $E = hc/\lambda$  donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío,  $h$  es la constante de Planck, y  $\lambda$  es la longitud de onda.

## El Espectro Electromagnético

La naturaleza de la luz ha sido estudiada desde hace muchos años por científicos tan notables como Newton y Max Plank. Para los astrónomos conocer la radiación electromagnética es un elemento clave debido a que toda la información que obtenemos de las estrellas nos llega a través del estudio de la radiación que recibimos de ellas.

Como se ha dicho antes la naturaleza de la luz ha sido interpretada de diversas maneras:

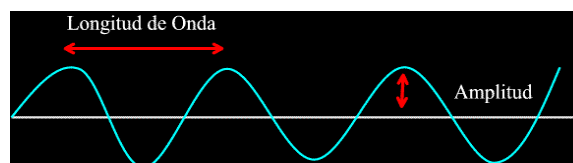
1. Compuesta por corpúsculos que viajaban por el espacio en línea recta (teoría corpuscular - Newton - 1670)
2. Ondas similares a las del sonido que requerían un medio para transportarse (el eter) (teoría Ondulatoria - Huygens - 1678, Young, Fresnel)
3. Ondas electromagnéticas al encontrar sus características similares a las ondas de radio (teoría electromagnética - Maxwell - 1860)
4. Como paquetes de energía llamados cuantos (Plank).

Finalmente Broglie en 1924 unifica la teoría electromagnética y la de los cuantos (que provienen de la ondulatoria y corpuscular) demostrando la doble naturaleza de la luz.

## La radiación electromagnética

Las cargas eléctricas estacionarias producen campos eléctricos, las cargas eléctricas en movimiento producen campos eléctricos y magnéticos. Los cambios cíclicos en estos campos producen **radiación electromagnética**, de esta manera la radiación electromagnética consiste en una oscilación perpendicular de un campo eléctrico y magnético. La radiación electromagnética transporta energía de un punto a otro, esta radiación se mueve a la velocidad de la luz (siendo la luz un tipo de radiación electromagnética).

Las ondas de radiación electromagnética se componen de crestas y valles (convencionalmente las primeras hacia arriba y las segundas hacia abajo). La distancia entre dos crestas o valles se denomina **longitud de onda** ( $\lambda$ ). La **frecuencia** de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo (casi siempre medida en segundos), esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y está dada en Hertz. La **amplitud de onda** esta definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base (A). La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud. La unidad de medida para expresar semejantes distancias tan pequeñas es el nanómetro ( $10^{-9}$  metros).

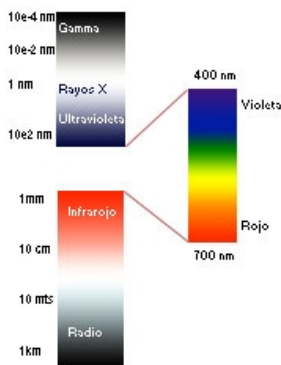




La luz visible, es decir las ondas electromagnéticas para las cuales el ojo humano esta adaptado, se encuentran entre longitudes de onda de 400 nm (**violeta**) y 700 nm (**rojo**). Como lo predijeron las ecuaciones de Maxwell existen longitudes de onda por encima y por debajo de estos límites.

Estas formas de "luz invisible" se han encontrado y organizado de acuerdo a sus longitudes de onda en el espectro electromagnético.

Si las ondas electromagnéticas se organizan en un continuo de acuerdo a sus longitudes obtenemos el espectro electromagnético en donde las ondas más largas (longitudes desde metros a kilómetros) se encuentran en un extremo (Radio) y las más cortas en el otro (longitudes de onda de una billonésima de metros) (Gamma).



**Luz Visible.** Isaac Newton fue el primero en descomponer la luz visible blanca del Sol en sus componentes mediante la utilización de un prisma. La luz blanca está constituida por la combinación de ondas que tienen energías semejantes sin que alguna predomine sobre las otras. La radiación visible va desde  $384 \times 10^{12}$  hasta  $769 \times 10^{12}$  Hz. Las frecuencias más bajas de la luz visible (longitud de onda larga) se perciben como rojas y las de más alta frecuencia (longitud corta) aparecen violetas.

**Rayos infrarrojos.** La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo William Herschel (1738-1822) en 1800, al medir una zona más caliente más allá de la zona roja del espectro visible. La radiación infrarroja se localiza en el espectro entre  $3 \times 10^{11}$  Hz. hasta aproximadamente los  $4 \times 10^{14}$  Hz. La banda infrarroja se divide en tres secciones de acuerdo a su distancia a la zona visible: próxima (780 - 2500 nm), intermedia (2500 - 50000 nm) y lejana (50000 - 1mm). Toda molécula que tenga una temperatura superior al cero absoluto ( $-273^\circ$  K) emite rayos infrarrojos y su cantidad está directamente relacionada con la temperatura del objeto.

**Microondas.** La región de las microondas se encuentra entre los  $10^9$  hasta aproximadamente  $3 \times 10^{11}$  Hz (con longitud de onda entre 30 cm a 1 mm).

**Ondas de Radio.** Heinrich Hertz (1857-1894), en el año de 1887, consiguió detectar ondas de radio que tenían una longitud del orden de un metro. La región de ondas de radio se extiende desde algunos Hertz hasta  $10^9$  Hz con longitudes de onda desde muchos kilómetros hasta menos de 30 cm.

**Rayos X.** En 1895 Wilhelm Röntgen inventó una máquina que producía radiación electromagnética con una longitud de onda menor a 10 nm a los cuales debido a que no conocía su naturaleza las bautizó como X.

**Radiación Ultravioleta.** Sus longitudes de onda se extienden entre 10 y 400 nm más cortas que las de la luz visible.

**Rayos Gamma.** Se localizan en la parte del espectro que tiene las longitudes de onda más pequeñas entre 10 y 0.01 nm.

### **Líneas espectrales.**

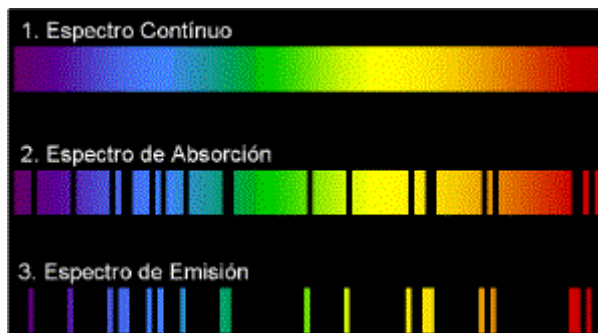
Los átomos poseen un núcleo el cual tiene la mayor parte de su masa y toda su carga positiva. Rodeando al núcleo se encuentra un enjambre de electrones con carga negativa. En estado estable el átomo debe ser neutro, de esta manera, la carga positiva del núcleo se contrarresta con la carga negativa de los electrones.

El núcleo está formado por dos tipos de partículas, los protones y los neutrones unidos por una fuerza llamada **fuerza nuclear fuerte**. Los protones tienen toda la carga positiva y el número de ellos da las características fisicoquímicas al átomo. De cada elemento químico se pueden tener varias formas o isótopos; en los isótopos el número de protones se mantiene constante pero no el de neutrones. El hidrógeno por ejemplo tiene dos isótopos muy comunes el  $^1\text{H}$  y el  $^2\text{H}$  (deuterio) y uno menos común el tritio  $^3\text{H}$ . El número que precede al símbolo químico es el número de nucleones (protones y neutrones) que posee.

Los electrones de un átomo solo pueden encontrarse en unas órbitas permitidas y no en cualquier posición con respecto al núcleo. Ahora bien, un electrón puede cambiar de una órbita a otra siempre y cuando la de destino esté desocupada. Al pasar un electrón a una órbita más baja este necesita emitir energía, la cual libera en forma de paquete o cuanto. Para pasar a una órbita más alta requiere absorber energía en forma de cuanto de luz. El cuanto de luz emitido o absorbido es específico para cada órbita de cada átomo específico. De esta manera al estudiar la energía electromagnética emitida o absorbida por un átomo se puede determinar que tipo de átomo es.

Cuando se tiene un material excitado como por ejemplo un gas calentado por la luz estelar, una gran multitud de sus átomos puede estar sufriendo cambios en la órbita de sus electrones y por este motivo se presenta gran cantidad de absorción y/o emisión de cuantos de energía. El estudio de estos fotones dan las "huellas" de identificación de los átomos presentes en el gas.

Al analizar el espectro proveniente de la luz de un gas o estrella se pueden apreciar "huecos" en el espectro estudiado (**líneas espectrales de absorción**). Corresponden a las longitudes de onda absorbidas por el átomo. Igualmente al estudiar material incandescente podremos ver espectros con líneas característicamente brillantes a las que se denominan **líneas de emisión**. Las moléculas también emiten y absorben radiación en longitudes características. Una de las utilizadas en astronomía es la emisión de 21 cm de las moléculas de hidrógeno.



## Cuerpo negro

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética por el simple hecho de tener cierta temperatura. Para estudiar la liberación de energía por cuerpos calientes se debe considerar un objeto especial de características ideales en el cual toda la luz que absorba no se refleje; a tal objeto se le denomina cuerpo negro. Estos cuerpos negros emiten energía y lo hace según un espectro característico, durante muchos años no se logró explicar la radiación de energía de un cuerpo negro hasta que Max Plank en 1900 lo hizo suponiendo que la energía se liberaba en paquetes o cuantos. La emisión de energía por parte de las estrellas semeja mucho a la de un cuerpo negro (salvo por las líneas de absorción y emisión).

Cuando un objeto emite radiación de manera similar a un cuerpo negro se puede asegurar que esta energía es de tipo térmico; existe sin embargo otro tipo de energía electromagnética de tipo no térmico a la cual se le conoce como **radiación sincrotón**. Esta es producida por partículas cargadas, casi siempre electrones, que giran alrededor de líneas de campo magnético y emiten radiación. La liberación de energía sincrotón tiene como característica que se emite en longitudes de onda muy pequeñas en el rango de los rayos X y Gamma.

Cuando existen líneas espectrales, estas líneas tienen cambios característicos, en presencia de campos magnéticos muy fuertes; las líneas espectrales se desdoblán en parejas con una distancia entre ellas relacionada a la magnitud del campo. A este fenómeno se le conoce como **fenómeno de Zeeman** y fue descubierto al estudiar las propiedades espectrales de las manchas solares.

## Instrumentos

Para comenzar en Astronomía lo que primero se necesita es tener el entusiasmo y la curiosidad de conocer mucho más allá del mundo que nos rodea, disfrutar de la tranquilidad que nos ofrece el cielo y sus maravillas que nunca dejarán de sorprendernos. Lo primero que se necesita para practicar la observación astronómica es conocer el cielo, para ello contamos con nuestro *sentido de la visión*. Éste nos permite el estudio de las cartas celestes para ubicar la posición de constelaciones, estrellas y planetas. Con este conocimiento -y no antes- se debe comenzar a profundizar con el uso de los binoculares, que permiten apreciar estrellas dobles, variables, nebulosas, cúmulos estelares, algunas galaxias y detalles de la Luna. Además su uso será imprescindible cuando se realice el salto al instrumento mayor, el telescopio.

Cuando hayamos reconocido el cielo y estemos seguros de nuestra afición, será el momento de adquirir un telescopio - no antes-. El manejo del telescopio es más complejo, su transporte, cuidados y mantenimiento deben ser rigurosos, su instalación,

adecuada alineación y manejo requieren un poco de entrenamiento y práctica. Si adquiere un telescopio es para utilizarlo. Nunca espere ver imágenes como en las revistas, se dará cuenta en muchas ocasiones que la visión que se obtiene con unos binoculares es a veces mucho más espectacular. Sin embargo, el telescopio le permitirá observar objetos mucho más tenues y detalles planetarios más finos. Igualmente el telescopio permitirá posteriormente realizar trabajos de astrofotografía con película normal, WebCam o CCD

### **Binoculares**

Nadie parece darse cuenta -y muchos no lo creen- que los binoculares son el elemento de elección para iniciar y trabajar en astronomía. ***Toda persona que se interese por el cielo tiene que tener unos binoculares.***



Los binoculares son fáciles de utilizar, la imagen se ve al derecho -los telescopios la invierten, claro que el universo en realidad no tiene "derecho"-, tienen un gran campo de visión lo que facilita la localización de los objetos y su apreciación en conjunto con los elementos vecinos, además al utilizar los dos ojos no se pierde la capacidad de "tridimensionalidad" de la visión. Con ellos se observarán entre otras cosas: cráteres, montañas y llanuras en la Luna, planetas y sus satélites, los asteroides más brillantes, los cometas, estrellas dobles y variables, muchos cúmulos estelares y algunas nebulosas y galaxias. En resumen: ***un buen par de binoculares dan una mejora mucho mayor sobre el ojo desnudo que un gran telescopio amateur sobre los binoculares.***

Existen varios tipos de binoculares, sin embargo no son todos buenos para astronomía. Los hay muy pequeños (de opera) que no recogen mucha luz y son inútiles para la observación astronómica. Los muy grandes son muy pesados para sostenerlos y por su distancia focal larga estrechan el campo visual, por lo que se pierde la gran ventaja del binocular que es observar campos abiertos, estos binoculares se usan para trabajos específicos como la búsqueda de cometas.

Los biloculares traen una marca de de dos números (00 x 00), el primer número indica los aumentos y el segundo el diámetro de las lentes. Los ideales para astronomía por su peso, aumentos y capacidad de captar luz son los marcados como 10 x 50 o 7 x 50. Se debe pedir que vengan recubiertos con filtro, ya que este mejora el contraste y la luminosidad sin afectar el color, el filtro se reconoce por que el lente es de color rojo, amarillo o ámbar. Su costo es asequible y siempre hay que recordar que ***son mucho mejores unos binoculares de costo medio que un telescopio barato.***

Existen en el mercado binoculares con sistemas eléctricos que estabilizan la imagen, son menos pesados y al estabilizar la imagen mejoran la definición, de esta manera se pueden comprar con especificaciones menores a las antedichas, sin embargo su alto costo los hará en ocasiones prohibitivos y será mejor comprar un buen soporte para los binoculares convencionales. Finalmente, cualquier par de binoculares que usted

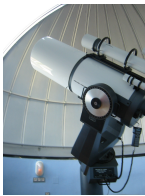
pueda tener, sean cuales fueren sus limitaciones, le abrirán una ilimitada fuente de exploración del cielo cuando se usen con una carta celeste y una libreta de observación

El mantenimiento de los binoculares es sencillo, siempre hay que tener precaución en colocar sus tapas protectoras, para su limpieza se debe tener un juego (kit) que se consigue en cualquier almacén fotográfico que incluya alcohol rebajado, papel para limpieza de lentes que no deje residuos y un cepillo con bomba sopladora. La limpieza de las lentes no es necesaria siempre, pero echarle viento con la bomba debe ser una rutina **-nunca sople las lentes con la boca pues en ella va humedad y hongos que los dañarán-**.

Los binoculares deben adaptarse a cada ojo ya que la visión no es la misma de una persona a otra, para esto la lente derecha del binocular es regulable, de esta manera, colocando la tapa en el lente derecho se acomoda la visión del ojo izquierdo utilizando el tornillo de enfoque principal y posteriormente tapando el ocular izquierdo se enfocará el ojo derecho con el ocular móvil. Ajuste además la distancia de separación de los ojos con la distancia de los oculares.

La mejor manera de utilizar los binoculares es estar acostado en el suelo, con protección para el frío o en una silla de piscina. Es muy útil comprar un adaptador a los binóculos que permita su colocación a un trípode de fotografía que sea estable, esto facilitara mucho la observación y la hará mas descansada, estas dos ultimas inversiones si que valen la pena. Con las lentes mantenidas fijas, su rendimiento es por lo menos el doble.

El telescopio



### ¿Quién inventó el telescopio?

Según los documentos que recogió el astrónomo Heinrich Wilhelm Matthias Olbers (1758–1840), la primera vez que se combinó un vidrio cóncavo, con uno convexo, para aproximar los objetos fue en 1606, en la ciudad holandesa de Middelburgo, Hans Lipperhey, fabricante de anteojos, debió este descubrimiento a la casualidad. Estando jugando sus hijos en el taller, se les ocurrió mirar a través de dos lentes, uno convexo y el otro cóncavo, la veleta del campanario, que con gran admiración les pareció estar mucho más cerca. La sorpresa de los hijos llamó la atención de Lipperhey, que para hacer más cómoda la experiencia colocó primero los vidrios cada uno en una tabla, fijándolos después en los extremos con dos tubos de órgano que podían entrar uno dentro del otro. Desde aquel momento quedó fabricado el antejo de larga vista.

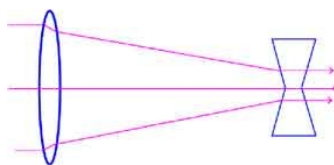
El 2 de Octubre de 1606 dirigió Lipperhey una solicitud a los Estados Generales de Holanda, pidiendo una patente por 30 años. Los regidores no le hallaron otro defecto, que el no poder mirar con los dos ojos por incomodar bastante y no pudo disfrutar de su invento.

Galileo Galilei, recibió, según dice el mismo, noticias del extraordinario invento holandés. Como no sabía nada acerca de su construcción, Galileo se puso a meditar sobre ello y tuvo la satisfacción de poder construir en poco tiempo un anteojo que aumentaba tres veces el tamaño de los objetos, el segundo en construir tenía 14 aumentos, un poder de resolución de 20 segundos de arco y un campo visual de 17 minutos, el 7 de Enero de 1610 anuncia en el *Siderius Nuncios*, el descubrimiento de las montañas de La Luna, de algunos conglomerados estelares, los cuatro satélites de Júpiter, la triplicidad de saturno (estrella con orejas), las fases de Venus. El tercer telescopio por él construido tenía 18 aumentos, un poder de resolución de 10 segundos y un campo de 17 segundos, con este, según uno de sus diarios, figura la observación de Neptuno, pero no lo identificó como planeta, el 28 de Diciembre de 1612, unos 234 años antes de que fuera reconocido como el octavo planeta por John Gottfried Galle, astrónomo de Berlín.

En 1613 descubre las manchas solares y fue publicado en *Iistoria intorno alle macchine solari*.

El mayor de sus anteojos, el cuarto, tenía 30 aumentos pero su construcción era tan imperfecta, que con uno muchos menos potente hoy en día se ve mucho más, el primero y el cuarto se perdieron, el segundo y el tercero se conservan en el Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia, Italia.

El telescopio holandés o de Galileo consta de dos lentes; la que está dirigida hacia el objeto se llama objetivo y es de forma biconvexa, convergente o positiva, es decir concentra los rayos luminosos, mientras que la otra lente a la que se aplica el ojo del observador, se llama ocular, es cóncava, divergente o negativa.

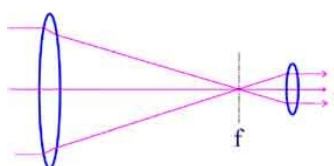


Anteojo Holandés o Galileano

La lente objetiva daría la imagen invertida de un objeto alejado, pero antes de que los rayos luminosos formen una imagen, encuentran el ocular, el que los hace casi paralelos y el ojo situado detrás de ella los recibe como procedentes de una imagen aumentada del objeto lejano. Con esta disposición no se forma en el anteojo una imagen real del objeto, sino que la imagen está en la prolongación de los rayos, es decir, es una imagen virtual.

Este anteojo se emplea todavía en los gemelos de teatro y de campaña, porque el instrumento resulta más corto que el anteojo astronómico o de Kepler.

Johannes Kepler se distinguió en los trabajos de óptica y en la teoría de la luz, en su obra *Dioptrice* publicada en 1611 en Augsburgo, desarrolla por primera vez la teoría del telescopio astronómico.



Telescopio Kepler



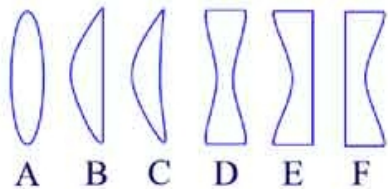
Kepler empleó como objetivo una pequeña lente biconvexa, los rayos emitidos por una estrella se reúnen en un punto llamado foco (f) y a partir de ese punto divergente la imagen real situada en f, se observa en el anteojo de Kepler, con ayuda de la pequeña lente convexa que obra como lente de aumento. En este principio se basan los telescopios refractores modernos.

Todo lo que se sabe de las estrellas se deduce de la luz que llega a la Tierra desde ellas, un análisis detallado de esa luz, da mucha información, sustancias químicas contenidas, temperatura que prevalece, masa y velocidad de las estrellas, vital para esta investigación, es el telescopio, el cual ayuda al astrónomo de tres maneras diferentes:

- a. reuniendo la luz que emana de una estrella, haciendo que ellas aparezcan más brillantes, esta propiedad se llama *poder condensador de la luz*.
- b. Trayendo detalles, por ejemplo separando los componentes de una estrella doble esta propiedad se llama *poder de resolución*.
- c. Amplificando la parte del cielo bajo observación, este es el *poder amplificador* del telescopio.

Los telescopios pequeños se usan para valores de amplificación de hasta 10 veces por cada pulgada de diámetro de abertura del objetivo. Si la abertura del objetivo tiene un diámetro de 2,38" (6,05 cms.) se usará para una amplificación angular de 20 a 25 veces, la abertura de un objetivo es la parte transparente del objetivo.

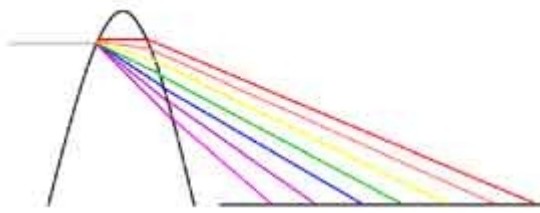
Para obtener una amplificación mayor de 40 a 60 veces por pulgada de diámetro, el objetivo se diseña de modo que evite dos defectos comunes, estos defectos se conocen como aberraciones cromáticas y esféricas.



Lentes Simples.: A. Biconvexa; B. Plano-Convexa; C. Menisco Positivo; D. Bicóncava; E. Plano-Cóncava;

F. Menisco Nativa

Aberración Cromática. Un rayo de luz ordinario, al pasar por una lente simple, no solamente se refracta, sino que también se dispersa en sus componentes de colores. Todo rayo de luz "blanca" que entra a la lente, se dispersa en un pequeño arco iris de colores.

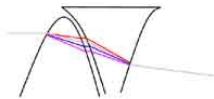


Aberración cromática. Diferentes puntos de foco para cada color.

La expresión “luz blanca” designa la luz ordinaria dada por el Sol, las estrellas, etc., esta luz es realmente una combinación de todos los colores del arco iris, bien mezclados, la lente simple separa los colores, porque cada color incluido en este rayo de luz blanca se refracta en un ángulo ligeramente diferente.

En la figura se puede ver que el componente violeta del rayo de luz blanca se refracta más, haciendo un foco más cercano; y la parte roja del rayo blanco, menos, dando un foco más retirado de la lente.

Para reducir los efectos de la aberración cromática, el Ingles Moor Hall, en 1730 descubrió el principio en que puede fundarse esta corrección, y empezó a construir los primeros lentes acromáticos y en 1758 John Dollond, obtuvo una patente para construir telescopios con estos objetivos. El problema fue tratado matemáticamente por Leonel Euler. Las lentes acromáticas para objetivos se hacen combinando una lente convexa de material Crown, con una lente cóncava de Flint cuya curvatura total sea aproximadamente la mitad de la otra.



Corrección aberración cromática

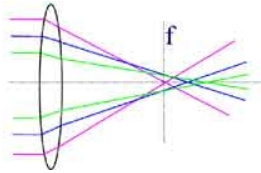
Por efectos de la reflexión, en las caras de las lentes, siempre se pierde una parte de la luz; un 4% en cada superficie, pegando las lentes con bálsamo del Canadá, la pérdida se reduce a la mitad, este procedimiento no se aplica sino a los objetivos pequeños, para objetivos mayores, las lentes se separan por medio de tirillas de estaño muy delgadas y del mismo espesor, colocadas en el borde.

Aberración esférica. Consiste en que los rayos luminosos paralelos que inciden sobre una lente no se reúnen exactamente en el mismo después de la refracción, los rayos que inciden hacia el borde de una lente biconvexa, les corresponde una distancia focal corta que la correspondiente a los rayos que inciden sobre la parte central.

A causa de la aberración esférica, la imagen de una estrella no se reduce a un punto, sino que se presenta como un círculo de diámetro tanto mayor cuanto mayor es el defecto.

El poder de separación del telescopio, lo mismo que la intensidad luminosa de la imagen, disminuye por esta causa.





Aberración esférica. Los rayos hacen foco a distancias diferentes

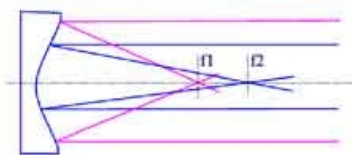
Los rayos que pasan cerca de la periferia de la lente se refractan más que los que pasan por el centro. Este defecto es independiente de la aberración cromática; la aberración esférica puede presentarse aunque no haya dispersión.

El defecto se evita haciendo parabólicas cada cara de la lente en lugar de esféricas. Una lente parabólica está menos curvada en las orillas que en el centro y hacen converger los rayos paralelos a un solo punto o foco perfectamente definido.

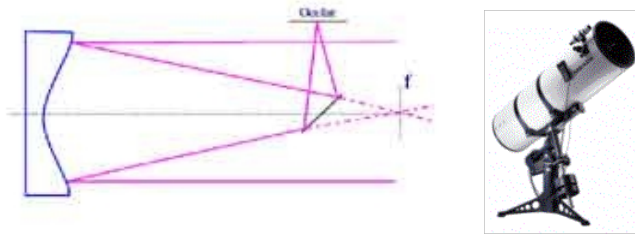
### Telescopios con espejos

Hay otra clase de telescopio, llamados Reflectores y de espejos, en estos la primera imagen se obtiene por reflexión de los rayos sobre un espejo cóncavo. El invento de los reflectores parece debido a Nicolas Zucchius quien en 1616 combinando un espejo con una lente de vidrio construyó un anteojo de espejos. Es posible que anteriormente, en 1571, el inglés Leonardo Dignes, hubiese construido un telescopio de esta clase. Isaac Newton, escribió en su obra *Optics (Londres, 1704)*, y desde 1672, una serie de trabajos sobre óptica, en los que figura el telescopio que lleva su nombre y que fue construido en 1672.

En el reflector, la función del objetivo es ejecutada por un espejo, la luz que entra se hace converger en un espejo cóncavo en lugar de una lente. La imagen formada por el espejo se ve por el ocular, que básicamente es el mismo que el del telescopio refractor. Casi todo lo que se dijo sobre telescopios de refracción se aplica aquí, los reflectores no producen aberración cromática pero sí esférica, y es similar al de las lentes esféricas. Los rayos paralelos de luz que inciden en el espejo a distintas distancias del centro, al reflejarse no pasan por el foco, y al no pasar por el mismo punto la imagen es borrosa, este defecto es más grave cuando se aumenta la proporción del diámetro del espejo con respecto al radio de curvatura.

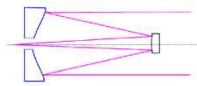


Telescopio reflector. Aberración esférica En el telescopio reflector de tipo Newtoniano el espejo mayor se denomina espejo principal o sistema de foco primario, en el plano del foco primario se intercala un espejo plano, en forma diagonal para concentrar el foco primario en el ocular.



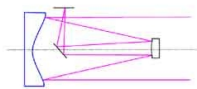
### Telescopio Reflector Newtoniano

El telescopio de dos espejos más difundido es el Cassegrain donde el espejo principal es parabólico, y el menor, hiperbólico colocado entre el espejo y el foco primario y forma un nuevo plano focal pasando por un orificio circular en el centro del espejo principal, para formar el foco fuera del telescopio. La disposición Cassegrain origina un sistema de gran longitud focal, aumentando el número  $f$  del instrumento.



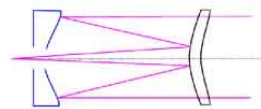
Telescopio Cassegrain

El telescopio Gregory (1663), está construido por dos espejos parabólicos, el secundario está colocado después del foco principal, formando un sistema de una distancia más larga que en el tipo Cassegrain.



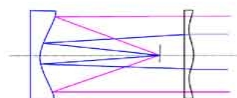
Telescopio Gregory

El telescopio Maksutov está formado por un espejo principal de forma cóncava, y un menisco acromático, con la parte convexa dirigida hacia la imagen, el menisco se coloca entre el espejo y el punto de foco, el centro del menisco tiene un baño, que proyecta la imagen por el centro del espejo perforado, para formar un segundo plano focal donde está el ocular.



Telescopio Maksutov -Cassegrain

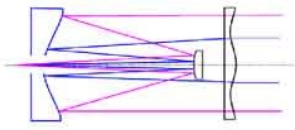
Telescopio o cámara Schmidt (1930). Para eliminar la aberración esférica del espejo esférico, en el camino de los rayos reflejados se instala una placa o lente de corrección, no se utiliza como telescopio de observación sino como cámara fotográfica de grandes áreas celestes por su lente corrector el campo enfocado es curvo.



Cámara Schmidt

El telescopio más utilizado en la actualidad por los astrónomos aficionados debido a pueden tener grandes aperturas con grandes distancias focales en equipos muy

portátiles, resistentes y que requieren de muy poco mantenimiento son los que combinan los sistemas Schmidt y Cassegrain.



Telescopio Schmidt – Cassegrain

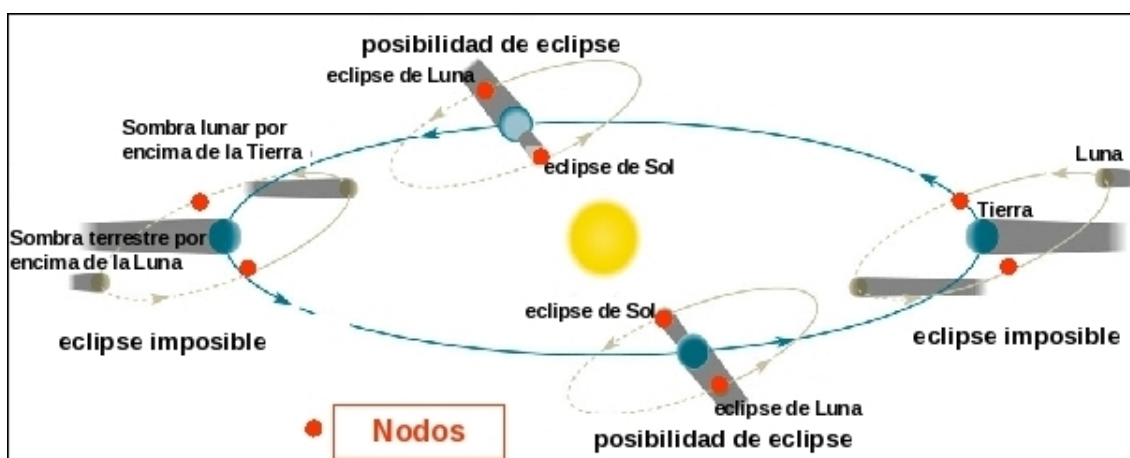
4. ***Astrofotografía. La fotografía química ha quedado totalmente relegada con la irrupción de la fotografía digital y la generalización de las cámaras CCD.***

## 5. ECLIPSES DE SOL Y DE LUNA. *Javier Bussons*

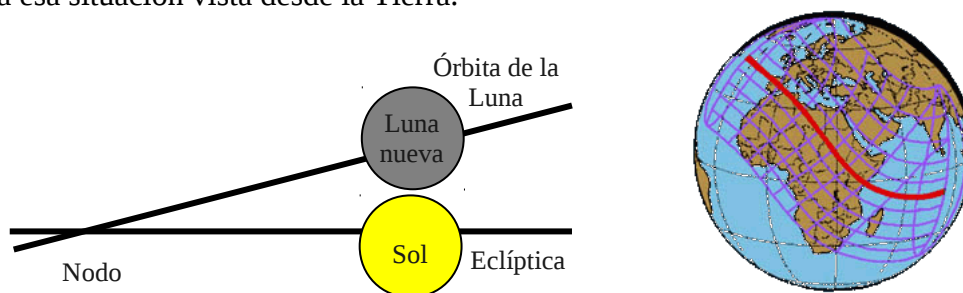
### Eclipses de Sol

El Sol y la Luna se ven desde la Tierra prácticamente con el mismo tamaño (medio grado) debido a una asombrosa coincidencia: el Sol, que es casi 400 veces mayor que la Luna, se halla 400 veces más lejos que ésta.

Cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol se produce un eclipse de Sol para los habitantes terrestres. Esto solo puede ocurrir cuando hay Luna nueva, pero no siempre que hay Luna nueva hay eclipse de Sol. ¿Por qué? La razón es que el plano de la órbita de la Luna no coincide con el plano de la órbita de la Tierra (que se llama **eclíptica**). Si fuese así, cada vez que hay Luna nueva habría eclipse de Sol. Sin embargo el plano de la órbita de la Luna está inclinado aproximadamente  $5^\circ$  respecto de la eclíptica y corta a ésta en dos puntos importantes que se llaman **nodos**.



Entonces, si cuando hay Luna nueva la Luna no está cerca de uno de los nodos no se produce eclipse de Sol, como puede apreciarse en la ilustración (izquierda), que muestra esa situación vista desde la Tierra.

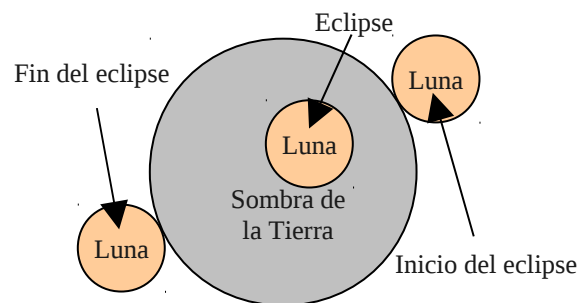


Sin embargo, si cuando hay Luna nueva la Luna está cerca de uno de los nodos, entonces se produce el eclipse de Sol. La posición del observador sobre la superficie terrestre determina la visión del eclipse (derecha): si está situado sobre la línea de totalidad (en rojo) verá un eclipse total porque el disco de la Luna tapa completamente el disco solar; si está fuera de la línea de totalidad pero dentro de la zona de observación del eclipse (en morado) entonces verá un eclipse parcial porque el disco de la Luna sólo tapa parcialmente el disco solar. La línea de totalidad es una estrecha franja de no más de 200 kilómetros de ancha que señala la zona donde el cono de sombra de la Luna se proyecta sobre la superficie terrestre durante un eclipse. El Sol no debe observarse

jamás directamente porque podría dañar nuestra retina pero se puede hacer mediante la proyección sobre una pantalla o utilizando gafas o filtros especiales homologados. La duración de un eclipse total para un observador situado sobre la línea de totalidad es variable pero nunca es mayor de siete minutos.

### Eclipses de Luna

Cuando la Tierra se interpone entre la Luna y el Sol se produce un eclipse de Luna. Esto sólo puede ocurrir cuando hay Luna llena, pero no siempre que hay Luna llena hay eclipse de Luna. La razón es la misma que ya se ha explicado para los eclipses de Sol. Sólo si cuando hay Luna llena, ésta está cerca de uno de los nodos habrá eclipse de Luna.



Durante un eclipse de Luna la posición del observador no es tan relevante: para poder verlo basta estar situado en el hemisferio de la Tierra desde el que la Luna es visible la Luna. La duración de un eclipse de Luna puede ser de varias horas, todo el tiempo en que la Luna tarde en atravesar el cono de sombra de la Tierra.

### Curiosidades e importancia histórica de los eclipses

Los nodos no están quietos sobre la eclíptica sino que retrogradan, de modo que el Sol tarda 346,62 días entre dos pasos consecutivos por el mismo nodo, lo que llamamos un **año de eclipses**. Resulta que cada 223 lunaciones y cada 19 años de eclipses el tiempo transcurrido es prácticamente el mismo. Este período de tiempo se llama Saros y dura 18 años y 11 días, al cabo de los cuales se repite aproximadamente la misma secuencia de eclipses de Sol y de Luna. En un año hay dos **estaciones de eclipses** cuando el Sol pasa cerca de los nodos. A lo largo de un año no pueden ocurrir menos de dos eclipses, que serán obligatoriamente de sol, ni más de 7, que pueden ser, 5 de sol y 2 de luna, 4 de sol y 3 de luna, 2 de sol y 5 de luna.

Se llama **lunación** o **mes sinódico** al período de tiempo entre dos Lunas llenas consecutivas, que vale 29,53 días, mientras que el **mes sidéreo**, el tiempo que tardamos en volver a ver la Luna en el mismo punto del firmamento (en relación con las estrellas) es menor: 27,32 días.

Todas las civilizaciones se han interesado por los eclipses y por su predicción. Fueron los griegos los que descubrieron el período **Saros** que les permitió predecir eclipses. **Aristarco de Samos** (310 aC - 230 aC) determinó por primera vez la distancia de la Tierra a la Luna mediante un eclipse total de Luna. **Hiparco** (194aC-120aC) descubrió la precesión de los equinoccios basándose en eclipses lunares totales cerca de los equinoccios y en unas tablas para el Sol, y mejoró la determinación de la distancia de la Tierra a la Luna realizada por **Aristarco**. Los eclipses del Sol se han utilizado para confirmar de la teoría de la relatividad de **Einstein**, concretamente para comprobar la desviación de la luz al pasar cerca del Sol.

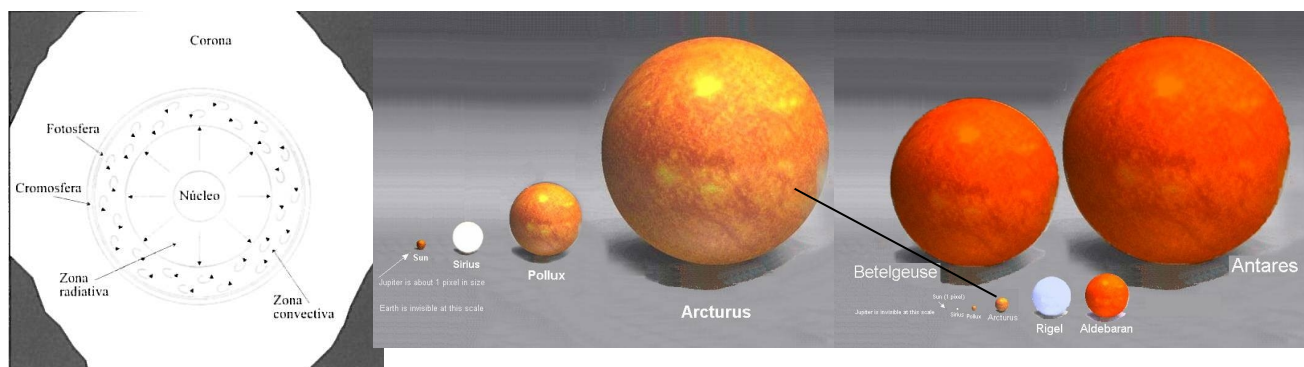
## 6. EL SOL Y LAS ESTRELLAS. Javier Bussons Gordo

### **Introducción: qué son las estrellas y cómo funcionan**

Una estrella es una esfera de gas autogravitante en cuyo interior se producen reacciones nucleares que liberan energía. Su evolución depende del balance entre dos fuerzas de sentido opuesto: la de **gravedad**, que ejerce una presión hacia el centro (centrípeta) y la de **radiación**, que ejerce una presión hacia fuera (centrífuga). La fuente de energía que hace que las estrellas brillen durante miles de millones de años no se descubrió hasta finales de los años 1930: son **reacciones nucleares** (la llamada cadena protón-protón) que transforman hidrógeno (H) en helio (He) liberando enormes cantidades de energía y de unas partículas subatómicas llamadas neutrinos. Para que se produzcan estas reacciones el núcleo estelar debe alcanzar una temperatura de unos diez millones de grados. Acabado el primer combustible (hidrógeno), si la estrella tiene la masa suficiente como para que su núcleo alcance temperaturas superiores a los cien millones de grados, se produce la “combustión” del helio, produciendo principalmente carbono (C) y oxígeno (O). Si se alcanzan temperaturas mayores en el núcleo, podrá darse la combustión de estos, produciéndose elementos químicos cada vez más pesados. Las estrellas son, pues, laboratorios naturales donde se sintetizan los **elementos químicos** del sistema periódico de los que está hecha toda la materia existente en el universo. En temas posteriores se hablará de la formación, evolución y muerte de las estrellas.

### **El Sol**

El Sol es fuente de vida en nuestro planeta pero astronómicamente es una estrella vulgar en cuanto a sus características de brillo, tamaño (700 000 km de radio), color, edad (5 000 millones de años) o situación en la Galaxia. Se encuentra a 150 millones de km de la Tierra y está compuesto fundamentalmente de hidrógeno y helio. En su interior existen tres zonas: el **núcleo**, donde las reacciones termonucleares transforman hidrógeno en helio; la zona **radiativa**, que llega hasta el 70% del radio solar, donde la energía producida en el núcleo se transporta hacia fuera por radiación; y la zona **convectiva**, donde la energía se transporta mediante el movimiento de burbujas enormes de gas (de 30 000 km).



Su parte exterior, o atmósfera, consta de tres capas: la **fotosfera** (500 km de grosor y entre 7 000 y 4 000 grados de temperatura) es la superficie visible del Sol, donde se observan gránulos que muestran corrientes ascendentes de gas en su centro y descendientes en los bordes; la **cromosfera** (grosor de 2 000 km y temperaturas ascendentes hasta los 60 000 grados), menos brillante que la fotosfera y, por tanto, no visible; y la **corona** (varios radios solares de grosor y temperaturas de 1 ó 2 millones de

grados), zona de gases ionizados, observable durante los eclipses totales, en donde las altísimas temperaturas son producto del movimiento y reestructuración del campo magnético. El Sol emite radiación en muchas frecuencias pero la temperatura efectiva de su fotosfera hace que se emita más radiación en el color naranja; estrellas con fotosferas más calientes se verán más azules y las más frías se verán más rojas. El Sol tiene un movimiento de **traslación alrededor del centro galáctico** (una vuelta cada 250 millones de años) y uno de rotación sobre su eje. Al no ser rígido, sino gaseoso, la zona ecuatorial gira más deprisa (una vuelta en 26 días) que las zonas polares (unos 30 días): es lo que se llama **rotación diferencial**. El campo magnético del Sol es el responsable de su período de actividad, un ciclo de 11 años en el que varía el número de **manchas solares** en su superficie, pasando por un mínimo y un máximo (el último fue en 2000). Las manchas son zonas donde el campo magnético es especialmente intenso y la temperatura es más baja que en los alrededores (por eso se ven oscuras). Suelen tener diámetros entre 10 000 y 30 000 km. Pasados 11 años, se invierte la polaridad magnética y se repite el ciclo de manchas.

### Las estrellas

El Sol sirve como referencia para el estudio de las demás estrellas, por lo que mediremos sus masas, tamaños y luminosidades en función de la masa (333 mil veces la de la Tierra), luminosidad (400 cuatrillones de vatios, como 4 cuatrillones de bombillas de 100 W) y tamaño del Sol. Los rangos típicos para las estrellas son los siguientes:

**Tamaño:** entre dos décimas y mil radios solares ( $R = 0.2 - 1000 R_{\text{sol}}$ )

**Luminosidad:** entre una diezmilésima y un millón de soles ( $L = 10^{-4} - 10^6 L_{\text{sol}}$ )

**Masa:** entre una décima y cien masas solares ( $M = 0.08 - 100 M_{\text{sol}}$ )

**Temperatura efectiva** (superficie): 2 000 – 40 000 K (grados)

Al contrario de lo que se creía en la antigüedad, las estrellas no son entes inmutables sino en continua evolución. Tras su formación por contracción gravitatoria de una nube de gas y polvo, la estrella pasa la mayor parte de su vida en una fase estable (equilibrio hidrostático y radiativo) llamada **secuencia principal**, en la que transforma hidrógeno en helio. La duración de esta fase depende de la masa: las estrellas más masivas se agotan antes (10 millones de años para una estrella de 15 masas solares; 10 000 millones de años para una estrella de tipo solar; 70 000 millones de años para una estrella cuatro veces más ligera que el Sol). Cuando disminuye la cantidad de hidrógeno disponible en el núcleo, la estrella se irá convirtiendo gradualmente en una **gigante roja**. Las últimas fases evolutivas dependen mucho de su masa (ver tema siguiente). La mitad de las estrellas se encuentran en **sistemas binarios** o múltiples (dos o más estrellas que giran entorno a un punto). En algunos casos ambas estrellas se ven a simple vista (estrella doble o **binaria visual**) como Alcor/Mizar en la Osa Mayor o Albireo en el Cisne y se pueden calcular sus masas. En otros, se aprecia cómo una eclipsa a la otra (**binarias eclipsantes**). Y en otros, aunque una de ellas no es visible, se pueden conocer sus características gracias a la perturbación que produce en el movimiento de la otra; midiendo esta perturbación mediante el efecto Doppler, se obtiene la razón de sus masas.

La clasificación de las estrellas y el estudio de su evolución se suelen hacer a partir del llamado **diagrama HR** (Hertzsprung-Russell) en el que se representa la luminosidad en función del tipo espectral (temperatura). Finalmente, para algunos tipos de estrellas existen relaciones conocidas entre la masa y la luminosidad o entre el período de variación de su brillo y la luminosidad (**estrellas variables**).

# 7. LA EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS.

*Juan Luís Sánchez y Gregorio José Molina Cuberos*

## **Nacimiento de las Estrellas**

Las estrellas, al igual que los seres vivos, nacen, viven, envejecen y mueren. Inicialmente una nube de gas y polvo, oscura y fría, empieza a contraerse por efecto de la gravedad, o quizás como resultado de la explosión de alguna estrella cercana (supernova) que la comprime. A medida que la nube se contrae y se calienta se va fragmentando en masas más pequeñas cada una de las cuales formará una protoestrella.

Cada **protoestrella** se forma inicialmente como una esfera en rotación que se aplana hasta transformarse en un disco con la mayor parte de su masa concentrada en el centro del mismo. Ese centro va aumentando progresivamente, por efecto de la gravedad, su densidad, presión y temperatura hasta alcanzar los diez millones de grados necesarios para que se inician las reacciones nucleares (hidrógeno que se fusiona para formar helio) dando lugar al nacimiento de la estrella.

En este periodo su situación en el diagrama H-R ha pasado desde la parte derecha hasta su lugar en la secuencia principal dependiendo de su masa; cuanto más masiva sea, mayor temperatura alcanzará su superficie y estará más arriba y más a la izquierda en la secuencia principal del diagrama H-R. Ya hemos dicho que en la secuencia principal estará el 90% de su existencia y que ese tiempo es relativamente breve para las estrellas muy masivas, y muy amplio para las estrellas poco masivas.

Cuando se termina su combustible (el hidrógeno) la estrella aumenta de tamaño y se convierte en una gigante roja y su posición en el diagrama H-R se mueve hacia arriba y hacia la derecha. La explicación de este proceso es la siguiente: al consumir todo su hidrógeno se rompe el equilibrio entre las fuerzas de contracción (gravedad) y las de repulsión (presión debida a la temperatura) a favor inicialmente de las fuerzas de contracción que provocan un aumento de temperatura para que se pueda iniciar la siguiente etapa de reacciones nucleares, es decir, la fusión de helio para producir elementos más pesados: carbono y oxígeno. A partir de aquí la evolución posterior dependerá del tamaño de la estrella.

## **Muerte de las Estrellas**

### ***Estrellas de baja masa (< 4 masas solares)***

Cuando una estrella de masa hasta 4 solares agota el hidrogeno en su núcleo, este se colapsa ocasionando un aumento de temperatura y el inicio de procesos de fusión de hidrogeno en el material que lo rodea. Estas nuevas reacciones ocasionan que las capas exteriores de la estrella se expandan para compensar el nuevo aumento de temperatura enfriando la estrella convirtiéndose en ***gigantes rojas*** En el diagrama HR se dice que la estrella entra al brazo de las gigantes rojas.

El helio que constituye el núcleo se ve enriquecido y eventualmente lo calienta tanto que lo lleva a iniciar la fusión del mismo para formar nuevos elementos químicos. Este inicio de la combustión de helio se lleva a cabo suavemente cuando la estrella tiene entre 2 a 3 masas solares pero cuando es mayor este inicia abruptamente.



La combustión del helio produce núcleos de carbono y oxígeno y después de millones de años prácticamente todo el helio se habrá convertido en estos dos elementos. Cuando las reacciones termonucleares cesan la temperatura cae y la estrella se contrae y solo es detenida por la fuerza ejercida por la presión de los electrones degenerados. Este aumento de presión aumenta la temperatura y provoca que el helio remanente alrededor del núcleo se prenda de nuevo. En este punto la historia se repite y la estrella vuelve a dilatarse y nuevamente pasa a ser una gigante roja pero en este caso con una luminosidad mucho mayor. Se llaman estrellas AGB.

### ***Nebulosas Planetarias***

Las estrellas AGB liberan por viento estelar sus capas exteriores formando una nube de gas a su alrededor. La estrella además presenta una serie de cambios de luminosidad durante los cuales se eyecta un cinturón de material al espacio. Este gas iluminado por la estrella central ha tomado el nombre de **nebulosa planetaria** por que en sus observaciones iniciales los astrónomos vieron que su forma redondeada se parecía a un planeta.

Al expulsar sus capas externas el núcleo de la estrella queda expuesto liberando gran cantidad de radiación ultravioleta que ioniza excita y expande el material liberado.

Las nebulosas planetarias son muy comunes, se cree que sus gases se expanden a altas velocidades que pueden alcanzar los 10 a 30 km/segundo, una nebulosa típica contiene carbono, hidrógeno y nitrógeno y tiene un tamaño de un año luz. Una nebulosa planetaria existe durante 50.000 años aproximadamente hasta que los gases se mezclan con el medio interestelar.

### ***Enanas Blancas***

Las estrellas de baja masa nunca alcanzan una presión suficiente para iniciar las reacciones termonucleares que utilicen el oxígeno y el carbono como combustibles. Si no hay reacciones termonucleares el núcleo se enfría y el resultado son las llamadas **enanas blancas**. Estas estrellas tienen el mismo tamaño de la tierra y mantienen su tamaño sin colapsarse debido a su densidad; los electrones del núcleo están degenerados y la presión ejercida por ellos soporta el colapso total de la estrella.

Las enanas blancas son un millón de veces más densas que el agua y un cucharada de su material en la tierra pesaría alrededor de 5 toneladas, se calcula que su densidad alcanza  $10^9$  kg/m<sup>3</sup> y cuanto más masivas son más pequeñas. Existe, sin embargo un límite para que la estrella pueda ser soportada por la presión de los electrones degenerados, este máximo de masa se conoce como límite de **Chandrasekhar** que es igual a 1,4 masas solares, por encima de este valor, el núcleo se colapsa para formar una **estrella de neutrones** o un **agujero negro**.

### ***Estrellas masivas (> 4 masas solares)***

Como en las estrellas de masa menor, la vida de una estrella masiva comienza su fin cuando agota el hidrógeno como combustible principal, en este momento se convierte en una gigante con un núcleo de helio y una capa de hidrogeno en combustión, el núcleo comienza a tener reacciones termonucleares cuando la temperatura y presión aumentan lo suficiente para desencadenarlas.

Una vez que termina la fusión de helio en el núcleo, éste queda rico en carbono y oxígeno, y es en este punto cuando la muerte de la estrella masiva toma un camino diferente a la de las estrellas de menor masa.

El núcleo remanente de carbón y oxígeno supera el límite de Chandrasekhar, y de esta manera, su colapso lo lleva a tener las condiciones necesarias para que se inicie un nuevo ciclo de reacciones en las cuales el carbono comienza a fusionarse en oxígeno, neon, sodio y magnesio. Si la estrella tiene más de 8 masas solares una vez que el carbono se agota, el núcleo nuevamente se contrae alcanzando temperaturas de  $10^9$  K momento en el que se dispara la fusión de neon aumentando las concentraciones de oxígeno y magnesio, y cuando éste se agota se inicia la combustión de oxígeno y después la fusión del silicio que produce una gran variedad de átomos, entre ellos, hierro.

Durante todas estas fases la luminosidad, temperatura y radio de la estrella varían ampliamente lo que hace que se desplace en varias zonas del diagrama HR (estrellas variables)

Por cada estado de fusión nuclear la estrella agrega un nuevo cinturón de material alrededor de su núcleo, después de varias etapas la estructura interna de una estrella masiva (mayor que 25 masas solares) se asemeja a una cebolla por sus diferentes capas de material rodeando al núcleo. La cantidad de energía liberada por estas reacciones hace que la estrella se dilate convirtiéndose en una estrella **supergigante**.

Una estrella supergigante no puede continuar indefinidamente adicionando capas de material a su estructura, y las reacciones termonucleares se detienen cuando el núcleo alcanza un tamaño crítico.

### **Supernovas**

Las estrellas mayores a 8 masas solares no forman nebulosas planetarias ni enanas blancas, sino que terminan en explosiones espectaculares llamadas **Supernovas**.

Cuando la temperatura en el núcleo de una estrella masiva aumenta lo suficiente se inician reacciones termonucleares que liberan inmensas cantidades de neutrinos. La estrella para compensar la pérdida de energía por el escape de neutrinos aumenta la combustión nuclear o se contrae más, pero cuando llega la etapa estable con la producción de hierro no se produce más energía termonuclear y solo queda la contracción del núcleo como fuente de ella.

La temperatura producida por la rápida contracción se eleva hasta los  $5 \times 10^9$  K en una centésima de segundo. En este momento se liberan gran cantidad de rayos gamma que impactan sobre los núcleos de hierro rompiéndolos en partículas alfa en un proceso denominado  **fotodesintegración**. En otra centésima de segundo el núcleo es tan denso que los electrones se combinan con los protones para formar neutrones, proceso en el cual se liberan gran cantidad de neutrinos. Esta liberación de neutrinos enfría a la estrella llevándola a contraerse aun más. En un lapso de 0,25 segundos después de esta contracción rápida, se detiene de manera súbita y la parte mas interna del núcleo rebota y se expande creando una poderosa onda de presión hacia el exterior.

Durante esta etapa las capas externas se han enfriado y están cayendo a un 15% de la velocidad de la luz, chocando contra el material que sale, en una fracción de segundo el material que cae al núcleo comienza a salir nuevamente hacia el exterior. Después de algunas horas alcanza la superficie de la estrella en donde se libera en un fenómeno llamado supernova.

Antes de que la supernova ocurra, la compresión de las ondas de choque ocasionan nuevas reacciones termonucleares que producen muchos elementos químicos más pesados que el hierro (zinc, oro, plata, mercurio uranio, etc).

Los remanentes de supernovas son detritus que deja la explosión esparcidos por el espacio (nebulosa del Velo). Las partículas de gas colisionan produciendo excitación del material y su brillo. En general cubren amplias zonas del espacio.

Igualmente cuando el material de estos remanentes colisiona con el medio interestelar radian energía en una amplia gamma de amplitudes de onda. En muchos casos una nebulosa es todo lo que queda después de la explosión de supernova, sin embargo, para otras supernovas, el núcleo puede permanecer como una **estrella de neutrones** o un **agujero negro** dependiendo de la masa y de las condiciones del núcleo.

El límite de masa para que una estrella forme una estrella de neutrones o un agujero negro se denomina **masa de Oppenheimer - Volkoff** que es de 5,7 masas solares. Las estrellas de neutrones tienen alrededor de 30 km de diámetro y su densidad es  $2 \times 10^{14}$  veces la del agua.

### **Pulsares**

Las características físicas de estas estrellas son tan extrañas que en principio no se creyó posible su existencia hasta el descubrimiento de los **Pulsares**. Un grupo de astrónomos encabezados por **Jocelyn Bell** se encontraban escaneando el cielo para determinar la influencia atmosférica en las ondas de radio cuando descubrieron fuentes de radio que pulsaban en periodos muy regulares (1,3373011 segundos), a este fenómeno, después de descartar que eran señales de civilizaciones extraterrestres, se le denominó Pulsar (Pulsating Star). En estudios posteriores se encontraron por todo el cielo.

¿Por qué los pulsares son estrellas de neutrones? Las estrellas de neutrones son muy pequeñas y su rotación muy rápida; el tamaño de las estrellas de neutrones indican que tienen campos magnéticos intensos.

Las partículas cargadas giran en espiral alrededor de las líneas del campo magnético produciendo radiación electromagnética. Esta energía es llamada **radiación no térmica** que como lo dice su nombre no es producida por una fuente de calor sino por partículas aceleradas (llamada también **radiación sincrotrón**). La estrella radia pulsos de energía a través de un eje magnético que no coincide con el eje polar (de manera similar a la luz emitida por un faro en las costas), si por coincidencia la tierra esta alineada con el eje magnético del pulsar cada vez que éste rote observaremos un flash de energía que parte de la estrella. Así, desde la tierra solo se identifican los pulsares en los casos en que se presente esta coincidencia, por tanto deben existir muchos pulsares que al menos por este método no se lograran descubrir.

Los radiotelescopios han detectado pulsares en una amplia gamma de pulsos desde 4,308 segundos hasta 0,0016 segundos. La radiación emitida por la estrella de neutrones es la que excita e ilumina a las nebulosas remanentes de la explosión. La energía perdida hace que se vaya disminuyendo la velocidad de giro y eventualmente el pulsar termina cuando la velocidad de rotación es muy lenta como para producir pulsos de radiación.

## **8. EL SISTEMA SOLAR.** *Gregorio José Molina Cuberos*

El Sistema Solar está formado por una estrella de tamaño media, el Sol y ocho planetas, Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. También incluye otros objetos de menor masa como son los satélites de los planetas y numerosos cometas y asteroides. Para entender la gran variedad de tamaño y composición que presentan estos objetos, es importante estudiar el origen y evolución del sistema solar.

### **La Nebulosa Solar**

Todo empezó hace unos 5000 millones de años cuando una gran nube compuesta principalmente de hidrógeno y helio comenzó a colapsar debido a la acción de una fuerza externa, posiblemente una explosión de supernova. Una vez saltada la chispa, la fuerza de gravedad hace el resto. La nebulosa empieza a girar cada vez más rápido. Las colisiones entre las partículas provocan un achatamiento en la nebulosa, inicialmente esférica, que hace que cada vez se parezca más a un disco. También comienza a calentarse debido a los choques entre las partículas.

La atracción gravitatoria concentra la masa en el interior de la nebulosa, haciendo que su núcleo crezca cada vez más. A este núcleo central se le denomina protoestrella y, con el tiempo, dará lugar al Sol. El gas y el polvo condensan formando granos con distinta composición química dependiendo del lugar donde se formen. Las regiones del interior del disco están muy calientes y las exteriores más frías. Los granos de polvo empiezan a agregarse, formando lo que se denomina planetesimales que van aumentando su tamaño conforme se agrupan unos a otros.

Del mismo modo que alrededor del protosol se forman protoplanetas, también se pueden formar protolunas alrededor de los protoplanetas más grandes. Este es el caso de Júpiter, que se encuentra rodeado por 4 grandes satélites. El caso de nuestra Luna, es distinto, no nació por este proceso sino debido a un impacto con la Tierra.

Los planetas más cercanos, los denominados planetas rocosos, se formaron tan cerca del Sol que la alta temperatura hizo que no pudieran atrapar a los materiales gaseosos, de ahí su composición rocosa. Justo lo contrario ocurrió a mayores distancias del Sol, donde la temperatura era mucho menor. A más baja temperatura el gas no pudo escapar y pasó a formar parte del planeta, aumentando su masa. Por esa razón los denominados planetas exteriores son gigantes gaseosos, con masa muy superior a sus colegas rocosos.

La caída de material en la protoestrella hizo que densidad y temperatura aumentaran hasta que el Sol se “encendió”, emitió una gran cantidad de radiación, gas y polvo al sistema solar. Esta etapa de juventud solar afectó a la formación de los planetas ya que arrancó cualquier resto de gas que hubiera alrededor de los planetas más cercanos y menos masivos.

Además de planetas y lunas, se pueden encontrar en el sistema solar cometas y asteroides. Los asteroides son restos de planetesimales, que no han contribuido a la formación de planetas. Los cometas vienen de una esfera gigante que rodea al sistema solar y que se formó en las fases iniciales de la nebulosa solar.

## El Gran Bombardeo

Todo este proceso duró aproximadamente unos 100 millones de años. Por aquel entonces los cuerpos de unos 100 km de tamaño era muy numerosos, y su impacto con los planetas originaron grandes cráteres, cuyos restos son aun visibles.

Conforme se fueron consumiendo los planetesimales fue decreciendo el bombardeo sobre la superficie de los planetas. Los planetas interiores se fueron enfriando y se produjo en su interior procesos de separación de materiales según su densidad. De este modo al igual que el agua se separa del aceite, los materiales más pesados se colocaron en el interior del planeta y los más ligeros en el exterior.

El proceso de captura de material por parte del sol y de los planetas todavía ocurre en la actualidad, aunque a una escala muy inferior.

## Planetas rocosos

El planeta más próximo al sol es **Mercurio**. Su órbita es muy excéntrica; en el perihelio (mínima distancia al Sol) está sólo a 46 millones de km del Sol pero en el afelio (máxima distancia al Sol) está a 70 millones. El perihelio de la órbita precede (se desplaza) alrededor del sol a un ritmo muy lento. Durante el siglo XIX se determinó la órbita de Mercurio de un modo muy preciso, pero no se podía explicar la precesión mediante la mecánica Newtoniana. Las pequeñas diferencias entre lo observado y lo previsto fueron un problema hasta que Einstein presentara su Teoría de la Relatividad General para poder explicar este extraño comportamiento, lo cuál supuso un importante factor para la aceptación de esta teoría.

Partiendo de Mercurio y antes de llegar a la Tierra nos encontramos a **Venus**. Ha sido ampliamente visitado por misiones espaciales, aunque la mayor parte del conocimiento que se tiene del planeta viene de la sonda Magallanes que cartografió la superficie del planeta con un potente radar capaz de penetrar el espeso y continuo manto de nubes de la atmósfera. La presión de la atmósfera de Venus en la superficie es de 90 atmósferas (la misma que a 1 km bajo agua). Esta densa atmósfera produce un intenso efecto invernadero que eleva la temperatura superficial de Venus unos 400 grados hasta alcanzar los 740 K (suficientes para fundir el plomo).

El siguiente planeta es el mejor conocido de todos, nuestra querida **Tierra**. Fue Copérnico (siglo XVI) quién comprendió por primera vez que la Tierra era sólo un planeta más. La Tierra está dividida en varias capas que tienen distintas propiedades químicas y sismológicas: corteza, manto, región de transición y núcleo. El grosor de la corteza varía considerablemente, es más delgado bajo los océanos y más grueso bajo los continentes. La Tierra tiene un único satélite, la **Luna**, aunque por su tamaño es enorme comparado por el planeta que lo orbita.

El último de los planetas rocosos es **Marte**, el dios de la guerra, que debe su nombre al color rojizo de su superficie. Marte posee dos satélites: Fobos y Deimos que claramente manifiestan su origen como asteroides capturados. Hay clara evidencia de erosión en varios lugares de Marte, incluyendo grandes inundaciones y pequeños sistemas fluviales. Está claro que en algún momento del pasado hubo agua en la superficie. Incluso grandes lagos y océanos. Pero parece que fue en un remoto pasado, hace unos

4000 millones de años y por un periodo muy breve. Recientemente se han encontrado evidencias de agua líquida por debajo de la superficie y que, en ocasiones, puede salir a la superficie.

## **Planetas gaseosos**

El planeta gaseoso más cercano al Sol, el más grande, y el más representativo es **Júpiter**. El descubrimiento en 1610 por parte de Galileo de las cuatro lunas principales de Júpiter: Io, Europa, Ganímedes y Calixto (conocidas también como los satélites Galileanos) fue el primer descubrimiento de un centro de movimientos aparentemente no centrado en la Tierra. Los planetas gaseosos no tienen superficies sólidas, sencillamente su materia gaseosa se hace más densa con la profundidad (el radio y el diámetro indicados para estos planetas se refieren al nivel correspondiente a una presión de 1 atmósfera). Lo que vemos al mirar a estos planetas es la parte superior de las nubes más altas de su atmósfera (ligeramente por encima del nivel de 1 atmósfera de presión).

**Saturno** ha sido conocido desde tiempos prehistóricos. Galileo fue el primero que lo observó con telescopio, en 1610. Apreció su extraña apariencia pero no encontró una explicación a su aspecto. Las primeras observaciones de Saturno fueron complicadas de entender por el hecho de que la Tierra cruza el plano de los anillos de Saturno cada varios años. Una imagen a baja resolución de Saturno cambia enormemente en función de la época en que se obtenga. No fue hasta 1659 cuando Christiaan Huygens dedujo correctamente la geometría de los anillos. Los anillos de Saturno fueron los únicos conocidos en el sistema solar hasta que en 1977 se descubrieron unos muy tenues alrededor de Urano y, más recientemente, alrededor de Júpiter y Neptuno.

**Urano**, el primer planeta descubierto en la era moderna, fue descubierto para la cultura occidental por William Herschel mientras escrutaba sistemáticamente el cielo con su telescopio el 13 de marzo de 1781. De hecho, ya había sido visto antes en numerosas ocasiones pero había sido ignorado tomándolo por una simple estrella. La mayoría de planetas rotan alrededor de un eje casi perpendicular al plano de la eclíptica, pero el eje de rotación de Urano es prácticamente paralelo a este plano. Cuando la sonda Voyager 2 pasó cerca de Urano, su polo sur apuntaba casi directamente al Sol. Este hecho nos lleva a la curiosa conclusión de que las regiones polares de Urano reciben más energía del Sol que sus regiones ecuatoriales. No obstante, Urano es más cálido en su ecuador que en sus polos. El mecanismo responsable de este hecho es todavía desconocido

Después del descubrimiento de Urano se observó que su órbita no era la que le correspondía según las leyes de Newton. Por lo que se predijo que otro planeta más lejano debía estar perturbando la órbita de Urano. Neptuno fue observado por primera vez por Galle y d'Arrest el 23 de septiembre de 1846 muy cerca de la posición predicha independientemente por Adams y Le Verrier a partir de cálculos basados en las posiciones observadas de Júpiter, Saturno y Urano. Se entabló una disputa entre ingleses y franceses (pero no, aparentemente, entre Adams y Le Verrier en persona) sobre la prioridad y el derecho a dar nombre al nuevo planeta; actualmente ambos figuran como descubridores de Neptuno. Observaciones posteriores muestran que las órbitas calculadas por Adams y Le Verrier divergen de la órbita real de Neptuno con gran rapidez. Si la búsqueda del planeta hubiese tenido lugar unos pocos años antes o después, no se habría encontrado al planeta cerca de la posición predicha.

## **9. ASTROBIOLOGÍA.** *Gregorio José Molina Cuberos*

### **La vida en el planeta Tierra**

La vida se encuentra en cualquier lugar de la Tierra, desde los helados polos hasta los desiertos más calurosos. También se ha extendido por los océanos, que llegan hasta los 10 km de profundidad, donde la luz es inexistente y la presión mil veces superior a la terrestre.

Conforme hemos ido explorando nuestro planeta hemos encontrado organismos vivos en los lugares más insospechados, podemos destacar como una norma que se han encontrado organismos vivos en cualquier lugar donde se encuentre el agua líquida con algún tipo de energía.

No se tiene muy claro en que condiciones se formó y desarrolló la vida en la Tierra. En 1924, el bioquímico soviético Oparin publicó una obra que presentaba una concepción evolucionista del origen de la vida. Los primeros sistemas vivos habrían aparecido tras una larga evolución gracias a un sistema químico particular llamado “prebiótico”. Sus ideas se extendieron por todo el mundo, pero no fue hasta los años 50 cuando gracias a los experimentos de Miller se obtuvieron las primeras confirmaciones experimentales de los procesos predichos por Oparin.

Otra posibilidad es que la vida viniera del exterior, teoría conocida como la “panespermia”, una gran variedad de recientes descubrimientos han respaldado esta teoría, aunque parcialmente, al establecer que si que existe probabilidad de transferencia de organismos vivos en el espacio. Marte tuvo las condiciones necesarias para mantener la vida mucho antes que la Tierra. En 1996 la NASA hizo público el hallazgo de posibles trazas de vida que en un meteorito marciano; poco después se descubrió que la muestra había sido contaminada con material terrestre. En la actualidad la comunidad científica no excluye, ni mucho menos, un origen externo a la vida en la Tierra.

### **Nichos de vida en el Sistema Solar**

Si nos preguntamos sobre la posible existencia de vida fuera de la Tierra, primero que debemos de conocer es la Zona de Habitabilidad de nuestro sistema solar. La ZH es se define como la distancia orbital media para que un planeta tenga temperatura superficial adecuada para el desarrollo y la subsistencia de la vida basada en el carbono.

En el Sistema Solar la ZH se ha ido alejando del Sol a medida que éste evolucionaba, hace unos 3800 millones de años Marte y la Tierra estaban dentro. La superficie marciana muestra un gran número de evidencias sobre un pasado mucho más cálido con abundante agua líquida. En la actualidad hace demasiado frío y la presión atmosférica es demasiado baja como para que exista agua en estado líquido, si bien si puede estar en estado sólido (hielo) y gaseoso (vapor de agua). Sin embargo, no se excluye la posibilidad de que ocasionalmente pueda existir agua líquida en la superficie, incluso hoy en día. Comparando imágenes tomadas en distintos momentos se han encontrado evidencias de regueros de agua que no existían hace 4 años. Este agua proviene del interior del planeta, donde las condiciones permiten la existencia de agua en estado líquido. Ocasionalmente el agua puede escapar al exterior y fluir.



Europa, una de las lunas de Júpiter, es otro lugar donde se podrían dar las condiciones adecuadas para mantener la vida. Su superficie está completamente recubierta por una capa de 15 km de hielo que se encuentra resquebrajada, lo que significa que el hielo flota sobre un océano de agua global. Los organismos no podrían sobrevivir justo en la superficie del hielo, ya que ahí la temperatura es de 160 grados bajo cero, demasiado frío hasta para que sobreviva un microbio a menos que se encuentre en estado de hibernación. Pero una breve exposición a la capa superior de hielo puede proporcionar a los organismos del océano de Europa con una fuente permanente de alimentación. El alimento, oxidantes producidos por radiación o bombardeo sobre la capa externa del hielo, caería al interior del océano por las áreas de deshielo.

### **La Vida más allá del Sistema Solar**

Se han encontrado muchos planetas fuera del sistema solar. Sin embargo, las técnicas actuales de detección no nos permiten encontrar planetas del tipo de la Tierra en la zona de habitabilidad de otras estrellas. Pero si podríamos encontrar lunas que, como en el caso de Europa, se reunieran las condiciones adecuadas para albergar vida. Este es el caso de 47 UMa, una estrella en la Osa Mayor. El planeta gigante detectado estaría demasiado lejos de la zona de habitabilidad, eso significaría que, en principio, las lunas estarían demasiado frías como para albergar vida. Pero si consideramos la energía de mareas que el planeta gigante proporciona a sus hipotéticos satélites, esta podría ser la energía necesaria para hacer que si esté en la zona de habitabilidad.

Las nuevas técnicas de telescopios terrestres que se están desarrollando podrán detectar fácilmente el tránsito de los planetas gigantes. Sin embargo, para detectar planetas terrestres es necesario hacerlo desde el espacio. Las nuevas misiones (COROT, Eddington, Kepler) serán capaces de detectar planetas como la tierra orbitando en estrellas como el sol. Se estima que el telescopio Eddington podrá encontrar alrededor de 2000 planetas terrestres, de ellos unas decenas dentro de la zona de habitabilidad de la estrella.

Los planetas terrestres encontrados serán el objeto de proyectos más ambiciosos con la intención de buscar “señales de vida” en su atmósfera. Dos proyectos similares están siendo estudiados: Darwin y TPF. Ambos consisten en una batería de telescopios de infrarrojo en el espacio en los que la luz se combina de una manera muy inteligente (interferometría nula) de manera que se elimina la luz de la estrella y revela la del planeta. Trazas de CO<sub>2</sub> en el espectro indicaría la presencia de una atmósfera que podría ser habitable. La presencia de vapor de agua confirmaría la habitabilidad. Posiblemente la manera más eficaz de encontrar primitivas formas de vida sería la detección masiva de oxígeno en la atmósfera, ya que la única manera que se conoce de producir oxígeno de manera abundante es mediante organismos.

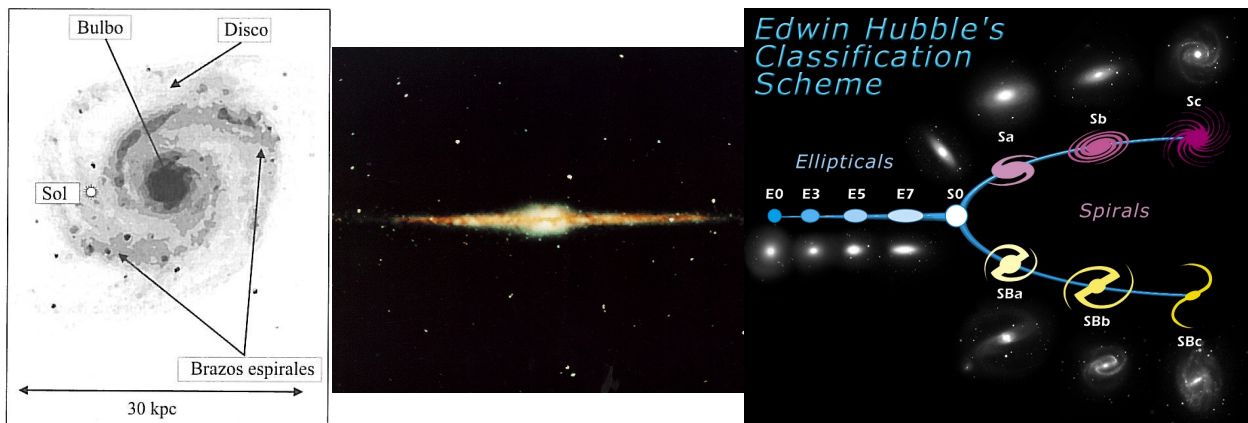
La búsqueda de vida en otros planetas no es únicamente pasiva, se desarrollan proyectos para que hipotéticas civilizaciones exteriores conozcan de nuestra existencia. El primer mensaje se envió en 1974 desde el telescopio de Arecibo hacia el cúmulo globular M13. Los científicos no esperan una respuesta rápida a este mensaje, pues el cúmulo se encuentra a 25 000 años luz. Cualquier mensaje de respuesta deberá esperar unos 50 mil años.

## 10. LAS GALAXIAS. *Javier Bussons Gordo*

### **Nuestra galaxia: la Vía Láctea**

La Vía Láctea es el inmenso conjunto de astros, nebulosas, etc. del que forman parte nuestro sistema solar y todas las estrellas visibles. Por extensión, se denomina galaxia (del griego: lácteo) a cada uno de los sistemas semejantes que se encuentran aislados y esparcidos en el universo.

Nuestra galaxia está compuesta por estrellas (unos cien mil millones) y por material interestelar difuso (gas y polvo). Morfológicamente se distinguen tres partes: un **disco** de 100 000 años-luz de diámetro y tan solo 2 000 años-luz de grosor, con estructura espiral, poblado por estrellas jóvenes; un **bulbo**, abultamiento central esférico (diámetro: 15 000 años-luz; grosor: 4 000 años-luz) que incluye el núcleo galáctico; y el **halo**, componente esférica (diámetro: 150 000 años-luz) que envuelve a las anteriores y donde abundan las estrellas viejas y pobres en metales (elementos más pesados que el helio). La unidad más conveniente para medir distancias en una galaxia se llama kiloparsec (1 kpc = 3 262 años-luz). El Sol está ubicado en un brazo del disco espiral (el de Orión) a 28 000 años-luz del centro galáctico (Sagitario A), es decir, a 8.5 kpc. La banda luminosa que llamamos Vía Láctea no es más que la proyección en el cielo del disco galáctico visto desde nuestra posición en él; en todas las demás direcciones vemos muchísimas menos estrellas.



Además de estrellas dispersas, en la galaxia se distinguen grupos de estrellas nacidas de la misma nube progenitora que se mantienen unidas por lazos gravitatorios. Estos **cúmulos estelares** pueden ser abiertos (en el disco, con forma irregular, formados por decenas o centenares de estrellas jóvenes, de 1 a 1000 millones de años de edad) o globulares (en el halo, con forma esférica, con hasta un millón de estrellas viejas, de unos 10 000 millones de años de edad). La mayor densidad de estrellas, polvo y gas en el disco, especialmente en sus brazos, provoca que esta sea una zona propicia para la formación de nuevas estrellas (podríamos decir que el disco es la sección de maternidad y el halo la de geriatría).

Aunque el medio interestelar es muy poco denso y sólo representa el 10% de la masa de la galaxia, su química es muy interesante. Una centésima parte de él es polvo (silicatos, grafitos) y el resto es gas (sobre todo moléculas y átomos no neutros o iones), siendo los elementos más abundantes el hidrógeno (H), seguido del helio (He), oxígeno (O), carbono (C) y nitrógeno (N). En el "vacío" interestelar se han descubierto más de cien especies químicas, casi todas muy conocidas en la Tierra (amoníaco, agua, monóxido de carbono, alcohol etílico, ácido fórmico, etc.) y los granos de polvo juegan

un papel esencial protegiendo a especies moleculares incipientes del efecto aniquilador de la luz ultravioleta de estrellas cercanas. El estudio del medio interestelar puede ayudar a desvelar cómo llegaron las moléculas prebióticas a la Tierra.

### Otras galaxias

Hasta los años 30 (debate Shapley vs Curtis) no se supo de la existencia de otras galaxias. El cielo aparecía como un conjunto de puntos y nebulosas pero, como no se dominaba la medición de distancias, se carecía de perspectiva de profundidad. Al no estar definido el tamaño de nuestra galaxia, no se podía hablar de que hubiera algo más allá. Una observación crucial de E. Hubble, la de estrellas variables llamadas cefeidas en la nebulosa M31, permitió por fin a H. Leavitt, mediante la relación período-luminosidad medir la distancia a dicha nebulosa. El resultado (más de un millón de años-luz) era muy superior a los 100 000 años-luz de las estrellas más lejanas y por tanto M31 no era una nebulosa dentro de nuestra galaxia sino ... ¡otra galaxia! Desde entonces se reserva el término nebulosa para nubes de gas en nuestra galaxia.

La receta para medir la **distancia a una galaxia** consiste en medir una variable *observable* que permita conocer su luminosidad  $L$  o su diámetro  $D$ : si conocemos la luminosidad y medimos el flujo  $S$  (energía recibida por unidad de tiempo y superficie) se puede obtener la distancia  $d$  mediante  $L=4\pi Sd^2$ ; si conocemos el diámetro y medimos el tamaño (ángulo) aparente  $A$ , se obtiene la distancia con  $D=Ad$ . Existen dos relaciones muy útiles en este proceso, la que asocia el período de variabilidad de una estrella **cefeida** con su luminosidad y la que asocia la máxima diferencia de velocidades de rotación de estrellas en una galaxia espiral con la luminosidad total de ésta (Tully-Fisher).

Según su morfología, las galaxias se clasifican en: **elípticas** (E), **lenticulares** (S0), **espirales** (S), espirales **barradas** (SB) e **irregulares**. La formación de estrellas en las galaxias produce la desaparición progresiva del gas y el enriquecimiento del medio interestelar en materiales pesados. En las elípticas (tipo llamado tardío), el gas se ha agotado, ya no nacen apenas estrellas y las que hay son viejas y orbitan despacio, al contrario que en las espirales. Las galaxias normales emiten radiación en todas las frecuencias pero principalmente en el rango visible. El desplazamiento de las líneas del espectro respecto de sus posiciones en un espectro de laboratorio permiten detectar movimientos del conjunto de la galaxia y también de alguna componente respecto del conjunto.

Existe un pequeño porcentaje de galaxias, llamadas de **núcleo activo** por ser éste más brillante que el resto de la galaxia, donde un agujero negro supermasivo (de millones a miles de millones de masas solares) engulle las estrellas y materia interestelar circundantes provocando la emisión de cantidades ingentes de energía en todas las frecuencias y especialmente en forma de rayos X y rayos gamma.

### Estructuras mayores: cúmulos y supercúmulos de galaxias

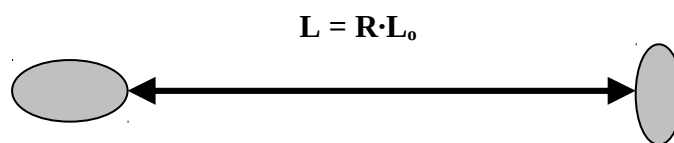
Las galaxias se agrupan en estructuras mayores llamadas cúmulos y supercúmulos galácticos. La Vía Láctea pertenece, junto a las Nubes de Magallanes, Andrómeda y otras, al llamado Grupo Local, que a su vez forma con otros cúmulos como el de Virgo y el de la Osa Mayor, el Supercúmulo Local o de Virgo. Las teorías de formación de las galaxias (por contracción y aplanamiento de una nube protogaláctica) y, sobre todo, de las estructuras superiores a partir de fluctuaciones en la sopa primigenia resultante del Big Bang, así como la observación por E. Hubble de la expansión del universo nos adentrarán en el próximo tema en el fascinante mundo de la cosmología.

# 11. COSMOLOGÍA. Alfonso Navarro

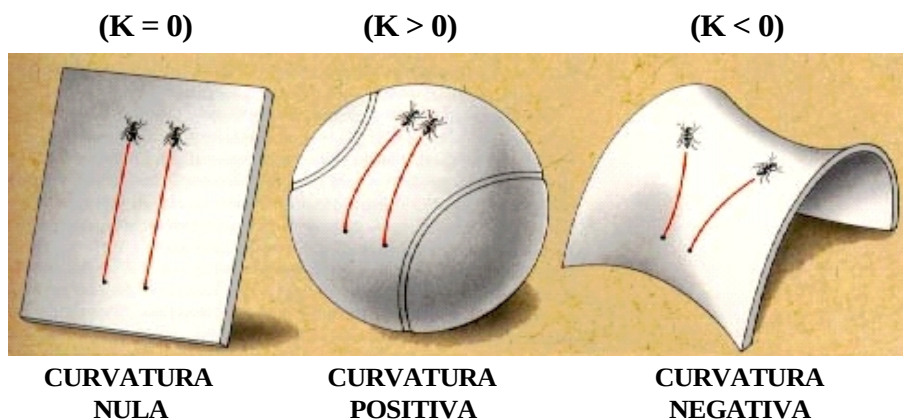
El Universo es viejo y grande: empezó a existir hace 13.700 millones de años y, en el momento actual, las cosas mas lejanas que podemos observar, (*fondo de microondas*), están a una distancia de 46.000 millones de años-luz. A primera vista parece muy variable, pero si manejamos una escala de distancias suficientemente grande, (mas de 1.000 millones de años-luz), el Universo es prácticamente igual en todos los sitios, (*homogeneidad*), y direcciones, (*isotropía*).

Para describir la conducta del Universo hay que acudir a la *Relatividad general* de Einstein. De acuerdo con ella, la materia y la energía influyen en la geometría del espacio (y el tiempo) produciendo una "curvatura" que afecta al movimiento de los cuerpos, (*gravedad*). Como la materia/energía se distribuye de forma parecida por todo el espacio, lo mismo sucede con la geometría: las distancias entre los objetos del Universo deben cambiar de la misma forma, al pasar el tiempo, y la curvatura del espacio ser la misma en cualquier lugar.

Llamaremos "factor de escala",  $R$ , del Universo en un instante  $t$  de su historia, a la proporción, (igual en todos sitios), en que cambian todas las distancias al pasar del momento actual ( $t_0$ ) al instante  $t$ . Si un par de galaxias, están separadas ahora por una distancia  $L_0$ , su separación  $L$ , en otro momento  $t$ , será:

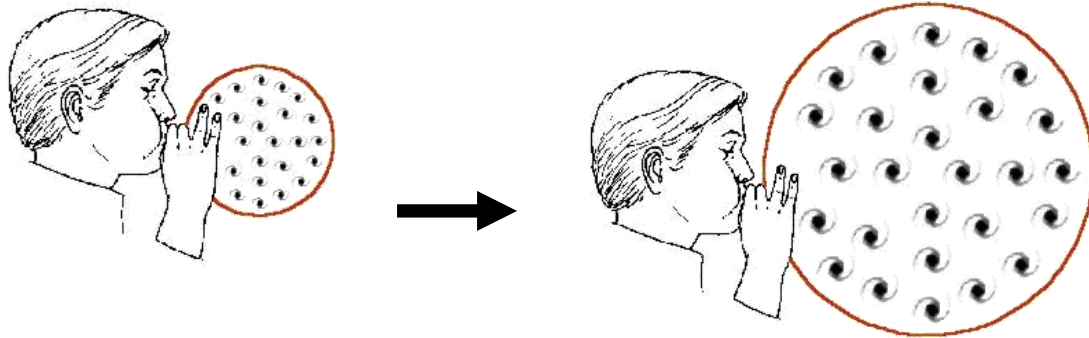
$$L = R \cdot L_0$$


Como todos los lugares y direcciones tienen las mismas propiedades, el espacio no puede tener "bordes" ni "curvarse" de forma diferente en cada lugar: debemos verlo como una "superficie", de tres dimensiones, ilimitada e igualmente curvada en todos sus puntos. Hay tres situaciones diferentes, dependientes del signo de una "constante de curvatura"  $K$ : en dos dimensiones, (ver Figura), corresponden a un plano, ( $K=0$ ), una superficie esférica, ( $K>0$ ), o la superficie de una silla de montar, ( $K<0$ ).



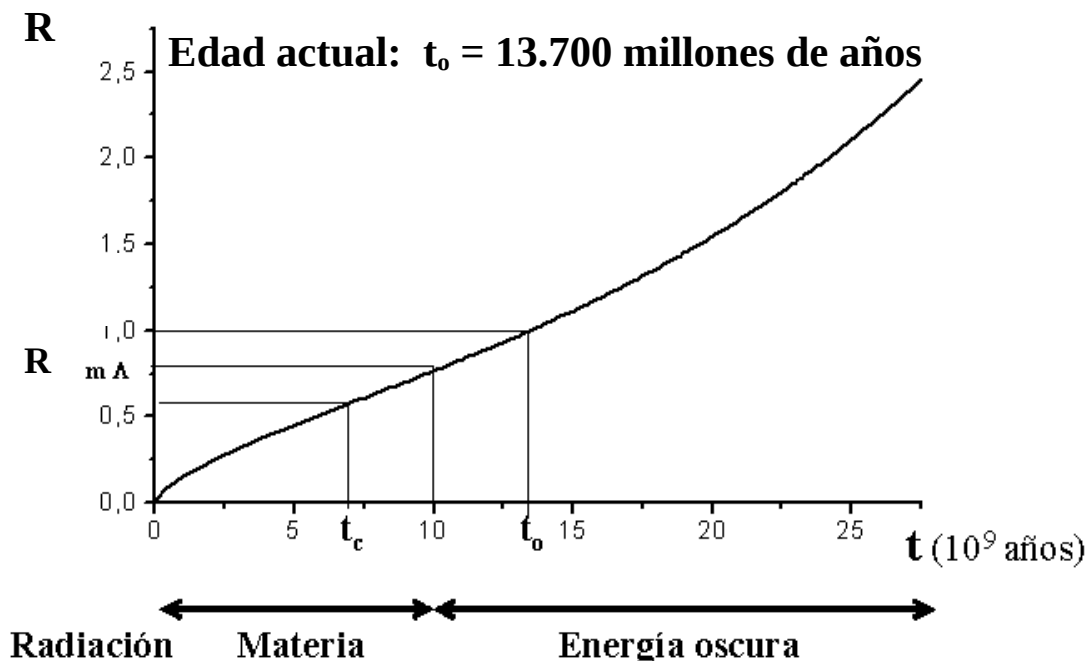
Para  $K > 0$ , (curvatura positiva), el espacio, al igual que la superficie esférica, es cerrado y finito; si  $K \leq 0$ , (curvatura nula o negativa), el espacio, como sucede en dos dimensiones, es abierto e infinito.

Según la Relatividad general, el factor de escala  $R$  del Universo ( y, por tanto, todas las distancias), varía con el tiempo de acuerdo con lo que valga la densidad  $\rho$  de materia/energía contenida en él. Las observaciones indican que el Universo está en *expansión*: el espacio “crece” al mismo ritmo en todos sitios dando lugar a una velocidad relativa entre galaxias proporcional a la distancia que las separa, (*ley de Hubble*).



El factor de escala  $R$  crece ahora a una velocidad, (*constante de Hubble*), de  $H_0 = 7.2$  cienmilésimas por millón de años. Si el Universo se hubiera expandido siempre con esa velocidad, habría necesitado 13.800 millones de años, (*tiempo de Hubble*), para alcanzar el estado actual, ( $R = 1$ ), a partir de la “*singularidad inicial*”, ( $R = 0$ ): un estado infinitamente denso y caliente en el que desaparecen todas las distancias.

Las ecuaciones de la Relatividad general nos dicen que la velocidad de la expansión del Universo varía de acuerdo con el tipo de materia/energía que predomina en cada fase de su evolución. Se consideran tres tipos fundamentales: *radiación*, *materia* (normal y “*oscura*”) y “*energía oscura*”, con un peso respectivo del 0.0008 %, 26 % y 74 % en la densidad total actual.

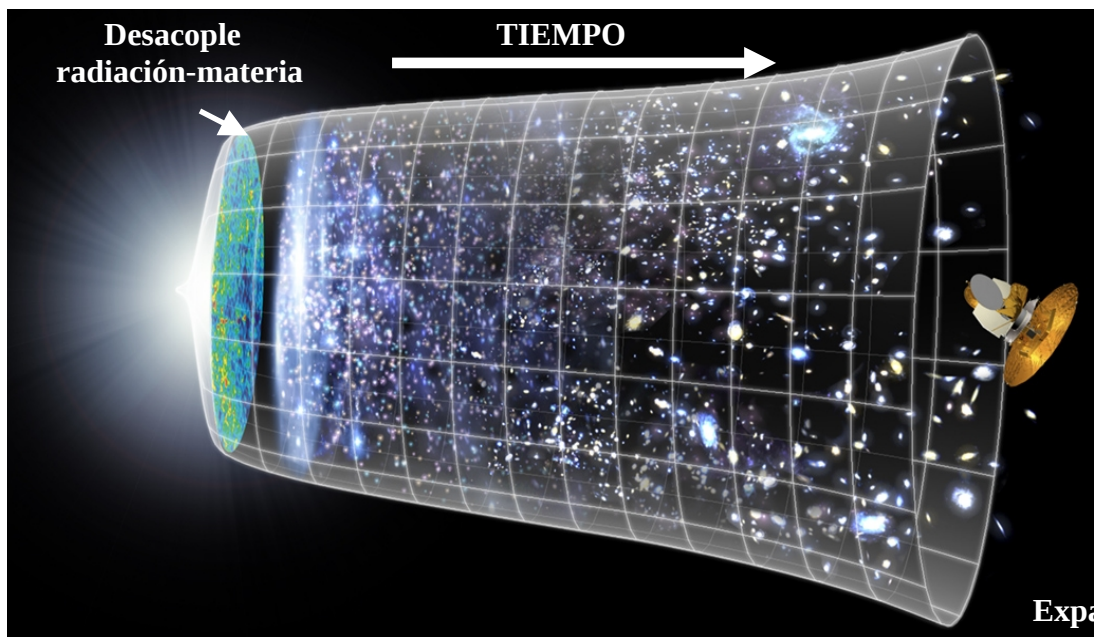


El Universo recién nacido, (*Big-Bang*), pasó por una fase inicial, (*Inflación*), muy corta, ( $10^{-34}$  s), en la que todas las distancias se multiplicaron por un factor enorme, ( $10^{25}$ ). Entró, seguidamente, en un periodo con velocidad de expansión decreciente, (7.100 millones de años), dominado, inicialmente, por la *radiación*, (50.000 años), y,

posteriormente, por la *materia*. Hace 6.600 millones de años, ( $t_c$ ), en plena *era de la materia*, un misterioso ingrediente del Universo, la *energía oscura*, produjo un cambio de tendencia: la velocidad de la expansión empezó a crecer, a un ritmo cada vez mayor.

La densidad de la *energía oscura*, (asociada al vacío), tiene la extraña propiedad de permanecer constante al expandirse el espacio, (mientras disminuye la densidad de *radiación y materia*). Debido a ello, hace 4.100 millones de años, se convirtió en el ingrediente dominante y el Universo entró en un fase de duración ilimitada, (*era de la energía oscura*), y velocidad de expansión indefinidamente creciente.

En este escenario ha tenido lugar la evolución de los objetos y estructuras que forman el Universo actual:



Tras una primera fase densa y caliente, a la edad de 380.000 años, el Universo se enfrió lo suficiente como para que pudieran formarse los primeros átomos neutros. La luz pudo, entonces, viajar libremente, (*fondo de microondas actual*), e ir creciendo, por atracción gravitatoria, las pequeñas inhomogeneidades que presentaba la materia. Este crecimiento dio lugar, a la edad de 400 millones de años, al "encendido" de las primeras estrellas. Con una edad de 1.000 millones de años se formaron las primeras galaxias; su evolución, a través de sucesivas generaciones de estrellas, nos lleva al momento actual, (13.700 millones de años).

De acuerdo con la Relatividad general, el tipo de curvatura que presente el Universo depende de la relación  $\Omega = \rho/\rho_c$  entre la densidad total,  $\rho$ , de materia/energía y un valor crítico,  $\rho_c$ , dependiente de la velocidad de expansión., ( $H_0$ ). Si la densidad es mayor que la crítica, ( $\Omega > 1$ ), la curvatura es positiva, ( $K > 0$ ); si es menor, ( $\Omega < 1$ ), la curvatura es negativa, ( $K < 0$ ) y, finalmente, si coincide con el valor crítico, ( $\Omega = 1$ ), la curvatura es nula, ( $K = 0$ ). Según las medidas mas recientes:

$$\Omega = 1.02 \pm 0.02$$

La curvatura es, pues, despreciable: vivimos en un Universo prácticamente "*plano*", (geometría euclídea), increíblemente grande, que se expande cada vez con mayor rapidez....