

La visión del cosmos antes de la invención del telescopio

Autor: Guillermo Sánchez León (<http://web.usal.es/guillermo>). Actualizado: 2010-09-15

La contemplación del cielo una noche estrellada, lejos de la contaminación lumínica, es uno de los espectáculos más sobrecogedores del que se puede disfrutar. No es extraño que durante milenios los seres humanos observasen el cielo y siguiese los ciclos del Sol y de la Luna. La mayoría de las culturas hicieron interpretaciones mitológicas o religiosas de los astros pero también los utilizaron con un sentido práctico, como fue para el establecimiento de calendarios que sirvieron, entre otras cosas, para planificar las cosechas, por ejemplo: los egipcios asociaban la aparición de Sirio, la estrella más brillante del hemisferio norte (ahora sabemos es un sistema binario), como preludio de la crecida del Nilo.

En el presente con nuestros telescopios e instrumentos astronómicos computarizados y sobre todo con los conocimientos acumulados en miles de años ciertas cosas casi nos parecen evidentes pero en absoluto lo son. Aquí nos proponemos describir, necesariamente de forma muy simplificada, como aquellos geniales pioneros sentaron las bases de la Astronomía y Cosmología actual cuando todo lo disponían eran sus propios ojos y algunos instrumentos que básicamente servían para medir la posición de los astros y las variaciones de la forma aparente del Sol y de la Luna.

El nacimiento de la Astronomía y Cosmología científica

El origen de la astronomía se pierde en la noche de los tiempos, hay monumentos relacionados con ciclos astronómicos con milenios de antigüedad. Sabemos que la clasificación de las estrellas en las constelaciones zodiacales se remonta al segundo milenio a. C. pero los antecedentes de la astronomía científica surge entre los siglos VI al IV a. C. en torno al mar Egeo (principalmente griegos, jonios y milesios) cuando una pléyade de pensadores, conocidos como los presocráticos, comenzaron a hacerse preguntas sobre el cosmos, y sobre los fenómenos naturales en general, buscando respuestas racionales. No negaban la existencia de los dioses del Olimpo pero no los consideraban los responsables de las leyes naturales. De aquel conjunto de filósofos naturales, que hoy llamaríamos físicos, se suele considerar el primero a Tales de Mileto (c. 640 - 545 a. C.). Tales de Mileto, según Herodoto y Plinio, predijo el eclipse total de Sol que se produjo el 28 de mayo de 585 a. C. aunque es seguro que esto es parte de la leyenda. Este eclipse impresionó tanto a lidios y medos que firmaron la paz después de cinco años de guerra. Debieron de pasar más de 2000 años para que tras los trabajos de Kepler y Newton se dispusiese de conocimientos de mecánica celeste para poder predecir los eclipses de Sol y los lugares en que podrían contemplarse.

Otro presocrático, Empédocles, nacido en 590 a. C. fue el primero en proponer que la materia estaba compuesta por cuatro elementos básicos (tierra, agua, aire y fuego) gobernado por dos fuerzas: El amor y el odio. Un antecedente del paradigma imperante en la actualidad que

considera que la materia está constituida por unas cuantas partículas elementales que interaccionan entre sí por medio de cuatro fuerzas fundamentales.

Fue en la escuela de Pitágoras, personaje enigmático que no dejó nada escrito, donde por primera vez, en torno a 430 a.C., surgió la idea de que la Tierra era una esfera, basado probablemente en dos observaciones: a) Los marinos habían comprobado que ciertas constelaciones, como la Osa Mayor, para un mismo día y hora aparecen más altas en el horizonte en Egipto que en Grecia (aunque hay otras formas geométricas que explicarían este hecho la esfera era la manera más simple de hacerlo), b) La forma de ocultarse la Luna en los eclipses de Luna era fácilmente explicable si se suponía que era la sombra proyectada por una esfera –La Tierra– sobre la Luna.

La idea de átomo como partículas individuales e indivisibles está asociada a Demócrito y Leucipo. Ambos filósofos tenían ideas del cosmos parecidas. Demócrito situaba a la Tierra en el centro siendo la Luna el astro más próximo a ella seguida del Sol y los planetas, tras el cual estaban las estrellas fijas. Mas allá estaba el caos, formado por átomos que vagaban al azar, sin que hubiese un límite exterior.

El poeta romano Lucrecio Caro, que vivió en la primera mitad del siglo I a. C., en su célebre *De rerum natura* argumenta a favor de un mundo de tamaño infinito. Incluso especula sobre la existencia de mundos habitados por varias razas de hombres y generaciones de bestias. Asimismo pone límites al tiempo cuando se preguntan por qué no hay poetas que canten hazañas más distantes en el tiempo que la guerra de Tebas y la destrucción de Troya, concluyendo que por ese motivo el mundo debía ser de fecha relativamente reciente.

Eudoxo de Cnido, un discípulo de Platón, describió el universo como un conjunto de esferas concéntricas rotatorias con la Tierra en el centro. Aristóteles (384 -322 a.C.) extendió este sistema en el que distinguía dos regiones en el cosmos. Una región, que abarcaba desde la Tierra hasta la Luna, constituida por los cuatro elementos de Empédocles. En esta región los movimientos eran rectilíneos, unos hacia el centro de la Tierra (los formados por compuestos de tierra y agua) y otros hacia el exterior (los formados por el aire y el fuego). La otra región, la que se extendía más allá de la Luna, estaba formada por los astros que describían movimientos circulares. Estos estaban constituidos por un quinto elemento que denominó *quinta esencia*. Esta región estaba inmersa en una sustancia etérea que tenía un límite espacial. Para Aristóteles el vacío no tenía sentido. Todo este sistema habría existido siempre y así continuaría. En definitiva, creía en un universo infinito en el tiempo y limitado en el espacio. Esta descripción del cosmos sería el paradigma dominante en Occidente durante casi dos mil quinientos años.

El modelo aristotélico, aunque mayoritariamente aceptado, tuvo sus detractores. Los estoicos que se oponían a la existencia de un mundo eterno. Uno de sus filósofos, Zenón de Citium, desarrolló un curioso argumento contra la eternidad de la Tierra (y por extensión del universo). Sostenía que si ésta era eterna toda ella sería una enorme llanura pues en un tiempo infinito la erosión habría tenido tiempo más que suficiente para allanar las montañas. No sería hasta el siglo XX cuando la teoría tectónica de placas explicaría realmente por qué la superficie de la Tierra no es homogénea.

Otra oposición al modelo del Aristóteles procedía de Aristarco de Samos (c. 310-230 a.C.) que proponía un sistema heliocéntrico en el que el Sol permanecía inmóvil en el centro del Universo y las estrellas estaban fijas en una esfera exterior concéntrica con el Sol. La Luna giraba alrededor de la Tierra. Los planetas, incluida la Tierra, giraban en torno al Sol. Al parecer a esta idea había llegado por el tamaño y distancias relativas de los principales astros que el mismo midió. Concluyó que el Sol tenía un volumen unas 300 veces mayor que la Tierra y esta a su vez 30 veces mayor que la Luna, le pareció natural colocar al cuerpo de mayor tamaño en el centro. Aunque estos valores de tamaño eran erróneos el método era básicamente correcto.

El modelo heliocéntrico de Aristarco paso al olvido hasta que lo retomó Copérnico unos 1700 años más tarde. En cierto sentido era lógico que no triunfara en ese momento. No explicaba por qué con una Tierra en movimiento los objetos que había sobre ella permanecían unidos a ésta. Además Aristarco no desarrolló su idea construyendo un modelo celeste capaz de predecir la posición de los astros, obligaba a considerar a la esfera de las estrellas fijas a una distancia inconcebible. En efecto, si la Tierra se movía en torno al Sol debería observarse a lo largo del año el desplazamiento de las estrellas respecto a la Tierra y esto no ocurría. Sólo el descubrimiento del telescopio permitió comprobar este desplazamiento.

El camino abierto por Aristarco en astronomía experimental tuvo una brillante continuación en su coetáneo, aunque unos 40 años más joven, Eratóstenes que llegó a ser director de la Biblioteca de Alejandría. Fue el primero en medir el tamaño de la Tierra, el método que empleo es legendario para todos los que somos aficionados a la Astronomía, pero merece la pena recordarlo. Empezó por medir la distancia entre Alejandría y Siena (la actual Asuán), que estaban situadas aproximadamente en el mismo meridiano (realmente difieren en 3°). Supuso que el Sol estaba lo suficientemente distante para que sus rayos al incidir en la Tierra lo hicieran de forma paralela. Sabía que el día del solsticio de verano en Siena la luz alumbraba el fondo de los pozos de esta ciudad. Eso significaba que en ese momento los rayos del Sol incidían perpendicularmente a la superficie terrestre en Siena mientras que en el mismo instante en Alejandría formaban un ángulo de aproximadamente $\frac{1}{50}$ la longitud de una circunferencia (lo pudo deducir partir de la proyección de las sombras). A partir de una sencilla relación trigonométrica dedujo que la distancia Alejandría a Siena era $\frac{1}{50}$ el tamaño de la circunferencia terrestre. Como esta distancia era 5000 estadios la circunferencia terrestre tendría 250000 estadios. No hay acuerdo sobre la equivalencia del estadio. Según la referencia que se tome su valor oscila entre 185 m y 157,2 m que da un tamaño que difiere entre el 17% y el 1% del tamaño real, en cualquier caso una extraordinaria aproximación. Cristóbal Colón en 1492 supuso un tamaño considerablemente menor argumento utilizado por los asesores de Isabel la Católica, que conocían la estimación de Eratóstenes, para desaconsejar su viaje, él persistió en su error y acabó por descubrir América.

Poco antes de la muerte de Eratóstenes nace Hiparco de Nicea (II a.C.) que llegó a ser también director de la Biblioteca de Alejandría. A partir de la sombra que la Tierra producía en la Luna en los eclipses de Luna estimó, con bastante aproximación, la distancia de la Tierra a la Luna. Empezó un estudio empírico de las magnitudes aparentes de las estrellas y de sus posiciones, para esto último inventó las coordenadas eclípticas y utilizó el astrolabio (se le atribuye su invención). Muchos años después (desde el año 1989 hasta 1993) un satélite, que

llevaría su nombre, repitió su trabajo con la tecnología de finales del siglo XX. Pero quizás por lo que más se recuerda a Hiparco es por el descubrimiento de la precesión de los equinoccios que es el movimiento aparente de las estrellas respecto de la eclíptica. Se produce al girar el eje terrestre que describe una circunferencia respecto al eje de la eclíptica en un periodo de 25771 años. Una consecuencia es que el polo norte celeste se vaya desplazando, hoy está muy próximo a la estrella Polar pero hace 4800 años apuntaba a Alfa Draconis. Parece ser que William Shakespeare no era consciente de ello cuando en su obra Julio César se dice: "Pero yo soy constante como la estrella polar que no tiene parangón en cuanto a estabilidad en el firmamento". Otra consecuencia es el desplazamiento de las constelaciones zodiacales. En la actualidad a una persona nacida el 21 de Marzo se le atribuya el signo de Aries, cuando la constelación que ahora ocupa esa posición es Piscis. Lo mismo sucede con todos los signos, hecho que los hacedores de horóscopos actuales han olvidado. La comparación entre las referencias históricas que tenemos de las constelaciones zodiacales y las posiciones que actualmente ocupan nos ha permitido saber que esta clasificación fue establecida hace unos 1100 años por observadores situados a 33° de latitud norte, previsiblemente asirios.

La astronomía griega alcanzaría su cenit con Claudio Ptolomeo (II d.C.) y la publicación de su *Mathematiké Syntaxis*, que a través de los árabes nos llegaría con el nombre de *Almagesto* (*El más grande*), y su obra posterior *Las Hipótesis de los Planetas*. En estas introdujo un tratamiento matemático de los movimientos astronómicos que conseguía explicar con un buen acuerdo con las observaciones el movimiento del Sol, la Luna y de los planetas entonces conocidos que como sabemos eran cinco: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (El siguiente planeta, Urano, no sería descubierto hasta 1781, casi dos siglos después de la invención del telescopio). Su método permitía predecir con bastante precisión los eclipses de Luna. El sistema de Ptolomeo es bastante complicado. La Tierra no es estrictamente el centro del sistema, para cada planeta se supone dos o más esferas: una se centra en la tierra, y la otra esfera es el epiciclo (en internet pueden encontrarse modelos animados que explican de forma visual el método). Ptolomeo aunque colocó a la Tierra un lugar central era consciente que no era el objeto mayor del universo. El mayor, según sus cálculos, era el Sol con 5,5 veces el tamaño de la Tierra, seguido de Jupiter (4,4 veces) y Saturno (4,3 veces). A Mercurio le asignaba un tamaño considerablemente menor al terrestre (0,04). El *Almagesto* también nos describe los instrumentos astronómicos utilizados en esa época. El modelo de Ptolomeo fue el dominante por más de 1300 años hasta que fue sustituido por el modelo heliocéntrico de Copérnico.

En el periodo que va Ptolomeo a Copérnico las principales aportaciones astronómicas proceden de los árabes quienes desarrollaron y perfeccionaron instrumentos astronómicos y construyeron los primeros observatorios astronómicos. En el reinado de Alfonso X el Sabio (1221-1284) este unió a astrónomos islámicos, judíos y cristianos que trabajaron conjuntamente en Toledo. Uno de ellos, Gerardo de Cremona, tradujo el *Almagesto* al castellano.

En este mismo periodo merece la pena destacar las discusiones por filósofos cristianos acerca del origen del universo, tema que apenas había sido abordado por los filósofos naturales griegos. Los filósofos cristianos concluían que el universo se había creado – naturalmente por

Dios – en un determinado instante a partir de la nada (*creatio ex nihilo*) y por consiguiente era finito en el tiempo. Esto chocaba con la filosofía aristotélica, apoyada por el cristianismo en otros aspectos, que creía que el universo era infinito en el tiempo. La idea de una *creatio ex nihilo*, que curiosamente no aparece explícitamente en el Antiguo Testamento, fue asumida casi desde el inicio del cristianismo y se convirtió en oficial el Concilio Lateralense (1215).

Otra figura destacable es la del cardenal alemán Nicolas de Cusa (siglo XV) que defendía un universo infinito en el que cualquier observador en cualquier lugar observaría lo mismo. Consideraba a la gravitación como un fenómeno universal en la que cada astro tendría su propio centro de atracción gravitatoria. Incluso consideraba que la vida era común en todo el Universo y había una relación entre inteligencia y características de cada estrella (el Sol era una estrella más), como consecuencia de ello los habitantes del Sol deberían ser brillantes e iluminados y en consecuencia superiores a los terrícolas.

Copernico y Kepler, el triunfo del modelo heliocéntrico

En 1543 se produjo el gran salto en Astronomía con la publicación, por Nicolas Copernico, de *De revolutionibus orbium coelestium* donde el Sol reemplaza a la Tierra como centro del Universo.

Copérnico nació en 1473, en lo que hoy es Polonia (entonces Prusia Oriental) en una familia acomodada. A los 10 años quedó huérfano de padre, su tío Lucas Watzenrode se encargó de su educación y lo orientó gran parte de su vida. Por la amplitud de conocimientos en distintas materias y lenguas fue un autentico hombre del renacimiento: sacerdote, gestor en la administración y médico, llegó a publicar un tratado de economía práctica, e incluso hizo una traducción del griego al polaco de unas cartas eróticas de un poeta bizantino. Los últimos años de su vida ejerció de canónico lo que le dio el tiempo y el sosiego para desarrollar el modelo heliocéntrico que había ido madurando, desde su juventud, a lo largo de toda su vida para finalmente publicar de *De revolutionibus*. La edición final le llegó cuando ya estaba en el lecho de muerte.

De revolutionibus es una obra impresionante desde el inicio con una magnífica introducción histórica de los conocimientos de Astronomía que entonces se tenían. También en los primeros capítulos se destina un espacio importante en argumentar a favor del movimiento de la Tierra y argumentar a favor del modelo heliocéntrico. A la objeción de que si la Tierra estuviese en movimiento todos los objetos que hay en ella saldrían violentamente despedidos Copérnico, entre otras cosas, argumenta (Cap I.8) “Pero ¿por qué no sospechar lo mismo [de las estrellas fijas], con mayor razón del mundo, cuyo movimiento debe ser tanto más veloz cuanto mayor es el cielo que la Tierra?”. Analiza en un modelo heliocéntrico, con criterio geométrico, la trayectoria de la Luna y de las estrellas errantes, que es la denominación que normalmente utiliza para planetas, y hace frecuente referencia a efemérides y datos históricos para sustentar su modelo. Esta parte, vista desde una perspectiva actual, resulta muy farragosa y nos damos cuenta el enorme desarrollo de la mecánica celeste que desde Kepler y Newton permite resolver el mismo problema en muy pocas páginas y con mucha mayor precisión y claridad.

Desde un punto de vista predictivo el modelo de Copérnico no aporta mejoras significativas sobre el modelo de Ptolomeo. De hecho, al mantener la hipótesis de que las orbitas de los astros son circunferencias seguían existiendo discrepancias con los datos experimentales, que se ponían especialmente de manifiesto con Marte. Sin embargo el modelo de Copérnico lo hace de forma más simple satisfaciendo lo que se suele conocer en Ciencia como principio de Ockham (en honor al franciscano inglés que lo propuso en el siglo XIV) que en su versión actual podemos enunciarlo como sigue: Si varias teorías consiguen explicar el mismo fenómeno probablemente la correcta será aquella que lo haga de forma más simple, y el modelo de Copérnico era considerablemente menos enrevesado que el de Ptolomeo y sentaba las bases para el siguiente gran salto que lo daría el alemán Kepler.

Johannes Kepler (1571-1630) nació enfermizo en una familia luterana de escasos recursos económicos que debía tener algún interés por la Astronomía (Kepler manifestó la impresión que a los 5 años le produjo un cometa). Desde muy joven mostró sus aptitudes matemáticas. Estudió en la universidad alemana de Tubinga donde se familiariza con el sistema de Copérnico. Es contratado como profesor de matemáticas en la escuela protestante de Graz, trabajo que complementa con la elaboración de almanaques astrológicos, probablemente como medio de sustento. En 1600 tiene que abandonar Austria cuando el archiduque Francisco Fernando promulgó un edicto contra los protestantes. Eso le dio la gran oportunidad de su vida pues ese año se traslada a Praga donde empieza a trabajar con el astrónomo imperial de Rodolfo II Tycho Brahe, excelente astrónomo que había desarrollado instrumentos astronómicos refinados y realizado las mediciones más cuidadosas que hasta entonces se tenían, justo lo que necesitaba Kepler. Brahe fallece al año siguiente de llegar Kepler y éste pasa a ocupar su posición.

El modelo de Copérnico, como antes del de Ptolomeo, partía de la suposición de que la Luna y los planetas describían trayectorias circulares pero había discrepancias entre el modelo y las observaciones que no tenían una explicación satisfactoria. Kepler se centró en estudiar el caso de Marte, para el que las discrepancias eran más evidentes. Viendo que no resolvía el problema en el modelo de orbitas circulares se planteó qué otra forma geométrica se ajustaría la órbita y encontró que era la elipse lo que buscaba. ¿Cómo no se había llegado antes a esta solución?. La explicación probablemente esté en que las excentricidades que presentan los cinco planetas visibles son muy pequeñas, aproximándose enormemente a circunferencias. En el caso de Mercurio, que es que presenta más excentricidad, la diferencia entre el eje mayor y menor es de un 2%. Expresado en términos de la unidad angular, visto desde la Tierra, la mayor excentricidad la presenta Marte.

La aportación de Kepler no acabó ahí, asumiendo que la trayectoria era la elipse concluyó que el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales, siendo el tiempo que tarda en barrer la elipse completa su periodo P . También se dio cuenta que empíricamente el cuadrado de P era proporcional al cubo de semieje mayor de la elipse. Con ello sentó las bases para que un siglo después el genio de Isaac Newton descubriese la ley de gravitación universal. Previamente otro genio, Galileo Galilei, coetáneo de Kepler, con el empleo del telescopio, nos introduciría en la Astronomía moderna.