

# Enseñanza

## ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS

### HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA A TRAVÉS DE LOS INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN

#### INTRODUCCIÓN

La Astronomía es la ciencia que estudia el origen, desarrollo y composición de los astros, así como las leyes de su movimiento en el Universo. Puede considerarse sin duda como la más antigua entre todas las que se desarrollan y estudian en la actualidad.

#### ARQUEOASTRONOMÍA

Ya desde tiempos muy remotos los hombres comenzaron a interesarse por la Luna, el Sol y las estrellas, es decir, por todos los astros en general. No obstante, las primeras investigaciones sistemáticas que contribuyeron a desarrollar la Astronomía como ciencia comenzaron a llevarse a cabo en el Neolítico (9000-3000 a.C.), época en que se inició el florecimiento de grandes culturas. La curiosidad humana con respecto a fenómenos cíclicos como el día y la noche y a los movimientos y naturaleza de los astros llevó a los hombres primitivos a la conclusión de que los cuerpos celestes se movían de forma regular. La primera utilidad de sus observaciones fue definir el tiempo y orientarse. La Astronomía solucionó uno de los problemas más inmediatos de las primeras civilizaciones: la necesidad de establecer con precisión las épocas adecuadas para sembrar y recoger las cosechas y la de orientarse en los desplazamientos y viajes.

Para los pueblos primitivos el cielo mostraba una conducta muy regular. El Sol salía todas las mañanas desde el este, se movía uniformemente durante el día y se ponía en la dirección opuesta, el oeste. Por la noche se podían ver miles de estrellas que seguían una trayectoria similar. Los habitantes de las zonas templadas comprobaron además la diferente duración de día y noche a lo largo del año. En los días más largos el Sol salía más desplazado hacia el Norte y ascendía más alto en el cielo al mediodía,

mientras que en los más cortos salía más desplazado hacia el Sur y alcanzaba poca altura en el horizonte.

El estudio de los movimientos cíclicos de los astros mostró su utilidad para la predicción de fenómenos como el ciclo de las estaciones, de cuyo conocimiento dependía en gran medida la supervivencia del género humano. Para las comunidades cazadoras resultaba trascendental predecir cuándo se produciría la migración estacional de los animales que les servían de alimento y, posteriormente, cuando surgieron las primeras comunidades agrícolas, también era fundamental conocer el momento oportuno para la sementera y la recogida de las cosechas.

La alternancia del día y la noche constituyó seguramente la primera unidad de tiempo universalmente utilizada, pero fue la observación de la variación de la intensidad de la luz nocturna en función de la fase de la Luna, y la periodicidad del ciclo de veintinueve a treinta días la que ofreció una manera cómoda de medir el tiempo. Los calendarios primitivos, por tanto, casi siempre se basaban en el ciclo de las fases de la Luna. En lo concerniente a las estrellas, parecían estar agrupados caprichosamente conservando un esquema fijo noche tras noche. Debido a ello, desde épocas muy remotas, los hombres pusieron nombres a muchas constelaciones guiados por su imaginación. De hecho, del Neolítico se conservan grabadas en piedra las figuras de algunas constelaciones, en las que las estrellas están excavadas como alvéolos circulares. También aprendieron a distinguir a los cinco planetas visibles a simple vista del resto de las estrellas debido a su movimiento independiente en la bóveda celeste (planeta = «estrella errante»).

Como consecuencia del cambio climático global que tuvo lugar tras el último período glacial (hacia el año 10000 a.C.), la población nómada se agrupó en torno a zonas fértiles en las cuales las comunidades agrícolas y ganaderas evolucionaron, en torno al año 6000 a.C., a sociedades más complejas estructuradas y jerarquizadas. Estas civilizaciones se desarrollaron inicialmente en torno a los ríos Tigris y Éufrates, Nilo, Indo, Huang-Ho, América Central, Altiplano Andino y norte de Europa. Tras un proceso de adaptación al régimen sedentario, los habitantes de estas regiones desarrollaron de manera individualizada sus primeras concepciones científicas acerca del Uni-

verso. El progreso inicial de estas sociedades puede considerarse simultáneo comenzando a transmitir sus conocimientos geométricos, a excepción de las comunidades centroamericana y andina, a partir del año 5000 a.C.

Antiguos pueblos pobladores de Europa tuvieron conocimientos avanzados de matemática, geometría y movimiento de los astros. Realizaron grandes construcciones para la práctica de la Astronomía, determinaron solsticios y equinoccios y pudieron predecir eclipses. Prueba de los sorprendentes conocimientos que poseían los astrónomos del megalítico son los grupos de grandes piedras erectas (megalitos, algunos de más de 25 toneladas de peso), dispuestas de acuerdo con esquemas geométricos regulares, hallados en muchas partes del mundo. Varios de estos observatorios se han conservado hasta la actualidad, como los de Stonehenge en Inglaterra y Carnac en Francia. Stonehenge, erigido a 51° de latitud norte, es uno de los más estudiados. Se construyó en varias fases entre los años 2200 y 1600 a.C. Su uso como observatorio astronómico permitió al hombre del megalítico realizar un calendario bastante preciso. El círculo de piedras, dividido en 56 segmentos, se utilizaba para averiguar las fechas de los solsticios de verano e invierno, predecir eclipses solares y lunares y determinar la posición de la Luna a lo largo del año.



Figura 1. Stonehenge.

En la región de las cuencas de los ríos Tigris y Éufrates se desarrolló la civilización sumeria, quizá la primera del mundo, pues ya en el año 5000 a.C. contaba con una compleja organización social, política y religiosa. Los sumerios se unirían posteriormente a otros pueblos, como los acadios, para dar lugar a la cultura babilónica en el siglo XVIII a.C. Los sumerios inventaron la

escritura y establecieron un sistema de numeración en base 12 que más tarde evolucionaría a otro en base 60. La mayoría de las culturas orientales tomaban como base de numeración el 10, basado en los dedos de la mano, mientras que los sumerios utilizaban la base 12, dada la ventaja de su divisibilidad entre muchos otros números. Los sumerios llevaron a cabo, además, la división del círculo en 360 grados, a su vez divididos en sesenta minutos y éstos en sesenta segundos de arco. Esta división sería introducida posteriormente en Grecia por Hiparco de Rodas en el siglo II a.C.

Los primitivos sumerios sintieron fascinación al observar desde sus *zigurats* el Sol, la Luna, los cinco planetas conocidos y las estrellas, que agruparon en constelaciones. Observaron además cómo dichas constelaciones se desplazaban de oriente a occidente manteniendo sus posiciones relativas. También se dieron cuenta de que la salida del Sol no siempre se producía sobre el mismo fondo de estrellas, sino a lo largo de la banda trazada a través de 12 constelaciones que forman el zodiaco.

En Mesopotamia, entre los diversos pueblos que dominaron esta región desde el 4000 a.C. hasta el siglo VI d.C., destacó la civilización babilónica que, como se ha comentado antes, fue una de las primeras en desarrollar ampliamente esta ciencia. Babilonios y sumerios conocían ya muchas constelaciones en torno al 3000 a.C. e incluso, algunos siglos después, dispusieron de un calendario basado en las regularidades de los movimientos de diferentes astros. Fueron, de hecho, los babilonios de la ciudad de Ur los que, en el año 2238 a. de C., registraron un eclipse de Luna, el primero del que existe constancia escrita. Sus primeras actividades astronómicas comenzaron en el siglo VIII a.C. Midieron con precisión la duración del mes y la revolución de los planetas y estudiaron los movimientos del Sol y de la Luna para perfeccionar su calendario. Designaban como comienzo de cada mes el día siguiente a la luna nueva y, aunque en principio este día se determinaba mediante la observación, después trataron de calcularlo anticipadamente.

La observación más antigua de un eclipse solar procede también de los babilonios y se remonta al 15 de junio del 763 a.C. Calcularon la periodicidad de los eclipses describiendo el ciclo de Saros, el cual aun hoy se utiliza. Confeccionaron un calendario lunar, dividieron el día en 24 horas y nos legaron muchas de las descripciones y nombres de las constelaciones.

El pueblo egipcio, cuya supervivencia estaba estrechamente asociada a las periódicas inundaciones provocadas por el Nilo, estudió sistemáticamente la sucesión de las estaciones. Su mayor aportación fue la confección de un calendario lunisolar de 365,25 días que aun perdura hasta la actualidad. Los calendarios Juliano y Gregoriano (el que utilizamos en la actualidad) no son más que modificaciones del calendario civil egipcio. Dicho año tenía 12 meses de 30 días, más 5 días llamados *epagómenos*. Por tanto había una diferencia de un cuarto de día respecto al año solar. Como no utilizaban años bisiestos, cada 120 años se adelantaba un mes, de tal forma que transcurridos 1456 años el año civil y el astronómico coincidían nuevamente. Fijaron esta unidad de tiempo de forma definitiva en el año 200 a.C., tras milenios de sistemática observación astronómica, sobre la base del período de repetición de los ortos heliacos de la estrella Sirio (para ellos, *Sothis*) al producirse en esta época el desbordamiento anual del Nilo.

La crecida del Nilo comenzaba aproximadamente en la época en que dicha estrella, tras haber sido invisible durante varios meses bajo el horizonte, podía verse de nuevo poco antes de la salida del Sol. El año egipcio comenzaba el primer día del primer mes de la inundación y tenía tres estaciones de cuatro meses: Inundación (*Akhet*), Invierno (*Peret*), es decir, «salida» de las tierras fuera del agua, y Verano (*Shemu*), es decir, «falta de agua». Para la medida del tiempo disponían del gnomon y la clepsidra, además de diagramas estelares que les permitían determinar las horas durante la noche por observación de las estrellas.

La orientación de templos y pirámides constituye una prueba del tipo de conocimientos astronómicos de los egipcios: La pirámide de Gizeh se construyó alineada con la estrella polar, de manera que les era posible determinar el inicio de las estaciones guiándose por la posición de su sombra. Asimismo utilizaron las estrellas para guiar la navegación.



Figura 2. Pirámides de Egipto.

El pueblo maya (América Central) alcanzó su esplendor entre los siglos III a.C. y IX de nuestra era. Destacó por sus conocimientos astronómicos que todavía siguen sorprendiendo a los científicos actuales. Los mayas confeccionaron su propio calendario solar y conocían la periodicidad de los eclipses. Inscribieron en monumentos de piedra fórmulas para predecir eclipses solares y la salida heliaca de Venus. Su calendario solar resultó ser el más preciso hasta la implantación del sistema gregoriano en el siglo XVI.



Figura 3. La pirámide de Chichén Itzá.

Todas las ciudades del periodo clásico (tales como Palenque, Tikal, Copán, etc.) están orientadas respecto al movimiento de la bóveda celeste. Muchos edificios se construyeron con el propósito de escenificar fenómenos celestes en la Tierra, como la pirámide de Chichén Itzá, donde se observa el descenso de *Kukulkán*, serpiente formada por las sombras que se crean en los vértices del edificio durante los solsticios. Las cuatro escaleras del edificio suman 365 peldaños, los días del año. En varios códices de la época se encuentran los cálculos de los ciclos de la Luna, del Sol y de Venus (asociado por ellos al dios de la lluvia), así como tablas de periodicidad de los eclipses.

La civilización Azteca surgió a partir del siglo X alcanzando su máximo esplendor entre los siglos XIV al XVI. Los aztecas no sólo desarrollaron la Astronomía y el calendario, sino también la meteorología, consecuencia lógica de sus conocimientos, para facilitar sus labores agrícolas. La piedra del Sol es el monolito más antiguo conservado de la cultura prehispánica. Probablemente se esculpó en torno al año 1479. Consta de cuatro círculos concéntricos: En el centro se distingue el rostro de *Tonatiuh* (Dios Sol). Los cuatro soles, o eras anteriores, se encuentran representados por figuras de forma cuadrada flanqueando al quinto sol, en el centro. El círculo exterior consta de 20 áreas que representan los días de cada



Figura 4. La piedra del Sol.

uno de los 18 meses del calendario azteca. Para completar los 365 días del año solar incorporaban 5 días aciagos o *nemontemi*.

Para los aztecas la Astronomía era muy importante, ya que formaba parte de su religión. Construyeron observatorios que les permitieron realizar observaciones muy precisas, hasta el punto que midieron con gran exactitud las revoluciones sinódicas del Sol, la Luna y los planetas Venus y Marte. Al igual que casi todos los pueblos antiguos, los aztecas agruparon las estrellas brillantes en asociaciones aparentes (constelaciones).

## ASTRONOMÍA OCCIDENTAL Y ERA PRETELESCÓPICA

La civilización griega se estableció al sur de los Balcanes en el segundo milenio antes de nuestra era, comenzando a desarrollar lo que ahora conocemos como Astronomía occidental. Sus observaciones tenían como fin primordial servir de guía a los agricultores, por lo que se trabajó intensamente en el diseño de un calendario que fuera útil para estas actividades.

La Odisea de Homero ya se refiere a constelaciones como la Osa Mayor y Orión, y describe cómo las estrellas pueden servir de guía en la navegación. La obra «Los trabajos y los días» de Hesíodo informa sobre las constelaciones que salen antes del amanecer en diferentes épocas del año, para indicar el momento oportuno para arar, sembrar y recolectar.

Fue la cultura griega la que desarrolló la Astronomía clásica más que ningún otro pueblo de la antigüedad. La concepción general del cosmos que tenían los griegos (excepto casos concretos de sabios como Aristarco o Pitágoras), y junto a ellos el resto de pueblos de aquella época, era la de un modelo geocéntrico; es decir, la Tierra se encontraba situada en el centro del Universo y el resto de

cuerpos celestes giraban en torno a ella. Las bases de la teoría geocéntrica, vigente hasta el siglo XVI, eran:

- Los Planetas, el Sol, la Luna y las Estrellas se mueven en orbitas circulares perfectas.
- Las velocidades de los Planetas, el Sol, la Luna y las estrellas son perfectamente uniformes.
- La Tierra se encuentra en el centro exacto del movimiento de los cuerpos celestes.

El más innovador de los antiguos observadores de los cielos fue ARISTARCO DE SAMOS (310-230 a.C.). Propuso para el Universo un modelo heliocéntrico y heliostático 1800 años antes que Copérnico. Creía que los movimientos celestes se podían explicar mediante la hipótesis de que la Tierra gira sobre su eje inclinado una vez cada 24 horas y que, junto con los demás planetas, gira en torno al Sol. Esta explicación fue rechazada por la mayoría de los filósofos griegos aristotélicos que contemplaban a la Tierra como un globo inmóvil alrededor del cual giran los ligeros objetos celestes.

Aristarco, durante un eclipse lunar, calculó la relación de diámetros entre la Tierra y la Luna y la distancia Sol-Tierra. Según dichos cálculos, la Tierra era tres veces mayor que la Luna (valor real 3,66). Determinó que la distancia Tierra-Luna sería 79 veces el radio terrestre (valor actual 60) y también calculó que el Sol estaría 20 veces más lejos que la Luna (valor actual 390). Aunque su método era correcto, sus cálculos no lo fueron debido a la falta de instrumentos precisos.

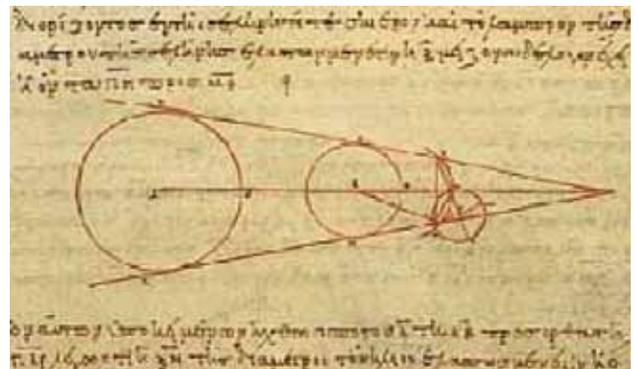


Figura 5. Comparación de los tamaños de la Tierra y la Luna (Aristarco de Samos).

ERATÓSTENES DE CIRENE (276-195 a.C.) midió la oblicuidad de la eclíptica que coincide con la latitud de Siena, situada en el trópico. Calculó la longitud del meridiano terrestre, el radio de la Tierra y, lógicamente, el tamaño y volumen aproximado de ésta. Sorprendentemente su resultado resultó ser muy exacto, si se tiene en

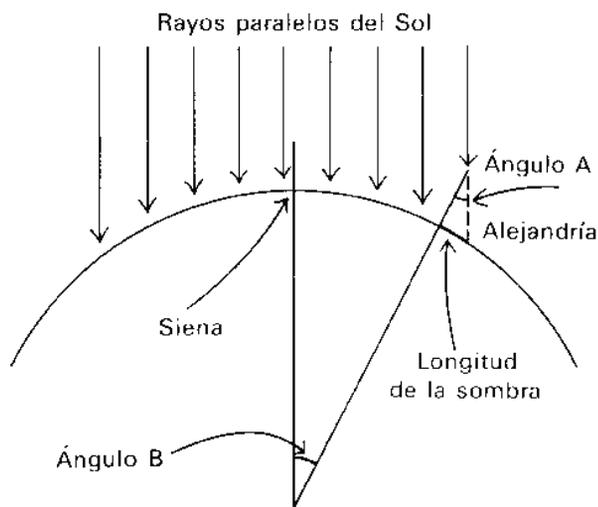


Figura 6. Determinación de la longitud del meridiano terrestre (Eratóstenes de Cirene).

cuenta la carencia de instrumentos de medición de aquella época. La precisión de su medida no pudo superarse hasta el siglo XVIII.

HIPARCO DE NICEA (190-125 a.C.), también llamado «de Rodas», en el siglo II a.C. utilizó por primera vez el astrolabio, un instrumento perfeccionado posteriormente por Hipatia, discípula de Platón, considerada como la primera científica de occidente. El astrolabio servía para medir la altura de los astros con respecto al horizonte e incluso determinar la distancia en grados entre ellos. Hiparco ideó también el sistema de magnitudes para clasificar las estrellas según su brillo aparente, descubrió la precesión de los equinoccios, realizó uno de los primeros catálogos de estrellas e introdujo en Grecia la división del círculo en  $360^\circ$ , hasta aquel momento sólo utilizada por los babilonios.

CLAUDIO PTOLOMEO, autor de la «*Syntaxis Mathematica*», compiló todos los conocimientos de la Astronomía antigua. Esta obra fue posteriormente traducida por el rey árabe Isháq Ibn Hunyain dando lugar a los trece tomos del «*Almagesto*». Ptolomeo expuso un sistema donde la Tierra estaría rodeada por esferas de cristal con los otros 6 astros conocidos. La Tierra no ocupaba exactamente el centro de las esferas y los planetas describían un epiciclo cuyo eje era la línea de la órbita que giraba alrededor de la Tierra, llamada deferente. Como el planeta describe un epiciclo se aproxima y se aleja de la Tierra mostrando a veces un movimiento retrogrado. Este sistema permitía realizar predicciones de los movimientos planetarios, aunque tenía una precisión muy pobre. Claudio Ptolomeo, además, clasificó 1022 estrellas,

asignando magnitud en función de su brillo, estableció normas para predecir eclipses y aplicó sus estudios de trigonometría a la construcción de astrolabios y relojes de sol.

En el siglo II d.C. el centro de la vida intelectual y científica se trasladó de Atenas a Alejandría, ciudad fundada por Alejandro Magno y modelada según el ideal griego.

La Astronomía griega

se transmitió más tarde hacia oriente a los sirios, indios y árabes. Los astrónomos árabes recopilaron nuevos catálogos de estrellas en los siglos IX y X y desarrollaron tablas del movimiento planetario. Sin embargo, aunque eran buenos observadores, hicieron pocas aportaciones realmente originales a la Astronomía. No obstante, los astrónomos hispanoárabes perfeccionaron métodos e instrumentos de observación elaborando tablas astronómicas tan completas y precisas que se utilizaron en todo el mundo durante varios siglos.

Las traducciones árabes del *Almagesto* que circulaban por Europa estimularon el interés por la Astronomía en este continente. Los europeos se contentaron en un primer momento con hacer tablas de los movimientos planetarios, basándose en el sistema de Ptolomeo, o divulgar su teoría. Precisamente, en el siglo XIII, nuestro rey, Alfonso X el Sabio, contribuyó de una manera muy notable al desarrollo de la Astronomía. Su obra se centra en los «*Libros del Saber de Astronomía*» y las «*Tablas Alfonsinas*».

Alfonso X se interesó por la Astronomía estudiando escritos árabes a través de los cuales conoció las obras de los principales filósofos griegos, especialmente de Aristóteles y Ptolomeo. Entendió que el progreso de esta ciencia dependía estrechamente de la observación y que los movimientos periódicos de los astros pueden durar miles de años, siendo por ello necesarias largas series de observaciones. En virtud de ello reunió un equipo de sabios cristianos, árabes y judíos, con sede en Toledo, con objeto de llevar a cabo numerosas observaciones que, unidas a las ya efectuadas en épocas anteriores,

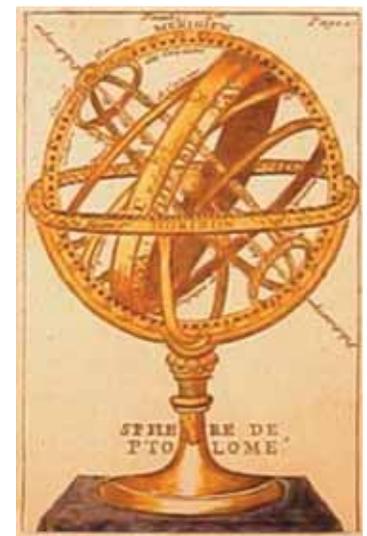


Figura 7. Universo geocéntrico de Ptolomeo.

permitirían elaborar las Tablas Alfonsinas, utilizadas en toda Europa hasta el siglo XVI.

## LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Con el Renacimiento comenzaron a surgir en Europa ideas científicas independientes y discrepantes de los esquemas tradicionales aristotélicos. La teoría geocéntrica se mantuvo vigente hasta que NICOLÁS COPÉRNICO (1473-1543) formuló la teoría heliocéntrica, según la cual el Sol se situaría en el centro del Universo y el resto de planetas, incluida la Tierra, giraría en torno a él. Ésta nueva teoría, junto con la invención de la imprenta por Gutenberg en el año 1450, que permitiría una transmisión eficaz del co-

nocimiento, supuso una revolución para la Astronomía, ya que a partir de ese momento dejó de verse al planeta Tierra y al hombre como epicentro del resto de las cosas existentes.

En su obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, impresa en Nuremberg en 1543, describe la teoría del movimiento de los planetas vigente hasta



Figura 8. Copérnico.

entonces, sus dificultades y errores, y llega a la conclusión de que en ella se habría pasado por alto algo muy importante, ya que la posición de los planetas y la Luna calculados con las tablas alfonsinas no coincidían con las observaciones. Su teoría representó también un duro golpe para la Iglesia, que defendía la teoría geocéntrica como una interpretación intocable de la Biblia.

TYCHO BRAHE (1546-1601) fue el último observador de la era pretelescópica. Sus estudios constituyeron un avance muy significativo para la Astronomía. Confeccionó un catálogo de objetos celestes con más de 1000 estrellas y perfeccionó las técnicas de observación hasta alcanzar una precisión, inaudita en aquella época, de cuatro minutos de arco. Introdujo una modificación del sistema heliocéntrico de Ptolomeo, no aceptando el de Copérnico. La teoría sobre el Universo formulada por Tycho se basaba en que la Tierra sería el centro de éste y el Sol orbitaría en torno a ella, pero los demás planetas lo harían en torno al Sol.

Tycho estudió detalladamente la órbita de Marte con cuadrantes de pared. El conjunto completo de las obser-

vaciones de trayectorias de planetas fue heredado por su discípulo Kepler. Construyó instrumentos, tales como cuadrantes, sextantes y teodolitos primitivos, y observó una supernova en Casiopea, en 1572, a la que llamó *Stella Nova*. Ésta alcanzó una magnitud de -4 y era visible incluso durante el día hasta que dejó de serlo en marzo de 1574. Fue éste un descubrimiento importante, ya que en aquella época se creía en la inmutabilidad del cielo sin aparición de estrellas nuevas. Fue el primer astrónomo que intuyó que un cuerpo celeste siguiera una órbita no circular basándose en sus estudios acerca de los cometas.

## LA ERA TELESCÓPICA

Aunque, según los escritos más antiguos, tanto los griegos como los romanos utilizaban lentes, éstas eran muy toscas e imperfectas.

A finales del siglo X, el matemático persa ALHAZÉN escribió el primer tratado sobre lentes y describió la imagen formada en la retina, debida al cristalino. En sus investigaciones utilizaba la lupa para observar objetos diminutos.

Entre los años 1000 y 1599 los árabes y chinos también experimentaban con lentes y espejos, aunque su interés se desvaneció y el uso de la lente no se extendió hasta el siglo XII, en el que se utilizaban lentes cóncavas y convexas para corregir problemas de visión; pero hasta el siglo XVII no se desarrolló toda su potencialidad.

Hasta comienzos del siglo XVII los astrónomos habían observado el cielo sin la ayuda de ningún tipo de instrumento, es decir, a simple vista. Sin embargo, en 1608, se produjo en Holanda la mayor aportación de la técnica a la Astronomía: la invención del telescopio, atribuida a HANS LIPPERSHEY, aunque sus principios ópticos ya habían sido enunciados en el s. XIII por ROGER BACON. Galileo, informado de este descubrimiento por su discípulo Jacques Badouere, fue el primero en utilizarlo con fines astronómicos.

GALILEO GALILEI (1564-1642) utilizó por primera vez el telescopio refractor y enunció las primeras leyes de la Mecánica. Su telescopio estaba formado por una lente convergente (objetivo) y una divergente (ocular) y tenía unos 30 aumentos. Con este sencillo instrumento descubrió los cuatro satélites de Júpiter, llamados «galileanos» en su honor, Io, Europa, Ganimedes y Calixto y observó por primera vez el relieve lunar con sus cráteres y montañas. Descubrió por primera vez la «forma irregular» de Saturno así como su cambio cíclico. También



Figura 9. Galileo Galilei.



Figura 10. Telescopio refractor de Galileo.

observó por primera vez las manchas solares y acabó enfermando de ceguera por no protegerse los ojos.

Galileo colaboró en gran medida al avance de la Astronomía, adquiriendo gran fama por las observaciones de la nova de 1604. Sin embargo, la Iglesia no aceptó sus ideas heliocentristas y le obligó a retractarse.

IOANNES KEPLER (1571-1630), discípulo de Tycho Brahe y firme defensor del modelo de Copérnico, fue uno de los astrónomos más brillantes de la historia. Perfeccionó el telescopio de Galileo, sustituyendo la lente divergente del ocular por una convergente, construyendo el llamado telescopio kepleriano. En 1596 escribió el tratado *Prodromus Disertationum Cosmographicorum Continens Misterium Cosmographicum*, donde expone sus ideas acerca del Sistema Solar (distancias de los planetas al Sol dadas por esferas inscritas en poliedros perfectos).

Estudiando los datos recopilados por Tycho, especialmente el movimiento de Marte, entendió que el movimiento de los planetas no podía explicarse con su modelo y llegó a la conclusión de que las órbitas de éstos

no podían describirse con círculos sino con elipses. Publicó en su obra *Astronomia Nova* (1609) sus dos primeras leyes, acerca del movimiento de los planetas, que asombraron a la comunidad científica y le consagraron como el mejor astrónomo de la época. Posteriormente, en 1618, enunció la tercera ley. La formulación de dichas leyes, gracias en gran medida a los datos obtenidos por Tycho Brahe, marcó el inicio de una nueva época para la Astronomía. Estas tres leyes desterraban, aun más, la concepción geocéntrica del universo. Su enunciado, que describe con precisión el movimiento de los planetas alrededor del Sol, es el siguiente:

- 1.<sup>a</sup> Ley: *Las órbitas de todos los planetas son elípticas, encontrándose el Sol en uno de los focos.*
- 2.<sup>a</sup> Ley: *El vector de cualquier planeta respecto del Sol barre áreas iguales en tiempos iguales. Esta ley, conocida como «ley de las áreas», es equivalente a la constancia del momento angular:  $L = mr_1v_1 = mr_2v_2$ .*
- 3.<sup>a</sup> Ley: *Los cuadrados de los períodos de revolución son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de la elipse:  $P^2 = ka^3$ .*

En aquella época los telescopios eran muy imperfectos, pues tanto objetivo como ocular estaban constituidos por lentes simples y las imágenes no se veían claras debido al fenómeno de la aberración cromática, que se produce en todas las lentes al comportarse éstas como prismas y no refractar en la misma medida todos los colores del espectro luminoso. Para paliar el efecto negativo de la aberración cromática se utilizaban telescopios de grandes distancias focales, como el de 45,7 m construido por IOANNES HEVELIUS (1611-1687) motivado por los descubrimientos de Huyghens acerca de la disminución de la aberración cromática con el aumento de la distancia focal.

Hevelius dedicó 4 años a cartografiar exhaustivamente la superficie lunar y descubrió las «libraciones». Publicó sus descubrimientos en el tratado *Selenografía* (1647), lo que le valió el título de fundador de la topografía lunar. Descubrió cuatro cometas (1652, 1661, 1672, 1677) y sugirió que describían trayectorias parabólicas alrededor del Sol. Elaboró un catálogo estelar, siguiendo los procedimientos de Tycho Brahe, tabulando la posición exacta de 1564 de estrellas. Observó también las fases de Mercurio y un tránsito por delante del Sol confirmó la variabilidad de la estrella Mira Ceti y estudió ampliamente las manchas solares para determinar el período de rotación del astro.

La segunda mitad del siglo XVII fue pródiga en descubrimientos planetarios, debidos en parte al incipiente desarrollo de la astronomía telescópica, erigiéndose los primeros observatorios con instrumentos ópticos (en París, Greenwich, etc.). La nueva era se abrió con CHRISTIAN HUYGENS (1629-1695), astrónomo, matemático y físico holandés que perfeccionó la técnica de tallado de lentes y comprobó que los objetivos de gran distancia focal proporcionaban mejores imágenes. A partir de 1655 construyó anteojos de hasta 70 metros de largo, y otros instrumentos precisos. Entre ellos destaca su telescopio aéreo, sin tubo, de gran distancia focal, sujeto en un mástil. Gracias a este instrumento observó imágenes muy claras de Saturno y en 1655 descubrió sus anillos (aunque sin distinguir sus divisiones) y la sombra que arrojaban sobre el planeta, así como el mayor de sus satélites, Titán, calculando además su período orbital. Así quedó desvelado el enigma de la forma variable que presentaba este planeta cuando era observado por los astrónomos de la época. Como en un principio no estaba demasiado seguro de su hipótesis, comunicó a otros astrónomos conocidos sus descubrimientos relativos a la estructura de los anillos y al satélite Titán mediante anagramas crípticos que después tradujo: «*Annulo cingitur tenui plano nusquam cohaerente ad eclipticam inclinato*» y «*Saturno luna sua circumducitur diebus sexdecim horis quator*».

Calculó también el tamaño y el período orbital de Marte en 1659 y en 1666 descubrió la nebulosa de Orión, M-42, observando en su interior diminutas estrellas. Diseñó también un micrómetro para medir pequeñas distancias angulares y determinar tamaños de planetas y distancias a sus satélites. Formuló la primera teoría ondulatoria de la luz, inventó el reloj de péndulo y estudió con detalle la fuerza centrífuga.

GIOVANNI DOMENICO CASSINI (1625-1712) fue un famoso astrónomo italiano cuyo nombre está ligado a una de las divisiones de los anillos de Saturno que lleva su nombre. Cassini determinó los períodos de revolución de Venus, Marte y Júpiter, así como la distancia a Marte. Con ello midió el tamaño del sistema solar, obteniendo para la unidad astronómica un valor sólo con un 7% de error respecto del actual. A tales resultados llegó mediante la observación de Marte desde París (al tiempo que Richter hacía lo mismo desde la Guayana francesa a 10000 km. de distancia). Calculó la distancia Tierra-Marte y determinó las distancias de los otros planetas al Sol (basándose en la tercera ley de Kepler).

En 1668 elaboró tablas avanzadas con el movimiento preciso de los satélites galileanos de Júpiter lo que, curiosamente, sirvió a los navegantes para su utilización como relojes celestes. Además, Olaf Roemer utilizó posteriormente estos resultados para calcular la velocidad de la luz. Descubrió también los cambios estacionales de Marte, midió su período de rotación, así como el de Saturno, y descubrió un vacío entre los anillos de éste, conocido hoy día como «división de Cassini». Asimismo descubrió cuatro satélites de Saturno: Japeto (1671), Rea (1672), Dione y Tetis (1684). No obstante tuvo grandes errores, como no aceptar la teoría heliocéntrica.

ISAAC NEWTON (1643-1727) fue uno de los científicos más relevantes de todos los tiempos. Llevó a cabo importantes trabajos acerca de la naturaleza de la luz. Descubrió el espectro de color que se observa al descomponer la luz blanca por un prisma siendo ello inherente a la luz, según él de naturaleza corpuscular y propagación en línea recta. Publicó sus estudios sobre óptica en el tratado *Optiks* (1704), donde concluye que *el telescopio refractor sufriría aberración cromática*. Fue autor, asimismo, de los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), donde describe la *Ley de la Gravitación Universal* y establece las bases de la mecánica clásica (leyes de Newton). Sus estudios acerca de la naturaleza de la luz, su reflexión y refracción, le llevaron a construir el primer telescopio reflector evitando así la aberración cromática. Demostró matemáticamente las leyes de Kepler a partir de su *Ley de la Gravitación Universal* y explicó de forma precisa el movimiento de los planetas conocidos y sus satélites (cuatro de Júpiter y cinco de Saturno).



Figura 11. Telescopio reflector de Isaac Newton.

OLE CHRISTIAN ROEMER (1644-1710) continuó los estudios acerca de la naturaleza de la luz emprendidos por Newton. Las diferencias encontradas por Roemer y Cassini en sus medidas del período orbital del primer satélite de Júpiter, Io, llevaron al primero a la conclusión de que la velocidad de la luz era finita, ya que el período orbital no podía variar. Así pues midió la velocidad de la luz en 1676, basándose en los retrasos del período orbital observados en las apariciones de Io a la salida del cono de sombra de Júpiter en la primera y segunda cuadratura del planeta. El valor obtenido por Roemer para la velocidad de la luz fue de 225.000 km/s. Aunque el error es importante, dada la imprecisión del método de medida, este descubrimiento resultó ser trascendental.

EDMUND HALLEY (1656-1742) descubrió el cometa que lleva su nombre. La teoría de la gravitación universal de Newton le impulsó por 1ª vez a calcular la órbita de dicho cometa, que pasó en 1682, prediciendo que volvería a pasar en 1758 (así sucedió) y deduciendo que era el mismo que pasó en 1531 y 1607. Animó a su amigo Newton a publicar sus «*Principia*» y en 1676 publicó una disertación sobre la teoría de los planetas en *Philosophical Transactions*. En el mismo año se trasladó a la isla de Santa Elena para compilar un catálogo de estrellas del cielo austral (*Catalogus Stellarum Australium*) con un telescopio refractor de 7 m de distancia focal. En 1725 publicó mapas estelares con la posición exacta de 3000 estrellas determinadas desde el Observatorio de Greenwich. Descubrió el movimiento propio de las estrellas estudiando la variación de las posiciones relativas de Aldebarán y Arturo respecto a otras.

Halley publicó en *Philosophical Transactions* su método para determinar la paralaje del Sol por medio de los tránsitos de Venus. Reflexionó sobre la idea de medir distancias estelares por medio de la paralaje y calculó la distancia Sol-Sirio, estimándola en 120.000 veces la distancia Tierra-Sol.

## ASTRONOMÍA MODERNA

Tras la época de Newton, la astronomía se ramificó en diversas direcciones. Con su ley de gravitación universal, el viejo problema del movimiento planetario se volvió a estudiar como mecánico celeste. Los telescopios, mucho más perfeccionados, permitieron la exploración de las superficies de los planetas, el descubrimiento de muchas estrellas débiles y la medición de distancias estelares. En el siglo XIX un nuevo instrumento, el espectroscopio, aportó in-

formación sobre la composición química de los cuerpos celestes y nueva información sobre sus movimientos.

Conocido en el siglo XVIII el hecho de que los planetas describen órbitas en torno al Sol con alejamiento progresivo, a mediados de este siglo se enunció una ley empírica muy importante para los astrónomos del siglo XIX a la hora de descubrir nuevos planetas, ya que permitía predecir matemáticamente la distancia de éstos al Sol. Esta ley fue enunciada por WOLF en 1741, publicada por TITIUS en 1772 y enunciada nuevamente de forma matemática por BODE en 1778. Proporciona la distribución de los planetas en orden creciente de distancias al Sol de acuerdo con la expresión matemática:  $a = n + 4/10$ , donde  $n = 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96$ , etc. y  $a$  es el semieje mayor de la órbita, dado en unidades astronómicas (u.a.). Aplicada a los 6 planetas conocidos hasta entonces, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno, da los valores 0,4; 0,7; 1; 1,6; (2,8); 5,2; 10,0; (valores reales: 0,38; 0,72; 1; 1,52; 5,2; 9,54). La ley de Bode se consolidó espectacularmente cuando se comprobó, al descubrirse Urano, la coincidencia casi exacta de su distancia con la predicha por la ley [19,6 (valor real = 19,2)]. La ley predecía, además, que para el valor 2,8 debería existir un planeta entre las órbitas de Marte y Júpiter. Varios astrónomos se lanzaron a su búsqueda, hasta que en 1801 GIUSEPPE PIAZZI descubrió el asteroide Ceres dentro de la distancia predicha. Posteriormente se descubrieron más asteroides, cuyas órbitas forman un cinturón entre las de Marte y Júpiter. Sin embargo, Neptuno viola dicha ley (en su formulación original) que, tal vez fue una curiosidad matemática, pero tuvo gran importancia en el desarrollo de la Astronomía a finales del siglo XVIII y principios del XIX.

Los hermanos WILLIAM (1738-1822) y CAROLINE LUCRECIA (1750-1848) HERSCHEL fueron quizá los astrónomos que más tiempo de su vida dedicaron a la observación del cielo.

William descubrió Urano, en 1781, asombrando a todos los científicos de la época, que consideraban que no podía haber planetas más allá de Saturno. Descubrió además los satélites de Urano, Titania y Oberón (1787) y dos más de Saturno: Mimas y Encélado (1789). Construyó numerosos telescopios reflectores de grandes dimensiones y calidad excepcional, como el de 122 cm, que sería el mayor del mundo en la época. Gracias a estos potentes instrumentos descubrió más de 2000 nebulosas y estableció la base de los modernos catálogos de galaxias que parten del suyo, conocido como «*General Cata-*



Figura 12. William y Caroline Herschel.

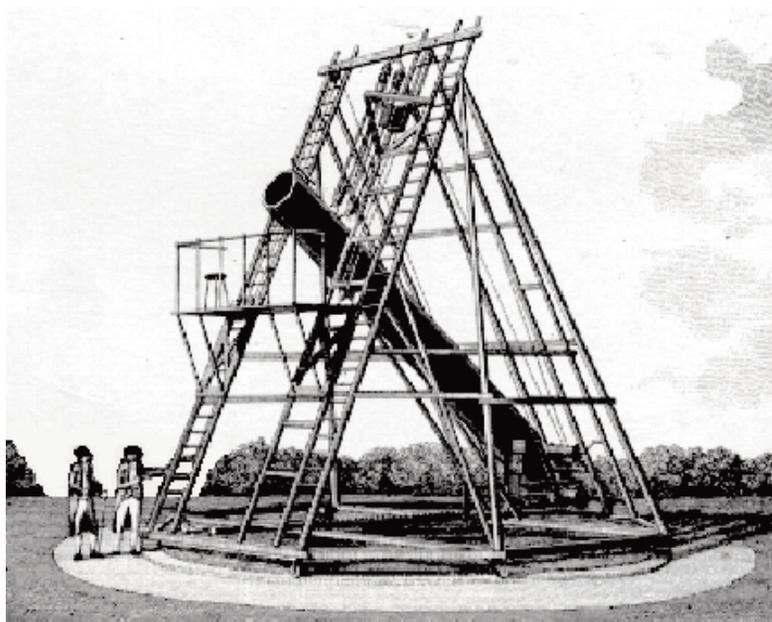


Figura 13. Uno de los telescopios reflectores construidos por los Herschel.

logue». Descubrió también las estrellas dobles y concluyó que se trataba de pares físicos, una girando alrededor de otra, y no alineaciones casuales.

William Herschel aplicó las leyes de Newton, no sólo al movimiento de los planetas, sino también a estrellas lejanas, descubriendo que el Sol se mueve lentamente hacia la constelación de Hércules. Siempre fue ayudado de manera infatigable por su hermana, Caroline Herschel, que realizaba observaciones de precisión sobre las previas de su hermano y descubrió ocho cometas. Ésta educó en Astronomía a su sobrino John, hijo de Herschel.

CHARLES MESSIER (1730-1817) confeccionó un catálogo (que lleva su nombre) de 110 objetos estelares de variada naturaleza, como galaxias, nebulosas o cúmulos estelares. Muchos de estos objetos siguen siendo conocidos en la actualidad por su número del catálogo. Otros lo son más por su número del catálogo NGC (New General Catalogue). Al parecer, inauguró su catálogo con M-1 (Nebulosa del Cangrejo) cuando buscaba el cometa Halley en la aproximación predicha por el astrónomo inglés.

## LA ASTROFÍSICA

En el siglo XIX, la precisión alcanzada en las determinaciones angulares permitiría vencer uno de los mayores obstáculos en el conocimiento del Universo: la medida de las distancias estelares.

FRIEDRICH WILHELM BESSEL (1784-1846), tomando ventaja del perfeccionamiento de los sistemas ópticos,

a partir de la construcción de objetivos acromáticos patentados en 1758 por JOHN DOLLOND, hizo una de las aportaciones más importantes de la Astronomía del s. XIX: conocer las distancias a las estrellas. Utilizando el método de la paralaje publicó, en 1838, la determinación de la distancia Sol-61Cygni (10 años-luz).

Bessel desarrolló también en 1844 un método matemático para la detección de estrellas invisibles, compañeras de otras más grandes y luminosas en sistemas múltiples. Observó que la trayectoria de Sirio no era rectilínea y concluyó que formaba parte de un sistema doble que giraba alrededor del centro de masas común. No logró observar Sirio B (enana blanca), mucho menos luminosa que Sirio A, pero condujo a su posterior descubrimiento. Fue ALVAN CLARK quien 16 años después de la muerte de Bessel, con un telescopio refractor de 45 cm, observó en la posición prevista Sirio B, muy pequeña, mucho menos luminosa y extremadamente densa (sólo 1% del diámetro del Sol, pero la misma masa que éste). La masa de Sirio A es 2,3 veces la del Sol.

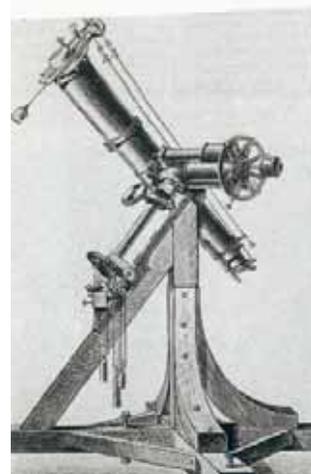


Figura 14. Telescopio de Bessel, utilizado para medir paralajes estelares.

Bessel determinó las posiciones de unas 50.000 estrellas con su telescopio especialmente diseñado y calculó, en 1830, la posición media y aparente de 38 estrellas para un período de 100 años. Señaló también las irregularidades del movimiento de Urano, lo que abrió las puertas al descubrimiento de Neptuno.

JOSEPH VON FRAUNHOFER (1787-1826) perfeccionó notablemente los telescopios refractores e incorporó por primera vez un espectroscopio a su telescopio, analizando el espectro solar, donde observó las líneas que llevan su nombre. Enumeró 754 de esas líneas que son el



Figura 15. Telescopio de Fraunhofer.

resultado de la absorción de luz en ciertas longitudes de onda por átomos presentes en la atmósfera solar. La espectroscopía ofrece la posibilidad de determinar la composición de un astro y su temperatura. Constituye la base para la medida de la velocidad radial, en virtud de la ley enunciada por Doppler en 1848, mediante la cual se han determinado movimientos relativos y rotaciones planetarias.

Fraunhofer construyó en 1817 el primer retículo de difracción con el cual midió las longitudes de onda de todos los colores.

## EL PODER DE LAS MATEMÁTICAS

Desde el momento de su descubrimiento, los astrónomos estudiaron el movimiento de Urano encontrando que no seguía exactamente la órbita calculada. Algún cuerpo estelar de gran masa parecía inducir perturbaciones en su movimiento orbital. En 1842, la Academia de Ciencias de Göttingen ofreció un premio a quien encontrara la solución a este problema.

URBAIN LEVERRIER (1811-1877) estudió matemáticamente el movimiento de cometas y sabía cómo tratar el problema de Urano. En 1846 completó sus cálculos escribiendo a J. Galle y pidiéndole que observara en el lugar del cielo donde suponía que debía estar Neptuno. ¡Y allí estaba! Cinco días más tarde lo encontró Galle muy cerca de la posición predicha. El descubrimiento

fue motivo de orgullo nacional en Francia, pero sufrió un pequeño contratiempo cuando se supo que esos cálculos habían sido efectuados un año antes por el matemático inglés JOHN COUCH ADAMS (1819-1892).

Adams, después de graduarse en la Universidad de Cambridge, decidió atacar el problema de Urano. En 1845 hizo llegar al astrónomo real Airy sus resultados, muy similares a los que encontraría Leverrier, pero ni Airy ni Challis hicieron caso de ellos. Poco después, Galle encontró a Neptuno utilizando los cálculos de Leverrier. No obstante, la Royal Astronomical Society de Inglaterra hizo justicia a Adams concediéndole el mismo premio con el que condecoró a Leverrier el año anterior.



Figura 16. John Couch Adams (izquierda) y Urbain Leverrier (derecha).

El descubrimiento de Neptuno, mediante el poder de las matemáticas, es sin duda una hazaña sin precedentes; sobre todo si se tiene en cuenta que las únicas herramientas de que disponían estos astrónomos eran lápiz y papel.

JOHANN GOTTFRIED GALLE (1812-1910) descubrió Neptuno en 1846, gracias a los cálculos de Leverrier y Adams que predijeron su posición con gran exactitud (sólo 1° de diferencia). En 1838 descubrió el anillo interior C de Saturno. Pero su contribución más importante a la Astronomía fue la propuesta de empleo de la paralaje a los asteroides para determinar la escala de distancias del sistema solar. Ello se llevó a cabo 20 años después.



Figura 17. Neptuno (sonda Voyager II).

ASAPH HALL (1829-1907), con el telescopio refractor de 66 cm del observatorio de La Marina, en Washington, descubrió en 1877 los dos pequeños satélites de Marte, Phobos y Deimos. Determinó períodos orbitales y tamaños de las órbitas de satélites de otros planetas y observó una mancha clara en Saturno, lo que le sirvió como referencia para determinar su período de rotación. También Determinó la masa de Marte.

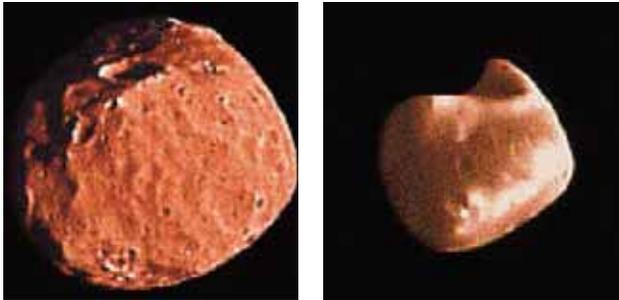


Figura 18. Phobos (izquierda) y Deimos (derecha).

GIOVANNI VIRGINIO SCHIAPARELLI (1835-1910) fue gran observador de Marte y fundador de su topografía. En 1877 creyó descubrir redes de grandes canales en la superficie del planeta, lo que dio lugar a la especulación acerca de si en él podría haber vida inteligente. En realidad, los canales de Marte eran una ilusión óptica. En sus investigaciones sobre la teoría de las estrellas fugaces descubrió la relación entre las perséidas y el cometa 1862 III. Descubrió numerosas estrellas dobles entre 1875 y 1900 así como el asteroide 69 Hesperia en 1861. Fue director del observatorio de Brera, en Milán.



Figura 19. Los falsos canales de Marte (dibujo de Schiaparelli).

PERCIVAL LOWELL (1855-1916) fue un rico adinerado aficionado a la Astronomía y principal defensor, en Estados Unidos, de la existencia de canales en Marte. Se interesó en el tema por las observaciones y dibujos de

Schiaparelli. Construyó un observatorio (Lowell Observatory) que permanece activo en la actualidad. Su mayor contribución a la Astronomía fue la intensa búsqueda de un planeta X exterior a Neptuno que sería descubierto posteriormente (1930) por Tombaugh (Plutón).

## ASTRONOMÍA CONTEMPORÁNEA

Durante el siglo XX se han construido telescopios reflectores cada vez mayores. Los estudios realizados con estos instrumentos han revelado la estructura de enormes y distantes agrupamientos de estrellas, denominados galaxias, y de cúmulos de galaxias. En la segunda mitad del siglo XX los progresos en física proporcionaron nuevos tipos de instrumentos astronómicos, algunos de los cuales se han emplazado en los satélites que se utilizan como observatorios en la órbita de la Tierra. Estos instrumentos son sensibles a una amplia variedad de longitudes de onda de radiación, incluidos los rayos gamma, rayos X, ultravioleta, infrarrojos y regiones de radio del espectro electromagnético. Los astrónomos no sólo estudian planetas, estrellas y galaxias, sino también plasmas (gases ionizados calientes) que rodean a las estrellas dobles, regiones interestelares que son los lugares de nacimiento de nuevas estrellas, granos de polvo frío invisibles en las regiones ópticas, núcleos energéticos que pueden contener agujeros negros y radiación de fondo de microondas, surgida de la gran explosión, que pueden aportar información sobre las fases iniciales de la historia del Universo.

GEORGE ELLERY HALE (1868-1938), físico, profesor de la Universidad de Chicago, dirigió el observatorio Yerkes. Dotó a éste y a otros observatorios con los mejores telescopios del mundo; por ejemplo el observatorio Wilson, con un telescopio de 2,5 m de apertura. Desgraciadamente no vivió para asistir a la inauguración del gran telescopio, que lleva su nombre, del Monte Palomar. Descubrió que las manchas solares eran más frías que el resto de la fotosfera y demostró con técnicas espectroscópicas que dichas manchas son el resultado de fuertes campos magnéticos. Dibujó un sorprendente mapa del ciclo magnético del Sol (22 años), según el cual los patrones de polaridad cambian de signo cada ciclo. Inventó el espectroheliógrafo, que permite fotografiar el Sol en una sola longitud de onda.

EDWIN HUBBLE (1889-1953) obtuvo el doctorado en Ciencias Físicas en el Observatorio de Yerkes. Se incorporó posteriormente al Observatorio del Monte Wilson

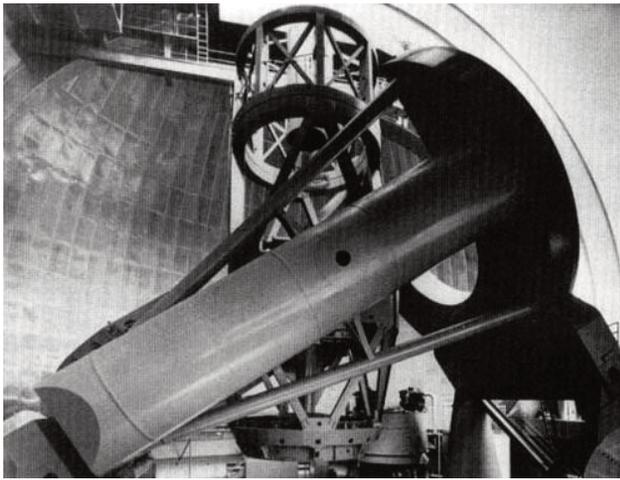


Figura 20. Telescopio reflector Hale (5m) de Monte Palomar.

coincidiendo con la puesta a punto del telescopio Hooker. Sus observaciones con éste establecieron que numerosas nebulosas observadas anteriormente no formaban parte de nuestra galaxia, sino que se trataba de galaxias distintas. En 1924 hizo pública su naturaleza extragaláctica ampliando los límites del Universo conocido. Junto con Milton Humason, comparando las distancias calculadas para diferentes galaxias y sus desplazamientos al rojo establecidos por Slipher, descubrió la relación entre la velocidad con la que se alejan las galaxias y su distancia (ley de Hubble o de recesión de las galaxias).

Hubble organizó un sistema de clasificación de galaxias que perdura con pocos cambios hasta la actualidad. Determinó las distancias a muchas de ellas, estableciéndolas en centenares de años-luz y demostró que cuanto más lejanas eran más rápidamente se alejaban (ley de Hubble). La ley de Hubble evidencia la expansión del Universo y el origen del mismo, conocido como gran explosión (Big Bang).



Figura 22. Galaxia de Andrómeda fotografiada por el HST.



Figura 21. Telescopio espacial Hubble.

CLYDE TOMBAUGH (1906-1997) en 1930, en el Observatorio Lowell, comparando fotografías tomadas en días sucesivos en la constelación de Géminis encontró la evidencia fotográfica de la existencia del 9º planeta del sistema solar: Plutón (actualmente desclasificado como planeta). Descubrió además seis cúmulos estelares, dos cometas, centenares de asteroides, docenas de cúmulos de galaxias y un supercúmulo. En 1932 descubrió una nova en la constelación del Cuervo.

La Radioastronomía, otra fundamental rama de la Astronomía, se inició en la práctica en 1932, cuando Karl G. Jansky captó por casualidad las primeras ondas de radio procedentes de la Vía Láctea. La potencialidad de la Radioastronomía como *exploradora* del universo es prácticamente infinita, hasta el extremo de que en 1937 G. Reber detectó ondas de radio procedentes del centro de la Vía Láctea. También, en 1960 pudo identificarse una galaxia distante de la Tierra 4500 millones de años-luz gracias a este método.

En 1946 tuvo lugar otro importante paso en la historia de la Astronomía, ya que en esa fecha se estudiaron por primera vez los ecos de ondas electromagnéticas rebotadas en los cuerpos celestes del Sistema Solar, como alternativa a los métodos empleados hasta entonces (luz visible, principalmente). Este recién estrenado campo, desarrollado principalmente durante la segunda guerra mundial, avanzó con inusitada rapidez y, ya en 1963, científicos soviéticos llevaron a cabo por este medio las primeras observaciones detalladas de los planetas Mercurio y Venus.

La Astronomía también se vio beneficiada por el comienzo de la carrera espacial, ya que la posibilidad de poner satélites en órbita permitía el estudio del espacio sin

las perturbaciones producidas por la atmósfera terrestre. De hecho, los telescopios espaciales (como, por ejemplo, el telescopio Hubble) desempeñan un papel muy importante en la observación actual del firmamento. Además, las sondas científicas permiten observar y estudiar los planetas desde una distancia mucho menor. En 1959, por ejemplo, gracias a una sonda soviética, se obtuvieron las primeras fotografías de la cara oculta de la Luna. Tres años más tarde, la sonda estadounidense *Mariner 2* obtuvo datos precisos sobre el planeta Venus, lo que nos permitió conocer la existencia de su densa atmósfera y las extremas condiciones reinantes en su superficie. Desde entonces hasta hoy el estudio de los cuerpos celestes del Sistema Solar, en especial los planetas, no ha cesado, y gracias a ello hemos obtenido un valioso conocimiento de nuestro entorno espacial más próximo.

En 1963 se descubrieron los *cuásares*, objetos de gran actividad que, según se cree, son los núcleos de galaxias muy lejanas. Cuatro años más tarde, se detectaron por primera vez *púlsares*, que en realidad son estrellas de neutrones orientadas de tal manera que su cono de emisión de ondas electromagnéticas está orientado hacia la Tierra. Este tipo de objetos gira muy rápidamente, por lo que la intensidad de las ondas electromagnéticas que recibimos de ellos varía de forma periódica.

En 1965 tuvo lugar el descubrimiento, por parte de ARNO PENZIAS y ROBERT WILSON, de la radiación de fondo del universo. Este hecho apoya en gran medida la idea de una explosión inicial similar al *Big Bang*. En 1980, Allan Guth propuso la teoría de la *inflación cósmica*, en la que proponía que durante los primeros instantes del *Big Bang* tuvo lugar una rapidísima expansión del universo.

Las últimas décadas han aportado nuevos métodos e instrumentos gracias a los cuales ha sido posible descubrir numerosos hechos que modifican continuamente nuestra concepción del Universo. Un ejemplo es la interferometría, que permite combinar imágenes de dos telescopios iguales separados, para obtener enormes resoluciones (equivalentes a las que se obtendrían con un

telescopio de tamaño igual a la distancia que separa los telescopios interferométricos). Así, el VLA (Very Large Array) consiste en una red de 27 radiotelescopios situados en forma de Y en el desierto de Nuevo Méjico (EE.UU.). Actualmente, los telescopios terrestres más grandes tienen un diámetro de 10 metros, como los *Keck* en Mauna Kea, Hawai, situados en un lugar privilegiado para realizar observaciones astronómicas.

Los avances tecnológicos derivados del espectacular desarrollo de la ingeniería y la técnica de la segunda mitad del siglo XX (tales como ordenadores cada vez más rápidos, telescopios orbitales más sofisticados, sondas espaciales al encuentro de planetas y otros cuerpos, etc.) han permitido que la Astronomía, como el resto de las ciencias, haya presenciado en estos últimos años una revolución muy importante que continuará durante el siglo XXI.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chang *et al.* *El Universo. Enciclopedia Sarpe de la Astronomía*. Ed. Sarpe. Madrid, 1982.
2. Carl Sagan. *Cosmos*. Ed. Planeta. Madrid, 1980.
3. Fred Hoyle. *Iniciación a la Astronomía*. Ed. Orbis. Barcelona, 1986.
4. Lloyd Motz. *El Universo*. Ed. Orbis. Barcelona, 1987.
5. J. B. J. Delambre. *Histoire de l'Astronomie Moderne*. Johnson Reprint Corporation. New York, 1969.

## WEBGRAFÍA

C. de Toro y Llaca. La evolución de los conocimientos astronómicos a través de la historia:

<http://www.iag.csic.es/museo/documentos.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Astronomia>

<http://www.astrored.net/universo>

<http://www.astromia.com>

Enrique Teso Vilar  
Facultad de Ciencias

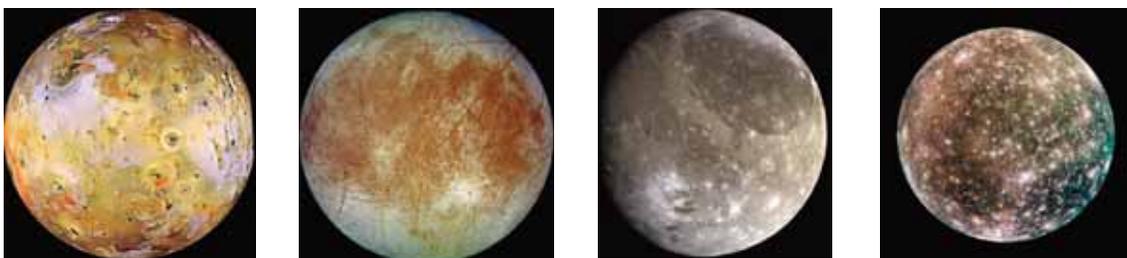


Figura 23. Los satélites galileanos de Júpiter: Io, Europa, Ganímedes y Calixto (sonda Voyager II).