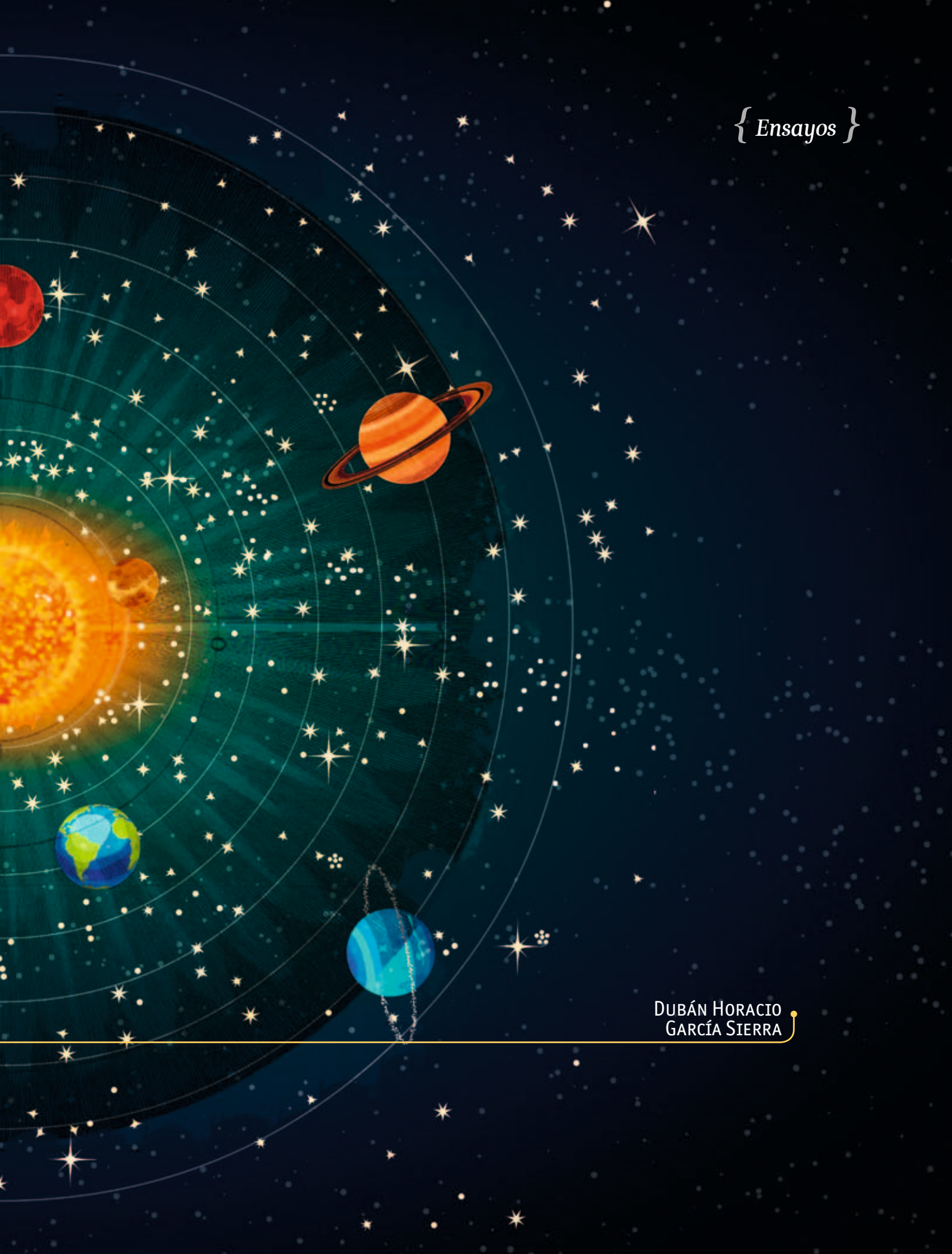




VISITANDO LOS PLANETAS

{ Ensayos }



DUBÁN HORACIO
GARCÍA SIERRA

El conocimiento científico, y más específicamente el astronómico, es siempre cambiante, evolutivo; el método científico es un proceso dinámico y retroalimentado de adquisición de conocimiento, en el cual la experimentación aporta siempre nuevos datos con los cuales los conceptos y teorías previamente elaborados son redefinidos y perfeccionados.

Buscando los orígenes del conocimiento astronómico, debemos considerar que fenómenos celestes que hoy en día nos resultan tan naturales, como el aparente movimiento circular de los astros en el cielo, principalmente el Sol y la Luna, y los maravillosos eclipses de Luna y de Sol, debieron haber intrigado y estimulado el espíritu cognitivo de los humanos de antiguas civilizaciones como la mesopotámica, sumeria, babilonia, egipcia, china, india, griega, etc. Varias de estas civilizaciones dejaron evidencias de sus observaciones astronómicas en el formato de escritura cuneiforme (escritura en tablillas de arcilla); los eclipses lunares ya podían ser predichos con buena exactitud hace unos 3.000 años (Wilson, 2005: 5-7).

Pero fueron los filósofos de la civilización de la Grecia Clásica quienes dejaron la mayor evidencia documental de sus conocimientos en astronomía. Aparte del Sol y la Luna, los griegos contemplaron con especial atención cinco astros que les eran apreciables a simple vista y que tenían un movimiento muy característico en el firmamento nocturno, a los cuales denominaron *planetas*, vocablo que en griego significaba “errante” o “vagabundo” (Hawking, 2005: 5-13). Dichos planetas recibieron nombres de dioses mitológicos romanos: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

Aunque la teoría de un universo geocéntrico fue concebida en diferentes tiempos y civilizaciones, y por diferentes personajes, el gran filósofo griego Aristóteles (384-322 a.C.), partiendo de una idea original de Eudoxo de Cnido (390-337 a.C.), fue quien más la argumentó, defendió y divulgó con su texto *De Caelo* o *Sobre el cielo*. En la cosmovisión o teoría aristotélica del universo geocéntrico, que igualmente puede catalogarse como antropocéntrica, la Tierra, y asimismo el hombre, en tanto que ella es su residencia, se halla en reposo en el centro del universo; mientras que el Sol, la Luna, los referidos cinco planetas y todos los demás cuerpos celestes giran en torno a ella siguiendo órbitas circulares.

Sin embargo, la teoría de un universo geocéntrico no fue exclusividad de aquellas antiguas civilizaciones, dado que varios hombres de distintas épocas y lugares, entre quienes merecen ser mencionados Filolao de Tarento (470-380 a.C.), Aristarco de Samos (310-230 a.C.), y el astrónomo babilonio Seleuco de Seleucia (siglo II a.C.), llegaron a plantear o defender concepciones de un universo heliocéntrico, esto es, con el Sol en el centro del mundo. Pero estas teorías no lograron imponerse, fundamentalmente debido a oposiciones tanto teológicas como filosóficas del momento.

La teoría aristotélica del universo fue retomada casi quinientos años después, mejorada y convertida en un modelo empírico geométrico del universo por el



Modelo geocéntrico del sistema solar de Ptolomeo

astrónomo, geógrafo y matemático greco-egipcio Claudio Ptolomeo (100 d.C.-170 d.C.). En este modelo, la Tierra estaba en reposo, ubicada en el centro del universo y rodeada por ocho esferas concéntricas y dotadas de movimiento rotatorio en torno a ella. Cada una de las esferas contenía y transportaba por el cielo a cada uno de los cuerpos celestes: el Sol, la Luna y los cinco planetas; la última, la más externa a todas, transportaba con su movimiento a las demás estrellas del firmamento. La cosmovisión aristotélica buscaba comprender y explicar el movimiento observado de los cuerpos celestes. Claudio Ptolomeo trató de ir más lejos, y basándose en datos observacionales y en conceptos de otros filósofos, elaboró su modelo geocéntrico con el que adicionalmente pretendía predecir dichos movimientos; y aunque su modelo fuera erróneo, paradójicamente lo hacía con un muy buen nivel de precisión para la época.

El peso filosófico aportado por Aristóteles, y el hecho de que fuera este modelo el adoptado, impuesto y defendido históricamente por la Iglesia católica, fundamentalmente debido a que concordaba con las sagradas escrituras en el sentido de que tanto el hombre como la Tierra ocupaban el centro de la divina creación, contribuyeron a que el modelo aristotélico-ptolemaico de un universo geocéntrico continuara vigente durante un largo periodo de tiempo, específicamente hasta el siglo XVI: incluso hacia 1502, cuando Cristóbal Colón realiza su último viaje descubridor al continente americano, la inmensa mayoría de gentes creían que la Tierra era el centro del universo.

La desacreditación efectiva y el abandono total de la concepción aristotélica-ptolemaica del universo geocéntrico, después de estar vigente por prácticamente dos milenios, se empezó a gestar durante el siglo XVI, en el periodo final del Renacimiento, con la entrada en escena del astrónomo Copérnico.

De origen polaco, el científico Nicolás Copérnico (1473-1543) realiza sus primeros estudios en la Universidad de Cracovia y posteriormente en Italia, en las

Universidades de Bolonia y Padua; adelanta estudios de matemática, filosofía, medicina, astronomía y derecho canónico. Su aporte fundamental a la astronomía moderna fue haber retomado, mejorado y puesto de nuevo en circulación en Europa las antiguas teorías griegas del universo heliocéntrico; su famoso libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*), en el que establece su sistema de movimientos circulares planetarios alrededor del Sol, fue publicado el mismo año de su muerte en 1543, y con él se hace acreedor del título de padre de la astronomía moderna. A falta de evidencias, los historiadores piensan que Copérnico fue reacio a publicar más tempranamente su libro debido en esencia a dos temores: ser juzgado como hereje por la Iglesia y ser duramente criticado por los científicos de turno (Philip's Astronomy Encyclopedia, 2002; North, 2005). De sus varias hipótesis merece ser destacada la siguiente: "Orbitando alrededor del Sol se encuentran, en respectivo orden, Mercurio, Venus, la Tierra y la Luna, Marte, Júpiter y Saturno". (Aún no se conocían los planetas Urano y Neptuno, ni el planeta enano Plutón; estos deberían esperar hasta la invención del telescopio).

A diferencia de Copérnico, Tycho Brahe (1546-1601) fue un astrónomo esencialmente empírico, dedicado a la observación del cielo. Nacido en Dinamarca, y de buena fortuna, diseñó y mandó construir sus propios instrumentos pretelescopios de observación y medición astronómica; con el patrocinio del rey Federico II construyó el mejor observatorio astronómico de la época: *Uraniborg*. Allí pasó gran parte de su vida realizando mediciones y sistematizando gran cantidad de datos sobre el movimiento de las estrellas y demás cuerpos celestes. Pero no fue un teórico genial.

Afortunadamente, Brahe se consigue un buen asistente: Johannes Kepler (1571-1630). De origen alemán, Kepler estudia inicialmente en seminarios y más tarde en la universidad de Tubinga, donde estudia física, matemáticas, teología y astronomía,

y tiene sus primeros contactos con la teoría heliocéntrica copernicana. Es contratado en 1600 por Tycho Brahe para ser su asistente, pero el destino juega a favor de Kepler, dado que al año siguiente Brahe muere, con lo cual Kepler logra quedarse con el puesto de Matemático Imperial de Rodolfo II en Praga, y administrar el manantial de datos astronómicos obtenidos por Brahe. Con estos últimos y su agudeza en física y matemática, Kepler establece entre 1609 y 1618 sus bien conocidas *Tres Leyes Fundamentales del Movimiento Planetario*, modificando y convalidando la teoría heliocéntrica de Copérnico. Kepler cambia las órbitas circulares planetarias de Copérnico por órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos; para 1621, Kepler publica su más famoso libro: *Epitome Astronomiae Copernicanae* (Hawking, 2007).

En el año 2006, la Unión Astronómica Internacional realiza una redefinición del término *planeta* y crea una nueva categoría de cuerpo celeste: *planeta enano*, dentro de la cual se introduce al referido Plutón.

En 1610, la teoría aristotélica-ptolemaica recibe la más fuerte refutación por parte del astrónomo Galileo Galilei. Normalmente, se cita al fabricante alemán de lentes oftalmológicas Hans Lippershey (1570-1619) como la primera persona en solicitar en 1608 la patente para un artefacto capaz de hacer ver los objetos muy lejanos como si en realidad estuvieran muy próximos al observador; la noticia sobre la novedad se difunde rápidamente por Europa hasta llegar a los oídos, y las manos, más indicadas. Nacido en Pisa, Italia,

Galileo Galilei (1564-1642) estudia inicialmente en un monasterio y en 1581 se matricula en medicina en la Universidad de Pisa, pero decide abandonar esta universidad para dedicarse a estudiar matemáticas y astronomía por su propia cuenta, declarándose prontamente un auténtico antiaristotélico; en 1589 logra obtener un puesto de profesor de matemáticas y astronomía en la Universidad de Pisa, así como en la Universidad de Padua en 1592. Galileo se entera del llamativo invento de Lippershey y se apresura a rediseñarlo, construye sus propias lentes y lo convierte en un auténtico instrumento de observación astronómica: un telescopio diez veces más potente que el diseño original. Cuando lo dirige hacia el cielo en 1610, realiza múltiples descubrimientos que cuestionan seriamente la antigua teoría cosmológica: las manchas solares, las montañas en la Luna, las fases de Venus, etc.; pero su descubrimiento más trascendental es el de las cuatro lunas orbitando el planeta Júpiter, dado que esto permite concluir que no todos los objetos celestes giran en torno a la Tierra; obligatoriamente, la Tierra no es el exclusivo centro del universo, como sostenía Aristóteles (North, 2005).

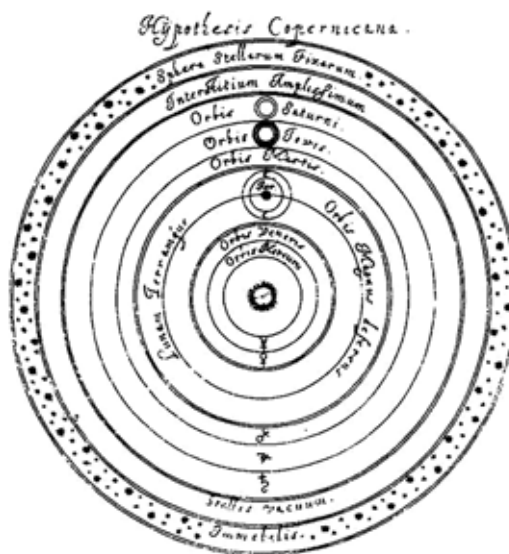
Galileo publica los estudios y conclusiones sobre dichos descubrimientos en su obra *Siderus Nuncius* en el mismo año de 1610. El astrónomo criticó los principios cosmológicos aristotélicos y defendió los suyos propios con tanta vehemencia, que hizo enemigos en las esferas eclesiásticas, fue juzgado como hereje en 1632 por contradecir los dogmas teológicos cosmológicos del momento, y sentenciado a cadena perpetua —pena que posteriormente le fue cambiada por arresto domiciliario—.

Hasta aquí se ha utilizado el término *modelo heliocéntrico del universo* porque así fue como lo entendieron y lo desarrollaron históricamente los astrónomos de turno; pero en la actualidad debe aclararse que en realidad con esta expresión se hace referencia a un *modelo del sistema solar*. Con los aportes de Copérnico, Brahe, Kepler y Galileo quedaba bien establecida una teoría

heliocéntrica que permitía no solamente describir, sino también predecir el movimiento de los planetas en torno al Sol, pero que no permitía responder a las preguntas como: ¿Por qué los planetas se mueven exclusivamente en órbitas elípticas alrededor del Sol? ¿Por qué nunca abandonan, o se salen, de dicha órbita? Las respuestas a estos interrogantes estaban reservadas para el más grande de los físicos clásicos.

Isaac Newton (1642-1727) nace en Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra; ingresa en 1661 al Trinity College de la Universidad de Cambridge y se gradúa en 1665, año en el cual la universidad es cerrada a causa de la peste bubónica. Newton se retira a Woolsthorpe para continuar por su cuenta los estudios sobre matemáticas, mecánica, óptica y gravitación; posteriormente regresa a Cambridge, donde logra ser profesor lucasiano de matemáticas en 1669. Se consagra como el mayor genio de la física clásica en 1687 con su obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, o *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, en la cual expone sus *tres leyes del movimiento de los cuerpos*, así como la *ley de la gravitación universal*, siendo esta última la que nos explica el porqué de la órbita elíptica de los planetas en torno al Sol: es la fuerza de gravedad del Sol la que sostiene a los planetas en su respectiva órbita (North, 2005; Hawking, 2007). Con Newton queda claramente establecido el marco teórico, físico y matemático para un sistema solar heliocéntrico, dentro del ámbito de la física clásica, no relativista.

Nuevos descubrimientos astronómicos de la talla de los de Galileo debieron esperar hasta una nueva generación de consagrados astrónomos en el siglo XVIII. William Herschel descubre el planeta Urano en 1781; para 1846 es descubierto el planeta Neptuno por el dúo Johann Galle y Heinrich D'arrest; finalmente, el planeta más externo de nuestro sistema solar, Plutón, fue descubierto en 1930 por el astrónomo Clyde Tombaugh. En el año 2006, la Unión Astronómica Internacional



Modelo heliocéntrico del sistema solar de Nicolás Copérnico

realiza una redefinición del término *planeta* y crea una nueva categoría de cuerpo celeste: *planeta enano*, dentro de la cual se introduce al referido Plutón.

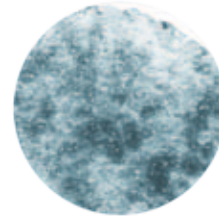
Por *carrera espacial* se entiende el periodo de tiempo entre 1957 y 1975, y que se enmarca dentro de otro mayor conocido como Guerra Fría, que a su vez tiene sus orígenes en el desenlace de la Segunda Guerra Mundial. Dicha carrera espacial se caracteriza por una fuerte competitividad tecnológica entre Estados Unidos y la Unión Soviética, con miras a obtener la primacía en la exploración espacial y la presencia humana en el espacio. Los primeros grandes éxitos los obtiene la Unión Soviética en 1957 con el Sputnik 1, el primer satélite artificial de la Tierra, y luego en 1959 con una serie de sondas espaciales no tripuladas denominadas Luna: primer vehículo en escapar de la gravedad terrestre e ingresar en órbita solar, primer impacto de un vehículo espacial sobre la superficie lunar, primera comunicación de telemetría desde y hacia fuera de la Tierra, primer sobrevuelo lunar con éxito y primeras fotografías de la cara oculta de la Luna. Pero el éxito que más fama le dio a la Unión Soviética fue colocar al primer hombre en el espacio en abril de 1961: el cosmonauta

Yuri Gagarin orbita la Tierra a una altitud de 315 km y en aproximadamente 108 minutos en la cápsula espacial Vostok 1, para luego aterrizar a salvo; y, finalmente, el primer alunizaje no tripulado en 1966, con la sonda Luna 9, la cual transmite a la Tierra imágenes de la superficie lunar.

En términos sencillos, una *sonda espacial* es un artefacto con sistemas de energía, propulsión, instrumentación y comunicación propios, que luego de ser lanzado al espacio exterior con el auxilio de un cohete, es capaz de volar de manera teledirigida desde un centro de operaciones en la Tierra hasta alcanzar su objetivo final en el espacio. Por otra parte, un *satélite artificial* es un artefacto insertado intencionalmente y por tiempo indefinido en la órbita de algún cuerpo celeste.

Los primeros éxitos de Estados Unidos se inician en 1958 con su primer satélite artificial terrestre, el Explorer 1; en 1961 colocan al astronauta Alan Shepard en el espacio, en vuelo suborbital terrestre en la cápsula Mercury Redstone 3; en 1962, por primera vez una sonda espacial sobrevuela otro planeta: la sonda Mariner 2 pasa a 34.800 km de Venus y escanea su superficie; seguidamente, en 1964 el planeta Marte es sobrevolado por primera vez por la sonda Mariner 4, tomando imágenes de primer plano del mismo. Para 1967, los norteamericanos realizan con la sonda Surveyor 5 su primer alunizaje no tripulado, con transmisión de imágenes y análisis del terreno; y al año siguiente efectúan la primera misión orbital tripulada a la Luna con la misión Apolo 8. Pero el mayor éxito de toda la historia de la exploración espacial lo obtuvo Estados Unidos el 20 de julio de 1969 con la misión Apolo 11, el primer alunizaje tripulado y los primeros hombres en caminar sobre la Luna: Neil Armstrong, secundado por Edwin E. Aldrin. Hasta el año 1971 los norteamericanos realizan seis alunizajes tripulados exitosos, para un total de doce hombres que han “tenido los pies”, no solo en la Tierra, sino además en la Luna (NASA, Solar System Exploration Page).

La carrera espacial se entiende por terminada en 1975, cuando las relaciones entre las dos potencias se relajan y se efectúa la primera misión conjunta entre la Agencia Espacial Americana, NASA, y la Agencia Espacial Soviética: una nave americana Apolo y una soviética Soyuz se acoplan en el espacio y sus ocupantes realizan labores conjuntas. Pero, por inercia y entusiasmo, las misiones espaciales y la exploración espacial continúan.



El pequeño planeta Mercurio, con apenas 4.879 km de diámetro, es el más interno de todos; orbita a una distancia promedio del Sol de 58 millones de km, tiene una temperatura promedio en su superficie de 430 °C en el día, en la parte de frente al Sol, y de 173 °C bajo cero en la parte oculta al Sol; no tiene aire o atmósfera, ni agua en su superficie. Ha sido objeto de pocas misiones espaciales; en 1974, la sonda estadounidense Mariner 10 realiza el primer sobrevuelo del planeta a una distancia aproximada de 700 km. Mucho más reciente es la misión Messenger (Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging) de la NASA, que fue lanzada en 2008 para convertirse en el primer satélite artificial de Mercurio con el propósito de estudiar las características del planeta desde su órbita. Más específicamente, los objetivos científicos de la misión eran caracterizar la composición química de la superficie, la historia geológica, el tamaño y el estado del núcleo, y la naturaleza de la exosfera y la magnetosfera de Mercurio.

Mayor atención ha recibido el planeta Venus, que orbita al Sol a una distancia promedio de 108 millones de km, y tiene un tamaño muy similar al de la Tierra: 12.104 km de diámetro. Venus es un contraste: muy

en la mañana, o ya anocheciendo, es apreciable a simple vista, siendo de los cuerpos más brillantes en el cielo, tanto que ha recibido el calificativo de lucero vespertino. Pero estar allí sería bien diferente a estar en la Tierra, pues con una atmósfera compuesta sobre todo por dióxido de carbono, CO_2 , supremamente densa (unas 90 veces más pesada que en la Tierra), y muy caliente, con unos $480\text{ }^\circ\text{C}$, cualquier organismo terrestre se aplastaría o fritaría allí en un segundo. En realidad, Venus es lo más parecido a un infierno, es el ejemplo más dramático de un planeta recalentado por su propio efecto invernadero. Por eso es importante estudiarlo. Ambas potencias han enviado sondas allí, pero los fracasos también han sido múltiples. La más famosa es la misión soviética Venera 9, de octubre de 1975, por haber conseguido colocar su primer orbitador o satélite artificial en Venus, así como por el primer aterrizaje controlado, no tripulado, en otro planeta, y por transmitir a la Tierra los primeros datos e imágenes desde la superficie de otro planeta. Estados Unidos, por su parte, debió esperar hasta 1978 para colocar exitosamente el orbitador Pioneer Venus, que estudia la atmósfera y efectúa un mapeo de la superficie mediante un radar; y hasta 1989 para que el segundo orbitador, la sonda Magallanes, lograra un mapeo del 98% de la superficie del planeta.



La Agencia Espacial Europea hace presencia desde 2006 colocando a la Venus Express como su primer orbitador, el cual funcionó hasta diciembre de 2014 y efectuó observaciones detalladas y de largo plazo de la atmósfera venusiana. Por su parte, en mayo de 2010 la Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA) inició una misión a Venus, denominada Akatsuki,

también conocida como Venus Climate Orbiter. Estaba diseñada para realizar diversos experimentos tendientes a determinar el posible vulcanismo actual en la superficie del planeta, así como la presencia y frecuencia de rayos y otros fenómenos eléctricos en la atmósfera de Venus; además, pretendía complementar los datos obtenidos por la Venus Express y realizar un mapeo de la superficie usando una cámara infrarroja. Estuvo en funcionamiento hasta mayo de 2016.



La Tierra es el tercer planeta desde el Sol, orbitándolo a una distancia promedio de 150 millones de km; tiene un diámetro de 12.756 km, y junto con el planeta Marte comparte el privilegio de estar ubicado en una región del sistema solar que los astrónomos conocen como *zona habitable*, cuya principal característica es que allí se dan las condiciones indispensables para la existencia de vida tal como la conocemos en la Tierra. En la actualidad hay una gran variedad de satélites artificiales de diferentes países orbitando nuestro planeta, siendo los tipos principales los de telecomunicaciones, sistemas de posicionamiento global o GPS, de investigaciones y mediciones meteorológicas, y de mapeo por radar. El telescopio espacial Hubble orbita la Tierra desde 1990 a una altura promedio de 600 km. La Estación Espacial Internacional es un proyecto llevado a cabo por quince naciones, que empezó a construirse en 1998; funciona en una órbita a una altura promedio de 410 km, y desde el año 2000 es habitada permanentemente por tres astronautas que, por lo general, son relevados cada seis meses.

Marte es el planeta que históricamente más ha cautivado a la humanidad, inspirando variadas obras y películas de ciencia ficción. Muchos científicos y astrónomos

esperan encontrar signos de vida en Marte, sobre todo después de haberse comprobado la presencia de agua allí. Con un diámetro de 6.790 km, es básicamente la mitad del tamaño de la Tierra; orbita al Sol a una distancia promedio de 228 millones de km; tiene una atmósfera supremamente tenue, compuesta en un 95% de CO₂ y solo trazas de oxígeno y vapor de agua, y una temperatura aproximada de 20 °C en el día, pero de unos 20 °C bajo cero en la noche. Tiene dos pequeños satélites naturales o lunas: Phobos y Deimos. Desde 1960, Marte es objetivo de múltiples misiones espaciales, pero solo en 1971 se logró tener las primeras sondas espaciales en orbitar otro planeta: la estadounidense Mariner 9, el 14 de noviembre, y la soviética Mars 2, el 27 del mismo mes; para agosto de 1975, Estados Unidos consigue el primer amartizaje exitoso con la sonda Viking 1 Lander, que obtiene las primeras fotografías nítidas de la superficie del planeta. En diciembre de 1996, la NASA realiza un nuevo amartizaje con la misión Mars Pathfinder, pero esta vez incluía el primer vehículo todoterreno, o *rover*, en rodar por la superficie de Marte: el Sojourner.

Salvo los orbitadores Mars 2 y Mars 3 de 1971, los rusos no han tenido éxito en sus misiones a Marte; por su parte, Europa lanzó en junio de 2003 la misión Mars Express como su primer orbitador exitoso, el cual adicionalmente llevaba el vehículo todoterreno Beagle 2, de fabricación inglesa, pero fracasó en su amartizaje. De modo que la NASA es la que continúa al frente de la exploración de este planeta. La Mars Odyssey del año 2001 y la Mars Reconnaissance Orbiter de 2005 son dos orbitadores diseñados para estudiar la meteorología y la geología marciana; pero las misiones más exitosas son la Mars Exploration Rover-A o “Spirit” y la Mars Exploration Rover-B u “Opportunity”, lanzadas en 2003 y que consisten en sendos vehículos todoterreno de exploración geológica y mineralógica. El Spirit funcionó hasta 2010, mientras que el Opportunity continúa enviando datos a la Tierra. Finalmente, se

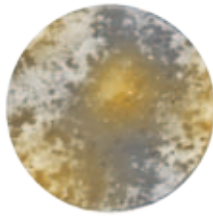
tiene al todoterreno Curiosity, lanzado en 2011, y que actualmente estudia la geología, el clima y las condiciones de habitabilidad pasada y presente en este planeta.



Con toda la información obtenida de las anteriores misiones, se sabe que actualmente Marte tiene una buena cantidad de agua, fundamentalmente en forma de hielo en los casquetes polares y en forma de permafrost en el subsuelo; incluso hay indicios de un sutil y complejo ciclo de agua en dicho planeta. La misión Phoenix Mars Lander de la NASA efectuó una observación sin precedentes al detectar nieve en la atmósfera de Marte en septiembre de 2008; dicha presencia de agua es la que impulsa y sostiene las investigaciones tendientes a encontrar indicios de vida pasada o actual, sobre todo en forma de microorganismos. De lo que no hay evidencias aún es sobre agua líquida permanente en forma de ríos o mares.

De las características geológicas de Marte, cabe mencionar al Olympus Mons, que con sus 25 km de altura, casi tres veces más que el terrícola Everest, es el volcán más grande del sistema solar; al Valles Marineris, que es un inmenso cañón de unos 4.000 km de largo, profundidades de hasta 7 km y anchuras de 24 km; mientras que La cara de Marte es una formación geológica que, vista desde el espacio, tiene la apariencia de un rostro humano, y que fue la fuente de inspiración para la película de ciencia ficción *Misión a Marte* de 1986.

Mercurio, Venus, la Tierra y Marte son los planetas interiores del sistema solar, también denominados *planetas rocosos*, dado que están formados mayoritariamente por materiales rocosos y metálicos; en realidad, el volumen de agua en los mares y ríos que tiene la Tierra es muy pequeño comparado con el volumen total del planeta.



Más allá de los planetas rocosos se tienen cuatro planetas exteriores: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, también conocidos como *gigantes gaseosos* debido a su gran tamaño y porque gran parte de su volumen se encuentra en forma gaseosa, por estar compuestos esencialmente por hidrógeno y helio, así como por pequeñas cantidades de amoníaco, metano, nitrógeno, etc., elementos químicos que son gaseosos en condiciones normales en la Tierra. Estos planetas son gigantes, verdaderamente “astronómicos”, y contienen tanta cantidad de materia que la presión y la gravedad allí son enormes, lo cual hace que buena parte de los gases se solidifique en forma de hielo y forme, junto con las rocas silíceas, el núcleo central del planeta; hacia más afuera se encuentra gradualmente una capa líquida, y finalmente se tiene la región externa gaseosa. Tienen sistemas de anillos planetarios y una buena cantidad de lunas.

Con un diámetro ecuatorial de 142.900 km, Júpiter es el mayor planeta de nuestro sistema solar: su masa equivale a casi 2,5 veces la suma de las masas de todos los demás planetas, lo que lo hace el rey de los planetas. Tiene un volumen 1.320 veces superior al de la Tierra y orbita al Sol a una distancia promedio de 780 millones de km; al estar tan distante, no le llega suficiente energía solar, por lo cual es demasiado frío, con una temperatura promedio en la zona más externa de 150 °C bajo cero.

Júpiter ha sido visitado por sondas espaciales desde la década de los setenta. Los primeros sobrevuelos al planeta los efectuaron sondas estadounidenses: la Pioneer 10 en diciembre de 1973, que tomó y envió a la Tierra las primeras fotografías y otras mediciones del planeta y sus lunas, y la Pioneer 11, que lo haría un año después. Posteriormente

fueron lanzadas las Voyager 1 y 2 en 1977. La Voyager 1 sobrevoló a Júpiter en marzo de 1979, tomando igualmente fotografías del planeta, de sus lunas y de su sistema de anillos planetarios, y haciendo mediciones sobre la meteorología y su campo magnético o magnetosfera. En 1989 se lanzó la misión Galileo, que incluye un orbitador y una sonda atmosférica del mismo nombre, y que llegó a Júpiter en 1995. La Sonda Atmosférica Galileo es la primera en penetrar la extraña y pesada atmósfera del planeta; descendió durante casi una hora hasta unos 200 km de profundidad y transmitió importantes datos de composición química y actividad meteorológica, antes de ser destruida por las extremas condiciones de presión y temperatura. La misión Cassini Huygens, con dirección hacia el planeta Saturno, realizó un sobrevuelo de Júpiter en diciembre del año 2000, tomando datos de meteorología y del campo magnético, así como gran cantidad de fotos del planeta, sus lunas y sus anillos.

Con Newton queda claramente establecido el marco teórico, físico y matemático para un sistema solar heliocéntrico, dentro del ámbito de la física clásica, no relativista.

Júpiter está compuesto en su mayor parte por los dos elementos químicos que también forman al Sol, pero en proporciones diferentes: tiene aproximadamente un 84% en volumen de hidrógeno y un 14% de helio, y muy pequeñas cantidades de amoníaco, alcohol, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, fosfina y metano (NASA, Solar System Exploration Page).

En realidad, las lunas son muy abundantes en nuestro sistema solar: si a la Tierra

solamente le correspondió una y a Marte dos, Júpiter en cambio tiene 67, de las cuales las más grandes y estudiadas son precisamente aquellas cuatro que descubrió Galileo en 1610 y que por tal motivo se denominan *Galileanas*: Ío, Ganímedes, Calisto y Europa; Ganímedes es la mayor luna del sistema solar, inclusive más voluminosa que el planeta Mercurio, aunque no más pesada.

En la atmósfera de Júpiter no se manifiesta un límite claro con respecto al interior líquido; la meteorología del planeta es complicada, pero se sabe que presenta tormentas, relámpagos, huracanes y ciclones. El fenómeno meteorológico más sobresaliente es la *gran mancha roja*, que puede describirse como un enorme huracán, remolino o torbellino ovalado de nubes, ubicado al sur del ecuador de Júpiter; tiene una longitud de hasta el doble del diámetro de la Tierra, es de coloración rojiza y presenta vientos periféricos que tienen una velocidad próxima a los 400 km/h. Júpiter cuenta además con un tenue sistema de anillos planetarios, compuesto fundamentalmente por polvo muy fino y repartido en cuatro zonas bien diferenciadas en torno al planeta.



Pero si Júpiter es, por su tamaño, el rey de los planetas, Saturno, por su belleza, es la joya de nuestro sistema solar. Es algo más pequeño que Júpiter, pues tiene un diámetro de 120.500 km, y se encuentra a casi el doble de distancia del Sol: 1.427 millones de km; pero lo que lo hace tan atractivo y ensoñador es su magnífico sistema de anillos planetarios, muy fácilmente visible desde la Tierra con pequeños telescopios de aficionados.

La sonda espacial Pioneer 11 sobrevoló a Saturno en septiembre de 1979 y tomó las primeras fotografías a corta distancia del planeta, sus lunas y sus anillos. La sonda

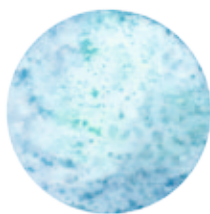
Voyager 1 sobrevoló este planeta en noviembre de 1980, mientras que la Voyager 2 lo hizo en agosto de 1981, pasando a una distancia de 101.300 km del planeta. Pero la misión espacial más determinante enviada a Saturno es la Cassini-Huygens, que consiste en una empresa conjunta entre la NASA, la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Espacial Italiana (ASI). El lanzamiento se realizó en octubre de 1997 y consta de dos elementos: la sonda espacial orbitadora Cassini y la sonda atmosférica Huygens. Los objetivos fundamentales de la misión son estudiar la atmósfera y el campo magnético del planeta, realizar un análisis detallado de su sistema de anillos, y estudiar sus lunas, sobre todo la más grande: Titán, objetivo específico de la sonda Huygens.

Saturno está compuesto fundamentalmente por 96% de hidrógeno y 3% de helio, y pequeñas cantidades de metano, amoníaco, vapor de agua y alcohol; tiene una temperatura promedio de 180 °C bajo cero; su estructura interna y su climatología son muy similares a las de Júpiter, con huracanes y tormentas igualmente “astronómicas”. Saturno cuenta con unas 62 lunas, entre las cuales las más grandes y conocidas son Tethis, Dione, Iapetus, Rhea y Titán, que es la mayor de todas. La sonda atmosférica Huygens penetró en la atmósfera de Titán en enero de 2005 y descendió en paracaídas sobre su superficie, para desplegar un laboratorio científico robótico dedicado a realizar diversos análisis tanto de su atmósfera como de la superficie y transmitir dicha información a la nave Cassini, que a su vez la reenvía a la Tierra.

Lo más representativo de Saturno es su sistema de anillos planetarios, que está constituido fundamentalmente por infinidad de partículas con tamaño comprendido entre polvo muy fino y trozos de hielo de agua y rocas de algunos metros de longitud; presenta una estructura de hasta siete zonas, o anillos, bien diferenciados. El más interior de todos, o anillo D, empieza a formarse a una distancia de unos 6.700 km del planeta, mientras que el más exterior,

o anillo E, se extiende hasta una distancia de 480.000 km, lo cual implica una región muy grande en el espacio; esto, combinado con las buenas propiedades de reflexión de la luz de dichos cuerpos, hace que el sistema de anillos sea fácilmente visible desde la Tierra incluso con telescopios de aficionados, aunque el calibre, o espesor, de los anillos solo sea de unos 10 km.

Hasta aquí hemos considerado aquellos planetas que las gentes de las antiguas civilizaciones pudieron contemplar a simple vista. Hubo que esperar hasta que el telescopio astronómico estuviera bien desarrollado para descubrir o tener conocimiento sobre los restantes: en marzo de 1781, Urano, el séptimo planeta, fue descubierto por el astrónomo alemán William Herschel.



Más pequeño que Júpiter y Saturno, Urano tiene un diámetro aproximado de 51.100 km. Sigue siendo un gigante planeta gaseoso, pero mucho más frío, helado; su temperatura promedio es de unos 220 °C bajo cero, lo que se debe a su lejanía del Sol, pues lo orbita a una distancia promedio de 2.880 millones de km. Urano tiene básicamente la misma estructura interna y composición química que Júpiter y Saturno, pero en proporciones diferentes; también posee un tenue sistema de anillos planetarios y un buen número de lunas: 27 en total, de las cuales las cinco principales son Titania, Oberón, Ariel, Miranda y Umbriel. Urano tiene una exclusividad por la que se le puede denominar el *planeta acostado*: todos los planetas poseen un eje de rotación en torno al cual giran, siendo este giro el que determina la dualidad día/noche, según el lado que esté de frente al Sol; dicho eje tiene normalmente un ángulo de inclinación con respecto al plano de la órbita en torno al Sol y que es

Mercurio, Venus, la Tierra y Marte son los planetas interiores del sistema solar, también denominados *planetas rocosos*, dado que están formados mayoritariamente por materiales rocosos y metálicos.

responsable de la existencia de las estaciones climáticas. Pues bien, lo que sucede con Urano es que el ángulo de inclinación de su eje tiene un valor tal que, comparado con los demás planetas, rota “acostado”, como si fuera un barril.

La existencia del octavo planeta, Neptuno, fue predicha de forma independiente, científica y teóricamente por los matemáticos John Couch Adams y Urbain Le Verrier, quienes trataban de explicar las perturbaciones observadas en la órbita de Urano. Siguiendo las indicaciones de Le Verrier, fue descubierto en septiembre de 1846 por el astrónomo alemán Johann Galle y su estudiante Heinrich D’arrest.

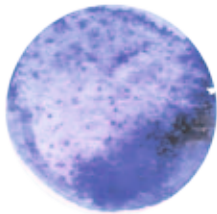
Neptuno, otro gigante gaseoso, tiene un tamaño ligeramente menor al de Urano, pues su diámetro es aproximadamente de 49.500 km; es el último de los planetas, el más externo, y orbita al Sol a una distancia promedio de 4.500 millones de km. Su estructura interna y su composición química son muy similares a las de Urano; muestra un color azulado debido a la presencia de metano. Tiene igualmente un sistema de anillos planetarios y unos 14 satélites naturales o lunas conocidas hasta ahora, entre las que se tienen: Naiad, Thalassa, Despina, Galatea, Larissa, Proteus, Nereid y Tritón, la más grande y brillante.

Urano y Neptuno han sido visitados y estudiados fundamentalmente por la nave o sonda espacial Voyager 2, la cual, lanzada en 1977, sobrevoló primero los planetas Júpiter y Saturno, para realizar su

aproximación más cercana a Urano en enero de 1986, a unos 81.500 km de las nubes más exteriores, pasando posteriormente a visitar a Neptuno en agosto de 1989.

En Urano, estudió la estructura y la composición química de su atmósfera, descubrió 10 nuevos satélites y también estudió el clima único del planeta, provocado por su inclinación del eje de $97,77^\circ$. Hizo la primera investigación detallada de sus cinco lunas más grandes, así como de los nueve anillos conocidos del sistema.

Al llegar Voyager 2 a Neptuno, el 25 de agosto de 1989, ciento cuarenta y tres años después de su descubrimiento, poco sabíamos acerca de este planeta. Siendo el más exterior de los cuatro planetas gigantes, está treinta veces más alejado del Sol que la Tierra, y tarda 165 años en darle una vuelta al astro rey. Se sospechaba que podría tener anillos, y se le conocían dos lunas, entre ellas Tritón: uno de los satélites más interesantes del sistema solar por moverse en órbita retrógrada (en dirección contraria a la rotación del planeta) y por manifestar actividad geológica como el criovulcanismo (volcanes de hielo y agua). Los datos recabados en unas cuantas horas por el Voyager 2 nos dieron más información que cerca de un siglo y medio de observaciones astronómicas desde la Tierra.



Para sorpresa de los astrónomos, la Voyager 2 reveló en Neptuno una gran mancha oscura, similar a la mancha roja de Júpiter, tratándose de un gigantesco huracán con vientos de 2.000 km por hora, los más veloces y violentos de nuestro sistema solar.

Desde finales del siglo XIX, los astrónomos teóricos postularon la existencia de otro planeta que, además de Neptuno, ayudaría a explicar las perturbaciones observadas en la órbita de Urano. Los

esfuerzos para la búsqueda se concentraron en el Observatorio Lowell, fundado por Percival Lowell en 1894 en Flagstaff, Arizona; pero los resultados efectivos se hicieron esperar hasta el 18 de febrero de 1930, fecha en la que el astrónomo Clyde William Tombaugh, trabajando en dicho observatorio, logró obtener las pruebas definitivas sobre la existencia del planeta y de su ubicación en el espacio; ya para mayo de 1930 se le tenía nombre: Plutón.



Desde un principio, Plutón fue considerado como el noveno y más distante planeta de nuestro sistema solar, hasta el año 2006, cuando la Unión Astronómica Internacional realizó una redefinición del término *planeta* y creó una nueva categoría de cuerpo celeste: *planeta enano*, o *plutoide*, dentro de la cual queda incluido.

Ochenta y cinco años después de su descubrimiento, Plutón recibe por primera vez la visita de una sonda espacial. Habiendo sido lanzada por la NASA el 19 de febrero de 2006, y tras nueve largos años de viaje, la nave New Horizons realiza el primer sobrevuelo exitoso a unos 12.450 km de la superficie de Plutón, el 14 de julio de 2015 (NASA, Solar System Exploration Page), evento que ha sido fuente de inspiración para el presente artículo. Los objetivos fundamentales de la misión eran el estudio de la geología, la morfología, la composición superficial y la caracterización de la atmósfera del planeta enano Plutón y de sus lunas.

Con sus 2.370 km de diámetro, Plutón es más pequeño que nuestra Luna —con su diámetro de 3.474 km—, y tiene solamente el 0,22% de la masa de la Tierra. Se encuentra orbitando en torno al Sol a una distancia promedio de 5.906 millones de km. Debido a esta gran distancia, es

En realidad, las lunas son muy abundantes en nuestro sistema solar: si a la Tierra solamente le correspondió una y a Marte dos, Júpiter en cambio tiene 67, de las cuales las más grandes y estudiadas son precisamente aquellas cuatro que descubrió Galileo en 1610 y que por tal motivo se denominan *Galileanas*: Ío, Ganímedes, Calisto y Europa.

supremamente frío: cuando está más cercano al Sol puede alcanzar temperaturas de hasta 223 °C bajo cero. Su estructura interna consiste de un núcleo rocoso de aproximadamente el 70% del volumen del planeta, rodeado por un manto de hielos de nitrógeno y agua combinados con escarchas de metano y monóxido de carbono. La superficie se encuentra marcada por cráteres de diversos grados, y muestra variaciones en color y brillo. Las observaciones de la superficie de Plutón por la nave espacial New Horizons revelaron una variedad de características del terreno, incluyendo montañas que alcanzan hasta 3.500 metros de altura (Solarviews, s.f.; Space, 2015).

Las observaciones de New Horizons muestran que Plutón tiene una tenue atmósfera compuesta mayoritariamente por gases de nitrógeno, así como de metano y monóxido de carbono, elementos que están en equilibrio con los hielos de la superficie, y que se extiende hasta 1.600 km por encima del piso del planeta. De acuerdo con las mediciones, la presión superficial es, aproximadamente, 100.000 veces menor que la presión atmosférica de la Tierra.

Plutón tiene una luna bastante grande, con casi la mitad del tamaño del planeta: Caronte, que fue descubierta en 1978, tiene un diámetro de 1.200 km y se encuentra muy próxima a él con solo 19.640 km de separación, lo que a veces lleva a los científicos a referirse a Plutón y Caronte como un sistema binario de planetas enanos. Sus

otras cuatro lunas menores son Nix, Hidra, Cerbero y Estigia.

Hemos hecho, pues, un rápido recorrido virtual por los planetas de nuestro sistema solar, conociéndolos según la información proporcionada por las diferentes sondas espaciales que los han visitado durante el transcurso de los últimos cincuenta años. ■

Dubán Horacio García Sierra (Colombia)
Ingeniero Químico, Universidad Nacional, Medellín.
Estudiante de Historia, Universidad de Antioquia.
Astrónomo aficionado.

Referencias

- Hawking, Stephen (2005). *Brevísima historia del tiempo*. Barcelona: Crítica.
- (2007). *A hombros de gigantes*. Barcelona: Crítica.
- NASA Solar System Exploration Page [en línea], disponible en: <http://solarsystem.nasa.gov/missions/newhorizons>.
- North, John D. (2005). *Historia fontana de la astronomía y la cosmología*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Philip's Astronomy Encyclopedia (2002). Londres: Philip's [en línea], disponible en: www.philips-maps.co.uk.
- Solarviews (s.f.) [en línea], disponible en: <http://solarviews.com/eng/index.htm>
- Space (2015) [en línea], disponible en: <http://www.space.com/43-pluto-the-ninth-planet-that-was-a-dwarf.html>.
- Wilson, Robert (2005). *Astronomy through the Ages*. Londres: Taylor & Francis.