

Akal

Guía turística del Sistema Solar

Vacaciones de temporada y escapadas cortas
en nuestro vecindario cósmico

Giles
Sparrow



¿Quiere viajar al espacio? Entonces le conviene disponer de la *Guía turística del Sistema Solar*. Será su compañera en la aventura de visitar los confines más exóticos del Sistema Solar, y le servirá de ayuda para descubrir todo lo que usted siempre quiso saber sobre otros destinos más habituales como Marte, Saturno o Júpiter. Lo único que necesita es un vehículo lanzador de clase V, un traje espacial, el cepillo de dientes... y este libro.

No es fácil elegir entre tantas atracciones turísticas. Reserve una semana de estancia en la Luna, con una cena incluida en órbita lunar. Juegue al golf con una gravedad que asciende a tan sólo la sexta parte de la terrestre. Hágase una foto junto a la huella de Neil Armstrong antes de enfundarse en un traje espacial acorazado para pasear por el caluroso paisaje de Venus. Descubra allí volcanes gigantes, montañas sobrecogedoras y ríos de lava solidificada. Explore los restos de las sondas espaciales soviéticas. Practique patinaje sobre hielo en las lunas heladas de Júpiter. ¡Hay un sinfín de posibilidades!

Guía turística del Sistema Solar

Giles Sparrow



Edición de Caroline Taggart
Diseño de Pikaia Imaging
Color de Dot Gradation, Essex

Revisión científica: David Galadí-Enríquez
Traducción: Dulcinea Otero-Piñeiro

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan sin la preceptiva autorización o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte.

Título original: *Traveller's Guide to the Solar System.
Long-haul holidays and mini-breaks in our cosmic neighbourhood*

Publicado originalmente en 2006 por Collins

© Giles Sparrow, 2006

© de las ilustraciones, esquemas y cuadros Pikaia Imaging, 2006,
salvo cuando se indique otra cosa

© Ediciones Akal, S. A., 2007
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.akal.com

ISBN: 978-84-460-2695-2

Impreso en Hong Kong

ITINERARIO

Introducción	6
Lo indispensable para el viaje	8
Arriba, arriba y ¡fuera!	20
De la Tierra a la Luna	28
Turismo extremo	46
Si no soporta el calor...	58
La calurosa bienvenida del planeta rojo	78
Una gira por los asteroides	102
Lo último en viajes organizados	114
El señor de los anillos	140
Entre los colosos de hielo	168
El último confín	190
Información de interés	204
Epílogo	221



Introducción

¿Quiere viajar al espacio? Bueno, no es raro. En estos días parece imposible hojear las páginas de una revista o poner los canales de televisión holográfica sin recibir un bombardeo de imágenes que invitan a destinos exóticos. Ya sea para una conferencia de paz en la Residencia Presidencial del asteroide 458390 Camp David, para los campeonatos del Sistema Solar de surf sobre anillos en la órbita de Saturno, o para que las estrellas Hollywood se diviertan en el último balneario orbital de lujo, todo el mundo parece viajar al espacio; así que, ¿por qué no iba a hacerlo usted también?

Cuesta creerlo, pero durante los cincuenta primeros años de la era espacial hubo menos de 500 personas astronautas, y solo un par de docenas de ellas salieron de la órbita baja de la Tierra. Aquellos pioneros se parecían a los exploradores que en épocas anteriores recibían financiación de principados y potencias para ir en busca de territorios y recursos nuevos.

La exploración subvencionada por los gobiernos abrió el camino a misiones independientes, aunque al menos los primeros astronautas no tuvieron que llevar abalorios y baratijas para los aborígenes.

Desde luego, los primeros multimillonarios que hicieron viajes espaciales independientes estaban en condiciones mejores que las de un estudiante sin trabajo pero, aún así, tenían que compartir el vuelo con alguien que fuera a ir allí de todos modos (por lo común, con algún ruso). Las cosas empezaron a cambiar con la primera nave espacial comercial, naves ingeniosas que brindaban a cualquier persona adinerada la posibilidad de pasar unas cuantas horas en órbita. Cuando el espacio cercano a la Tierra se tornó más familiar, los viajeros no tardaron en seguir los pasos de los exploradores subvencionados por los gobiernos, primero hasta la Luna, después hasta Marte y, con el tiempo, por todo el Sistema Solar.

Hoy existen viajes organizados, por supuesto, para quien prefiera esta modalidad... Si lo desea, puede contratar un fin de semana de recreo en la

FACTURACIÓN



Luna casi con la misma facilidad con que se vuela a París o a Río de Janeiro. Salida a las nueve, comida camino de la Luna, café en órbita lunar, una noche en la Terraza de la Tranquilidad, unas horas en el lugar donde aterrizó la *Apollo 11* y de vuelta en casa a la hora de cenar, cargados de *souvenirs* y con una foto personal junto a la estatua de Neil y Buzz.

No obstante, si ésta es su idea del viaje espacial, probablemente no le convenga este libro.

Esta guía turística del Sistema Solar apunta más bien al turista independiente. Aspiramos a recuperar parte de aquel espíritu de aventura y misterio que acompañó las primeras décadas de exploración del espacio y, por tanto, comprobará que buena parte de esta guía está dedicada a los últimos confines y los lugares más exóticos del Sistema Solar, aunque no descuide los destinos más conocidos y cercanos.

Por supuesto, los viajes espaciales admiten distintos grados de independencia, así que, por favor, no crea que esta guía es únicamente para la pequeña minoría aficionada a deportes de supervivencia en condiciones extremas. Ciertamente, los últimos confines del Sistema Solar siguen perteneciendo aún en su mayoría a los exploradores de verdad (en caso de avería, no se puede llamar una grúa). Sin embargo, hasta en regiones tan apartadas como Saturno es bastante viable unirse a pequeños grupos, bien acompañando una misión comercial o científica, o con un vuelo chárter para turistas. Esta última opción no solo brinda asistencia en caso de problemas, sino que también ofrece un modo fantástico de entablar nuevas amistades para toda la vida.

Aunque ya se haya completado el primer reconocimiento del Sistema Solar, los dominios del Sol siguen llenos de maravillas por descubrir y experimentar. Sólo hemos visitado una parte de los numerosos mundos que lo componen, y hasta este libro debe limitarse a tratar por encima los mayores, los más conocidos y los de mayor relevancia histórica. Incluso los exploradores profesionales tienen suerte si ven un puñado de mundos distintos a lo largo de su vida, de modo que elija bien el destino y ¡disfrútelo!

GUÍA DE SÍMBOLOS



Puntos positivos:

Las ventajas



Puntos negativos:

Los inconvenientes



Duración del día:

Lo que tarda el astro en girar alrededor de su eje



Duración del año:

Lo que tarda en girar alrededor del Sol



Gravedad

Intensidad de la gravedad en superficie: alta, media o baja



Temperatura en superficie



Retardo en comunicaciones

Tiempo requerido para recibir señales de la Tierra



¡Peligro!

Señala peligros y riesgos específicos



Pincelada científica

Teorías e ideas



Historia



Consejos de viaje

Trucos para disfrutar más sus vacaciones



Lo indispensable para el viaje

Como en cualquier otro viaje largo, un recorrido por el Sistema Solar resultará mucho más sencillo si se tiene alguna idea previa acerca del lugar de destino, sobre lo que se puede ver por el camino e, incluso, si se sabe conducir un vehículo. Este capítulo ofrece una introducción al vecindario celeste e informa de lo indispensable sobre los movimientos planetarios y la navegación espacial, para evitar que se cometan incómodas torpezas. También se explica algo sobre trajes espaciales, de los cuales se depende en gran medida, y brinda algunos consejos generales sobre salud.

Lo indispensable sobre el Sistema Solar

Unas vacaciones fuera de la Tierra no son como los viajes organizados habituales. Mientras que Venecia o las ruinas de la Atlántida reciben un montón de visitantes al año con una noción del lugar del mapa en que se encuentran, los viajes espaciales implican un reto mayor. Si se aspira a una aventura que no se limite a una salida programada para pasar un día en la Luna (porque si no, ¿para qué leer este libro?), conviene tener una idea somera sobre el Sistema Solar.

La Tierra es el tercer planeta de los ocho (hay quien cuenta nueve, otros doce, pero ocho es una cifra bastante tradicional) que orbitan alrededor de la estrella local, el Sol. Los cuatro mundos más cercanos al Sol (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) son pequeños, en comparación con el resto, y rocosos (de ellos, la Tierra es el mayor), y reciben el nombre conjunto de planetas terrestres o telúricos. Los planetas que ocupan del quinto al octavo puesto son gigantes: Júpiter es el mayor y el más interno, seguido en tamaño y distancia por Saturno. Urano y Neptuno distan aún más del Sol, y son más pequeños que los gigantes interiores. Aunque los cuatro mundos externos sean enormes, consisten en elementos más ligeros que los planetas terrestres (de ahí los apelativos «gigante gaseoso» y «gigante helado»).

Muchos de estos planetas tienen satélites naturales o lunas (salvo Mercurio y Venus). Entre los mundos más grandes hay infinidad de objetos pequeños o «cuerpos menores». La mayoría se concentra en dos franjas; los asteroides rocosos se sitúan entre Marte y Júpiter, y los pequeños mundos de hielo se hallan más allá de la órbita de Neptuno. Plutón, el noveno planeta según la vieja tradición, es en realidad un enorme cuerpo helado, pero por lo común recibe la consideración de planeta enano. (Para ahondar en esta cuestión, véase el capítulo 11). Salvo el Sol, todo lo que reside en el Sistema Solar es una diana en movimiento, incluida la Tierra. Los planetas se desplazan alrededor del Sol regidos por las leyes descubiertas por Johannes Kepler a comienzos del siglo XVII (véase «Movimientos planetarios»). Estas mismas leyes se aplican a los satélites que orbitan alrededor de los planetas.

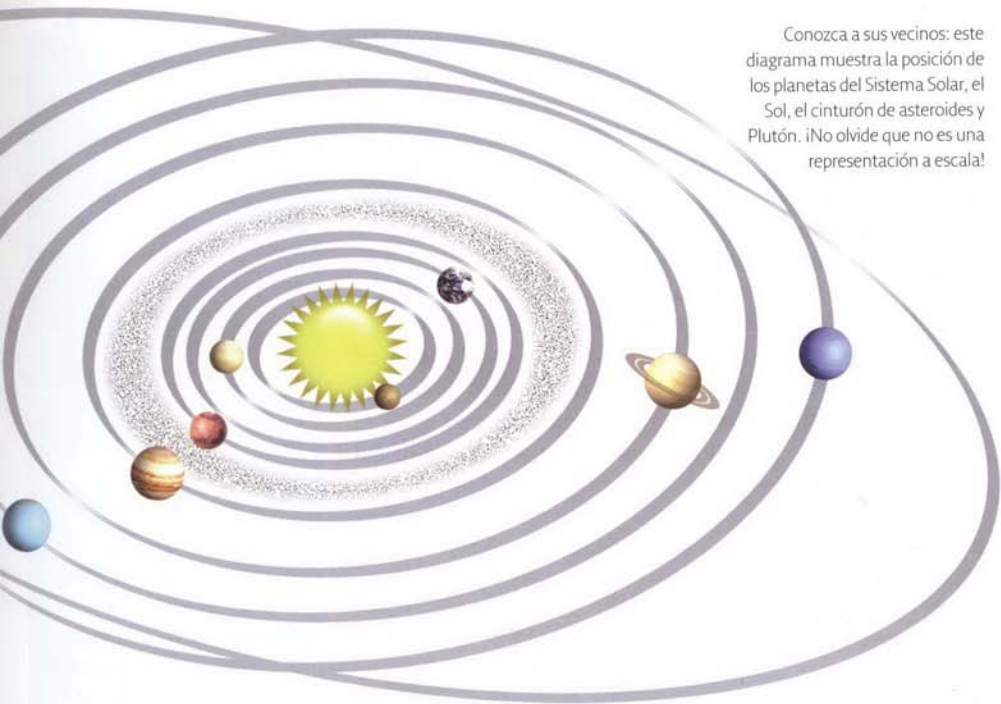


LO BÁSICO SOBRE GRAVEDAD

Todo objeto del Sistema Solar posee un campo gravitatorio que atrae el resto de objetos. La intensidad de este campo es mayor en los objetos más masivos, pero decrece con rapidez a medida que aumenta la distancia al centro del campo. El doble de la masa de un objeto, dobla su fuerza gravitatoria; el doble de la distancia al mismo reduce la fuerza a un cuarto. Los objetos más pequeños con una gravedad perceptible son los núcleos cometarios.

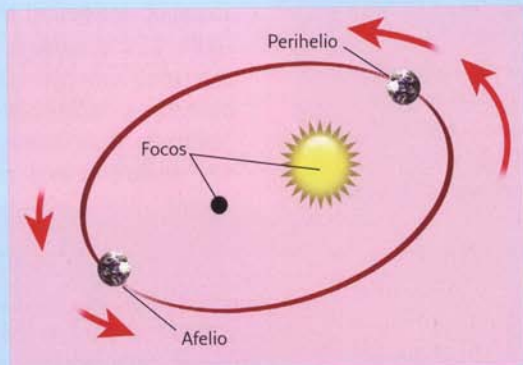


Conozca a sus vecinos: este diagrama muestra la posición de los planetas del Sistema Solar, el Sol, el cinturón de asteroides y Plutón. ¡No olvide que no es una representación a escala!



MOVIMIENTOS PLANETARIOS

Dicho con brevedad, las leyes de Kepler explican que los planetas se mueven alrededor del Sol siguiendo elipses (una especie de círculo alargado con el Sol en uno de los dos «focos», o puntos centrales, tal como se ilustra aquí). Esto significa que en algunos instantes de su recorrido orbital, los planetas se hallan más cerca del Sol que en otros; la posición más cercana al Sol se denomina «perihelio» y, la más alejada, «afelio». Las órbitas circulares no son más que un tipo especial de elipse con ambos focos en el mismo lugar. Cuanto más lejos del Sol se sitúe un planeta, más lento se desplazará sobre su órbita. De modo



que los planetas se mueven más deprisa durante el perihelio que durante el afelio (señalado aquí con las flechas rojas), y los planetas que residen más cerca del Sol lo orbitan más rápido que los alejados.

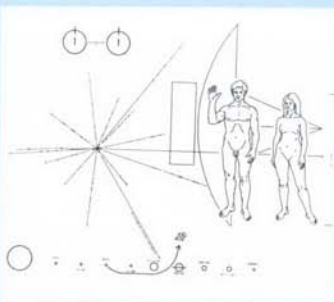
La mayoría de los objetos del Sistema Solar sigue órbitas contenidas en un mismo plano de manera casi perfecta; si se observaran de perfil parecerían desplazarse sobre una línea casi recta. Suelen seguir órbitas casi circulares, y rotan sobre sí mismos en torno a ejes que se mantienen más o menos verticales sobre las órbitas (véanse algunas explicaciones sobre esto en la p. 206).

Precisando, diremos que lo que se considera el verdadero «plano perfecto del Sistema Solar» es el plano de la órbita de la Tierra. El término técnico es «eclíptica», y cualquier atlas estelar revela su posición, así como el recorrido que parece efectuar el Sol por el cielo con respecto a las estrellas (pero no busque esa línea de puntos pintada realmente sobre el cielo). Entre el resto de planetas, el que presenta una «inclinación» mayor con respecto a esta órbita es Mercurio, con un ángulo de 7° . Los objetos helados transneptunianos suelen tener órbitas muy inclinadas, p. ej. el planeta enano Plutón, inclinado 17° . En conclusión, los planetas en general deambulan por el firmamento cerca de la eclíptica y siempre se ven dentro de una banda estrecha de estrellas (las constelaciones del zodiaco).

EL SISTEMA SOLAR EN SU CONTEXTO

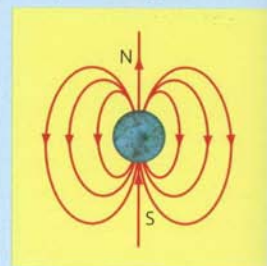
Como nunca se sabe lo que puede pasar, ofrecemos algunas indicaciones que serían útiles solo en el improbable caso de que un ejemplar de este libro se precipitara por un agujero cósmico de gusano y cayera en manos de un alienígena del espacio exterior. El Sol y su sistema

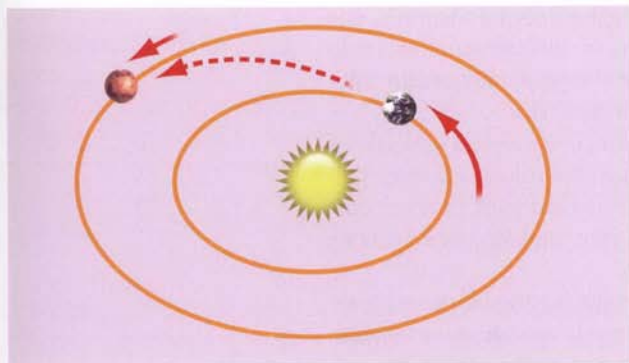
planetario yacen entre dos brazos del inmenso sistema estelar espiral que llamamos Vía Láctea, y que forma parte de un pequeño cúmulo de galaxias que conocemos como Grupo Local, aunque suene poco original. Estamos a 26 000 años-luz de las viejas estrellas amarillas del centro galáctico, y muy cerca de la mayoría de las regiones de violenta formación estelar que pueblan los brazos espirales. Para más detalles, véanse los mapas que se distribuyeron gratuitamente con algunas de las sondas espaciales lanzadas a finales del siglo xx.



CAMPOS MAGNÉTICOS

La mayoría de los planetas y varios de sus satélites presentan campos magnéticos, además de los gravitatorios, a su alrededor. Esto hace que se comporten como si albergaran un imán inmenso en su seno (la causa suele hallarse en el arremolinamiento de metal fundido en algún lugar de sus interiores, ya sea ahora o en el pasado). Los campos magnéticos actúan sobre objetos imantados o con carga eléctrica y desvían su movimiento. Emergen de un punto de la superficie planetaria denominado polo norte magnético, se curvan alrededor del planeta y vuelven a hundirse en su interior a través del punto opuesto de la superficie, denominado polo sur magnético. No obstante, ejercen un flujo mucho más débil que el de la gravedad.





Volar de un planeta a otro no es como volar en línea recta. Para aprovechar el combustible con la mayor eficacia, conviene seguir una trayectoria espiral que conecte ambas órbitas, y aproximarse al objetivo desde atrás. Por tanto, es importante planear el vuelo para una época en que el lugar de destino se halle algo por delante del lugar de salida porque, en caso contrario, habrá que sumar al trecho del viaje una buena parte de una órbita alrededor del Sol.

Cómo planear el vuelo

Aunque cada capítulo dedicado a destinos concretos comienza con algunos consejos detallados para el viaje, no es mala idea conocer también lo esencial sobre navegación interplanetaria. Hay muchas empresas piratas por ahí deseando encasquetar «gangas» en temporada baja que se convertirán en vacaciones infernales, y ahorraremos mucho tiempo y sinsabores si detectamos las ofertas sospechosas de inmediato.

Como ya se ha dicho, cualquier destino del Sistema Solar, excepto el Sol, constituye una diana en movimiento. Como los mundos deambulan por el Sistema Solar a distintas velocidades, las distancias entre ellos pueden variar enormemente dependiendo del lugar que ocupen en las órbitas. El mejor ejemplo lo representa Venus, que puede situarse a 42 millones de km de la Tierra en su acercamiento máximo, pero llega a distar 257 millones de km cuando ambos objetos se sitúan en lados opuestos del Sol. Las elipses pronunciadas que dibujan ciertas órbitas planetarias añaden otra dificultad. Por ejemplo, los «acercamientos máximos» de Marte (cuando este planeta y la Tierra se alinean al mismo lado del Sol) pueden fluctuar entre 56 millones de km y 98 millones de km.

La Tierra recorre su órbita a unos 30 km/s. Se mueve más deprisa que cualquier otro objeto situado más hacia el exterior, de modo que al partir de la órbita terrestre ya se dispone de una cierta velocidad de partida que ayudará a alcanzar los mundos exteriores. Pero, por supuesto, siempre interesa llegar cuanto antes al lugar de destino, y cualquier impulso



PERDIDOS EN EL ESPACIO

La buena planificación de un vuelo no implica simplemente ahorrar combustible y dinero sino que a veces puede ser cuestión de vida o muerte. Si se calcula mal el momento de encender los motores para cambiar de rumbo, nos podemos ver impulsados a una trayectoria en dirección al Sol o a la deriva hacia el Sistema Solar exterior y, si queda poca reserva de combustible, quizá no haya manera alguna de regresar.

adicional que se pueda aprovechar contribuirá a lograrlo. Los diversos métodos de propulsión se detallan en el apartado «Información de interés» (pp. 204-220), pero conviene tener presente una serie de cuestiones generales.

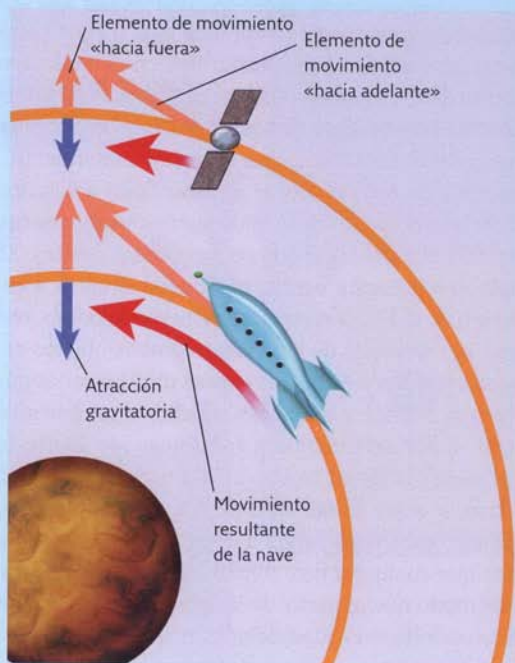
En primer lugar, suele resultar más eficaz una aceleración duradera con menos empuje, que adquirir toda la velocidad en un solo encendido al estilo de los antiguos motores químicos de cohete (como se verá, esto también tiene ventajas para la salud).

En segundo lugar, no olvidemos que la gravedad de los planetas que haya camino del destino puede aportar un incremento significativo de la velocidad (véase el recuadro «catapultas gravitatorias»). Tenga presente que el camino hacia los planetas gigantes puede acortarse en meses o incluso en años al tomar ciertos desvíos que en principio pudieran parecer descabellados.



PUESTA EN ÓRBITA

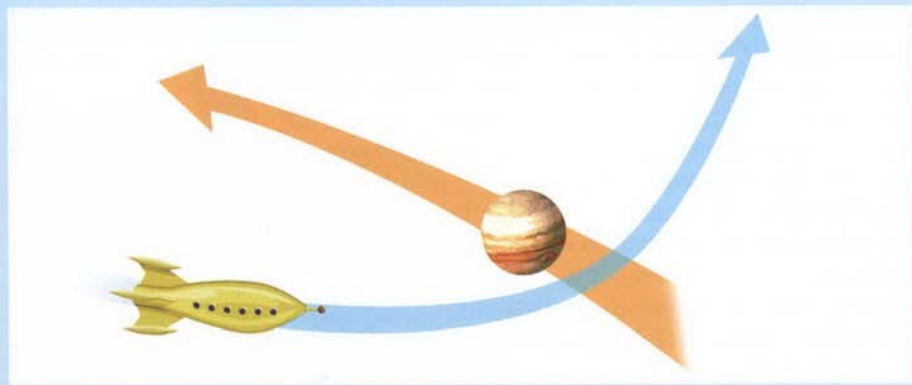
Este es el principio básico: consiste en equilibrar el movimiento de la nave frente a la atracción gravitatoria hacia el planeta. Cuando se produce un desplazamiento elíptico o circular alrededor de un cuerpo, el movimiento se puede descomponer en un elemento que apunta en la misma dirección que la órbita seguida, y otro elemento que apunta hacia fuera del planeta. Una órbita es estable cuando este elemento mantiene un equilibrio perfecto con la atracción que ejerce la gravedad hacia dentro. Ambos se anulan entre sí, y de ello resulta un desplazamiento que sigue el trazado de la órbita. Cuanto más cerca se está de un objeto, más intenso es el empuje de la gravedad y más velocidad se precisa para mantenerse en órbita. No obstante, cuando se alcanza una órbita estable ya es posible mantenerse dando vueltas de forma indefinida sin usar los motores. Para aterrizar, basta con dar un giro de 180 grados, encender los motores para aminorar la marcha y precipitarse hacia el planeta.





CATAPULTAS GRAVITATORIAS

Esta popular técnica de navegación aporta un gran incremento de velocidad en los viajes interplanetarios, sin necesidad de combustible adicional. El alineamiento de los planetas resulta crucial ya que hay que aproximarse al planeta que servirá de catapulta desde el frente, y de manera que el objetivo final del viaje se encuentre en un lugar «más adelantado» del trazado de su órbita (véase la ilustración). A medida que se cae en el campo gravitatorio del planeta, se gana velocidad. Pero, mientras se pendula a su alrededor y se invierte la dirección general de viaje, descubrimos que no aminoramos tanto como cabría esperar al alejarnos del mismo. Parece un truco, pero funciona. Lo cierto es que le robamos al planeta parte de la cantidad de movimiento que lleva en su recorrido orbital. Pero, como el planeta es tan grande (y cantidad de movimiento es igual a masa por velocidad), éste experimenta un frenado insignificante, mientras que la ligerísima nave espacial recibe un aumento de velocidad inmenso.



En tercer lugar, recuerde que sea cual sea la velocidad alcanzada durante el viaje habrá que frenar para equipararla con la velocidad del mundo de destino y deslizarse hasta su órbita (a menos que se contente con llegar hasta allí para limitarse a sobrevolarlo brevemente a gran velocidad). Existen varias maneras de lograrlo (véase el apartado «Información de interés», pp. 204-217) pero, según el tipo de nave y lo que permita el sistema de propulsión, quizá nos veamos obligados a gastar una cantidad enorme de combustible adicional solo para aminorar. Y eso no es una buena idea porque...

¡También hay que volver a casa! Toda la velocidad que hay que contrarrestar a la llegada, habrá que volver a adquirirla para el regreso si se quiere volver en un tiempo razonable. Lleve una buena cantidad de combustible adicional para abandonar la órbita y propulsar la nave en dirección a la Tierra.

UN FALLO EN LAS CATAPULTAS GRAVITATORIAS



El uso de estas catapultas requiere pericia. Si se cae en el campo gravitatorio de un planeta con un ángulo erróneo, podemos quedar atrapados en su órbita. Y si se altera el rumbo de escape en un momento equivocado podemos salir despedidos con un ángulo excesivo. ¡En caso de duda, deje que un experto realice los cálculos por usted!

Cómo usar el traje espacial

Aparte de la nave en sí, la pieza más importante del equipamiento que hay que llevarse es el traje espacial. Éste es una auténtica nave espacial del tamaño de una persona que protege y mantiene con vida a su ocupante (aunque no sea muy cómoda).

La mayoría no puede costearse uno a medida, pero se puede alquilar o comprar un traje ya hecho en la mayoría de los distribuidores acreditados. Los trajes espaciales modernos son modulares, para combinar y encajar cada una de las partes de manera que se adapten bien a cada persona.

Ponerse un traje espacial se parece un poco a dejarse vestir por una madre: tiene un montón de capas. Primero viene la ropa interior aislante atravesada por varios metros de tubos (si se instalan bien, la mochila de la espalda conducirá agua por ellos para reducir el calor de las zonas que tengamos expuestas a la luz del Sol y liberarlo de forma segura en algún lugar. En cierto modo es como llevar puesto un frigorífico.

Sobre esa capa va una prenda ajustada con una membrana hermética rodeada por un traje elástico. No es muy favorecedora, pero está diseñada para mantener el cuerpo a la misma presión que induce la atmósfera terrestre. Así se evita que a los fluidos corporales se les ocurran ideas tales como, por ejemplo, entrar en ebullición en el vacío (véase el recuadro «Muerte por exposición al espacio»).

Por último, quedan varias capas menos ajustadas de aislamiento térmico y de tejido protector contra los molestos micrometeoritos que pretendan introducirse en el traje. Estas capas solían estar tejidas con Kevlar, el mismo material usado para los chalecos antibalas. Pero hoy es más probable encontrarlas de algún «material inteligente» de nueva creación diseñado para absorber el impacto y recuperar la forma original.

Ahora sólo faltará pelearse con el casco y la mochila. Los manguitos de la mochila se acoplarán a los enganches del traje, marcados con códigos de colores. Al encender la mochila todo debería funcionar por sí solo y proporcionar refrigeración por aire y por agua, oxígeno para respirar, agua para beber y sistema de comunicaciones. Si viaja por



Los primeros trajes espaciales tenían dificultades para conservar la forma. Cuando Alexéi Leónov realizó aquel histórico primer paseo espacial en 1965, se encontró con que el traje se había hinchado tanto que le costó muchísimo volver a entrar por la escotilla de la nave.



MUERTE POR

EXPOSICIÓN AL ESPACIO

Las consecuencias de una fuga en el traje espacial suelen exagerarse. Por ejemplo, el cuerpo no estallaría. En cierto modo tampoco tiene tanta importancia, pero está bien saber lo que va a pasar. Lo primero que notamos es que en el vacío nos falta el aire de los pulmones, de modo que la causa más probable de muerte será la asfixia. Si logramos contener la respiración, comprobamos que los fluidos corporales emergen hasta la superficie de cualquier porción de piel expuesta, donde podrán hervir y evaporarse a la luz del Sol o congelarse a la sombra. Es bastante desagradable, así que, si no cuenta con la posibilidad de un rescate inminente, le recomendamos que suelte el aire y se deje llevar...

su cuenta tendrá que realizar un curso de revisión integral de trajes espaciales, pero si viaja en grupos organizados podrá limitarse a un curso acelerado de familiarización y a hacer exactamente lo que le diga el amable instructor. No tenga ideas fantásticas, ¡pueden resultar mortales!

Por último hay que colocarse el casco, que debe encajar con facilidad en su lugar. Si no se ve nada desde dentro, probablemente esté puesta la visera antisolar.



LISTOS PARA LA ACCIÓN

La idoneidad del diseño del traje espacial dependerá en gran medida del destino elegido. Los trajes marcianos resultan bastante cómodos y ligeros, pero para aventurarse en Venus es probable que haya que pertrecharse con una indumentaria parecida a la de los robots de lucha del *anime* japonés. Sin embargo, la mayoría de los mundos aquí tratados son esferas de roca casi sin aire. Para ellos, elija la modalidad de traje que se ilustra aquí (también para paseos espaciales y trabajos mecánicos en órbita).



Ponerse un traje espacial es una tarea compleja con múltiples oportunidades para cometer errores peligrosos para la seguridad. Si puede, vístase con ayuda de algún amigo o compañero de viaje.

Consejos de salud

Los vuelos espaciales de larga duración entrañan riesgos y, a pesar de los múltiples avances en prevención y en medicina espacial, conviene tener presentes ciertas cuestiones durante todo el viaje.

Para empezar, pasaremos mucho tiempo fuera de la atmósfera terrestre. Por insustancial que parezca el aire de nuestro planeta, es sorprendente cómo se concentra en un par de cientos de kilómetros para formar un escudo mucho más efectivo que cualquiera de las cosas que podamos llevar encima. El campo magnético de la Tierra también ayuda, ya que crea una especie de envoltura protectora.

Sin embargo, una vez fuera de la atmósfera y del campo magnético, caeremos presa de gran variedad de partículas y radiaciones de alta energía que corretean por el espacio interplanetario. Muchas de ellas nos pasarán rozando sin causar ningún daño pero, en ocasiones, alguna incidirá directa en una de nuestras células y la dañará, la matará o la hará mutar. Los escudos y medicamentos hacen sólo lo que pueden; si interponemos el grueso de la nave entre nosotros y el Sol reduciremos el peligro al mínimo.

El otro gran riesgo procede de una exposición prolongada a la ingravidez. Mientras los efectos colaterales iniciales resultan bastante fáciles de paliar (véase el capítulo 2, pp. 20-27), los efectos a largo plazo son más difíciles de tratar. Los músculos se debilitan con rapidez a menos que se ejerciten. En la Tierra, hasta el teleadicto más entregado practica deporte sin cesar con el simple gesto de vencer la gravedad. Tras unas pocas semanas en el espacio se debilitan hasta los huesos (la ausencia de gravedad altera las señales que instan a los huesos a renovar las reservas de calcio).

Fuera de la Tierra, la sangre deja de llegar a los pies y termina repartiéndose de un modo mucho más uniforme por el cuerpo. Por desgracia, esto despista al corazón y lo lleva a interpretar que la sangre ya porta un contenido suficiente de oxígeno, de modo que el cuerpo reduce la producción de nuevas células rojas portadoras de oxígeno. En el espacio esto no supone mayor problema, pero al aterrizar en cualquier mundo con unos niveles medio decentes de gravedad,



El pionero del espacio Valeri Poliakov pasó más de 437 días en la estación espacial soviética *Mir* en la década de 1990, padeciendo en pro de la medicina espacial.

CLAUSTROFOBIA



Vea ciertos *reality shows* antes de embarcarse en un vuelo espacial de larga duración. Observe cómo va empeorando el ambiente al encerrar juntos a unos cuantos extraños durante varias semanas, y piense que todo podría ser peor si tuvieran aún menos intimidad, si no hubiera escapatoria posible y si se cerniera sobre ellos la amenaza permanente de la fría muerte en el vacío del espacio. Ha habido astronautas que se han vuelto un poco tarumbas, a pesar de años de entrenamiento y experiencia, así que elija muy bien a sus compañeros de viaje, y use programas informáticos de ayuda psicológica: quizá le parezca descabellado confiar sus pensamientos más íntimos a una máquina, pero siempre es mejor que perder los papeles y acabar tratando de arrojar a alguien por la escotilla.

se corre el riesgo de que esta sangre menos densa vaya directa a las botas.

Las mejores soluciones pasan por practicar ejercicio con regularidad y, si fuera posible, someterse a gravedad artificial (véase p. 212). Unas cuerdas elásticas amarradas al cinturón brindan cierta «gravedad» a la que oponer resistencia sobre la cinta mecánica o el *cross-trainer*. Los astronautas rusos solían ponerse monos repletos de resortes que se doblaban si los músculos no se mantenían en una tensión constante, y ahora existen equivalentes modernos. Aunque no le gustan a todo el mundo: un error de concentración y adoptaremos todo tipo de posturas incómodas y embarazosas posibles.



DOLENCIAS ESPACIALES

Los vuelos espaciales largos no son para hipocondríacos; pronto descubrirá que tiene demasiados problemas reales de los que preocuparse como para crearse otros nuevos. Es importante encontrarse en buena forma antes de ir al espacio por primera vez porque muchos de los problemas que parecen menores en la Tierra pueden empeorar deprisa con una sola dosis de ingravidez.



Si cuenta con espacio para llevar una cinta mecánica a bordo, le servirá para mantenerse en forma aunque tenga que amarrarse con correas antes de iniciar el ejercicio.



Arriba, arriba y ¡fuera!

El primer problema que nos encontramos para explorar el Sistema Solar consiste en salir de la Tierra. Las puertas del espacio solían estar reservadas a gobiernos y multimillonarios, pero la última generación de vehículos espaciales está abriendo fronteras al turismo espacial. No obstante, aún se requieren muchos meses de entrenamiento y una constitución de hierro solo para situarse en órbita. Una vez allí, este capítulo contiene los mejores consejos para aclimatarse y disfrutar del hogar planetario desde una perspectiva completamente nueva, mientras esperamos la ventana de transferencia orbital que nos llevará al espacio interplanetario.

Seamos francos desde el principio: lo difícil es llegar al espacio. Los primeros doscientos kilómetros del camino hacia el Sistema Solar son como hacer subir un elefante por la fachada lateral del rascacielo Empire State. En realidad, solo es una cuestión de física. Como experiencia, se parece más bien a ir sentados dentro de un taladro neumático.

Despegamos

Muy poca gente dirá que el lanzamiento es la parte del vuelo espacial que más gusta, y quien lo haga será masoquista o intenta dárselas de duro. Si su idea de pasarlo bien consiste en que le aprieten con fuerza ambas mejillas y las sacudan durante un buen rato como un flan antes de darle un puñetazo en el estómago, tal vez le resulte atractivo. En caso contrario, es un mal necesario que hay que pasar antes de acceder a la parte divertida de los vuelos espaciales.

La mayoría de los despegues sigue realizándose desde un puñado de cosmódromos cuyos orígenes preceden a la era espacial. Tanto Baikonur en Kazajistán como Cabo Cañaveral/Kennedy (parece cambiar de nombre cada año) están situados lo más cerca posible del ecuador dentro de sus países



FUERZAS G

Probablemente nunca se logre evitar por completo las enormes «fuerzas G» que intervienen en los lanzamientos espaciales, y muchos sienten algo de pavor al ver el estiramiento involuntario de cara al que nos someten los primeros minutos del vuelo. Pero no es grave, casi todos terminamos con poco más que unos cuantos dolores y achaques. No obstante, irecomendamos quitarse las lentillas y dentaduras postizas antes del despegue!





VAYA ANTES DE IRSE

El lanzamiento es la parte más arriesgada de cualquier vuelo espacial, así que probablemente vestiremos un traje espacial completo, con el casco muy a mano, desde el momento de subir al bus de embarque y hasta situarse en órbita. Tenga presente que pasará un par de horas o más de mucha tensión, así que asegúrese de ir al excusado antes de sentirse sellado sin ninguna posibilidad de aliviarse.

respectivos para aprovechar al máximo el impulso de la rotación terrestre. Kourou, en la Guayana Francesa, yace muy próximo al ecuador. Quedaba fuera de la geografía de la Guerra Fría y empezó a usarse en los albores del programa espacial europeo. Otros puertos espaciales comerciales más recientes también han conllevado ventajas e inconvenientes para los países ecuatoriales, y cuesta resistirse a ellos dado que al partir desde el ecuador puede ahorrarse hasta un 20 por ciento del combustible.

Quedaron atrás, por supuesto, los días en que se viajaba al espacio con un único encendido del cohete. A pesar del ruido y el fragor, el lanzamiento inicial sólo cumple la engorrosa tarea de elevarnos los primeros doscientos kilómetros sobre la superficie, fuera de la atmósfera terrestre, para situarnos en una órbita baja por encima del planeta. Allí se puede dedicar algún tiempo a adaptarse. Pasar, quizá, una noche en uno de los hoteles de gravedad cero le permitirá asimilar su condición de espacionauta antes de enlazar con su vuelo a uno de los diversos puertos deportivos orbitales que giran suspendidos sobre el ecuador terrestre.



CÓMO HACER LOS DEBERES

Todas las personas que se aventuran por primera vez a salir al espacio deben probar en primer lugar, al menos, los efectos de la ingravidez. La mayoría de la gente se adapta bastante pronto, pero hay quien no se hace nunca a ella, y sería una pena gastar tanto dinero en situarse en órbita para descubrir que no estamos hechos para eso. Por supuesto, le aconsejamos que en cualquier caso obtenga el Certificado Básico Espacial, pero cuando menos debería contratar un vuelo parabólico supervisado. Los aviones especiales que realizan esta prueba, conocidos cariñosamente como «cometas del vómito», llevan desempeñando su labor nauseabunda desde los primeros días de la era espacial.

Se trata de meros reactores de pasajeros modificados de forma que la zona de asientos está desprovista de ellos y acolchada. Se parecen a los parques donde los bebés aprenden a tenerse en pie (o a las celdas de aislamiento). El avión asciende a gran altitud y luego se deja caer casi en picado. A medida que se inclina hacia abajo y el suelo desaparece bajo los pies, usted y sus compañeros de celda caerán a la misma velocidad que el propio avión y vivirán unos pocos y preciados instantes de ingravidez. Después, el avión volverá a subir y repetirá el procedimiento hasta 40 veces a lo largo de cada vuelo. Si al final del mismo no tenemos el estómago preparado para los rigores del viaje espacial, ¡entonces no lo estará nunca!



En órbita

Lo que se dice es verdad: los primeros momentos en órbita no se olvidan nunca. Cuando los motores se detienen y los pernos explosivos que liberan la etapa superior del cohete envían un ruido metálico que resuena por toda la nave, estamos libres de la tiranía de la gravedad probablemente por primera vez en la vida.

Las reacciones ante la desaparición repentina de todo el peso corporal varían de unas personas a otras. Algunos se sienten eufóricos, la mayoría un poco mareados, aunque los medicamentos actuales para evitar el mareo espacial logran apaciguar todos los estómagos, salvo los más turbulentos. Realice un par de pruebas desde la seguridad que brinda la butaca de lanzamiento antes de desabrocharse y flotar con libertad. Los mayores retos de la ingravidez suelen ser psicológicos (el cerebro está tan habituado a la gravedad que a menudo le cuesta creer lo que percibe. El estómago también está acostumbrado a recibir cierta ayuda por parte de la vieja «g», pero ésta no es la cuestión más temida por los viajeros espaciales primerizos. El peristaltismo, las contracciones musculares que actúan como un agente de tráfico para asegurar el recorrido unidireccional del tracto digestivo, funciona a la perfección en órbita.

CÓMO ORIENTARSE CON G CERO



La ingravidez cambia mucho la manera de moverse por una cabina espacial minúscula. En teoría, al no estar pegados al suelo, hay más sitio para moverse. En la práctica, lamentaremos la cantidad de obstáculos que antes no entrañaban ninguna amenaza porque con gravedad quedaban por encima de la cabeza.

Los paseos espaciales sobre el lado nocturno de la Tierra deparan vivencias inolvidables a los astronautas novatos.





Cuando se le asiente el estómago, no se avergüence de ser turista. La ingravidez es divertida, de modo que anímese y échese unas risas. Pida a sus compañeros de viaje que le saquen algunas fotos balanceándose sobre la punta de un dedo, cabeza abajo en mitad de la cabina o recreando la célebre escena de acoplamiento espacial en *Diamantes para la eternidad* con un plátano en lenta rotación.

La órbita terrestre es el lugar ideal para realizar el primer paseo espacial. Flotar a 200 km de altura sin nada entre nosotros y la muerte súbita salvo unas cuantas capas de materia no es para cualquiera. Pero, si consigue hacerse a la idea, la ocasión despliega muchas más opciones ante el turista intrépido. Probar al lado de casa también implica que haya (¡por lo común!) alguien cerca para rescatarnos en caso de que todo se tuerza. Sin embargo, no hay motivo para correr riesgos tontos. Si cuesta bregar con la ingravidez dentro de una nave, maniobrar fuera resulta diez veces más difícil. La mayoría de las aseguradoras sólo cubren paseos espaciales con amarre en la órbita terrestre. Pero también existen otras opciones que van desde minúsculas pistolas para maniobrar (se dispara en una dirección para desplazarse hacia la contraria) hasta auténticas mochilas-cohete con propulsión a chorro que permiten aventurarse bastante lejos de la nave. Con todo, la regla de oro es no perder nunca de vista el nivel de combustible y ¡no arriesgarse a consumir la reserva de emergencia!

Lleva algún tiempo hacerse a la idea de que en órbita no hay «arriba». De hecho, la mayoría de las naves gira alrededor del planeta con la parte inferior, fuertemente acorazada, encarada hacia fuera, de modo que solemos ver la Tierra «encima» de nosotros.



ADVERTENCIA SOBRE FLUIDOS

Los fluidos –corporales o de otro tipo– dan problemas en condiciones de ingravidez, así que hay que tenerlos controlados en todo momento. Sin gravedad que los mantenga dentro de los recipientes, cualquier sustancia acuosa tenderá a concentrarse por tensión superficial (una fuerza creada por las moléculas de agua para permanecer unidas entre sí). Para mantenerse lo más unidas posible, las moléculas adoptan una forma esférica. Todo eso está muy bien, pero las bolsas flotantes de líquido tienen la mala costumbre de ir allí donde no se las reclama, en especial a piezas vulnerables del sistema de circuitos de la nave. Si quiere hacer el indio con la taza de café de la mañana, no lo haga cerca de aparatos electrónicos ni poco antes del encendido crucial de un motor.

La Tierra desde su órbita

ATRACCIÓN
ESTELAR

Nuestro planeta se ve espléndido desde el espacio, y bien merece dedicar algún tiempo mientras se está en órbita para apreciarlo. De todos los planetas del Sistema Solar, el nuestro es el único con vastos océanos en la superficie y, por supuesto, el único que conocemos que albergue vida. Desde su órbita, la Tierra brinda una mezcla colorida de azules, blancos, marrones y verdes, y hay que viajar muy lejos para ver estos colores en algún otro lugar del Sistema Solar. Infórmese de las previsiones meteorológicas terrestres y contemple, si puede, alguna tormenta con buena visibilidad en latitudes medias. Si se encuentra en una órbita con más inclinación que pase cerca de los polos, observe las auroras polares. Esas cortinas danzantes de luz son manifestaciones en color del campo magnético terrestre, y se forman allí donde las partículas cargadas de electricidad del viento solar emitido por nuestra estrella se adentran en la atmósfera de la Tierra.

La Tierra también recibe la llegada continua de otros materiales y algunos de ellos pueden suponer un riesgo real para el turista espacial intrépido. El espacio interplanetario está repleto de residuos que van desde granos microscópicos de polvo hasta piedras de decenas de kilómetros. Aunque el Proyecto Spaceguard ha procurado registrar los más susceptibles de precipitarse a la atmósfera y perforar un agujero del tamaño de una ciudad en la superficie terrestre, quedan muchos que el proyecto no alcanza a cubrir, y



Los viajeros suelen pasar las primeras horas en el espacio sin parar de hacer fotos por la ventana de la cabina.

Incluso formaciones nubosas simples resultan de una belleza asombrosa vistas desde arriba. De hecho, estas configuraciones montañosas en forma de meseta son tormentas inmensas.





una colisión frontal hasta con un trozo pequeño de rocalla podría dar al traste con el plan de viaje de cualquiera y, posiblemente, incluso con su propia existencia.

No obstante, para ser francos diremos que no hay modo de evitarlo, así que quizá no valga la pena preocuparse por ello. Si estuviera en órbita durante una lluvia de meteoros, le aconsejamos que se avenga con sus deidades, se ponga cómodo y disfrute de ese espectáculo único.

Presenciar una lluvia de meteoros desde fuera de la atmósfera terrestre puede ser precioso, pero también terrorífico para viajeros inexpertos.

BASURA ESPACIAL

En los primeros días de la era espacial, parecía que la humanidad iba a darse de baja del universo y sus maravillas justo después de empezar a explorarlo. Los primeros vuelos espaciales no se esmeraron demasiado por dejar limpio el entorno, creyendo que el espacio era lo bastante grande como para no tener que preocuparse por su saturación. Pero la órbita baja de la Tierra está hoy abarrotada, y a finales del siglo XX, los astronautas en órbita se veían acompañados por más de 100 000 fragmentos de basura diversa, desde enormes módulos de cohetes hasta herramientas extraviadas y vertidos de desperdicios. Hacia esta época, uno de los primeros vuelos del transbordador espacial recibió el impacto de una escama de pintura que viajaba en dirección contraria a varios cientos de kilómetros por hora. Las ventanas del transbordador estaban fabricadas para afrontar este tipo de golpes, pero el cráter que se formó implicaba la ominosa advertencia de que la órbita baja de la Tierra podría tornarse impracticable si no empezábamos a poner más cuidado.







De la Tierra a la Luna

Montañas sobrecogedoras, bellos mares pero, por desgracia, nada de atmósfera... La Luna es uno de los destinos vacacionales más solicitados del Sistema Solar, y está repleta de cosas que ver y hacer, como visitar el lugar histórico donde aterrizó la *Apollo 11*, sacarse una foto junto a la huella de Neil Armstrong, excavar en busca del monolito de 2001 en el cráter Clavio, contemplar el imponente Mar Occidental, donde la Tierra pende siempre suspendida en el horizonte, o jugar al golf icon un sexto de la gravedad terrestre!

La Luna siempre ha sido el destino más popular para el turismo espacial a corta distancia. Desde que los primeros estadounidenses llegaron a ella en la década de 1960, siempre ha tenido gran atractivo para los viajeros espaciales. Se encuentra, literalmente, a un paso cósmico y, por sorprendente que parezca, está poco desarrollada y además, si me permiten la broma, le falta algo de atmósfera.

Cómo llegar

A pesar de todo, la Luna se halla bastante lejos de la órbita baja de la Tierra y se necesita un cohete con una etapa superior bastante potente para encaminarse hacia allí. Antes el viaje duraba tres días pero, por supuesto, depende de la potencia del vehículo de lanzamiento y del peso de la nave. Aligere el peso todo lo posible, tenga en cuenta que siempre puede pasar por alguna de las bases lunares estables para surtirse de provisiones. Como el coste del transporte de materiales a la Luna es exorbitante, los precios son altos, pero aun así sale más económico que llevarse todo al viaje salvo el fregadero. Eso sí, la Luna es un entorno implacable y se precisa un traje espacial con todos los accesorios. Allí se está tan desprotegido como en el espacio abierto, y la gravedad y las rocas afiladas entrañan peligros adicionales que hay que afrontar.

En este caso resultará económico usar una nave modular, al igual que en la mayoría de destinos del Sistema Solar. Eso permite dejar el módulo de mando en órbita y usar un módulo de descenso para aterrizar y salir de la superficie. De este modo, se evita bajar a la superficie lunar con un peso innecesario con el que habrá que volver a despegar después. Los astronautas de las naves *Apollo* emplearon los cohetes más pesados construidos jamás para ir de la Tierra a la Luna, pero siguiendo este procedimiento pudieron emprender el viaje de vuelta con tan sólo un par de cohetes de baja potencia y una cantidad ridícula de combustible, y no hay razón para que usted no haga lo mismo.

Otra cosa que hay que tener presente es que, por el camino, hay que cruzar los cinturones de radiación de Van Allen. Se trata de regiones del campo magnético terrestre en forma

DATOS LUNARES



Puntos positivos:

Cerca de la Tierra.
¡Poca gravedad!



Puntos negativos:

No tiene atmósfera.
Los cráteres pueden resultar monótonos.



Duración del día:

27.3 días terrestres



Duración del año:

1 año terrestre



Gravedad:

0.17g



Temperatura

en

superficie:

-150 a +120 °C



Retardo en

comunicaciones:

Unos 1,3 segundos



Los cinturones de Van Allen se curvan sobre la Tierra como dos letales rosquillas llenas de partículas rápidas y muy penetrantes.



ILUSIONES Y ERUPCIONES

La Luna tiene una fama especial de gastar bromas a los observadores que pasan demasiado tiempo con el ojo pegado al telescopio. Ni siquiera Wilhelm Herschel, el gran observador del siglo XVIII, se libró de ello. En 1787 informó del hallazgo de lo que creyó que era un volcán en erupción en la Luna, pero resultó ser el brillo del gran cráter Aristarco bajo el fulgor especialmente intenso de la luz reflejada por la Tierra. No obstante, muchos astrónomos coinciden en que la Luna presenta a veces una auténtica actividad. Los fenómenos lunares transitorios son fulgores anaranjados que aparecen de vez en cuando en la superficie lunar, y parecen concentrarse alrededor de cráteres bastante recientes. Son la frustración de los pobres observadores porque sus apariciones son tan breves e imprevisibles que registrarlos equivale en astronomía a tratar de darle golpes a una rata de feria, pero sí parecen constituir un fenómeno real. Los geólogos lunares (expertos en la Luna) están bastante convencidos de que se deben a bolsas de gas que escapan de debajo de terrenos inestables, tal vez por la acción de impactos de meteoroides o por movimientos sísmicos lunares.

de rosquilla que atrapan partículas procedentes del viento solar y las hacen rebotar por aquí y por allá entre ambos polos magnéticos terrestres. Hay que pasar varias horas atravesándolos, así que la nave tiene que ir bien acorazada. Aun así, prepárese para algunos efectos colaterales inusuales. Las partículas de viento solar que atraviesan la cabeza pueden estimular las células nerviosas de la retina y esto hace que el cerebro «vea» un destello brillante.

Al llegar a la órbita de la Luna dedique algún tiempo a disfrutar de las vistas. Un giro orbital pausado dura varias horas y brinda mucho tiempo para apreciar la diversidad de la orografía lunar. Entre quienes no han estado jamás en la Luna circula el mito de que «sólo tiene cráteres», pero es falso. Incluso desde la Tierra se distinguen dos tipos de terreno, las tierras altas y brillantes (que, para qué engañarse, solo tienen cráteres) y los mares, de color gris oscuro. Éstos ocupan las zonas bajas y suelen rellenar los fondos de antiguas e inmensas cuencas de impacto.

Preste especial atención cuando cruce el terminador, la línea que separa la noche del día lunares. Al carecer de una atmósfera que esparza la luz del Sol, la oscuridad cae de repente, y la cima de las montañas y el borde de los cráteres resultan espectaculares cuando interceptan la luz del Sol poniente en medio de un paisaje completamente negro.

El Sol no es la única fuente de luz de la Luna, la cara visible también recibe la luz reflejada desde Tierra. Nuestro planeta desvía hacia la Luna mucha más luz de la que la



KONSTANTIN TSIOLKOVSKI

Le proponemos una reflexión para cuando sobrevuele el cráter Tsiolkovski. Este cráter rinde homenaje a la vida de Konstantin Tsiolkovski, un maestro de escuela ruso de principios del siglo XX que demostró por primera vez que los cohetes servían para viajar al espacio. También resolvió gran parte de la embrollada física relacionada con el vuelo espacial. Sin su trabajo, usted no podría contemplar ahora este cráter con sus propios ojos.

Luna refleja hacia la Tierra, aunque sólo fuera por una razón de tamaño, y esta luz suele teñir el paisaje lunar con una pálida tonalidad azul grisácea.

Por supuesto, sólo la mitad de la Luna se beneficia de la luz procedente de la Tierra, puesto que la otra mitad siempre da la espalda al planeta. Al cruzar la línea que separa la cara visible de la cara oculta de la Luna, allí donde la Tierra se hunde tras el horizonte lunar, observe la onda de oscuridad que se despliega bajo sus pies: la noche en la cara oculta de la Luna es más que negra, iluminada tan sólo por estrellas más espectaculares que en la noche más oscura de la Tierra, incluso vistas a través del vidrio tintado del casco.

Sin embargo, dijera lo que dijese Pink Floyd en su álbum *The Dark Side of the Moon*, en realidad no existe un «lado oscuro de la Luna», puesto que la cara oculta recibe tanta luz solar directa como el lado visible de la Luna. Los primeros ingenieros de cohetes dedicaron esfuerzos inmensos a conseguir las primeras fotografías del lado oculto iluminado por el Sol pero, para ser sinceros, los resultados fueron un tanto decepcionantes porque aquella parte cuenta con muchos menos mares destacados que la cara visible, y el resto del terreno consiste en una masa irregular de cráteres con tierras altas que suelen portar nombres rusos impronunciables. Dos referencias que tal vez le sirvan para orientarse son el mar de Moscú, el único territorio de la cara oculta que sí parece un auténtico mar lunar, y el cráter Tsiolkovski, de fondo muy oscuro.



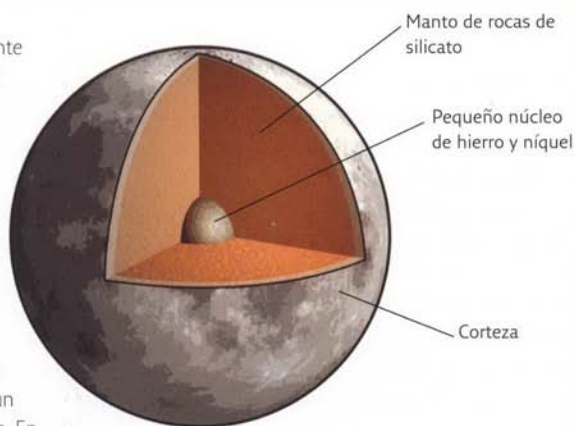
MAREAS LUNARES

Tanto la Tierra como la Luna están afectadas por fuerzas de marea. La superficie de cada uno de estos mundos está abombada hacia la del otro, y desarrolla un abultamiento que apunta directo hacia el otro cuerpo. En el lado opuesto se forma otro «abultamiento de marea» que contrarresta el primero. A medida que un cuerpo gira sobre su propio eje, las fuerzas de marea tienden a moderar su velocidad hasta que los abultamientos dejan de moverse en relación con el objeto que los causa. Por eso la Luna ha detenido su giro hasta que solo una de sus caras mira hacia la Tierra. Este fenómeno se denomina «rotación sincrónica» y se aprecia en muchos de los satélites naturales del Sistema Solar. Las fuerzas de marea también liberan mucho calor en el interior de los objetos al deformarlos (véase p. 124).



INTERIOR DE LA LUNA

La estructura interna de la Luna es bastante simple. La corteza consiste sobre todo en rocas volcánicas similares al granito terrestre, y es más gruesa en la cara oculta que en la cara visible, lo cual explica que las erupciones volcánicas tardías, como las que formaron los mares lunares, fueran más frecuentes en la cara visible. Bajo esta capa hay un manto inmenso de roca sólida. Sin embargo, la Luna pesa demasiado para consistir únicamente en piedra, de modo que parece contar con un pequeño núcleo central de níquel y hierro. En cambio, a diferencia del núcleo de la Tierra, el de la Luna se enfrió y solidificó mucho tiempo atrás.



Manto de rocas de silicato

Pequeño núcleo de hierro y níquel

Corteza

Seguramente un par de giros orbitales alrededor de la Luna bastarán para contentar a los lunáticos más empecinados; a partir de ahí el paisaje empieza a volverse un poco monótono. Piense cómo se sentirían los pobres pilotos de los módulos de mando de las naves *Apollo*, ya quienes les tocaba pasar en soledad días enteros en órbita mientras sus compañeros de viaje se daban la gran vida en la superficie! Tras unas pocas horas estará deseando bajar y caminar entre las rocas. Y, ¿qué mejor sitio para empezar que el

Usted podrá ver en directo esta imagen espectacular desde una órbita baja cuando pase sobre el mar de las Crisis camino de la cara oculta de la Luna.



Base Tranquilidad

ATRACCIÓN
ESTELAR

El turismo por el Sistema Solar no es como el turismo terrestre, de modo que no se deje dominar por el esnobismo. Que un lugar sea muy visitado no es un motivo para eludirlo. El mar de la Tranquilidad representa un ejemplo. Si viaja a la Luna, vaya a verlo. Punto. No sólo se trata de un lugar histórico, sino que también depara vistas espectaculares. Se encuentra hacia el centro de la cara visible de la Luna, de modo que nuestro planeta pende siempre en la vertical del observador a medida que atraviesa el ciclo eterno de fases de acuerdo con el recorrido orbital de la Luna, de cuatro semanas escasas. El paisaje resulta bastante anodino, con llanuras ondulantes de rocas volcánicas ricas en titanio salpicadas de pequeños cráteres y las piedras que eyectaron al formarse. No olvide que los expertos de la NASA que proyectaron el viaje apenas tenían idea de lo que iban a encontrarse (sólo sabían que una nave podía aterrizar en la Luna sin peligro de hundirse en el polvo y idesaparecer para siempre!), así que se comprende que evitaran dirigirse hacia una región más «emocionante» (léase «peligrosa») de la superficie lunar.

Pero, seamos francos, aquí no se viene por las vistas. El lugar donde Neil Armstrong y Buzz Aldrin hollaron la Luna por primera vez continúa intacto, y probablemente siga estándolo durante millones de años a menos que un meteoróide acierte a caer justo ahí. Por desgracia, el temor a que cazadores de *souvenirs* robaran objetos de recuerdo y pisotearan toda la zona con sus botazas lunares hizo que los seis lugares de aterrizaje de las misiones *Apollo* estén hoy protegidos con vallas de veinte metros (una altura imprescindible para evitar saltos favorecidos por la escasa gravedad lunar). No obstante, se han instalado buenos miradores, y algunas de las huellas históricas quedan fuera de la valla, protegidas con plexiglás, de modo que aún se pueden sacar fotos junto a las pisadas de Armstrong o Aldrin.

El artefacto más espectacular que perdura aquí es la parte inferior del módulo de aterrizaje, con forma de araña. Ésta aún conserva las quemaduras que produjo la explosión del despeque de la etapa superior para llevar a los astronautas de vuelta a casa al final de su breve visita. Hay que recordar que



A Michael Collins le tocó la china en la *Apollo 11*: como piloto del módulo de mando, tuvo que permanecer en órbita mientras Armstrong y Aldrin se divertían en la superficie.



Por suerte, las huellas están hoy protegidas pero el desasosiego es inevitable al caminar por encima de ellas.

Armstrong y Aldrin pasaron seis días metidos entre las cuatro latas de la nave *Apollo* para permanecer tan sólo 21 horas en la superficie de la Luna, y más obligado aún mencionar que Michael Collins, el piloto del módulo de mando, realizó todo el viaje con el único fin de velar por la nave en órbita lunar.

Cerca de allí hay un equipo de instrumental dejado por los astronautas. La mayoría de los aparatos se desconectó en 1977 durante una de las campañas habituales de la NASA para reducir gastos, pero de vez en cuando los científicos aún apuntan con láser desde la Tierra hacia los paneles reflectores del experimento «Distanciómetro Láser Lunar» para ir midiendo el incremento gradual de la distancia a la Luna. (Un apunte económico: vaya a la Luna en cuanto pueda, porque cada 26 000 años que espere, tendrá que recorrer un kilómetro más para llegar a ella). El alejamiento en espiral lento y constante de la Luna se debe a los mismos efectos de marea que provocaron la rotación sincrónica, y que han reducido en dos horas la velocidad de rotación de la Tierra desde la época de los dinosaurios.

Un último incentivo lo constituye la placa que dejaron los astronautas para conmemorar su visita. Vale la pena copiar la leyenda completa:

Hombres del planeta Tierra hollaron aquí por primera vez la Luna en julio de 1969 d. de C.

Vinimos en son de paz en nombre de toda la humanidad.



LA BANDERA

Costó mucho esfuerzo elegir la bandera que Armstrong y Aldrin llevaron a la Luna en la *Apollo 11*. La NASA hizo acopio de banderas de gran variedad de fabricantes pero no quería que ninguno sacara provecho comercial del hecho de que su producto fuera a la Luna (imenuado contraste con esta era de lanzamientos de cohetes patrocinados!). ¿La solución? Se le quitó la etiqueta a todas ellas y la elección se dejó al criterio de un secretario a solas en un despacho.



El vuelo hasta el Centro de Visitantes de la Base Tranquilidad permite sobrevolar el mismísimo lugar del histórico aterrizaje.

La ruta de las misiones *Apollo*

La *Apollo 11* se llevó toda la gloria, pero no olvidemos que aquellos primeros astronautas estadounidenses tuvieron tiempo para más. Los viajes para visitar cada uno de los lugares de aterrizaje de estas misiones ofrecen un modo ideal de conocer la diversidad de terrenos que ofrece la Luna. Entre los lugares más destacados figuran:

● *Apollo 12*, océano de las Tempestades. El segundo aterrizaje tripulado en la Luna se produjo en este mar lunar cubierto de material brillante eyectado por diversos cráteres (el gran cráter Copérnico yace en las proximidades). El lugar del aterrizaje dista un breve paseo del punto donde descansa una sonda robótica que llegó allí antes, *Surveyor 3*. Los astronautas de la *Apollo* acudieron para ver cómo le había ido al visitante que los precedió, tras un par de años sobre la superficie lunar. Comprobaron que no muy mal, y hasta hoy sigue en buen estado.

● *Apollo 14*, Fra Mauro. Esta región se proyectó en un principio como lugar de aterrizaje de la *Apollo 13* (la misión lunar que casi acabó en desastre y, por ello, se convirtió en la más célebre de todas ellas). Fra Mauro es una zona accidentada repleta de material arrojado tras la formación del vecino mar de las Lluvias. Se trata de un territorio con actividad sísmica donde la superficie es bastante inestable y en ocasiones se derrumba influida por la gravedad terrestre, sobre todo alrededor del perigeo mensual (el máximo acercamiento a la Tierra). Se parece un poco al cañón de Los Ángeles, aunque los seísmos son tan leves que tendrá suerte si llega a percibirlos.



Harrison Schmitt carga el todoterreno lunar durante la misión *Apollo 17*. Los todoterrenos siguen allí pero inhabilitados, de modo que ino intente usarlos!

POLVO PARA TODOS



Una de las cosas que todo el mundo dice sobre la Luna es que es un asco; el polvo se mete hasta en los últimos intersticios (hasta en lo más recóndito). Esto se debe en parte a que es finísimo porque lleva millones de años en un vacío donde los micrometeoroides lo pulverizan. A mediados del siglo xx, los astrónomos no tenían ni idea de la profundidad a la que llegaría el polvo y temían que el suelo lunar contara con la misma estabilidad que un castillo de arena: polvo y solo polvo hasta varios kilómetros de profundidad. Por suerte, las primeras sondas lunares revelaron que no era así. Hay muchas rocas grandes que mantienen cohesionado el suelo lunar o «regolito». Aún así, hay un montón de polvo y es muy pegajoso (en parte por la electricidad estática que se forma por el impacto de las partículas cargadas del viento solar), así que no cuente con conservar el traje espacial impoluto. A pesar de todas las precauciones higiénicas que tomaron los astronautas de las *Apollo*, acabaron oliendo y masticando piedra lunar estando ya de regreso en el interior del módulo lunar.



Aquí, una vista aérea de la grieta Hadley, un gigantesco tubo de lava desmoronado que visitó la tripulación de la *Apollo 15*. ¡Atención al cráter!

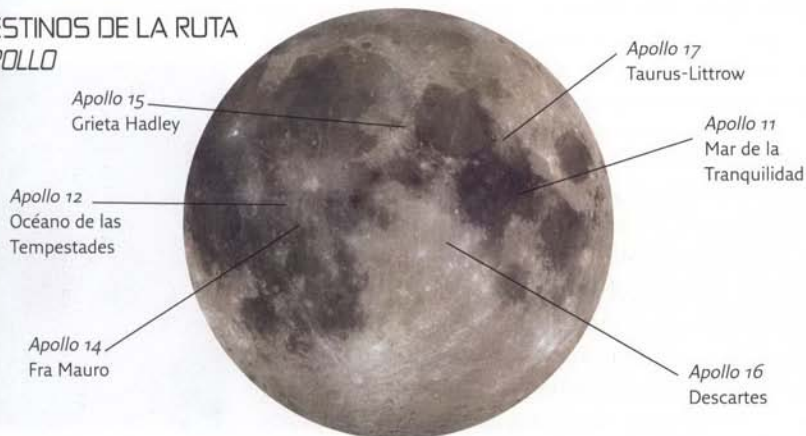


CONSEJOS PARA PRACTICAR EL GOLF

Los entusiastas del golf tal vez deseen honrar a Alan Shepard, comandante de la *Apollo 14* y la primera persona que dio unos golpes en la Luna. Hizo tres intentos hasta lograr un golpe decente, y este último habría que considerarlo bola perdida. Para evitar búsquedas largas e infructuosas, recomendamos que golpee con el *putter* y que instale un radioemisor de rastreo en las bolas que use. Hay un montón de búnkers (trampas de arena) naturales que salvar, pero al menos no hay que preocuparse por las de agua.



DESTINOS DE LA RUTA APOLLO



● *Apollo 15*, grieta Hadley. El emplazamiento más interesante después de la Base Tranquilidad. Aquí puede contemplar el primero de los célebres vehículos lunares todoterreno, el primer coche que circuló por la Luna, además de la grieta Hadley. Es uno de los accidentes volcánicos más destacados de la Luna, un túnel de lava desmoronado con más de un kilómetro de anchura.

● *Apollo 16*, Descartes. El primer aterrizaje en tierras altas. Descartes también cuenta con un todoterreno lunar criando polvo. Se trata de una región con colinas surgida por la materia que arrojaron los grandes impactos en la superficie original de los alrededores y la fusión entre sí de las rocas pulverizadas.

● *Apollo 17*, Taurus-Littrow. Este valle es en realidad una llanura de lava similar a la de los mares, que cuenta con «auténticos» cerros sobresalientes. En algunos lugares se ve que la lava fundida se tragó las faldas de las colinas. También se aprecia el lugar donde el astronauta Gene Cernan dio el último paso sobre la Luna en casi 50 años, en diciembre de 1972.

Tycho

No se puede ir a la Luna sin visitar algún cráter realmente espectacular, y Tycho es uno de los mejores. Este cráter de 85 km de ancho tiene forma de cuenco perfecto y un pico central, y quizá sea más conocido por la ficción que por la realidad (véase «En busca del monolito de Tycho»).

Tycho es impresionante. Si bien en la Tierra, el agua, el viento y la vida erosionan el paisaje y borran accidentes como cráteres en unos pocos miles de años o menos, en la Luna el único desgaste se debe a las tensiones que provocan los cambios de temperatura y a la caída de otros meteoroides. Así, Tycho ha permanecido intacto durante unos 100 millones de años. Aún está rodeado por los «rayos» brillantes de la materia que salió expulsada cuando se formó el cráter de impacto. Debido a la baja gravedad el material recorrió hasta 1500 km antes de caer sobre el paisaje lunar. Más de cerca se aprecian los cráteres secundarios, donde grandes trozos de materia eyectada cayeron próximos al punto de impacto.



IMPACTOS Y MARES

Las cuencas de impacto donde se sitúan los mares lunares se formaron a finales del «último bombardeo intenso», hace unos 3900 millones de años, cuando los planetas mayores del joven Sistema Solar ya habían absorbido la mayoría de los escombros, pero aún quedaban planetoides grandes a la carga y con capacidad de hacer daño. Al parecer, un par de cientos de millones de años después, la temperatura de la Luna aumentó y se abrieron fisuras inmensas en partes hondas de la corteza que permitieron que la lava surgiera y cubriera las cuencas de impacto. En algunos lugares aún se ven «crestas arrugadas», ondas donde la lava formó una cubierta de aspecto cremoso antes de asentarse por completo.



Una vista impresionante de Tycho.



FORMACIÓN DE CRÁTERES

Un número sorprendente de turistas lunares admitiría con tranquilidad que no sabe lo más mínimo sobre cráteres de impacto, y eso es una vergüenza. Vale, no saber qué son no les resta espectacularidad, pero sacaremos más provecho de lugares como Tycho si sabemos un poquito más sobre ellos. ¡No olvide que hasta el comienzo de la era espacial muchos astrónomos creían que todos los cráteres eran volcanes extintos! El proceso que subyace a la formación de cráteres resulta muy sencillo si se pone algo de atención. Un asteroide, cometa u otro objeto cualquiera (suele resultar más sencillo usar el término genérico de «bólide») choca contra un planeta o satélite a una velocidad de varios kilómetros por segundo, tal vez entre 10 000 y 20 000 km/h. En el momento de la colisión, desde el punto de impacto sale una onda de choque que pulveriza las piedras de alrededor, las tritura y las calienta. La onda de choque deja tras de sí una región de descompresión, de modo que, de repente, las rocas comprimidas consiguen expandirse y el material que ha quedado justo debajo del impacto expulsa chorros de materia a alta velocidad y en todas direcciones. Esto deja un agujero en expansión en forma de cuenco en la superficie. A medida que la onda de choque avanza por la corteza, se va debilitando, y lo mismo le sucede a la onda de descompresión, de modo que el material que proviene de los lugares más hondos sale despedido con menos fuerza y cae al suelo más cerca del cráter.



EN BUSCA DEL MONOLITO DE TYCHO



Según la visionaria película de ciencia ficción del s. xx 2001: *una odisea del espacio*, fue en Tycho donde los alienígenas enterraron un artefacto misterioso conocido simplemente como «el Monolito». Este bloque negro rectangular era en realidad una supercomputadora, diseñada para observar la evolución de la vida en la Tierra y enviar una señal a sus creadores cuando algún tipo de vida inteligente lo encontrara en la Luna. Aunque se trata de una ficción absoluta (o eso creemos), tras el monolito hay una idea ingeniosa. El envío de mil sondas de ese tipo para buscar planetas habitables sólo requeriría una fracción de los recursos necesarios para emitir una señal de radio diciendo «Hola» por una vasta región del espacio.

Un viaje a la cara oculta

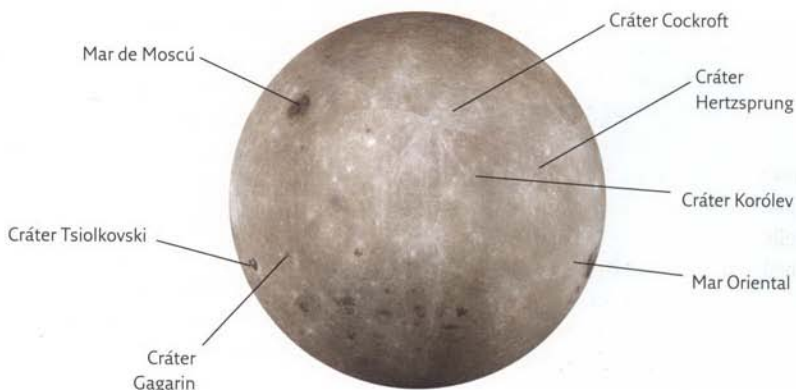
La cara posterior de la Luna tiende a recibir un tráfico mucho menor de turistas que la cara visible por una serie de razones. En primer lugar, hay una carencia notoria de accidentes «destacados» y, ¿qué gracia tiene volver a la Tierra y contar a las amistades que fuimos a un lugar y tardar tres horas en localizarlo en el mapa? En segundo lugar, al no contar con la tranquilizadora presencia permanente de la Tierra en el cielo, puede resultar un tanto desalentador para los turistas menos aventureros. Por último, no hay comunicación directa con la Tierra. Puede que sólo estemos a un segundo luz de la gente, pero cuando entre ella y nosotros se interponen 3000 kilómetros de piedra sólida, es lo mismo que estar en la cara oculta de la Galaxia.

En consecuencia, la cara oculta de la Luna se deja en su mayoría a quienes preparan un doctorado en geología lunar y a los astrónomos ya que, como no molesta el fulgor de la Tierra, el firmamento nocturno es más espectacular aquí que en cualquier lugar de la Tierra y la gravedad permite construir telescopios mucho más grandes que cualquier instrumento que se pueda poner en órbita. También hay una ausencia absoluta de ruido radioeléctrico, salvo cuando sobrevuela la zona algún satélite de comunicaciones de emergencia cada pocas horas.



La salida de la Tierra sobre el mar Occidental constituye una imagen inolvidable.

LA CARA OCULTA DE LA LUNA





Pero, ¿qué hay que ver allí? Sobre todo, tierras altas. Muchos, muchísimos cráteres y cadenas montañosas, la mayoría con nombres que parecen trabalenguas. La atracción principal la constituye, tal vez, el cráter Tsiolkovski, ya mencionado. Su atractivo se debe al hecho de que básicamente es un mar de dimensiones ridículas, un cráter de paredes altas y 198 km de diámetro con el suelo cubierto de oscuras rocas basálticas. Por alguna razón, entre todos los lugares posibles, fue justo ahí donde la lava oscura que crea los mares lunares superó su aparente desgana a brotar en la cara oculta e hizo acto de presencia para rellenar el fondo de este cráter.

Tsiolkovski también exhibe de un pico central bastante espectacular que emerge como una isla del mar circundante. Si permanece en pie al borde del precipicio durante la puesta de Sol, la vista por encima del cráter le brindará de un golpe algunos de los aspectos más bellos de la geografía lunar.

De pie al borde del cráter Tsiolkovski, el panorama aparece dominado por la oscura llanura volcánica y picos centrales brillantes.

Nieve en la Luna

Desde Tsiolkovski hay sólo un paso hacia el sudeste para acceder a la otra gran atracción de la cara oculta. Aunque no es tan fotogénica como algunos de los cráteres y cuencas más pequeños de la cara visible, la cuenca Aitken del polo sur es un destino obligado debido a su tamaño. Esta cuenca de impacto inmensa es la más grande de todo el Sistema Solar y se extiende desde el mismísimo polo sur lunar hasta latitudes australes medias de la cara oculta. Su diámetro, de unos 2500 km, casi el tamaño de Europa occidental, supera incluso el de la gigantesca cuenca Caloris de Mercurio.

A pesar de su tamaño descomunal, la cuenca decepciona un tanto vista desde la órbita. El impacto, ocurrido hace unos 3900 millones de años, arrancó rocas hasta una profundidad de 12 km bajo la superficie lunar, pero no tocó magma. Como el fondo no se cubrió con nada de lava y quedó brillante, apenas se distingue de las tierras altas circundantes.

Sin embargo, la mayoría de la gente que se aventura tan al sur viene por una sola razón: el hielo. En unos cuantos cráteres profundos alrededor del polo sur yacen depósitos de hielo dejados por los cometas ocasionales que han chocado con la Luna. De acuerdo, por lo común no es lo bastante denso como para practicar deportes de invierno, pero las peleas de bolas de nieve con un sexto de la gravedad terrestre pueden resultar



EL GRAN GOLPE

El gran tamaño de la Luna siempre la ha convertido en un misterio (ninguno de los otros planetas interiores cuenta con un satélite considerable). Su geología también resulta curiosa, puesto que se parece, pero no es idéntica, a la de la Tierra. La teoría que mejor explica todo esto es la del «gran golpe». Poco después de la formación de la Tierra, un planeta descariado del tamaño de Marte (a veces llamado Tía, como la madre de la diosa griega que encarnaba la Luna) se abalanzó contra la Tierra y la golpeó de soslayo. La colisión destruyó Tía y arrancó un buen pedazo del manto terrestre. Muchos de los escombros salieron despedidos al espacio, pero algunos volvieron a caer en la Tierra y una cantidad considerable de ellos quedó en órbita alrededor del planeta. Allí, chocaron entre ellos y se fusionaron para crear la Luna en tal vez solo unas pocas décadas.



La descomunal cuenca Aitken está sumida en un crepúsculo permanente en el polo sur lunar.



El hielo acecha en un cráter en sombras perpetuas dentro de la cuenca Aitken.

¿POR QUÉ AQUÍ SÍ?



El hielo y el agua líquida perduran en la Tierra debido a la gruesa atmósfera del planeta, pero en la Luna se evaporarían hasta desaparecer si se sometieran al calor del Sol. Por tanto, ¿cómo es que el hielo perdura en los polos? Todo se debe a una curiosa casualidad de la órbita lunar. Mientras que la Tierra mantiene una inclinación ligera de 23 grados con respecto al plano de su órbita (lo que significa que todas las zonas del planeta reciben una cantidad apreciable de luz solar durante al menos parte del año), la órbita lunar solo presenta una inclinación de 6,5 grados con respecto a la Tierra. Las mismas fuerzas de marea que han frenado la rotación de la Luna también garantizan que la Luna permanezca tiesa, erguida sobre su órbita. Por tanto, en los polos el Sol solo llega a asomar en ocasiones 5 grados por encima del horizonte, y las paredes de los cráteres profundos (sobre todo los inmersos en la cuenca Aitken del polo sur) suelen tener suficiente altura como para asegurar que el fondo del cráter permanezca siempre a la sombra.

la mar de divertidas! Es más, ese hielo procede de cometas y, por tanto, ha permanecido casi inalterado desde el nacimiento del mismísimo Sistema Solar, hace unos 4.600 millones de años. Piense en ello mientras se lo limpia del visor del casco.

Los geólogos lunares sospecharon por primera vez que había hielo ahí cuando a finales del s. xx la sonda espacial *Lunar Prospector* captó reflejos de radar de un brillo excepcional procedente de algunos cráteres. Incluso intentaron aclarar la cuestión lanzando la nave contra uno de los cráteres para observar si se formaba una bocanada de vapor de agua cuando saliera despedido por el aire y recibiera luz solar. Pero no tuvieron mucha suerte. Sin embargo, cuando al fin llegó a la Luna la segunda remesa de exploradores, esta vez humanos, el hielo constituyó una de sus máximas prioridades. No solo es una fuente muy accesible de combustible, fácil de separar para obtener hidrógeno y oxígeno líquidos, sino que además es un tesoro arqueológico, una muestra abundante y ultracongelada del caldo primordial del Sistema Solar situada a un paso de nuestro planeta, sin necesidad de ir persiguiendo cometas por todo el Sistema Solar.

Más allá: Cruithne

Según el conocimiento astronómico que se remonta siglos atrás, la Tierra solo tiene un satélite natural. Para asegurarnos hemos preguntado a una serie de personas que los han contado. Pero hay otros varios objetos diversos ahí fuera que casi son satélites de la Tierra si los contemplamos desde un punto de vista científico favorable.

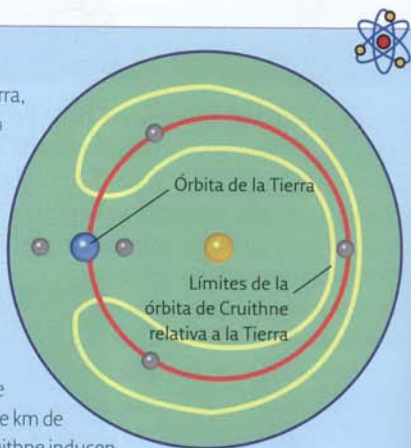
Cruithne, en concreto, suele denominarse la segunda luna terrestre. El nombre resulta casi tan desconcertante como su insólita órbita. Quizá nunca sepamos cómo se pronuncia, puesto que procede del nombre de una antigua tribu celta y ya no queda nadie a quien preguntarle.

Cuando los astrónomos detectaron por primera vez este mundo extraño y minúsculo, creyeron que en realidad podía tratarse de un satélite artificial extraviado o de un trozo de basura espacial, aunque el descubrimiento de que

ÓRBITAS DE HERRADURA

La distancia media de Cruithne al Sol casi iguala la de la Tierra, pero el primero sigue una órbita algo más elíptica, de modo que entra y sale de la órbita terrestre (también presenta un ángulo de inclinación con respecto a ésta, así que no hay muchas posibilidades de que choque con ella). Durante parte del tiempo, el año de Cruithne es algo más breve que el nuestro, de modo que orbita el Sol un poco más deprisa. Visto desde la Tierra, el asteroide parece moverse en espiral por el espacio delante de nosotros y situarse un poco más adelantado con cada bucle.

Con el tiempo, el asteroide empieza a alcanzar la Tierra desde atrás, hasta que ambos llegan a situarse a unos 15 millones de km de distancia. Entonces, las fuerzas de marea entre la Tierra y Cruithne inducen una ligera pérdida de velocidad en Cruithne, mientras que la Tierra gana una cantidad equivalente (como una catapulta gravitatoria a la inversa). Como Cruithne es mucho más pequeño que la Tierra, esa pérdida supone grandes diferencias que alargan su año lo bastante como para que ahora sea más largo que el de la Tierra. Después, Cruithne empieza a alejarse de la Tierra con cada órbita hasta que llega un momento en que la Tierra empieza a alcanzarlo. De nuevo, cuando se sitúan a una distancia de 15 millones de km, comenzará el intercambio de velocidad, pero esta vez es el asteroide quien roba velocidad y empieza a adelantar de nuevo a la Tierra. Por tanto, Cruithne está condenado a un vaivén perpetuo que le impide acercarse a la Tierra, lo cual probablemente debería alegrarnos.



La Tierra y la Luna son dos discos diminutos en el cielo de Cruithne, incluso en los acercamientos máximos, como en esta imagen tomada a 15 millones de km.



¿DOS LUNAS?

Una vez la Tierra disfrutó de una segunda luna «auténtica» durante un espacio breve de tiempo. En 1846, el francés Frédéric Petit del Observatorio de Toulouse, declaró que tres astrónomos habían detectado un nuevo satélite diminuto girando alrededor de la Tierra por dentro de la órbita de la Luna. Sostenía que orbitaba en solo 2 horas y 45 minutos y que rozaba la atmósfera durante los acercamientos máximos. Huelga decir que otros astrónomos no tardaron en derribar esta idea, pero perduró en la novela fantástica de Julio Verne titulada *De la Tierra a la Luna*, donde los protagonistas sobreviven a un encuentro cercano con la segunda luna de la Tierra al comienzo de su viaje.



mede unos cinco kilómetros de largo descartó la idea. Resultó ser un «asteroide cercano a la Tierra» (NEA, *near-earth asteroid*) muy común, pero había quedado atrapado en un tipo de órbita muy inusual (véase el recuadro «Órbitas de herradura»).

Para ser francos, Cruithne no es nada del otro mundo, se trata de un típico asteroide cercano a la tierra, acribillado de cráteres. Sin embargo, si pasara cerca de él, vale la pena descender y disfrutar de la imagen espectacular e insólita que ofrecen la Tierra y la Luna juntas en el espacio.



♥ VENUS
para los enamorados

Turismo extremo

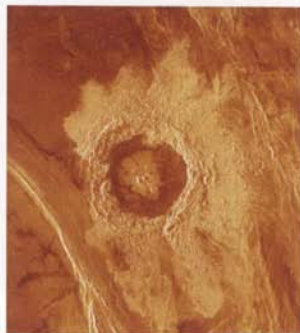
Venus es excesivo para la mayoría de los veraneantes, demasiado tórrido, demasiado corrosivo y demasiado tóxico, y su efecto invernadero desbocado da una lección importante a la Tierra. ¿Es usted lo bastante valiente como para descender a la superficie en una cápsula blindada y caminar por el entorno dentro de un traje espacial acorazado? Si es así, le esperan maravillas como los volcanes gigantes de los montes Maxwell, los ríos de lava solidificada del monte Maat y los restos descompuestos de las primeras sondas soviéticas. Pero tenga cuidado: si se queda demasiado tiempo, ya nunca podrá salir!

Aunque Venus sea nuestro vecino planetario más próximo, todavía no goza de mucha popularidad como destino vacacional. Aún perdura la fama de peligrosidad que se ganó durante los primeros días de los viajes espaciales, pero tampoco ha ayudado que unas cuantas excursiones mal organizadas desaparecieran en sus ácidos cielos y nunca más se volviera a saber de ellas.

Pero si se toman buenas medidas de seguridad y se contratan seguros con buena cobertura, Venus tiene mucho que ofrecer. Resulta tentador visitar un mundo tan semejante a la Tierra en lo esencial, por muy distinto que haya resultado ser, y también parece sensato plantearse que a nuestro planeta le podría esperar algún día el mismo destino.

Cómo llegar

Viajar hasta Venus puede ser un placer o una pesadilla, todo depende de cómo se sincronicen los tiempos. Asegúrese de comprobar la posición de ambos planetas con su agencia de viajes local antes de programar el viaje. Si se parte en el



La densa atmósfera venusiana evita que los cráteres de impacto arrojen eyecciones muy lejos. Más bien, caen cerca del lugar original del choque y esto podría contribuir a crear cráteres lobulados como Dickinson, que en un costado no muestra ninguna eyección.

CARTOGRAFÍA DE VENUS

Aún hoy no tendríamos ni idea de la geografía global de Venus si no fuera por los mapas de radar. Tradicionalmente, el radar funciona disparando destellos de ondas de radio contra un objeto y midiendo el tiempo que tardan en regresar. En cierto modo es como si un jugador de tenis calculara la distancia a una pared contando el tiempo que tarda en regresar la bola lanzada, solo que en este caso la pelota viaja a 300 000 km/s, todo un smash de derecha.

Un sistema más sofisticado de radar implica disparar una «melodía» más larga de ondas de radio contra el objetivo. Siguiendo con la metáfora, es como si el jugador de tenis lanzara media docena de pelotas casi simultáneas contra la pared. Al medir el tiempo que tardan en regresar las distintas partes de la «melodía» y qué ángulo traen de vuelta, se descubren muchos más detalles sobre el relieve del muro, por no mencionar otras informaciones, como su textura y composición.



momento equivocado, cuando Venus está en el lado opuesto de su órbita visto desde la Tierra, habrá que dar casi una vuelta completa alrededor del Sol para alcanzar el planeta, lo cual consume tiempo, sale caro y, francamente, es aburridísimo (no hay mucho que ver en el hueco que separa la Tierra de Venus). Si se sueltan amarras en el momento adecuado, se ahorran meses de viaje y se disfruta de una mejor comunicación con la Tierra, puesto que durante un tiempo breve ambos planetas avanzan codo con codo alrededor del Sol, con tan sólo 42 millones de km de separación entre ellos.

Pero es inevitable que Venus y la Tierra se vayan alejando con el tiempo, porque Venus recorre su órbita algo más deprisa que la nuestro mundo. Esto significa que hay que ganar velocidad para alcanzar Venus, pero ciertamente no representa una dificultad tan enorme como en el caso del veloz Mercurio (véase p. 60). Una nave capaz de sacarnos del campo gravitatorio terrestre, podrá también alcanzar Venus sin problemas.

Durante el viaje ponga a prueba su vista comprobando en qué momento consigue distinguir las fases del planeta. El brillo de las nubes altas de Venus permite ver con más facilidad la figura del lado iluminado por el Sol (este planeta es el más reflectante de todos los que componen el Sistema Solar). Algunas personas llegan a atisbar a simple vista desde la Tierra que no se muestra como un círculo perfecto. También puede estar pendiente de la inexplicada «luz cenicienta» que a veces confiere un fulgor difuso al lado nocturno del planeta (véase «La luz cenicienta», p. 51).

Una vez se encuentre seguro en órbita, probablemente se mareará con la visión que hay durante horas. El planeta está cubierto por completo de nubes y el brillo de la luz reflejada elimina cualquier detalle. El fulgor amarillo sulfuroso que lo domina todo también cansa pronto. Para que la atmósfera le cause menos dolor de cabeza, pruebe a usar alguno de los filtros que existen para las ventanas. Los filtros ultravioletas bloquean con gran eficacia el amarillo y aumentan el contraste, de modo que no sólo sustituyen el molesto color amarillo de Venus por un azul más balsámico (ideal para enfriarse tras una expedición por la superficie), sino que también permiten distinguir los inmensos sistemas nubosos en forma de V invertida que envuelven el planeta y completan un giro a su alrededor cada cuatro días o así.

DATOS DE VENUS



Puntos positivos:

Cercano a la Tierra.
Poco frecuentado



Puntos negativos:

Muchas formas
interesantes de morir



Duración del día:

243 días terrestres



Duración del año:

225 días terrestres



Gravedad:

0.9 g



Temperatura en superficie:

470°C



Retardo en comunicaciones:

140 segundos o más

El planeta con atmósfera

Cualquier expedición a la superficie de Venus implicará, en primer lugar, atravesar su atmósfera y esto entraña en sí mismo ciertos riesgos. En Venus cabría afirmar casi con literalidad que «la atmósfera se puede cortar con un cuchillo»: el aire es cien veces más denso que el de la Tierra. Pero ahí radica solo la mitad del problema, puesto que también es altamente tóxica y corrosiva. Esta combinación significó una condena para varias sondas cósmicas en los inicios de la exploración espacial, antes de que los ingenieros de las misiones comprendieran lo duro que es el descenso a la superficie. Por tanto, asegúrese de llevar un equipo con certificado de seguridad, y ni se le ocurra escatimar y comprarlo de segunda mano.

A pesar de la gruesa atmósfera, necesitará un vehículo de lanzamiento con retrocohetes para amortiguar la caída y descender a la superficie. Los paracaídas sirven únicamente para los últimos seiscientos metros del descenso, ya que su corrosión comienza en el mismo instante en que se despliegan. Volviendo a los primeros días de la exploración espacial, muchas sondas descendieron sólo con paracaídas, pero no portaban tripulación por la que preocuparse. Ninguna aseguradora daría cobertura hoy día si se emplearan los métodos de descenso de otrora.

En realidad, éste es uno de los pocos lugares de este libro donde no le vamos a sugerir que actúe por su cuenta. En



¿UNA JUNGLA PLANETARIA?

Hasta que las primeras sondas llegaron allí para dar al traste con sus ilusiones, muchos astrónomos consideraban Venus como un refugio potencial para la vida. Por sus nubes y proximidad al Sol se imaginó cálido y húmedo, con junglas exuberantes que superaban con mucho las selvas terrestres.



Cumbres volcánicas asoman entre la niebla hacia el final del descenso. Las capas más gruesas de nubes quedan por encima y tapan el Sol de forma permanente.



general, somos grandes defensores del viaje espacial independiente, pero en Venus hay tal cantidad de formas encantadoras de morir que haremos una excepción. Siga nuestro consejo y hable con algún agente serio especializado en turismo de acción y aventura.

Fin del sermón. Con independencia del modo en que llegue allí, el descenso por la atmósfera de Venus es inolvidable. Si el módulo de descenso va provisto de esas nuevas e ingeniosas ventanas de aluminio transparente, lo vivirá en directo. En caso contrario, tendrá que verlo a través de las imágenes que tomen las cámaras del casco de la nave. A medida que se avanza hacia las capas de nubes, el entorno adquiere un brillo insoportable, de modo que no se avergüence de usar gafas con filtro solar si dispone de algunas, o si se las proporcionan para el vuelo. El viaje a través de las nubes constituye la parte más turbulenta del descenso, y a los primerizos les puede resultar tan intimidatorio como un descenso con niebla hasta el cosmódromo de Londres. Es inevitable la sensación de que los altímetros se han estropeado y el suelo se precipita veloz contra nosotros, inesperadamente ávido por decirnos «hola».

Sin embargo, la base nubosa de Venus se halla a una altitud sorprendente, la temperatura al nivel del suelo sencillamente hace hervir cualquier vapor que intentara condensarse por debajo de unos 45 km. A medida que nos apartamos de las nubes, empezamos a distinguir un gran cuenco de paisaje venusiano debajo, que emerge de forma gradual a través de la neblina amarilla. El piloto de la nave deberá mantenerse bien alejado de cualquier volcán, pero quizá tenga la suerte de descender con alguno a la vista. Será afortunado si presencia una erupción (más que afortunado, de hecho: ¡le otorgaría un lugar en los libros de historia!), pero las tormentas eléctricas que suelen desencadenarse sobre los volcanes son espectaculares, y no exageramos.

A medida que se aproxime a la superficie, no se alarme demasiado si el casco de la nave empieza a crujiir. Entre el vacío del espacio y la superficie venusiana media un cambio de presión inmenso que supera en cien veces el de la atmósfera terrestre y equivale a 1 km de profundidad por debajo de los mares de la Tierra. La nave presurizada debe estar diseñada para «ceder» un poco mientras se adapta de un entorno extremo al otro.



LA LUZ CENICIENTA

La luz cenicienta viene observándose desde hace siglos y, si bien al principio algunos astrónomos la descartaron como una ilusión causada por pasar demasiadas noches con el ojo sobre un telescopio helado, ahora se acepta como un fenómeno real. A qué se deba, eso ya es otra cuestión. Las teorías actuales consideran desde tormentas en la atmósfera hasta volcanes activos. Otras explicaciones previas (más divertidas pero, por desgracia, descartadas hoy) incluían el «claro de Luna» procedente de un satélite no visible de Venus, y fuegos artificiales que los venusianos lanzaban con el cambio de estación para celebrar sus fiestas de la siega. ¡Los astrónomos de antes eran mucho más imaginativos!



Salga al exterior con estilo

La gravedad de Venus es el 90% de la normal en la Tierra, lo que conlleva una serie de desventajas. Por un lado, se acerca tanto a los niveles habituales de la Tierra que los visitantes suelen sentirse especialmente torpes cuando los instintos habituados a la Tierra intentan ponerse en marcha. Pero un problema mayor lo constituye el hecho de que Venus no ofrece muchas ventajas de peso para desenvolverse con la cantidad de ropa que hay que llevar puesta en la superficie. El excursionista más cargado del mundo lo tiene fácil comparado con cualquiera que pretenda pasar un par de horas en las llanuras del monte Sif. Añádale una armadura medieval y botas aptas para el buceo a grandes profundidades, y tendrá

Una vista del paisaje volcánico de Venus revela flujos distantes de lava, rocas resquebrajadas, terreno oscuro y el omnipresente cielo amarillo.





SEGURIDAD DEL TRAJE PARA VENUS

En cualquier otro destino del Sistema Solar, un fallo en el traje espacial nos mataría en un minuto o así. En Venus en cambio, lo haría en cuestión de segundos. En caso de duda, ¡revise, revise y revise una y otra vez!

una idea cercana a la experiencia real. Pero, ¿vale la pena tanto esfuerzo? En realidad, depende de lo aventurero que se sienta cada cual, pero hay que viajar muy lejos dentro del Sistema Solar para encontrar un mundo grande tan poco frecuentado.

Las condiciones de la superficie pueden resultar traicioneras porque gran parte del paisaje venusiano consiste en rocas volcánicas bastante porosas. Casi la totalidad de la superficie del planeta está cubierta por material volcánico y desde su formación no ha ocurrido mucho más que haya alterado la consistencia de los depósitos originales de lava, de modo que algunas zonas son tan resbaladizas como el cristal, mientras que otras son tan porosas como piedra pómez. Tenga en cuenta el peso de la armadura protectora que lleva puesta antes de encaramarse a cualquier cosa de aspecto inestable.

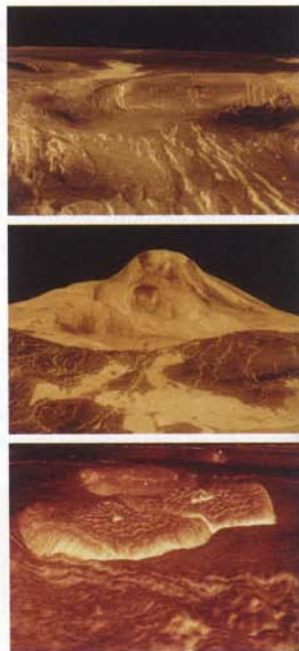


Eistla Regio

ATRACCIÓN ESTELAR

Muchos vienen a Venus por sus volcanes, y aún los inactivos son de una espectacularidad absoluta. Venus parece haber inventado más maneras de arrojar lava a su superficie que ningún otro planeta del Sistema Solar. Cuenta con los típicos volcanes de escudo, como los terrestres, domos de «torta» que forman tapones sobre surtidores volcánicos antiguos y gran variedad de grietas y fisuras en la superficie. Sin embargo, lo más espectacular son los volcanes de los montes Maxwell, alrededor de la región polar norte.

Al sobrevolar las llanuras que circundan el monte Gula, notará que el suelo se ve ondulante, como cuando un pliego de empapelar paredes se queda demasiado tiempo dentro del cubo con cola. De hecho, no nos alejamos mucho de la verdad puesto que este paisaje se formó íntegro a partir de lava solidificada, y lo mismo le ocurrió al 90 por ciento de Venus. El recuento de todos los cráteres del planeta ha revelado a los expertos que la superficie se renovó casi por completo hace 500 millones de años. Algunas personas creen que Venus es como una inmensa olla a presión porque carece del vulcanismo sostenido de baja intensidad que posee la Tierra y no es capaz de «desfogarse». Al contrario, cada vez almacena más calor y molestias hasta que, en un equivalente planetario al reventón de una junta, de repente saltan los tapones y expulsa lava por cada orificio hasta aliviar la presión interior.

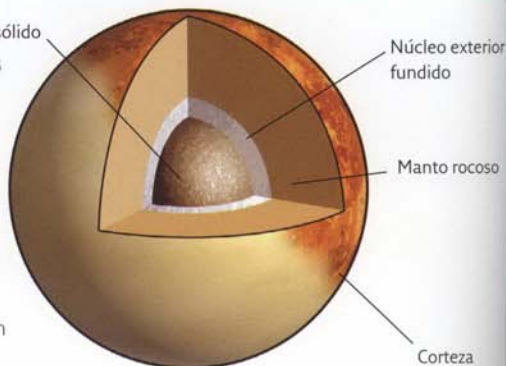


Tres tipos de volcán venusiano: una corona (promontorios volcánicos desmoronados); un cono volcánico como los terrestres, y una serie de domos de «torta» consistentes en lava solidificada.

INTERIOR DE VENUS

Como Venus es poco menor que la Tierra, no es raro que las capas internas de ambos se parezcan bastante, aunque probablemente las de Venus estén un poco más próximas al enfriamiento absoluto. Bajo la corteza hay un manto agitado de roca semifundida y, después, se encuentra el núcleo de hierro y níquel. El centro del núcleo ha empezado a solidificarse pero seguramente las partes externas del mismo aún están fundidas.

Núcleo interior sólido



Núcleo exterior fundido

Manto rocoso

Corteza



¿POR QUÉ NO HAY TECTÓNICA DE PLACAS?

La gran pregunta geológica sobre Venus estriba en por qué el vulcanismo se produce con estallidos repentinos en lugar de ocurrir a un ritmo más o menos constante. Hasta cierto punto la cuestión está clara. Desde el envío de las primeras sondas, los geólogos venusianos saben que el planeta no posee un sistema de tectónica de placas como el de la Tierra, donde gran parte de la actividad volcánica se debe a la fricción, la separación o la unión de unas placas con otras. Pero esto solo plantea un interrogante más profundo aún: ¿por qué Venus carece de placas? Hay varias explicaciones posibles. La más sencilla considera que la tectónica requiere que la impulse cierta cantidad de calor interno y el núcleo de Venus no aporta lo suficiente. Otras ideas lo relacionan con la ausencia de agua (hablaremos luego de ello). Quizá las grandes cantidades de líquido terrestre lubrican la astenosfera (la capa fina de material fluido sobre la que flotan las placas tectónicas). El agua también favorece la formación de minerales ligeros de carbonato que confieren a los continentes terrestres sus densidades diversas y contribuyen a determinar qué borde se dobla hacia arriba o es obligado a descender cuando se producen choques frontales entre las placas. Probablemente la corteza de Venus se componga casi sólo de densas rocas basálticas, de modo que, aunque en algún momento hubiera placas que intentaran ponerse en movimiento, tendrían detenerse en el acto al chocar frontalmente como un par de rinocerontes obstinados.

Imagen de las llanuras de Eistia Regio en dirección a los grandes volcanes del monte Sif y el monte Gula.

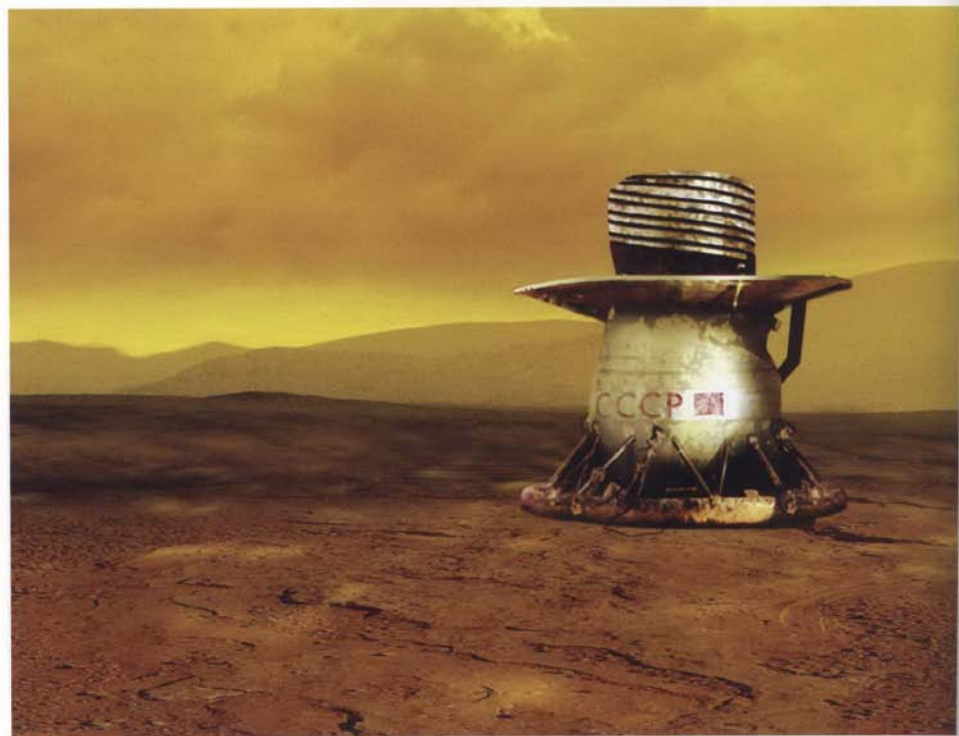


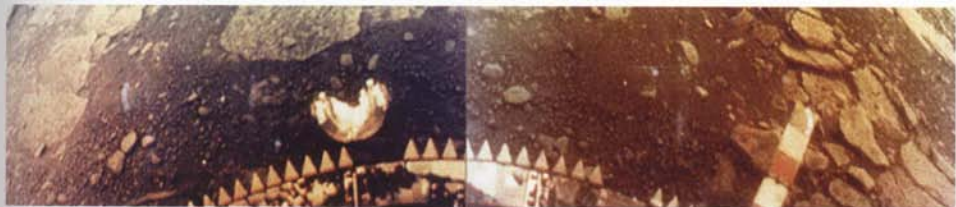
Restos de la *Venera*

Si va a Venus, no deje de visitar alguno de los lugares de aterrizaje de las sondas antiguas. La Unión Soviética envió toda una flota de sondas *Venera* durante los primeros días de la era espacial, y contemplarlas en su estado actual es un buen aviso de lo que pueden hacer las condiciones de la superficie (por si llegara usted a sentirse a gusto dentro del traje acorazado).

Digan lo que digan de la antigua Unión Soviética, sabían fabricar las cosas como si fueran tanques: automóviles, aviones, y hasta la arquitectura de aquel periodo tiene un cierto aire que recuerda a un tanque. Y, claro, los ingenieros soviéticos no tardaron en adaptar esta filosofía de diseño al problema del aterrizaje en Venus. Al ver que las primeras sondas perdían contacto poco después de penetrar en la

La *Venera 14* se corroe lentamente en las llanuras de Themis Regio. Aunque dejó de funcionar minutos después de aterrizar, la robustez de la estructura aún la mantiene entera y en pie en la actualidad.





atmósfera y enviaban poco más que unas cuantas mediciones de temperatura y presión que enseguida se salían de la escala, captaron la indirecta de que Venus no es un planeta cualquiera. Como resultado de aquello, hoy hay un número considerable de reliquias de excelente fabricación soviética por toda la superficie de Venus.

Aunque *Venera 7* fue quizá la primera sonda que llegó intacta a la superficie (envió lecturas uniformes de temperatura y presión durante varios minutos antes de perder contacto con la Tierra), las primeras imágenes de la superficie del planeta llegaron en 1975 con las *Venera 9* y *10*. Los restos desmoronados de la *Venera 9* aún muestran los flancos deformados de su colchón de aterrizaje y el borde abollado del freno aéreo en forma de disco. Es sorprendente, pero la esfera principal altamente acorazada sigue intacta, aunque gran parte de los puntales y tubos de metal que lo sostenían todo están corroídos y a punto de desmoronarse.

Primera imagen en color de la superficie de Venus, enviada por la sonda *Venera 13*. No parece precisamente el paraíso, ¿verdad?

AGUA, AGUA... ¿POR NINGUNA PARTE?



Una de las cuestiones más sorprendentes de Venus es la ausencia total de agua en cualquier estado. La región donde se gestaron la Tierra y Venus parece haber sido el equivalente celeste de una zona monzónica y es evidente que grandes cantidades de agua se quedaron en el interior y el exterior de la Tierra. Entonces, ¿por qué no pasó lo mismo en Venus?

Tal vez sí ocurrió (aunque los científicos aún discuten la existencia de océanos antiguos en Venus). Pero tuvo que pasar algo que eliminara el agua. Es probable que la mayor proximidad de Venus al Sol conllevara la evaporación del agua hacia la atmósfera. Una vez allí, puede que la intensa radiación ultravioleta descompusiera el agua en hidrógeno y oxígeno, y que el hidrógeno, más ligero, escapara al espacio.

Lo atractivo de esta teoría es que también explica por qué alberga tanto dióxido de carbono la atmósfera de Venus. En la Tierra, la reacción entre el agua, el dióxido de carbono y las rocas de la superficie (llamada meteorización química) convierte poco a poco las rocas en minerales carbonatados y extrae dióxido de carbono de la atmósfera. La ausencia de agua líquida, y por tanto de carbonatos, tal vez contribuyera a estrangular los primeros intentos de Venus por contar con una tectónica de placas (véase «¿Por qué no hay tectónica de placas?», p. 55).





Si no soporta el calor...

Mercurio suele pasarse por alto como destino vacacional, sobre todo porque es muy difícil alcanzarlo en su veloz viaje alrededor del Sol. También es un lugar de extremos: un achicharradero durante el día que se torna en noche gélida sin nada de aire en cuestión de minutos. Pero si se consigue llegar, es un mundo fascinante. Contemple la descomunal cuenca Caloris, causada por el impacto de un asteroide masivo cuyas ondas de choque se propagaron por todo el planeta. Escale los precipicios kilométricos que dividen la corteza planetaria en distintos fragmentos. ¡Y no se pierda las fantásticas salidas dobles de Sol!



Venus tal vez sea el planeta más tórrido del Sistema Solar, pero su cobertura permanente de nubes no lo convierte en el lugar ideal para mejorar el bronceado. Los auténticos apasionados del Sol harán mejor yendo a Mercurio, el mundo minúsculo, abrasador y carente de aire que orbita nuestra estrella más de cerca.

Los turistas desprecian a menudo Mercurio como un mundo insignificante, una imitación cobriza de la Luna terrestre en el confín más caluroso del Sistema Solar. De acuerdo. Es cierto que Mercurio no cuenta con la variedad de territorios que exhiben otros mundos más grandes y con una historia más activa, pero sí exhibe algunos accidentes únicos y espectaculares que vale la pena contemplar, y constituye una base ideal para explorar los alrededores del mismísimo Sol.

Cómo llegar

El gran reto que plantea Mercurio consiste, en primer lugar, en pillarlo. Se halla tan cerca del Sol que su año sólo dura 88 días terrestres lo cual, según las leyes inmutables (y a veces sencillamente molestas) del movimiento planetario, significa que recorre su órbita más rápido que ningún otro planeta, a una velocidad máxima de 48 km/s. Vale que todo movimiento es relativo, y que la propia Tierra tampoco se queda muy atrás con su rauda velocidad máxima de 30 km/s, pero se trata de una diferencia de velocidad muy dif-

Aunque la superficie de Mercurio no sea tan reflectante como la de otros planetas, también se precisan filtros tintados para distinguir detalles en el fulgor del lado diurno del planeta.

ATRAPADOS POR EL SOL



La ignición de un cohete en un mal momento durante el trayecto hacia Mercurio es la manera más segura de encallar en una órbita permanente cerca del Sol. La alta velocidad exige mucho más combustible para propulsarse hacia una trayectoria elíptica adecuada para volver a la Tierra, y no llevar bastante implica gastarse una pequeña fortuna en solicitar que una nave cisterna acuda a rescatarnos.

cil de compensar a la hora de pillar a Mercurio en su órbita. De modo que se precisa un cohete bien potente o habrá que realizar un viaje más largo y un montón de cabriolas con maniobras de catapulta.

Muchos de los mejores rasgos de Mercurio solo se aprecian situándose en órbita o desde la superficie. A medida que se aproxime al planeta, al menos logrará distinguir con prismáticos algunos de los cráteres más grandes, ¡que ya es más de lo que se consigue desde la Tierra! Al acercarse al planeta, también aumenta la separación visual entre el Sol y Mercurio, mientras que desde la Tierra Mercurio siempre yace en el mismo lugar del cielo que el Sol y eso obliga a observarlo siempre durante el crepúsculo justo después de la puesta del Sol o justo antes de su salida, y nunca en un cielo despejado y oscuro. Identifique algunos rasgos del planeta y constate su posición de un día para otro; descubrirá otro de los secretos de Mercurio: rota tan despacio que completa un giro sobre su eje cada 59 días (justo dos tercios de la duración de su año). Como veremos más adelante, esto implica unas consecuencias sorprendentes.

Una vez en órbita, empezará a ver qué es lo que hace a Mercurio diferente. Los rasgos más obvios son las escarpaduras (o *rupes*), unas fallas inmensas que atraviesan todo el paisaje craterizado. Después está la cuenca Caloris, difícil de confundir a distancia, pero se pierde con facilidad desde una órbita baja debido a su tamaño descomunal.

Quien sepa mucho de mecánica orbital tendrá otra clave para explicar la rareza de Mercurio. Desde una distancia determinada al planeta, el movimiento orbital discurrirá algo más rápido de lo esperado; esto se debe a que la masa y el campo gravitatorio del planeta son algo mayores que lo que les correspondería al comparar Mercurio con sus vecinos planetarios. Tal vez se sorprenda también al saber que Mercurio cuenta con un campo magnético (no está mal para un planeta tan pequeño cuando Venus, mucho más grande, no lo tiene).

Pero es en la superficie donde se aprecian las diferencias. La gravedad es mucho más intensa que la de la Luna (más de un tercio de la terrestre). Tampoco se puede andar mucho sin toparse con uno de los numerosos sistemas de *rupes*. Estos sí que son peregrinos, como si alguien hubiera golpeado la superficie de Mercurio con un martillo cuando ya se había formado por completo.

DATOS DE MERCURIO



Puntos positivos:

Excelente para broncearse.
Un montón de escalas posibles



Puntos negativos:

Minúsculo y difícil de alcanzar



Duración del día:

58,6 días terrestres



Duración del año:

88 días terrestres



Gravedad:

0,38 g



Temperatura en superficie:

-150 a
+43°C



Retardo en comunicaciones:

5 minutos o más

Escarpadura Discovery

ATRACCIÓN
ESTELAR

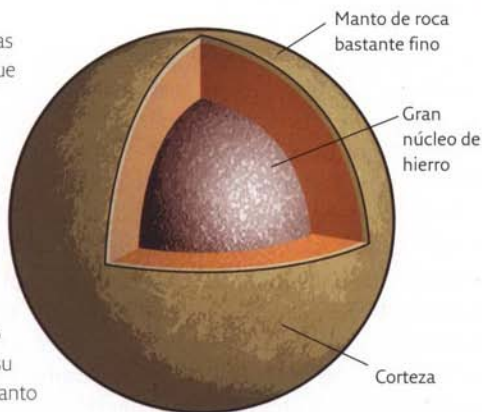
Esta cicatriz que recorre 650 km de longitud por el paisaje de Mercurio es, probablemente, la escarpadura más célebre de todas. En algunos lugares el precipicio mide 2 km o más de altura y cruza varios cráteres por la mitad. Es como si una mitad de la isla de Manhattan de la Tierra estuviera a diferente nivel que la otra y como si por medio de Broadway discurriera un inmenso precipicio vertical. Las vistas desde el borde del precipicio son espectaculares, pero icuidado con el vértigo!

La escarpadura Discovery forma un precipicio de gran altura en medio de un cráter de 50 km de ancho en Mercurio.



BAJO LA PIEL

La gran diferencia entre Mercurio y el resto de planetas telúricos estriba en el tamaño del núcleo. Mientras que Venus, la Tierra y Marte poseen núcleos bastante pequeños, el de Mercurio es enorme, una bola gigantesca de hierro que abarca unos tres cuartos del diámetro. Tiene un tamaño similar al de la Tierra, pero en un planeta mucho más pequeño. Ahora se ha enfriado y solidificado, pero retiene el fantasma de un campo magnético que tuvo que ser mucho más intenso cuando el núcleo aún estaba fundido. La mejor explicación del núcleo de Mercurio es que el planeta sufrió una colisión descomunal en su historia más remota, que le arrancó gran parte del manto original y lo dejó dominado por el núcleo.



Aterrice en alguna de las escarpaduras o sobrevuélelas y apreciará una gran diferencia con los despeñaderos terrestres. En nuestro planeta, los precipicios suelen mostrar estratos (capas de distinto color o textura que revelan cómo se formó la roca a partir de la acumulación de cieno fino en un lago o mar y el prensado de todas las capas. Mercurio no posee rocas sedimentarias de este tipo, sus abismos son de grandes bloques de piedra volcánica que se superponen entre sí.

Estas fallas también adoptan otras formas, como bandas inmensas de tierra con precipicios a ambos lados. En otros lugares, otros trozos de terreno se han desmoronado hacia el interior y forman depresiones de bordes escalonados.

Entonces, ¿qué alteró la superficie de Mercurio? Parece que todo el planeta se encogió en algún instante de su historia posterior a la solidificación de la corteza y a la formación de la mayoría de los cráteres. Probablemente todo esto remita al inmenso núcleo de hierro del planeta, el cual continuó calentándose durante algún tiempo después de su formación, expandiendo la superficie y abriendo grietas en ella. Después, a medida que se enfrió y se contrajo, los fragmentos de la corteza chocaron unos contra otros de manera que unos quedaron debajo y otros se superpusieron, como piezas mal ajustadas de un rompecabezas que revelarían la frustración de alguien al crear el firmamento.

PELIGROS DE



UNA GRAVEDAD ESCASA

El hecho de que Mercurio y otros mundos pequeños del Sistema Solar tengan poca gravedad no da licencia para endiosarse. Una caída por la escarpadura Discovery, p. ej., imprimirá una aceleración durante todo el descenso. A diferencia de la Tierra, estos mundos no cuentan con una resistencia atmosférica que frene la caída, así que podemos terminar golpeando el suelo a la misma velocidad que si saltáramos de un avión en la Tierra desde una altura similar. En el vacío, la única «velocidad terminal» que existe es la que te mata.

Cuenca Caloris

El accidente más grande e impresionante de Mercurio lo constituye, sin lugar a dudas, la cuenca Caloris. Este vasto cráter de impacto, sólo superado en todo el Sistema Solar por la cuenca Aitken en el polo sur de la Luna, mide unos 1340 km de diámetro y su formación dejó huellas por todo el planeta.

El único problema, como con la cuenca Aitken, consiste en apreciar las grandes dimensiones del cráter. Para verlo completo hay que encontrarse a cierta distancia del propio planeta, de manera que se pueda divisar un hemisferio completo. Y, aún así, tampoco se ve entero a menos que la parte diurna del planeta (cuyos días transcurren con gran lentitud) coincida con ese lugar concreto.

La alternativa consiste en sobrevolarlo rápido y a poca altura y, en muchos aspectos, se trata de la mejor opción. La cuenca Caloris excavó tal agujero en la corteza de Mercurio que desencadenó erupciones volcánicas suficientes como para cubrir el fondo de la cuenca en sí. Como resultado, el interior de la cuenca es casi plano y liso, bastante parecido a un mar lunar. Pero como no hay diferencia de color entre el fondo nuevo del cráter y las rocas circundantes, cuesta distinguir la estructura conjunta. Lo mejor es buscar los anillos concéntricos de cadenas montañosas y los rayos de accidentadas eyecciones que rodean el lugar del impacto, todo ello fácil de divisar a baja altura.



Las ondas de choque del impacto que formó la cuenca Caloris se propagaron por todo el planeta y crearon un «terreno caótico» en el lado opuesto de Mercurio.

Enormes cadenas montañosas concéntricas rodean la llanura central de la cuenca Caloris.





MARINER 10

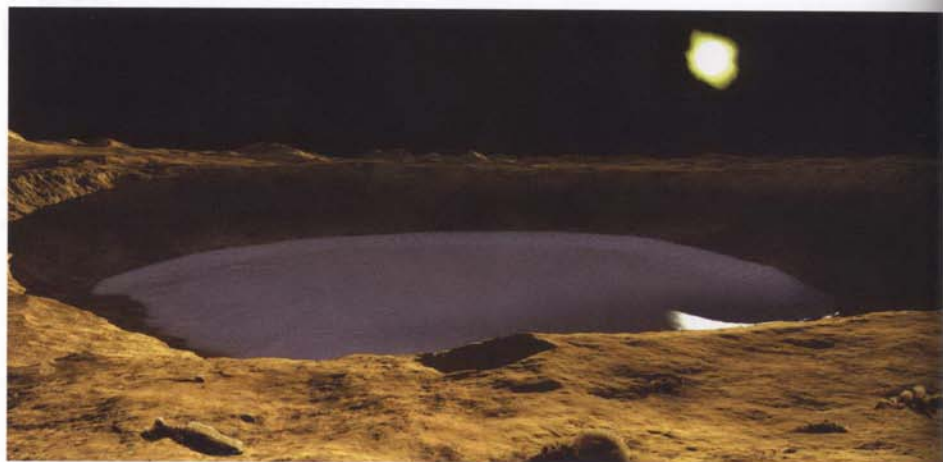
Cuesta creerlo, pero durante la primera mitad de siglo de la era espacial sólo una sonda se adentró hasta Mercurio. Fue la valiente *Mariner 10*, un montón de componentes electrónicos de 408 kg que sobrevoló Venus y, después, Mercurio en 1974-75. A pesar de ser bastante ligera, la sonda era incapaz de igualar la velocidad de Mercurio, de modo que los científicos de la NASA encargados de la misión tomaron la siguiente de las mejores opciones: situaron la sonda en una órbita elíptica opuesta a la de Mercurio, de modo que la nave sobrevolaba el planeta una vez cada dos años mercuriales. El plan funcionó a la perfección pero conllevaba una única desventaja: durante todas las pasadas de la sonda el Sol siempre iluminaba la misma mitad del planeta. Hubo que esperar a la década de 2010 y la llegada del primer orbitador mercurial para obtener las primeras tomas buenas de la otra cara.

Volar en dirección a Caloris durante la puesta o la salida del Sol es una vivencia inolvidable. A 1800 km de distancia se atraviesan llanuras extensas y lisas atravesadas por una larga cadena de colinas llamada formación Odín y que representa la frontera más externa de las eyecciones de Caloris. Más cerca, a unos 1000 km del propio cráter, se atraviesa la formación Van Eyck, consistente en cadenas de colinas y estrías que parten del cráter en disposición radial hacia todas direcciones. Son las cicatrices que quedaron en Mercurio cuando las eyecciones salieron disparadas tras el impacto. Dentro de esta zona, se sobrevuelan las espectaculares cadenas de montañas que bordean la cuenca, y a medida que se llega al cráter mismo las sombras también permiten apreciar pequeñas ondulaciones en la capa de lava solidificada que ahora cubre el interior de Caloris.

La estructura completa de Caloris, incluido el manto de eyecciones, tiene un diámetro de 5000 kilómetros y abarca casi un tercio de la superficie de Mercurio. Pero la influencia de Caloris no llega solo hasta ahí. Si se vuela hasta el lado opuesto del planeta se encuentran más trazas del caos que causó aquel impacto colosal.

Cuando el asteroide de 150 km que formó Caloris chocó contra Mercurio, desde el punto de impacto salieron dos series de ondas de choque. Un grupo se propagó por el exterior a través de la corteza sólida del planeta, mientras que el otro conjunto se propagó hacia el interior, a través del manto y el núcleo y continuó en línea recta hasta salir por el otro lado del planeta. En el lugar justamente opuesto al lugar del impacto, las dos series de ondas volvieron a juntarse y se montaron tal juerga para celebrarlo que dejaron la metafórica sala de fiestas irremparablemente destrozada.

El lado opuesto del planeta se sacudió y tembló como un cuenco de gelatina sobre el equipo de sonido más potente. La roca sólida se convirtió en un montón de añicos y polvo, y los restos saltaron por doquier hasta que las ondas se perdieron por fin. Cuando las rocas, a menudo semifundidas a partir del golpe inicial, empezaron a asentarse sobre el terreno, crearon una masa confusa de colinas que ahora se conoce como «terreno caótico» de Mercurio, el término cartográfico moderno equivalente al «Hic sunt dracones» de los antiguos.



Hielo polar

Si se viaja a Mercurio vale la pena disfrutar de una de las imágenes más inusuales del Sistema Solar. Una serie de manchas de hielo de agua bien resguardadas conviven curiosamente junto a rocas tan calientes que podrían fundir plomo.

Estos lagos de hielo son otra de las similitudes de Mercurio con nuestra Luna. El furioso Sol podría evaporarlos y convertirlos en un buen montón de gas de una sola mirada, pero escapan a su vista resguardados en hondos cráteres próximos a los polos de Mercurio. Como Mercurio orbita casi erguido alrededor del Sol, en algunos lugares de la superficie el Sol nunca asoma más de unos pocos grados sobre el horizonte, y el suelo de algunos cráteres profundos nunca ve salir el Sol. En ellos, los depósitos de hielo dejados por impactos cometarios pueden permanecer prístinos durante miles de millones de años. Las posibilidades de que un cometa incida justo en esos lugares precisos pueden parecer escasas, pero a lo largo de la vida del Sistema Solar es prácticamente seguro que ocurrió, no ya una vez sino muchas.

Es insólito ver rocas abrasadoras al ladito de hielo pero, como no hay atmósfera que propague el calor de las piedras al agua, parecen llevarse muy bien.

La luz de la corona solar basta para iluminar un cráter cubierto de hielo en el polo sur de Mercurio sin llegar a evaporar su precioso contenido.

MIRAR EL SOL



Aun a riesgo de ser pesados, queremos insistir de nuevo en la importancia de no mirar directamente al Sol. Incluso desde la Tierra, mirar directamente hacia nuestra estrella basta para causar daños irreversibles en la retina, pero desde más cerca puede cegarnos en un momento con sólo echar una mirada absurda en la dirección equivocada. Todas las viseras y vidrios ahumados del casco están ahí por algo: ¡úselos!

Un doble amanecer

No se trata tanto de un lugar como de un acontecimiento que vale la pena presenciar si se visita Mercurio cerca del perihelio, durante el máximo acercamiento del planeta al Sol. Ubique el lugar correcto para el instante adecuado y asegúrese de contar con una cámara portátil de vídeo.

¿Qué significa todo esto? Pues bien, desde algunas zonas de Mercurio no sólo se ve una salida y una puesta de Sol al día, ¡sino dos! Parece increíble, así que explicaremos el fenómeno paso a paso para entender qué sucede. La mayoría de los planetas, incluidos la Tierra y Mercurio, giran de manera que la superficie se desplaza de oeste a este. A lo largo de un día esto suele implicar que el Sol sale por el este y se pone por el oeste. Pero, como los planetas orbitan alrededor del Sol, la posición del Sol se desplaza de oeste a este, de manera que completa una vuelta cada año (por lo común demasiado despacio para apreciarlo en el transcurso de un solo día).

Sin embargo, el rápido movimiento orbital y la lenta rotación de Mercurio hacen los años cortos y los días largos. El Sol se desplaza bastante de oeste a este durante un día mercurial y merodea por el cielo antes de esfumarse con la rotación del planeta. La combinación de ambos movimientos implica que el tiempo que media entre un amanecer y el siguiente ascien-da, en realidad, a tres «días» o, lo que es igual, dos años mercuriales, el equivalente a 176 días terrestres.

Para colmo, Mercurio también sigue una órbita alargada, de modo que se mueve bastante más rápido en el perihelio que en el afelio. Justo alrededor del perihelio, el movimiento de oeste a este que produce el desplazamiento de Mercurio alrededor del Sol puede superar el de este a oeste debido a la rotación del planeta, lo que hace que el Sol titubee en el cielo y dé marcha atrás durante unos días. Si nos situamos en un lugar adecuado en el instante preciso, en la frontera entre los largos días y noches de Mercurio, seremos obsequiados con una imagen insólita. El Sol asoma sobre el horizonte, luego parece decidir que no le apetece y regresa furtivo a la cama antes de pensárselo mejor y volver a alzarse perezoso para iniciar su largo periplo por el firmamento. Mientras, en el lado opuesto del planeta, el Sol se pone y vuelve a aparecer otra vez.



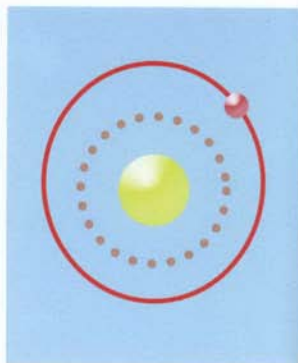
Una secuencia de imágenes a intervalos capta el avance y el retroceso de la salida del Sol en Mercurio.

Más allá: los vulcanoides

Ésta es otra de esas secciones de esta guía donde nos protegemos del futuro. No queremos recibir una citación judicial dentro de unos siglos donde ponga: «Acababa de atravesar la ruta espacial de Mercurio al Sol atento a los cometas que se cruzaran en mi camino cuando, ¡PAM!, de pronto esa piedra se me echó encima, y vosotros, tíos, no decíais nada sobre esto en el libro, así que ¡ya podéis indemnizarme!»

En consecuencia, y por el bien de los futuros viajeros litigiosos, hablaremos un poco sobre los vulcanoides. Sí, ya sabemos que suena a nombre de alien de ciencia ficción mala, pero olvídelo. Hasta el momento, estos pequeños mundos rocosos son meras hipótesis, pero no hay ninguna razón que impida su existencia. En teoría, dentro de la órbita de Mercurio hay una región estable del Sistema Solar donde podrían haberse formado objetos pequeños con órbitas circulares muy próximas al Sol, y que aún hoy seguirían al acecho. Estos mundos sólo contendrían los metales menos volátiles puesto que, tan cerca del Sol, la mayoría de los elementos se habrían evaporado con el intenso calor y se habrían dispersado junto con el viento solar.

Los astrónomos han estado buscando vulcanoides desde finales del s. xx, cuando superaron por fin la decepción de que Vulcano en sí no existiera (véase el recuadro «Vulcano»). El modo más popular de buscarlos consiste en fotografiar el cielo alrededor del Sol durante un eclipse total, pero como éstos recorren una banda muy estrecha de suelo, una alternativa consiste en volar en avión hasta la frontera de la atmósfera y fotografiar el horizonte justo después de la puesta del Sol. En la Luna, por supuesto, la noche cae mucho más brusca y no existe el problema del fulgor de la puesta de Sol, pero de momento no ha habido éxito. Si están ahí, deben de ser muy pequeños (con diámetros no superiores a unos pocos kilómetros) pero probablemente nunca conseguiremos descartarlos para siempre.



En teoría, los vulcanoides podrían ocupar una franja estrecha alrededor del Sol, en el interior de la órbita de Mercurio.



VULCANO

El Vulcano original (no aquel del que procedía el Mr. Spock de *Star Trek*) era un pequeño planeta hipotético que pendió al borde de la respetabilidad durante buena parte del s. XIX y principios del s. XX. Su existencia la propuso por primera vez el célebre polemista y matemático francés Urbain Le Verrier. Ebro de éxito tras su descubrimiento matemático de Neptuno (véase la p. 181), Le Verrier fue abordado en 1859 por un astrónomo aficionado francés que afirmaba haber visto un objeto pequeño pasando ante el disco del Sol. Muy pronto, Le Verrier lanzó la predicción de un planeta que encajaba con aquella observación y que también esclarecía las inexplicadas perturbaciones de la órbita de Mercurio. Como suele suceder, en cuanto Le Verrier anunció este planeta, la gente empezó a «avistarlo».

Esto no quiere decir que todo fuera un espejismo: mucha gente muy bien cualificada vio alguna cosa (o cosas). Pero otros observadores que miraban justo en el mismo instante (por ejemplo, durante eclipses de Sol), no vieron nada. Toda la historia se alargó con comunicados y desmentidos durante casi todo el resto del siglo, hasta que en 1915 un joven empleado de la Oficina Suiza de Patentes llamado Albert Einstein propuso una explicación mejor de las perturbaciones orbitales de Mercurio: la teoría general de la relatividad. Entonces, ¿qué vio toda esta gente? Probablemente una mezcla de cosas: cometas que rozan el Sol y que no se ven de otro modo, asteroides próximos a la Tierra sin registrar u otros pedazos de morralla espacial. Tal vez incluso algún auténtico vulcanoides ocasional. Pero, en lo que atañe a Vulcano en sí, probablemente es mejor dejárselo a los Trekkies...



¡La humanidad conquista los vulcanoides! Tal vez algún día encontremos de verdad una de estas rocas esquivas, pero para reclamar su hallazgo mejor será usar banderas ignífugas...

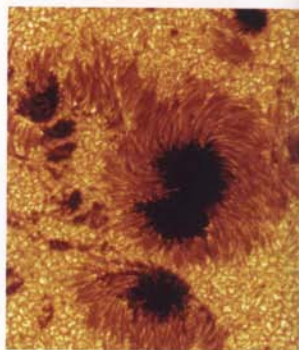


Más allá: en las proximidades del Sol

Probablemente la mayoría de la gente no quiera acercarse más al Sol de lo que lo está Mercurio pero, desde luego, no podemos llegar hasta aquí sin hablar al menos de las posibilidades que existen para explorar de cerca y personalmente nuestra estrella local.

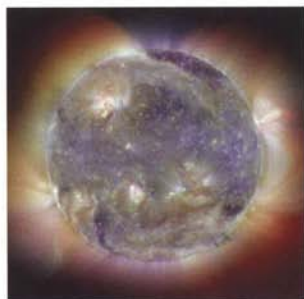
Expresado con sencillez, el Sol es una bola de gas hidrógeno en explosión. Su superficie, de una esfericidad sorprendente, mide unos 1.4 millones de kilómetros de diámetro, pero la atmósfera exterior (llamada corona) llega mucho más lejos y se adentra varios millones de kilómetros en el espacio con lóbulos de gas caliente y translúcido que cambian sin cesar. Por último, la corona se confunde con el viento solar (la corriente de partículas de alta energía que fluye en todas las direcciones del Sistema Solar). El viento solar que queda atrapado en los campos magnéticos que rodean planetas como la Tierra provoca las auroras boreales y australes.

Una fulguración solar inmensa asoma por el moteado limbo solar en esta imagen ultravioleta. Nótese las espículas en forma de llamas que emergen a la superficie visible.



Las manchas solares aparecen y desaparecen sin cesar en la superficie; a veces forman grupos complejos mayores, como éste.

Aunque Mercurio ya se encuentra bastante más cerca del Sol que la Tierra, sigue estando demasiado lejos para observar los detalles de la superficie solar. Además, requiere filtros más gruesos y absorbentes que los necesarios para mirar el Sol con seguridad desde la Tierra, de modo que hay que resignarse a mirarlo a través de un telescopio provisto de filtros adecuados. Esto significa que ante el tubo hay que instalar un gran filtro casi opaco con certificado de seguridad, ¡NO un trozo cude de cristal ahumado ante el ocular! En la Tierra, también se puede proyectar la imagen del Sol a través del telescopio sobre una cartulina, pero esto no sirve a distancias tan cortas. Por un lado, la imagen del disco se muestra tan brillante que desdibuja cualquier rasgo oscuro; y, por otro, es mucho mayor el riesgo de que la cartulina se incendie, lo cual no es tan buena idea en la atmósfera cerrada de una nave espacial.



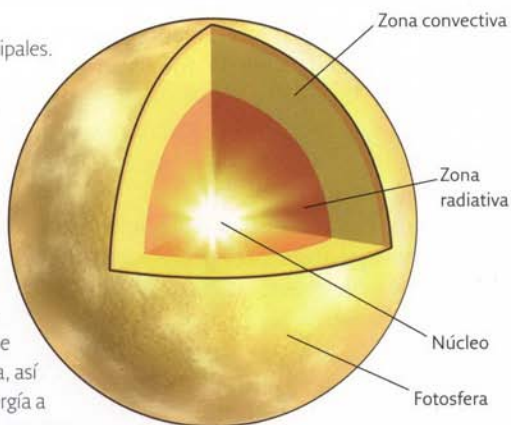
Esta imagen ultravioleta en color falso revela la confusión magnética que existe dentro y alrededor de la superficie del Sol.

INTERIOR DEL SOL

El interior del Sol se divide en tres zonas principales.

El núcleo es el lugar donde se desarrolla la acción, donde reacciones nucleares funden entre sí los núcleos de los átomos de hidrógeno para crear el siguiente elemento más ligero, el helio, y donde esta alquimia elemental libera la energía que alimenta el Sol. Luego viene la zona radiativa. La energía se propaga desde el núcleo convertida en rayos gamma de alta energía, pero la materia en esta zona es tan densa que los rayos no consiguen avanzar en línea recta, así que se desvían y poco a poco transfieren energía a los átomos gaseosos circundantes, de modo que van perdiendo intensidad. Si pudiéramos reproducir el recorrido de un solo rayo gamma veríamos que tarda hasta 100 000 años en atravesar la zona radiativa.

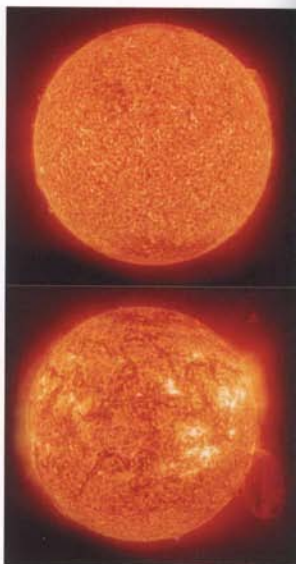
La zona radiativa termina donde empieza la zona convectiva. Aquí, las alteraciones químicas que se producen en el interior del Sol tornan opacos los gases. Como la radiación no logra cruzar la barrera, es absorbida por el gas situado en la parte inferior de la zona y, allí, lo calienta y lo obliga a ascender por entre la materia circundante. Por último, en la fotosfera, la clara «superficie externa» donde las temperaturas descienden hasta 5500°C, el gas recupera la transparencia. La energía procedente de la parte alta de las células convectivas logra escapar ahora en forma de radiaciones diversas, incluida la luz visible, pero aquí la densidad del Sol es lo bastante baja como para que los rayos salgan disparados en línea recta y lleven calor y luz a los mundos del Sistema Solar.



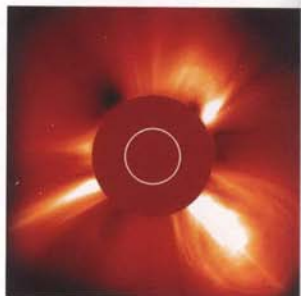
Y, si se pudiera observar muy bien el Sol, ¿qué veríamos? Probablemente no mucho sin los filtros adecuados, para ser francos. El Sol emite tanta radiación que los detalles se pierden con facilidad y, por lo común, los únicos rasgos evidentes los constituyen las manchas oscuras; éstas son regiones de la superficie solar del tamaño de la Tierra donde las temperaturas caen hasta valores bastante frescos, de 3500°C , y se ven oscuras en comparación con el resto de la fotosfera (véase «Interior del Sol», p. 71), que está a 5500°C .

Para apreciar de verdad actividad en el Sol, se precisa un filtro que bloquee todas las longitudes de onda menos una banda estrecha, o detectores capaces de mostrar el Sol en radiaciones distintas a la luz visible. Los filtros hidrógeno-alfa son muy conocidos. Bloquean toda la radiación solar excepto la de una longitud de onda específica emitida por el hidrógeno de la atmósfera. Aunque confieren a todo un fulgor anaranjado, revelan una cantidad inmensa de detalles en la fotosfera y otras capas superiores del Sol. Si planea viajar a regiones mucho más próximas al Sol que Mercurio, necesitará uno para superar los peligros invisibles pero nocivos que acechan en los alrededores del Sol.

Con los filtros, el disco brillante del Sol se transforma en una bola bullente y cambiante con regiones oscuras y claras. Toda la superficie está atravesada por un patrón de células oscuras por el borde denominado granulación. Cada gránulo es la parte más alta de una célula convectiva individual, donde el gas emergente libera calor en el centro, se enfría, y acaba hundiéndose por el borde. Sobre la granulación serpentean estructuras brillantes llamadas filamentos y que son regiones de la atmósfera solar donde el gas es más denso y caliente. Si nos acercamos lo bastante, llegan a verse las espículas, o columnas de fuego de hasta 10 000 km de longitud, que se elevan sobre la fotosfera y transportan gas caliente hasta la atmósfera alta. La gente suele olvidar que la capa más alta de la atmósfera solar, transparente y llamada corona, es mucho más caliente que la fotosfera, y alcanza temperaturas de un millón de $^{\circ}\text{C}$ o más.



Durante un mínimo solar (arriba), la superficie del Sol se muestra en calma, dividida en gránulos convectivos oscuros por el borde. Durante el máximo (abajo), la superficie se ve turbulenta con numerosas áreas brillantes asociadas a actividad magnética, e inmensas tiras que se curvan a través de la atmósfera.



Un coronógrafo no es más que un disco que oculta la imagen directa del disco solar y, así, revela detalles de la atmósfera: en este caso, tres erupciones descomunales de gas denominadas «eyecciones de masa coronal».

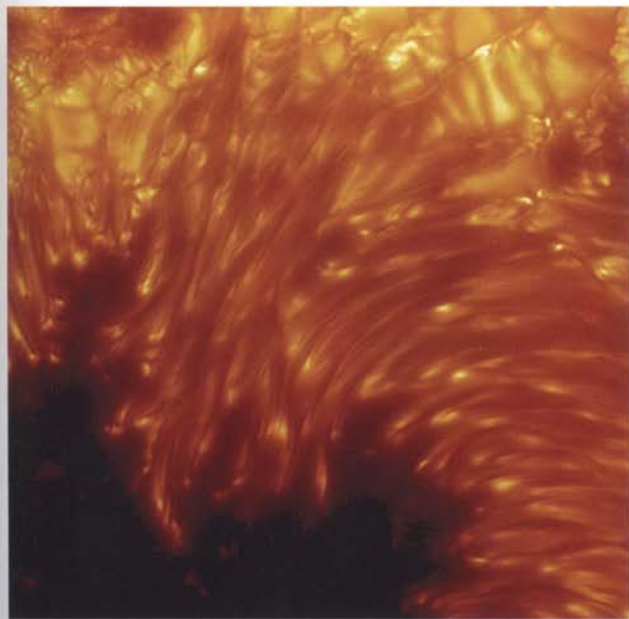


EL CICLO SOLAR

La actividad solar entraña peligros constantes en el Sistema Solar interior, pero los riesgos se pueden reducir al mínimo si se tiene en cuenta el ciclo solar de 11 años. Salvo excepciones ocasionales, que en realidad nadie entiende, la actividad solar (manchas solares, protuberancias y fulguraciones) aumenta y decae siguiendo un patrón regular. El ciclo está asociado al campo magnético del Sol. Como no está atrapado en un cuerpo sólido como la Tierra, este campo cambia sin cesar. Se genera bajo la superficie del Sol por flujos de gas con carga eléctrica, pero cuando distintas partes del Sol, que giran a ritmos diferentes, se enroscan alrededor de otras, el campo se retuerce y empieza a emerger a la superficie en forma de abultamiento (iel equivalente solar de una hernia!). En los lugares del Sol donde emergen y vuelven a hundirse rizos del campo, se forman grupos de manchas solares. En ocasiones, los bucles se cortocircuitan, liberan cantidades ingentes de energía, y provocan fulguraciones. Con el tiempo, los rizos de manchas solares empiezan a anularse entre sí y destruyen el campo magnético, el cual volverá a partir desde cero.

Sobre la fotosfera hay muchísimos más rasgos que aparecen y desaparecen, como pequeños bucles de gas frío y rojizo llamados protuberancias, o fulguraciones solares, mucho más espectaculares, que son erupciones descomunales de gas que escapan del Sol e inundan el Sistema Solar interior con partículas de alta energía.

Los filtros que captan la luz ultravioleta muestran una diferencia aún más espectacular en el Sol. La radiación ultravioleta procede de las regiones gaseosas más calientes, y revela una estructura compleja y enmarañada de bucles y remolinos en la superficie solar. Si se alternan ambas imágenes, se aprecia que los rasgos en luz ultravioleta coinciden con ciertas estructuras en luz visible, como manchas solares y protuberancias. En cambio, la imagen enmarañada en luz ultravioleta muestra con mucha más claridad que el gas de la superficie del Sol sigue curvas, bucles y líneas cambiantes. Se trata de la manifestación visible del enrevesado campo magnético solar, la verdadera fuerza motriz que impulsa la actividad solar (véase «El ciclo solar», a la derecha).



Un primer plano extremo del borde de una mancha solar revela la superficie turbulenta del Sol. Cada espícula mide varios miles de km de longitud.

Más allá: surf sobre cometas

En promedio, cada par de meses el Sistema Solar recibe un nuevo huésped: una bola de roca y hielo que se precipita en dirección al Sol, por lo común recién llegado del congelador planetario situado más allá de Neptuno. Si se sincroniza bien podrá montar sobre uno de estos visitantes voladores en su órbita alrededor del Sol. Mucha gente que lo ha experimentado dice que ha sido el viaje de su vida.

Si se logra interceptar el cometa en algún lugar próximo al cinturón de asteroides, habrá ocasión de ver cómo revive. A esa distancia del Sol, un núcleo cometario normal se verá como un grumo muy oscuro, con forma de patata y unos pocos kilómetros de ancho (a menos que interceptemos un objeto inmenso).

Se trata de un momento estupendo para saltar a la superficie y curiosear antes de que resulte demasiado peligroso. No obstante, asegúrese de anclarse al suelo en cuanto se pose en ella: la mayoría de los cometas posee una gravedad



TIPOS DE COMETAS

Los cometas de periodo corto tardan menos de 200 años en orbitar el Sol. Son huéspedes educados que llegan puntuales, siguen un curso predecible y se despiden con cortesía. Los de periodo largo tardan más de 200 años en completar una órbita, por lo común muchísimo más. Comparados con sus primos de periodo corto, son aguafiestas interplanetarios que se presentan sin avisar, causan gran revuelo y, luego, desaparecen tan de repente como aparecieron.



tan débil que un mal movimiento puede dejarnos a la deriva en el espacio.

Use una paleta para raspar la superficie y no tardará en descubrir que la oscuridad del cometa sólo tiene la profundidad de una capa. Unos pocos centímetros más abajo, la corteza exterior da paso a un material de hielo, sucio pero inconfundible. Se trata en su mayoría de hielo de agua mezclado con pequeñas cantidades de otros elementos químicos volátiles como, por ejemplo, metano, amoníaco y monóxido y dióxido de carbono. Mientras que la superficie consiste en una mezcla de granos de polvo oscuros correspondientes a la sustancia que deja el hielo al evaporarse. Este residuo también suele ser rico en elementos químicos «orgánicos», basados en carbono.

Si tiene suerte, conseguirá apreciar los primeros signos del resurgir del cometa. Observe los lugares de la superficie en rotación donde incida el Sol naciente, y busque posibles escapes de bocanadas de vapor. La superficie oscura del cometa absorbe bien el calor procedente del Sol y, a medida que ese calor llega al hielo situado bajo la corteza, se evapo-

CAZA DE COMETAS



Las primeras sondas enviadas a cometas solían tener como objetivo la variedad cometaria predecible, de corto periodo, pero hoy, que usamos telescopios de largo alcance, tenemos más información sobre el acercamiento de cometas de largo periodo. Para disfrutar de una experiencia cometaria completa, merece la pena intentar interceptar uno de estos últimos en las proximidades de las órbitas de Marte o Júpiter.

La superficie de un cometa es un lugar inquietante cuando despierta de su prolongada inactividad y chorros de vapor a alta presión surgen de la corteza oscura.



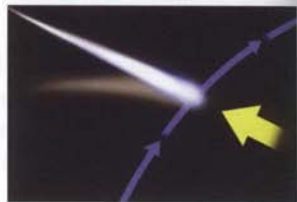
ran bolsas que quiebran la superficie y salen disparadas al espacio. A pesar de la débil gravedad del cometa, buena parte del gas queda atrapado en una «atmósfera» alrededor del núcleo que irá aumentando paulatinamente hasta formar un halo o «cabellera» del tamaño de un planeta, con el núcleo cometario enclavado en su centro.

En los alrededores del Sol

Al sobrepasar la órbita de Marte, el cometa estará ya bien despierto. A medida que aumenta el calor del Sol, la superficie se abre con más grietas, y cuando la corteza se calienta por dentro, las brechas ya no vuelven a cerrarse aunque queden en sombras debido a la rotación del cometa. La densidad de la cabellera aumenta hasta que todo el cielo queda cubierto por una neblina de un blanco lechoso que apenas permite ver el Sol y las estrellas a su través.

Pero tal vez empiece a notar usted algo más. A medida que crece la intensidad del viento solar, empieza a influir en los chorros de gas de manera que los curva en dirección opuesta al Sol. Felicidades, su cometa ya tiene cola.

Apártese ahora y sitúese a mayor distancia junto al cometa. Ya ha visto el núcleo activo y es peligroso permanecer demasiado cerca cuando el cometa le dé la vuelta al Sol. Desde el exterior de la cabellera podrá apreciar realmente las dimensiones del cometa. La pequeña bola de nieve central estará rodeada ahora por una cabellera quizá mayor que Júpiter, y la cola se extenderá millones de kilómetros tras ella. De hecho, suele haber más de una cola. En primer lugar, hay una cola iónica de gas, de color blanquiazul, que adquiere carga eléctrica al toparse con el viento solar, y que siempre apunta justo en dirección opuesta al Sol. En segundo lugar, hay una cola de polvo blanquiamarilla que fluye en la misma dirección general pero, como sus partículas tienen más inercia, se curva un poco hacia atrás, sobre la trayectoria orbital del cometa. Ambas colas cobran su longitud y brillo máximos cuando alcanzan el punto más próximo al Sol, pero ese instante también es el más peligroso para el cometa. Las ráfagas de calor solar y las tensiones gravitatorias



La cola de gas de un cometa, de color blanquiazul, siempre es impulsada en dirección opuesta al Sol por el viento solar. Las partículas más pesadas, de color amarillento, tienden a torcerse hacia el trazado de la órbita cometaria (flecha azul).



Los cometas suelen desintegrarse cuando dan la vuelta alrededor del Sol. Recuerde el estado en que quedó el cometa Linear del año 2001.

IMPACTOS COMETARIOS!

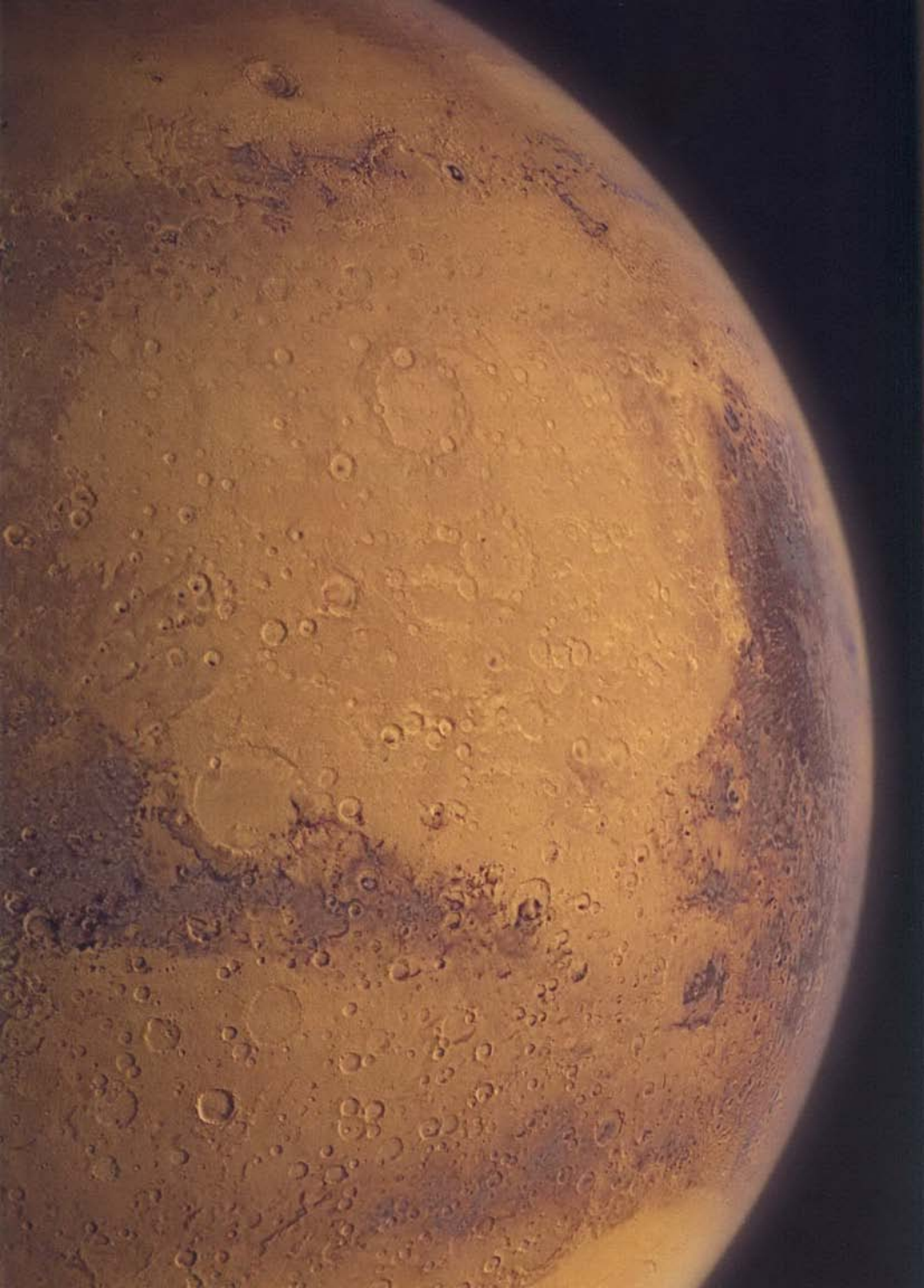
Dada su aparición impredecible, la excentricidad de las órbitas y su elevada velocidad, los cometas de largo periodo siempre han supuesto una de las mayores amenazas para la vida en la Tierra (pregúntele a los dinosaurios, o a aquel alce que pacía tranquilamente en Tunguska, Siberia, en junio de 1908). Los impactos cometarios son inevitables a largo plazo y la colisión de un cometa grande contra la Tierra puede conllevar efectos realmente devastadores. Por fortuna para nosotros, la Tierra cuenta con un par de ángeles de la guarda. El primero es Júpiter, cuya poderosa gravedad suele perturbar el curso de los cometas. O bien los fragmenta y elimina o, cuando menos, altera sus órbitas y los convierte en cometas de periodo corto más apacibles. Buenas nuevas para nosotros, pero quizá malas noticias para cualquier tipo de vida que intente evolucionar en alguno de los satélites galileanos, situados justo en la línea de fuego. Nuestro segundo guardián es la Luna, que también ha absorbido más cantidad de objetos grandes de lo que merecería, y que habrían arruinado la Tierra.

Cuando el núcleo de un cometa da la vuelta al Sol está envuelto en un halo de gas y polvo llamado cabellera.

que conlleva semejante cercanía a la estrella, pueden inducir un debilitamiento fatal en la estructura interna. En el caso más apocalíptico se llega a la desintegración completa del cometa, cuyos fragmentos se precipitan contra el Sol, o se evaporan como una bola de nieve durante una ola de calor. Aunque el cometa sobreviva, pueden desgajarse de él bloques de hielo del tamaño de montañas que quedarán a la deriva lejos del núcleo original. Ahí estriba el peligro de permanecer cerca de un cometa durante el perihelio.

Mientras el cometa se aleja del Sol, las colas encabezarán la marcha, adelantadas al cometa, debido al impulso que reciben del viento solar. A partir de aquí la actividad irá disminuyendo: es el mejor momento para despedirse y encaminarse a casa.







La calurosa bienvenida del planeta rojo

En **Marte** confluyen la facilidad de acceso, un clima bastante hospitalario, un paisaje espectacular y más de un toque de misterio y romanticismo. ¡Poco sorprende, pues, que sea un destino tan solicitado! El planeta rojo tiene ofertas para todos: patinaje en los casquetes polares de hielo, rápel por el cañón de Valles Marineris, escalada de elevados volcanes o búsqueda de fósiles en las cuencas oceánicas secas.



Marte es uno de los destinos estrella en cualquier gira por el Sistema Solar. A pesar de su tamaño pequeño, este mundo rojo ofrece una variedad inmensa de paisajes y sorpresas constantes. El retardo en las llamadas a la Tierra varía mucho dependiendo del momento en que se proyecta la visita. Cuando Marte y la Tierra se acercan al máximo, las señales sólo tardan tres minutos en viajar de un planeta al otro. Durante la separación máxima, tardan unos 22 minutos, de modo que las conversaciones con los seres queridos quedan algo forzadas. Esta gran diferencia se debe a que Marte tiene una órbita bastante excéntrica y su distancia al Sol fluctúa entre 205 y 250 millones de kilómetros.



La excentricidad de la órbita de Marte implica que los acercamientos extremos de la Tierra a Marte varíen de 57 millones de km a 99 millones de km.

Cómo llegar

La meteorología marciana es muy estacional y el momento elegido para el viaje estará bastante condicionado por ella. El clima es, por supuesto, frío ya que se encuentra 70 millones de km más lejos del Sol que la Tierra. Las temperaturas diurnas típicas rondan los -55°C , así que recomendamos llevar ropa interior térmica. Sin embargo, Marte presenta un ángulo de inclinación sobre su eje similar al de la Tierra (25 grados en lugar de 23.5) y rota una vez cada 24 horas 40 minutos, de modo que la sucesión de los días y las estaciones se parece mucho a la de la Tierra. Solo hay que tener en cuenta que las estaciones se prolongan un poco más puesto que el año marciano dura 780 días terrestres.

La órbita complica la vida a los meteorólogos marcianos. La gran diferencia entre el perihelio y el afelio (el punto más próximo y el más alejado del Sol) afecta a la cantidad de calor solar que recibe Marte, lo cual puede exagerar o suavizar las estaciones. Y, lo más importante, resista la tentación de los viajes rápidos y baratos durante el perihelio marciano, porque suelen ser periodos de tormentas con nubarrones inmensos de polvo rojo y fino suspendidos en la atmósfera. Aunque los trajes espaciales de calidad garantizan la seguridad, el polvo arruinará las vistas más espectaculares.

Los entusiastas de los deportes de invierno que planeen visitar los casquetes polares del planeta también deberán comprobar la situación de antemano. Los casquetes consisten en gran medida en dióxido de carbono sólido (el llamado hielo seco) y tienden a evaporarse en la atmósfera durante la primavera para asentarse formando capas nuevas de hielo en el otro polo a medida que este se adentra en el otoño. Esto confiere a los casquetes polares de Marte un aspecto estratificado espectacular y precioso, pero también convierte el hielo en un destino movedizo. Antes de salir, compruebe con la agencia de viajes que no acabará llegando al polo equivocado! Sin embargo, en general el hielo es más denso y seguro en el polo norte, donde un casquete permanente de hielo de agua yace bajo el dióxido de carbono.

DATOS MARCIANOS



Puntos positivos:

El planeta más parecido a la Tierra.
Paisajes espectaculares



Puntos negativos:

Tormentas de polvo.
No hay marcianos



Duración del día:

24 horas 37 minutos



Duración del año:

1.88 años terrestres



Gravedad:

0.38 g



Temperatura en superficie:

-130 a $+30^{\circ}\text{C}$



Retardo en comunicaciones:

Mínimo: 3 min 8 s

Máximo: 22 min 13 s

Vistas desde la órbita

Una breve escala en órbita, a varios cientos de kilómetros sobre la superficie marciana, constituye una ocasión perfecta para disfrutar de unas vistas conjuntas de todo el planeta. Si se ha evitado la estación de las tormentas, el hemisferio norte y el sur mostrarán diferencias inconfundibles. El sur consiste sobre todo en cadenas montañosas con muchos cráteres interrumpidas por la inmensa cuenca arenosa llamada Hellas. El hemisferio norte, en cambio, está dominado por llanuras ondulantes bajas, valles tortuosos y, por supuesto, Tharsis.

El domo de Tharsis es el abultamiento de vientre de Marte. Los viajeros con buena vista notan en ocasiones que hay algo raro en el planeta desde varios millones de km de distancia, pero el domo es tan inmenso que no se divisa al situarse en órbita (tiene cinco mil km de ancho y se eleva una altura media de diez km sobre el terreno circundante). En cambio, sus mayores atractivos son inconfundibles: la cadena de tres volcanes a lo largo de su vertiente nororiental, la inmensa protuberancia de Olympus Mons (el mayor volcán del Sistema Solar) y la colosal grieta de Valles Marineris a lo largo del borde meridional del domo.



Solo las fotografías tomadas desde una órbita alta (arriba) consiguen retratar íntegro el complejo de Valles Marineris. Incluso desde los confines de la atmósfera (abajo) sólo se capta una pequeña parte del mismo.



CANALES MARIANOS

La curiosa historia de los canales de Marte comenzó cuando el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli sucumbió a una ilusión óptica que alguna gente aún experimenta hoy al escudriñar Marte al telescopio. Al ojo humano le encanta encontrar patrones en lo aleatorio y tiene una tendencia natural a «unir los puntos». En este caso, los puntos eran rasgos oscuros en la superficie marciana, y Schiaparelli creyó que podía trazar líneas rectas entre ellos. Publicó su singular observación en 1877 y empleó la palabra *canali* para nombrar aquellos rasgos. En italiano, *canali* no alude a creaciones necesariamente intencionadas. Pero el término inglés *canal*, que se usó al traducir la palabra italiana, sí se refiere a canalizaciones artificiales, y el mundo dio un brinco con el descubrimiento de Schiaparelli. Pronto todos vieron canalizaciones y especulaban con las criaturas que las habían construido, su finalidad y distribución. Una idea popular consistía en que se trataba de canales de riego que portaban agua desde los polos helados marcianos hasta plantaciones situadas alrededor del árido ecuador. Se publicaron varios mapas en revistas científicas de renombre antes que empezara a aflorar la verdad. Muchos astrónomos experimentados no conseguían ver nada, ni siquiera guiados por quienes sí lo lograban. La calidad de los instrumentos no parecía relevante, de modo que no se trataba de que una nueva tecnología condujera a un nuevo hallazgo. La única explicación consiste en que los canales eran una ilusión: lejos de ser obra de seres inteligentes, ni siquiera existían.



Valles Marineris

ATRACCIÓN
ESTELAR

Los valles de la *Mariner*, llamados así en honor a la valiente sonda espacial que los descubrió, *Mariner 9*, son una visita obligada para cualquier turista marciano. Hay que tener agallas para hacer una excursión a pie al borde del cañón. En días claros se llega a divisar el fondo de esta inmensa fisura en la corteza del planeta, 10 km más abajo. En muchos lugares las paredes del cañón son inestables y los cambios diarios de temperatura y las ráfagas de las tormentas de polvo pueden hacer que se desmoronen bajo nuestros pies incluso con la débil gravedad marciana. Si, en efecto, llega hasta el borde, probablemente no podrá ver el otro lado puesto que cada valle puede medir hasta 100 km de anchura.

Para apreciar realmente las dimensiones de Valles Marineris, hay que hacerlo desde el aire. Los aviones marcianos necesitan una envergadura inmensa para sustentarse en la fina atmósfera, pero una vez que se elevan pueden volar durante una eternidad sin que, por lo común, necesiten nada más que energía solar. Desde arriba se aprecia que el Gran Cañón de Marte deja enano el de la Tierra. En la parte más ancha, los valles entrelazados crean un entrante en la superficie de Marte de hasta 600 km de ancho. Los vuelos al amanecer resultan especialmente impresionantes cuando el Sol naciente levanta la niebla nocturna que se forma en el valle.

A diferencia del Gran Cañón, éstos nunca estuvieron atravesados por un río; parecen ser una fractura inmensa en la corteza marciana que se formó al ceder el terreno bajo el peso del domo de Tharsis, el cual despunta al norte. Algunos astrónomos piensan que surgieron a partir de inmensos deslizamientos de barro hace miles de millones de años. El calor de los volcanes de Tharsis pudo fundir el hielo situado bajo la superficie, lo cual provocó catastróficas inundaciones que anegaron el suelo y causaron serios hundimientos.

Aunque no hubiera un río, el agua corrió por aquí de manera natural tras la formación de los valles: aún se pueden visitar los lechos de lagos secos en el fondo del cañón. Muchos de ellos están cubiertos por montones oscuros de suelo marciano fino y a veces son arrastrados por los fuertes vientos que soplan a lo largo del cañón incluso fuera de la estación de las tormentas. En

MARINER 9

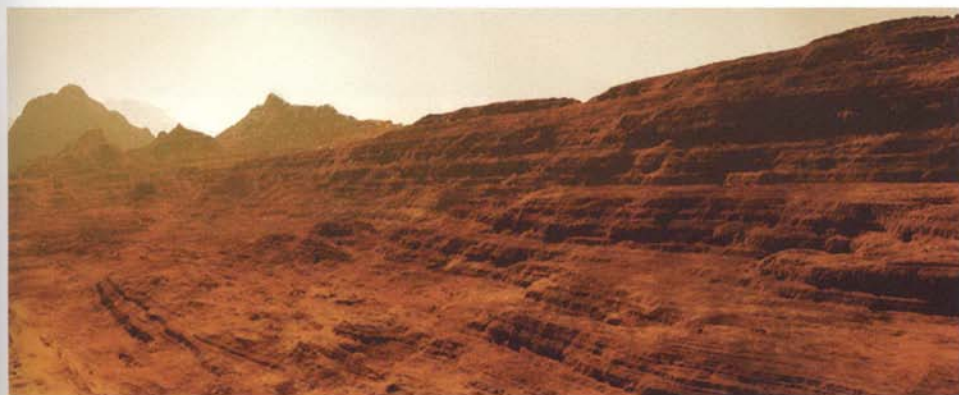
La primera sonda espacial que entró en órbita alrededor de Marte fue *Mariner 9* de la NASA, en la década de 1970. Antes, otras tres sondas habían sobrevolado el planeta rojo, pero ninguna portaba cohetes de frenado que les permitieran reducir la marcha, de modo que se limitaron a enviar pocas fotografías de la superficie. Los decepcionados astrónomos (algunos habían pasado buena parte del siglo especulando ampliamente sobre las expectativas de vida) vieron aquellas primeras imágenes de las tierras altas llenas de cráteres del planeta, y concluyeron de mala gana que Marte es un mundo muerto similar a la Luna. *Mariner 9* llegó a Marte durante el perihelio del planeta, en noviembre de 1971, justo en plena estación tormentosa. Los científicos de la misión tuvieron que soportar varias semanas de imágenes que no mostraban más que polvo y nubes, antes de que la atmósfera se despejara por fin y les ofreciera las primeras vistas de los valles y volcanes del hemisferio norte.



algunos lugares, los montones se acumulan para formar inmensos campos de dunas.

Los expertos en rápel también pueden encontrar coloridos estratos de roca superpuestos en algún cortado; estas rocas sedimentarias evidencian que esas zonas estuvieron alguna vez bajo el agua. En el extremo occidental, los Valles terminan en los embrollados canales de romántico nombre Noctis Labyrinthis (Laberinto de la Noche). Estos canales parecen haberse formado mediante el mismo proceso que el sistema principal de cañones, pero durante gran parte de su historia pudieron actuar como canales de drenaje que conducían el agua desde las llanuras altas circundantes hasta el interior del cañón.

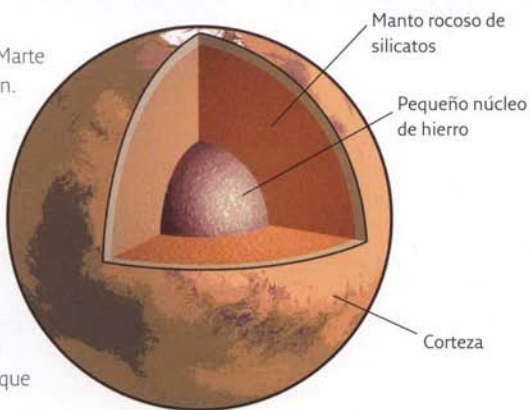
Desde el nivel del suelo, Valles Marineris se divide en estribaciones escalonadas con amplias llanuras entre ellas. Las dimensiones de todo el complejo sólo se aprecian con claridad desde órbita.



INTERIOR DE MARTE

Como es mucho más pequeño que la Tierra, Marte se enfrió mucho más deprisa tras su formación.

Parece contar con un núcleo más pequeño y menos denso que la Tierra, tal vez con elementos más ligeros mezclados con el hierro. Con independencia de su composición, es probable que el núcleo esté ya solidificado, aunque podría guardar suficiente calor como para mantener el manto caldeado. La corteza varía mucho a lo largo del planeta. Bajo las zonas montañosas del sur tiene hasta 80 km de grosor, mientras que bajo las llanuras del norte solo mide 35 km.





Olympus Mons

La siguiente atracción marciana después de Valles Marineris la constituyen los grandes volcanes del domo de Tharsis, cuatro en total. Los tres más pequeños (Arsia, Pavonis y Ascraeus) forman una cadena que atraviesa el domo de sudoeste a nordeste. Cada uno de ellos es un monstruo en términos terrestres, y sobresalen sobre el domo de Tharsis más de lo que miden los volcanes de Hawái desde el fondo del océano Pacífico.

El cuarto se encuentra algo apartado, al sudeste de la cadena. Es el famoso Olympus Mons, el volcán más grande del Sistema Solar.

Cuando se visita por primera vez, Olympus Mons suele decepcionar porque, ciertamente, cuesta verlo íntegro desde el nivel del suelo. Y además, no es raro teniendo en cuenta sus más de 500 km de ancho y que se alza hasta su cima de 27 km de altura por una pendiente apenas perceptible por cualquier peatón marciano. El mejor modo de concebir las dimensiones globales de Olympus Mons consiste en observarlo desde una órbita baja, a suficiente distancia sobre él para abarcar la estructura en su conjunto. A quien le entusiasme la fotografía que pruebe a sobrevolarlo al amanecer o anochecer locales, instantes en que las sombras alargadas

Las enormes calderas en la cumbre del Olympus Mons se aprecian mejor si se sobrevuelan al alba.



Nubes que se ciernen sobre los picos de la cadena volcánica de Tharsis. Como las montañas terrestres, los volcanes marcianos influyen sobre el tiempo local.



¡MARTE

EN ERUPCIÓN!

¿Están todos los volcanes marcianos tan extintos como parece? Según la mayoría de las teorías sobre geología planetaria, así debiera ser. El tamaño reducido de Marte implica que el núcleo tuvo que enfriarse con rapidez y que el interior se halla frío y sólido desde hace mucho tiempo ya. Sin embargo, Marte sabrá mejor que cualquier geólogo por qué exhibe signos de actividad volcánica reciente a la vista de todos. Es cierto que esas erupciones no se producirían a la misma escala que las de los volcanes de Tharsis, pero es indiscutible el estado prístino de algunos flujos de lava, sin una sola marca de impactos meteóricos. Según las últimas ideas, en Marte hubo actividad volcánica hace unos pocos millones de años. Eso no es más que un abrir y cerrar de ojos en términos geológicos, de ahí que la mayoría de los geólogos, más o menos reticentes, admiten que probablemente Marte albergue hoy actividad volcánica, aunque no se sepa por qué!

Las vastas calderas en la cima de Olympus Mons ostentan cráteres que estuvieron activos en épocas distintas. La gran estructura central con fallas concéntricas es la fisura que tuvo actividad más reciente.

exageran el relieve y revelan los ondulantes flujos de lava de los laderas.

Por supuesto, parte del desencanto proviene de que Olympus Mons no se parece al volcán Saint Helen o al Vesubio, pero poco se puede hacer al respecto. Se trata de un tipo completamente distinto de volcán que se formó por la lenta superposición de capas de lava expulsadas a lo largo de millones de años a través de una gran fisura en la superficie de Marte. Incluso en las épocas que permaneció activo, Olympus Mons probablemente no deparaba las escenas espectaculares que tal vez esperaríamos. Es poco probable que alguna vez haya sido tan explosivo como los volcanes terrestres, de menor tamaño. Por supuesto, los científicos planetarios siguen debatiendo con intensidad sobre la cuestión de si Olympus Mons, o cualquier otro volcán marciano, volverá a entrar en erupción algún día (véase «¡Marte en erupción!»).

Las vistas más espectaculares se obtienen desde los precipicios que circundan el complejo de la caldera central. En total, la caldera mide 90 kilómetros de ancho y está rodeada por anillos de precipicios escarpados de hasta 6 km de altura. Esta estructura se asemeja a una serie de cráteres de impacto superpuestos con pisos a distintos niveles. La extensión mayor, rodeada por fallas anilladas, estuvo activa hace unos 140 millones de años.





El *Beagle* ha aterrizado (icon un batacazo!)

Las arenas de Marte y, de hecho, la historia de la exploración marciana temprana, están repletas de restos de naves espaciales fracasadas. En aquellos primeros días, parecía que una de cada dos sondas marcianas fallaba por una razón u otra y hasta los técnicos más realistas empezaron a plantearse la existencia de algún «maleficio marciano».

Entre esos fracasos, uno de los más destacados fue el de *Beagle 2*, aunque sólo sea por tratarse de un proyecto inverosímil desde el principio. *Beagle 2* fue diseñada y desarrollada por un equipo encabezado por un científico británico excéntrico (¿los hay de otros tipos?) llamado profesor Pillinger¹. Se trataba de una pequeña sonda de aterrizaje diseñada para viajar enganchada a una nave espacial europea mayor llamada *Mars Express*. Era la primera sonda a Marte con el objetivo específico de buscar vida y, como llegó en un momento en que el programa espacial británico era prácticamente inexistente, tuvo que tomarse la molestia de buscar publicidad y financiación. Por ello, *Beagle 2* fue probablemente la sonda espacial más estilosa de todas, con un sistema de calibración de color diseñado por el controvertido artista británico Damien Hirst, y una señal de radiobaliza compuesta por la banda de rock clásico llamada Blur.

¹ En inglés, algo así como «pildorero» [N. de la T.]

Esta imagen del equipo de rescate del *Beagle* muestra los restos de la sonda esparcidos por la superficie marciana. Obsérvense los tornados al fondo.



NORMAS DE RESCATE

Con una lista tan larga de sondas espaciales perdidas en Marte o alrededor de él, no sorprende que aún no las hayamos localizado todas. Si tropezara con algo de aspecto artificial durante su viaje por Marte, le recomendamos que se mantenga a distancia y contacte con las autoridades competentes. Algunas sondas aún tienen recompensa por su recuperación y, aunque no tenga suerte con eso, tal vez consiga aparecer en una nota al pie en los libros de historia.

Por desgracia, a pesar de los años de esfuerzo y de la considerable suma de dinero invertidos, algo salió mal, como suele ocurrir en los vuelos espaciales. *Beagle 2* se separó de un modo impecable de *Mars Express* y, al parecer, efectuó una entrada modélica en la atmósfera marciana, pero jamás llegó señal alguna desde Marte. Cuando una nave orbital de inspección localizó más tarde los restos, se vio que probablemente *Beagle 2* tuvo mala suerte y se estrelló de frente contra una ladera, en vez de posarse, lo cual pudo impedir el despliegue de los *airbags* que debían amortiguar el aterrizaje.

Aunque poco después de los primeros aterrizajes tripulados un equipo de investigación limpió los despojos, sigue valiendo la pena visitar el lugar de aterrizaje del *Beagle 2*. El equipo eligió deliberadamente una región donde se creía que la vida pudo encontrar un punto de apoyo en un pasado marciano más cálido y húmedo. Isidis Planitia es la tercera cuenca de impacto más grande de Marte y yace justo al norte del ecuador, en la frontera entre las llanuras de las tierras altas y las llanuras de las tierras bajas. Éste es el lugar donde tal vez los océanos marcianos que cubrían la mitad septentrional del planeta lamían las orillas meridionales.



El aspecto que habría mostrado la *Mars Polar Lander* si hubiera logrado aterrizar en el polo sur marciano.

UN CATÁLOGO DE FRACASOS

Mars 1: El primer intento soviético de sonda marciana; perdida en órbita terrestre en 1962.

Mariner 3: Un intento temprano de la NASA; perdida en órbita terrestre en 1964. En cambio, su gemela *Mariner 4* realizó el primer sobrevuelo de Marte en julio de 1965.

Mars 2: Perdida en una tormenta de polvo mientras intentaba un aterrizaje suave en 1971. *Mars 3* se posó sobre la superficie el 2 de diciembre de 1971, pero perdió el contacto 20 segundos después de aterrizar.

Mars 4: Orbitador soviético que pasó de largo del planeta en 1973, al igual que el módulo de aterrizaje *Mars 7*. *Mars 6* también se perdió en algún lugar de la atmósfera. Sólo el orbitador *Mars 5* llegó seguro a su destino.

Phobos 1: Este proyecto soviético de 1988 para estudiar las lunas de Marte tuvo un final vergonzoso

cuando alguien apagó, por accidente, los sistemas de estabilización a mitad de camino. *Phobos 2* llegó a Marte, pero perdió contacto en órbita marciana.

Mars Observer: Este intento de la NASA en 1992 para regresar a Marte llegó a su fin cuando los tanques de combustible explotaron al situarse en órbita marciana.

Mars Polar Lander: Este intento de 1999 por llegar a los casquetes polares hizo «chof» cuando los retrocohetes se apagaron durante el descenso.

Mars Climate Orbiter: Otra sonda de 1999 que se perdió al entrar en órbita. Resultó que algunos de los sistemas a bordo estaban programados para usar unidades métricas (kilómetros), mientras que otros se diseñaron para utilizar las antiguas unidades del imperio (millas). ¡Vaya leche!

Historia de dos cráteres

Las siguientes paradas en nuestra gira por Marte las constituyen los lugares de aterrizaje de dos sondas espaciales más recientes, aunque éstas tuvieron mucho más éxito que *Beagle 2*. Los todoterrenos de exploración marciana *Spirit* y *Opportunity* (a la NASA siempre le encantó bautizar sus sondas espaciales con nombres típicos de yates de lujo) fueron un par de vehículos robóticos que aterrizaron en puntos opuestos del planeta en 2004. Vale la pena visitar ambos lugares porque en ellos se encontraron signos definitivos de que Marte fue otrora mucho más cálido y húmedo que en la actualidad.

El cráter Gusev

El todoterreno *Spirit* descendió más o menos en el centro de este inmenso cráter de 170 km de ancho. Gusev yace en el extremo septentrional de Ma'adim Vallis, un canal apabullante claramente esculpido por agua hace millones de años en el antiguo pasado marciano. En efecto, parece que el valle desalojó agua procedente de las tierras altas circundantes hacia el cráter. Los científicos de la NASA estaban bastante convencidos de que el suelo del cráter se revelaría cubierto de rocas sedimentarias, surgidas cuando el material erosionado que arrastró el río se asentó sobre el lecho del lago y se comprimió.

Pues bien, ésa era la teoría pero las cosas resultaron ser algo más complejas. El fondo del cráter está cubierto en realidad por una capa honda de arena volcánica marciana muy vulgar. Hay un montón de rocas esparcidas por la superficie pero también son volcánicas, sin ningún signo revelador de que alguna vez estuvieran bajo el agua. Incluso las cercanas colinas Columbia, que todos confiaban en que serían un afloramiento de rocas sedimentarias, resultaron ser tristemente volcánicas. La única señal de actividad hidrológica se encontró en una piedra apodada *Pot of Gold*² y cubierta de nódulos de varios minerales, incluido hematites, un mineral de hierro que en la Tierra suele formarse cuando interviene el agua.

² «Pot of Gold» es una expresión inglesa que hace referencia a un tesoro grande pero inalcanzable, en alusión a la leyenda del caldero lleno de oro que encontrará quien consiga llegar al final del arco iris [N. de la T.].



Reproducción artística del aspecto que mostraría Marte cuando las llanuras septentrionales estaban cubiertas de océanos poco profundos.



Vista sobre el cráter Gusev, el lugar donde aterrizó el todoterreno Spirit. Ma'adim Vallis, que en la antigüedad desaguó dentro del cráter, se ve fuera del borde meridional en lejanía.

Entonces, ¿por qué no hay signos de agua? La mejor interpretación es que gran parte de Gusev volvió a cubrirse con material volcánico tras la desaparición del agua y hasta hay un posible culpable: el inmenso volcán Apollinaris Patera se encuentra tan sólo un par de cientos de kilómetros al norte.

Meridiani Planum

Por suerte, *Opportunity* encontró una historia distinta en el otro lado del planeta. El lugar donde aterrizó era una llanura bastante reducida que en otro tiempo pudo hallarse en la costa de un océano antiguo de un tamaño similar al del mar Báltico terrestre. Las rocas de este lugar resultaron contener gran cantidad de hematites, un buen indicio de agua. Pero es más impresionante aún que *Opportunity* se posara a una distancia sorprendente de un pequeño cráter llamado Endurance.

Para el visitante de hoy, el cráter ofrece una ojeada al interior de Marte. Sólo mide 130 metros de ancho, puede tener entre 3 y 4 millones de antigüedad y es lo bastante llano como para bajar al fondo. Los miniprecipicios que lo bordean muestran rocas sedimentarias estratificadas, un indicio de que se gestaron bajo el agua.

Los pequeños guijarros oscuros esparcidos por la superficie han recibido el nombre informal de «arándanos». Son ricos en hematites y probablemente se formaron en aquel mar superficial. En el centro del cráter yace un campo de dunas pequeño pero precioso. Aún se pueden seguir las huellas que dejó *Opportunity* cuando rodó hasta el borde antes de que los científicos de la NASA decidieran no arriesgar el preciado todoterreno.



Rocas sedimentarias expuestas alrededor del borde del cráter Endurance.

Opportunity tomó esta fotografía antes de iniciar el descenso al cráter Endurance. Nótese el campo de dunas en miniatura que reside en el centro.



La cara y Cydonia

Pregunte a cualquier guía turístico de Marte sobre la infame «cara de Marte» y seguro que pone los ojos en blanco. Le dirá que no es más que una ilusión óptica, una combinación de chiripa geológica, iluminación casual y fotografía primitiva. Sin embargo, aunque siempre se ha dado esta misma «versión oficial» desde el primer instante en que se vio la cara, y nadie con sensatez duda de ella, la cara sigue ejerciendo una fascinación extraña en quien visita Marte por primera vez. Al parecer, todos se empeñan en verla por sí mismos al menos en una ocasión, como para comprobar que ciertamente no es ningún monumento colosal de una civilización marciana extinta. Por tanto, es una suerte que la cara y la región circundante de Cydonia sean dignas de visitar por razones intrínsecas.

La cara se divisó por primera vez en 1976, acechando en fotografías tomadas desde el orbitador *Viking 1*, una de las sondas robóticas pioneras en orbitar alrededor de Marte. Los científicos de la NASA fueron los primeros en advertir-la y hasta la presentaron ante el público como una broma.

Sin embargo, empezaron a lamentarlo cuando la gente empezó a tomarse la cara en serio. Lo que comenzó como una información inocente se transformó pronto en una cons-



Imagen original de la cara enviada por la *Viking*. Algunos pensaban que parecía humana, otros opinaban que parecía alienígena. Otra gente creía que era algún tipo de híbrido entre persona y león. Bueno...

¿Le suena? Vista desde otro ángulo, esta cara se deshace más deprisa que la nariz de Michael Jackson junto a la lumbre.





¡Esto es más razonable! Puede que *Mars Global Surveyor* desmitificara la cara original, pero encontró esta animada alternativa llamada «cara sonriente» en el cráter Galle.

piración hipotética donde la NASA era el malo por ocultar evidencias de vida inteligente en Marte. Aunque una serie de fotografías tomadas por sondas posteriores mostraron con claridad que la «cara» no era tal, los entusiastas se negaron a rendirse y plantearon que representaba un híbrido de persona y león, o incluso la cara de la esfinge de Giza para explicar que no tuviera un aspecto propiamente humano...

Aunque la controversia sobre vida marciana antigua se ha desviado hacia territorios nuevos y (en general) más realistas, la cara sigue siendo un símbolo permanente de Marte.

De cerca, la cara resulta ser una de las numerosas mesas que salpican la región de Cydonia. Éstas le resultarán familiares si ha visto un *western* rodado en los desiertos y cañones del sudoeste estadounidense. Las mesas son afloramientos de roca más dura que quedan aislados cuando se erosiona el resto del paisaje. En Marte, pudieron formarse debido a erosión eólica e hídrica, tal vez fueran esculpidas por glaciares antiguos, o incluso pudieron emerger del suelo debido a fuerzas tectónicas. La tendencia humana a crear figuras nos ha llevado a ver muchas otras «estructuras» en Cydonia, entre ellas un montón de «pirámides» y hasta una «ciudad perdida» ocasional.



¿Pirámides de Marte? Por desgracia, no. Décadas de exploración de las mesas de Cydonia aún no han desenterrado ninguna prueba de que los egipcios llegaran allí los primeros.



Para afrontar la tormenta

Las tormentas de polvo marcianas tienen una fama temible debido en buena medida a demasiadas novelas malas de ciencia ficción que han ido calando en la conciencia popular. Muchos turistas temen ser engullidos por las arenas de Marte y desaparecer para siempre, pero la realidad difiere bastante. Con la planificación previa adecuada ya no hay razón para preocuparse por verse en medio de una de esas tormentas de polvo generalizadas que duran semanas, y lo peor que puede ocurrir con una tormenta localizada es que retrase un par de días el itinerario de viaje y, tal vez (lo que es peor aún), arruine algunas fotografías del paisaje.

A la mayoría de los visitantes le sienta mejor esas imágenes espectaculares con un frente de tormenta acercándose y el relato de viaje para contar a los amigos crédulos cuando vuelven a casa, que la indemnización por las molestias.

Si quiere pillar al menos una tormenta durante su estancia, ¿cuál es el mejor modo de prever la meteorología mar-

Quando se avvicina una tempesta di arena importante come questa, hasta i turisti di Marte más veteranos se ponen algo nerviosos.

ciana? Un buen método consiste en frecuentar las llanuras del hemisferio norte; estas cuencas oceánicas secas son zonas desérticas llenas de arena polvorienta de acarreo, y los vientos marcianos pueden desarrollarse tras atravesar unos cientos de kilómetros de desierto.

Campos de dunas

Los mismos vientos que generan tormentas de polvo periódicas también actúan a una escala menos violenta. Guían el polvo marciano descarriado por las llanuras y el fondo de los cráteres hasta que se topa con algún obstáculo insignificante y empieza a formar una duna de arena. Los campos de dunas marcianos suelen ser espectaculares porque las dunas adoptan formas tan insólitas como las de los desiertos de la Tierra.

Los desiertos marcianos también son una fuente de agua sorprendente y de calidad, a diferencia de los terrestres. Resulta que las propias dunas absorben agua de la atmósfera. El hielo contribuye a mantener unidos los granos de arena y los refuerza frente a la erosión eólica. También les permite mantener costados más empinados y hasta sobresalientes.

El hielo aparece y desaparece de la superficie de muchas dunas marcianas y, por supuesto, parte del hielo puede evaporarse a veces desde dentro. Esto genera rendijas localizadas en la duna y depresiones ocasionales en forma de abanico donde partes de la superficie se deslizan hacia abajo.



TORNADOS DE POLVO

Los tornados de polvo que atraviesan a brincos las llanuras de Marte son mucho más frecuentes que las grandes tormentas de polvo. Aunque presentan el mismo aspecto amenazante que los tornados terrestres, tienen tan poca intensidad como las tormentas de polvo de modo que no hay que alarmarse demasiado si alguno se nos cruza en el camino. Estos torbellinos marcianos también dejan un rastro tras ellos. Para encontrarlos, busque garabatos oscuros en la superficie por donde han ido aspirando la arena superficial más ligera y han dejado al aire el material oscuro de más abajo.



Los vientos ligeros marcianos arrancan las arenas finas de la cima de los *yardangs* próximos al polo sur.

Vida en Marte

¿Hay vida en Marte, tal como preguntó de forma memorable el compositor de finales del s. xx sir David of Bowie? Difícilmente sospeché entonces que, incluso en nuestros días modernos de turismo espacial y monos de spandex, poco habríamos avanzado en la respuesta.

La búsqueda de signos concluyentes de vida en Marte ha sido frustrante y fascinante. Empezó en serio con las primeras sondas que aterrizaron en el planeta: las sondas *Viking* de la década de 1970. Éstas portaban un experimento para detectar reacciones químicas en el suelo que pudieran atribuirse a vida. Los resultados mostraron, en efecto, que allí ocurría algo inusual pero, como es habitual, los científicos no consiguieron coincidir en qué y, cuando los teóricos de la conspiración empezaron a intervenir (véanse pp. 92-93), todo se embrolló un poco.

En la década de 1990, los científicos repararon en que no había que esperar décadas para que una sonda astuta tomara una muestra de Marte y regresara con ella a la Tierra; también hay piedras marcianas por aquí. En 1996 un grupo de la NASA comunicó la detección de trazas químicas inusuales en uno de esos meteoritos marcianos e incluso se mostraron fotografías de lo que podían ser bacterias fosilizadas incrustadas en la piedra. Los científicos discrepantes encontraron pronto pruebas de lo contrario y se abrió una década de debate acalorado entre afirmaciones y negaciones desde ambos bandos. Como a los políticos y los filósofos de café, nada gusta más a los científicos que un buen debate (y también sirven para conseguir becas de investigación).

Los módulos de aterrizaje y sondas posteriores sugieren que pudo haber bacterias primitivas en el suelo antiguo de Marte, e incluso que algunas han podido sobrevivir hasta hoy. Por ejemplo, hay bastante cantidad de metano en la atmósfera a pesar de que la radiación del Sol lo descompone sin cesar y expulsa sus átomos constitutivos al espacio. Para que siga existiendo en tales cantidades tiene que haber algo produciéndolo en la actualidad. Los dos candidatos posibles son los volcanes activos y la vida, pero la distribución del gas en la atmósfera de Marte da peso a la idea de la vida: ¿manadas de reses marcianas flatulentas?



Estos denominados «microfósiles» marcianos, de aspecto muy parecido a gusanos, ¿serán bacterias antiguas auténticas, o meros nódulos minerales?

EN BUSCA DE VIDA



Los grandes aficionados a los fósiles, o la arqueología, siempre pueden pasar unos días como voluntarios con una de las diversas expediciones que peinan la superficie de Marte en busca de pruebas definitivas de vida. Probablemente conllevará alguna excavación para obtener muestras de suelo o hielo, y eso siempre resulta complicado dentro de un traje espacial, pero a quien se le aparezca la fortuna le aguardan fama y un dineral en becas de investigación.

Conozca a sus marcianos

La edad dorada de la ciencia ficción brindó incontables marcianos memorables. No estamos insinuando que vaya a toparse con estos tipos durante su gira por la superficie, pero más vale estar preparados...



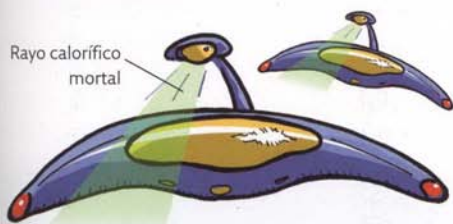
Rayo mortal marciano

MARS ATTACKS

Los asesinos eufóricos de cerebro grande de la película que creó en 1996 Tim Burton eran una parodia afectuosa de innumerables cintas baratas previas de ciencia ficción.

Frase típica - «¡¡Ac ac ac ac ac!!»

Consejo de supervivencia - Lleve un gramófono antiguo y algo de música ligera - Slim Whitman conseguirá casi literalmente que les explote el cerebro.



Rayo calorífico mortal

LA GUERRA DE LOS MUNDOS

Son los marcianos básicos, inventados por H. G. Wells en 1898 y reinventados con regularidad desde entonces. Suelen permanecer dentro de sus máquinas blindadas de guerra en forma de trípode.

Frase típica - No son muy habladores, pero sus máquinas de guerra tienen una elegante gama de sirenas antiniebla.

Consejo de supervivencia - Tenga a mano un pañuelo de papel lleno de mocos: no soportan el resfriado común.

Tenazas fuertes

DOCTOR WHO

Aquellos guerreros de hielo inventados para *Doctor Who* en 1967 y vistos por última vez en su reciente *revival* luchando contra el Doctor número 73, eran una raza antigua que había hibernado debido al cambio climático de Marte.

Frase típica - ¡Assssssss queeee, doc-tor, volvemos a encontrarnos!

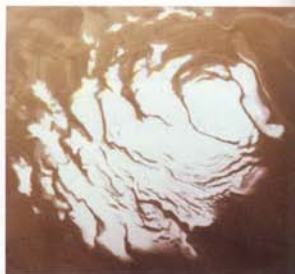
Consejo de supervivencia - Lleve siempre una botella de agua caliente: el calor los debilita.



Los casquetes polares

Tal como se dijo con anterioridad, hay que planificar el viaje de acuerdo con las estaciones marcianas si se quieren practicar deportes de invierno: ambos polos cuentan con algo de hielo de agua subyacente, pero se expanden con rapidez cuando el dióxido de carbono se congela fuera de la atmósfera en invierno, y disminuyen con la misma velocidad a medida que el hielo se evapora en verano.

Ambos casquetes de hielo deparan vistas impresionantes desde órbita. Cada uno de ellos yace sobre un montículo que se eleva varios kilómetros sobre el nivel medio de la superficie marciana, de manera que las zonas altas están separadas entre sí por valles sobrecogedores y en espiral con precipicios festoneados en los bordes. Y cada uno de ellos está inmerso en un paisaje más extenso de permafrost;



La belleza del hielo remolinado en el casquete polar sur de Marte sorprendió a los científicos que analizaron las primeras imágenes enviadas por los orbitadores *Viking*.

La luz del Sol se refleja en el permafrost que circunda el casquete polar norte durante un amanecer de la primavera boreal.





¿VOLCANES POLARES?

Los campos de volcanes cónicos próximos al polo norte marciano parecen la mejor prueba de actividad volcánica actual en Marte.

Docenas de estos conos, todos ellos de unos 450 m de altura, salpican una región extensa a un lado de la meseta del polo norte. Están tan intactos (sin ningún cráter) que parecen haber limpiado su superficie con erupciones volcánicas durante el último par de millones de años.



A medida que la luz del Sol calienta el polo sur de Marte durante la primavera austral, el dióxido de carbono se evapora a la atmósfera. Entonces migra al polo norte y allí se deposita en forma de escarcha nueva recién caída.

es decir, el terreno de las latitudes altas es una mezcla de suelo y hielo de agua ultracongelado que le da la consistencia de las rocas más duras. Allí donde el permafrost ha sufrido una fundición parcial y luego se ha vuelto a congelar muchas veces, pueden aparecer extrañas figuras geométricas. A falta de más información, cabría pensar que son artificiales (¡y mucha gente ha sugerido que lo son!).

Este territorio es más propicio para patinar que para esquiar, pero para eso hace falta que el hielo presente el máximo grosor. Esto se da durante el largo invierno polar, cuando cada polo sufre varios meses de oscuridad permanente y el dióxido de carbono de la atmósfera se congela directamente sobre el suelo. Durante estos periodos, las tormentas polares también levantan polvo hasta grandes alturas en el aire, donde las partículas diminutas atraen agua de la atmósfera (igual que el granizo que se forma en la Tierra). Entonces, el agua cristalizada busca el modo de llegar al suelo convertida en nieve o granizo sucios, lo que contribuye a ampliar el hielo polar por un área extensa de la superficie.

Por supuesto, patinar en un paisaje extraño y a veces peligroso en la negrura absoluta de una noche de tres meses quizá no sea el plan más atractivo, de modo que tal vez prefiera visitar el lugar al principio de la primavera, antes de que el regreso del Sol haya dañado demasiado el hielo.

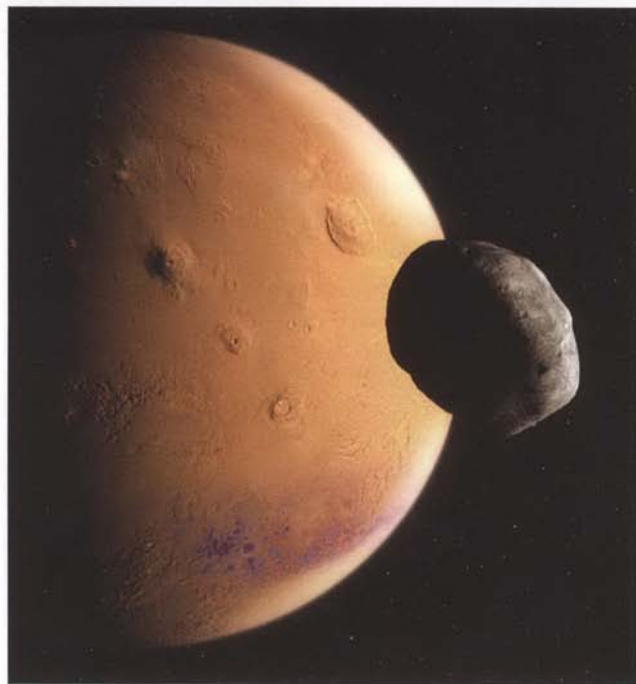
Cuando llega el verano, el cambio es veloz. Tanto el hielo de dióxido de carbono como el reciente hielo de agua del invierno empiezan a evaporarse para regresar a la atmósfera. En el polo norte, el dióxido de carbono desaparece por completo, pero sobrevive un poco de la nieve caída en cada estación y el agua que sí se funde deja tras de sí polvo de la atmósfera. De este modo, los casquetes polares pueden desarrollar una capa nueva de hasta un milímetro al año.

Cuando la nieve cruje bajo las botas y la luz del Sol se refleja en el hielo deslumbrante, las terrazas se muestran preciosas. Aún no se sabe bien por qué razón desarrollaron esa forma las terrazas. Una idea considera que las variaciones en el clima marciano afectan a la cantidad de polvo mezclado en el hielo y esto implica que ciertas zonas se erosionen con más facilidad que otras, mientras que el patrón general de remolinos espirales puede evidenciar el curso de los vientos predominantes alrededor de cada polo.

Más allá: Fobos y Deimos

El par de lunas minúsculas con que cuenta Marte no ofrece muchos atractivos, para ser sinceros, pero como quedan a un paso dentro de la órbita marciana, sería una lástima no visitarlas aunque sólo sea por las vistas. También representan una muestra accesible del cinturón de asteroides sin necesidad de ir hasta allí.

Ambos satélites miden pocos kilómetros de ancho, tienen forma irregular y orbitan muy cerca de Marte, mucho más próximos que la Luna alrededor de la Tierra, por ejemplo. Deimos es el más exterior, sólo mide 15 km de ancho y orbita a 23 500 km de Marte. Al situarse en órbita a su lado, es evidente que se trata de un asteroide capturado, aunque presente diferencias con el resto de asteroides que conforman el cinturón principal (véase «Una gira por los asteroides», pp. 102-103, para establecer algunas comparaciones). Por un lado, es mucho más oscuro que la mayoría de los



LA PREDICCIÓN DE SWIFT

En torno a las lunas de Marte gira un misterio literario. Quizá no sea más que una coincidencia, pero nunca se sabe, y se insiste mucho en él. Cuando Lemuel Gulliver, protagonista de la novela *Los viajes de Gulliver* creada por Jonathan Swift en 1726, visita la isla flotante de Laputa, se encuentra con científicos enfrascados en varios planes descabellados o imprudentes, entre ellos, extraer luz solar de los pepinos. Sin embargo, los astrónomos de Laputa le cuentan a Gulliver que Marte posee dos lunas, y hasta dan sus periodos orbitales con una precisión sorprendente. Por supuesto, todo esto sucede 150 años antes de que el astrónomo estadounidense Asaph Hall divisara por primera vez los dos satélites a través del telescopio en 1877. Entonces, ¿tenía Swift ciencia infusa o fue tan sólo un acierto afortunado?

Al mantenerse en órbita junto a Fobos, es fácil apreciar que la gravedad del amenazante Marte podría destruir con el tiempo su luna interior.



Deimos, pequeño, lleno de protuberancias y mucho más alejado de Marte que su otro satélite, más interesante, Fobos, aparece poco valorado en las listas de visitas recomendadas en Marte.

asteroides y, por otro, no presenta tantos cráteres. Lo mismo sucede con Fobos, y eso ha inspirado la teoría de que tal vez ambos objetos se formaran en regiones mucho más exteriores del Sistema Solar (se parecen más a los asteroides troyanos que comparten la órbita joviana). Puede que surgieran allí antes de que algo, quizá un encuentro cercano con el propio planeta gigante, los impulsara hasta otra órbita que con el tiempo los llevó cerca de Marte.

En cualquier caso, Fobos, el mayor de los dos, mide 27 km de largo y orbita aún más cerca de Marte, de manera que pasa rozando el planeta a una altura de tan sólo 9380 km. Se trata de una distancia tan pequeña que, a pesar de su tamaño reducido, Fobos casi llega a eclipsar el Sol en la superficie marciana. La superficie del satélite está dominada por un solo cráter inmenso, Stickney, de unos 10 km de diámetro. El impacto que lo creó pudo estar a punto de partir Fobos en dos y tal vez diera lugar también al resto de misteriosos accidentes de la superficie, como las estrías o marcas largas y rectas que la atraviesan.

Disfrute de Fobos mientras dure, porque está condenado a desaparecer a la larga. Marte y su satélite interior mantienen una relación intensa pero destructiva, en tanto que Fobos gira en espiral acercándose gradualmente al planeta. En unos 40 millones de años, Fobos se precipitará a la atmósfera marciana, se quemará en ella y creará un cráter nuevo y espectacular en el planeta rojo.

¿LA TERCERA LLUNA DE MARTE?

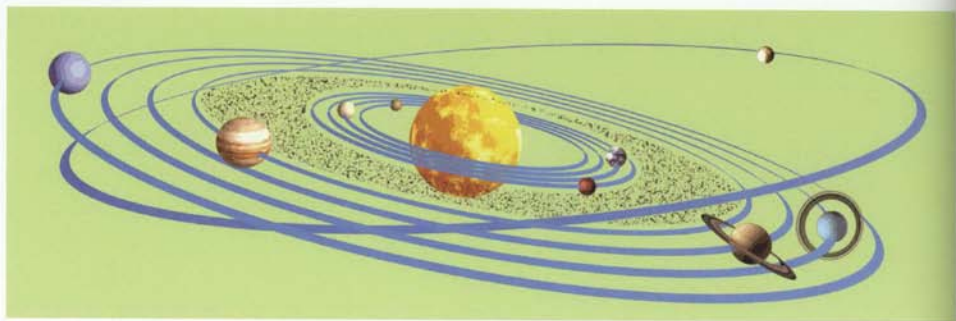


No pierda de vista el radar de largo alcance y esté preparado para emprender la huida mientras permanezca en órbita marciana, porque puede que exista una tercera luna, pequeña pero homicida, en algún lugar por ahí fuera. La última fotografía tomada por la sonda soviética *Fobos* antes de perder contacto con la Tierra en 1989 mostraba una estela delatora que cruzaba la imagen. Quizá se tratara de un fallo técnico en la cámara, pero también pudo ser una luna minúscula y veloz avanzando directamente hacia la nave.



Una gira por los asteroides

Los **asteroides** constituyen el destino olvidado del Sistema Solar. Hay literalmente millones de mundos minúsculos esparcidos por el Sistema Solar interior, y cada uno cuenta con una personalidad única. Como es natural, aquí sólo podemos centrarnos en unos pocos, pero entre ellos incluiremos por supuesto Eros, cuya órbita atraviesa la de la propia Tierra, Ceres, el asteroide más grande de todos, y Vesta, un trozo de material volcánico procedente de un mundo misterioso, mayor y desaparecido mucho tiempo atrás.



Para quienes deseen pasar las vacaciones en un lugar algo fuera de lo corriente, los asteroides constituyen un destino ideal. Ofrecen literalmente millones de lugares para elegir, de modo que caben grandes posibilidades de acudir a un sitio que nadie haya pisado antes. La mayoría de estos refugios de roca sólo son pedruscos grandes, de varios kilómetros como mucho, pero un puñado de ellos son mucho mayores, aunque ninguno se acerque siquiera al tamaño de nuestra Luna.

Mucha gente tiene una idea equivocada del cinturón de asteroides, probablemente por haber visto demasiadas veces en su juventud *El imperio contraataca*. Lo imaginan como un muro casi impenetrable de rocas flotantes que separa el Sistema Solar interior del exterior, donde asteroides de 1 kilómetro de ancho acechan en cada rincón resueltos a aniquilarnos como a una pobre ardilla en mitad de una autopista de cuatro carriles.

La triste realidad es que el cinturón de asteroides no es tan divertido ni por asomo. Por continuar con la comparación de la carretera, se parece más a un camino rural abandonado donde los ratones de campo pueden jugar entre la hierba durante semanas sin ver mucho más que el paso de una cosechadora lejana. Ni siquiera es un cinturón realmente: aunque la mayoría de los asteroides sigue órbitas casi circulares situadas entre 254 y 598 millones de kilómetros de distancia al Sol, la variedad de sus inclinaciones convierte el «cinturón principal» en algo más similar a una rosquilla difuminada. Además, también tienen un montón de hermanos más aventureros que se aventuran fuera del cinturón para ver las luces brillantes del Sistema Solar interior, o que permanecen suspendidos junto a los grandullones exteriores.

El cinturón principal de asteroides separa claramente los planetas interiores de los exteriores, de forma que su borde interior sigue muy de cerca la excéntrica órbita de Marte.

Cómo llegar

Con esta variedad inmensa, ¿adónde ir? En realidad, depende del tiempo disponible. Para unas vacaciones cortas con un presupuesto limitado, conviene ir a uno de los asteroides cercanos a la tierra, cuyas órbitas los acercan bastante a nosotros. Si realiza un crucero y, de todos modos, va a llegar a las proximidades de Júpiter, entonces un paseo fugaz por su órbita le permitirá acceder a un par de troyanos; estos son asteroides pequeños que pululan alrededor de los matones del Sistema Solar para dárseles de duros, aunque se cuidan mucho de mantenerse fuera del alcance de sus agitados puños gravitatorios. En cambio, para conocer la mayor variedad en poco tiempo, y tal vez como excursión ideal durante unas vacaciones en Marte, conviene encaminarse al cinturón principal.

ASTEROIDES EN LA TIERRA

Los asteroides se cuentan entre los pocos objetos celestes que se pueden estudiar de cerca sin salir de la Tierra para nada, porque son ellos quienes, amablemente, vienen hasta nosotros. Mientras la mayoría de los meteoros que se incineran en el cielo terrestre son meras motas de polvo dejadas por cometas, casi todos los meteoritos que logran llegar hasta el suelo son fragmentos de asteroides. Los geólogos han clasificado los meteoritos en varias familias diversas, como las condritas carbonáceas, los sideritos y los litosideritos. La comparación y el cotejo de las propiedades de los diversos tipos de meteoritos con los asteroides más distantes permiten conocer mejor la naturaleza de los propios asteroides.



VISITA

A LOS FAMOSOS

Puede que los asteroides empezaran a bautizarse con la misma nobleza y clasicismo que los planetas y sus lunas, pero pronto se vio que son tantos que agotarían el panteón de divinidades de cualquiera de las religiones principales, y apenas daría para empezar. Como consecuencia, los nombres de los asteroides se convirtieron en competencia de todos: quien los encuentra les asigna nombre. En la actualidad, podemos divertirnos en el cinturón de asteroides contemplando el asteroide 9007 James Bond, 17059 Elvis, 8748 Beatles y hasta i18610 Arthur Dent!



A menos que volemos cerca de una pila de escombros recién desintegrados, no habrá que preocuparse de esquivar asteroides.

Ceres

El mayor asteroide con gran diferencia es Ceres, una bola de roca de 960 km de diámetro con una órbita casi circular que dista unos 414 millones de km del Sol. Tal como corresponde, es el asteroide número 1. Comprende alrededor de un tercio de toda la materia concentrada en el cinturón de asteroides y tiene suficiente masa como para que la gravitación le confiera forma esférica, pero aparte de esto, parece haber permanecido intacto desde los primeros días del Sistema Solar.

A medida que nos acercamos a Ceres, apreciamos lo oscura que es la superficie. También exhibe numerosos cráteres, lo que evidencia que Ceres ha estado bien vapuleado a lo largo de la historia. Situarse en órbita constituye una tarea delicada porque Ceres cuenta con un campo gravitatorio muy pobre que sólo asciende a un sexto del de la Luna, o $1/36$ del de la Tierra.

Esta misma gravedad débil garantiza gran diversión si se salta por la superficie. Hasta un impulso suave nos elevará

Ceres, un asteroide repleto de cráteres, es el único con un tamaño suficiente como para adoptar forma esférica.





LA POLICÍA CELESTE

En consonancia con el primer objeto de una clase nueva del Sistema Solar, Ceres se descubrió el primer día de un siglo nuevo: el 1 de enero de 1801. Lo detectó el astrónomo italiano Giuseppe Piazzi, pero el descubrimiento ya se buscaba desde hacía algún tiempo. Durante un par de décadas, los astrónomos europeos venían padeciendo un serio temor finisecular ante las dimensiones del hueco que quedaba entre Marte y Júpiter.

Todo comenzó con el astrónomo alemán Johann Titius en 1766. Titius tenía habilidad para detectar tendencias numéricas (en aquellos días probablemente habría sido un inocente fanático del *sudoku*, pero tal como le vinieron las cosas, estaba convencido de haber descubierto una tendencia en las posiciones planetarias). En aquel momento, su idea no encontró mucho eco pero, unos años después, otro astrónomo alemán, Johann Elert Bode, «tomó prestado» el descubrimiento de Titius, lo convirtió en una fórmula matemática y lo publicó.

Las matemáticas no nos interesan aquí, pero el resultado final de Bode predecía las posiciones de los planetas conocidos con una exactitud sorprendente. El único problema estaba en el hueco que mostraba la secuencia entre Marte y Júpiter. Muchos astrónomos estaban convencidos de que tenía que haber una explicación y comenzaron a buscar un quinto planeta o restos del mismo en el hueco.

Pronto, un grupo de entusiastas de toda Europa se erigió como «la policía celeste». Planeaban escudriñar todo el cielo en busca del nuevo planeta, pero Piazzi se les adelantó, tal vez por tan sólo unos días, con el descubrimiento de Ceres.

décenas o incluso cientos de metros, y pasarán varios minutos hasta volver a caer. Desde el mismo suelo ya se aprecia que el horizonte está claramente curvado y mucho más próximo de lo esperable. Es toda una experiencia dar un gran brinco y ver cómo este mundo tan picoteado se aleja bajo nuestros pies. Más o menos esto es lo que deben de sentir los cohetes.

Por supuesto, la otra cara de la moneda es que hay que moverse con cuidado. Allí no se pesa lo bastante como para hacerse daño, pero puede resultar muy intimidatorio que cada paso casi nos sitúe en órbita... Recomendamos que lleve arpeos y se ancle con firmeza al suelo. De este modo podría regresar si, por accidente, se impulsara demasiado lejos de la superficie.

Y, ¿qué decir de la superficie oscura? Resulta que Ceres es rico en minerales «carbonáceos», una mezcla de compuestos químicos basados en el carbono parecidos al material que recubre los cometas. Incluso hay señales de que hubo hielo aquí, porque algunos de los minerales encierran agua en el interior de sus cristales.



Vesta

ATRACCIÓN
ESTELAR

El cráter inmenso en el polo sur de Vesta deja expuesto el interior del asteroide y revela que está separado en diferentes capas.

El asteroide 4, Vesta, es una propuesta muy distinta a Ceres y bien merece una visita. Con 560 km de ancho, supera un poco la mitad del tamaño de su hermano mayor, pero sigue contándose entre los asteroides más grandes del cinturón. También muestra un brillo excepcional para ser un asteroide, ya que refleja mucha más luz solar que ningún otro objeto en esta región del espacio. Si a esto se le añade que tiene una órbita algo más próxima al Sol (a una distancia media de 353 millones de km), se obtiene que Vesta es el único asteroide apreciable a simple vista desde la Tierra (sólo... si se tiene buena vista... en noches muy oscuras... y si se sabe de antemano dónde mirar).

Desde cierta distancia se aprecian dos de los rasgos más destacados de Vesta. A medida que rota cada 5,3 horas, su brillo global varía un tanto, lo que sugiere que la superficie está salpicada con una mezcla de manchas claras y oscuras. A través de prismáticos, también se observa que Vesta no es

una esfera perfecta. Ahora bien, Vesta es uno de los pocos asteroides cuya gravedad bastaría para conferirle verdadera forma esférica. Por tanto, no se trata de otro asteroide de poca gravedad con figura irregular. De hecho, el hemisferio norte parece una esfera perfecta. Es la mitad meridional del objeto la que está deforme. Una colisión masiva en algún instante del pasado de Vesta creó un cráter descomunal en el polo sur, además de un elevado pico central.

Sobrevuele el cráter, o aterrice en él incluso, si tiene tiempo, y descubrirá el gran secreto de Vesta y la razón de que sea tan brillante. El impacto dejó un agujero en la corteza del asteroide y, adivine...: Vesta tiene una corteza (y un manto debajo de ella). Esto es tan impresionante como sorprendente en un mundo tan pequeño porque implica que Vesta tuvo que fundirse por completo en algún momento del pasado, lo que permitió que los elementos más pesados se asentaran en el centro, igual que en los planetas con las dimensiones adecuadas, como la Tierra. Esto jamás le ocurrió a Ceres ni a ningún otro de los grandes asteroides.

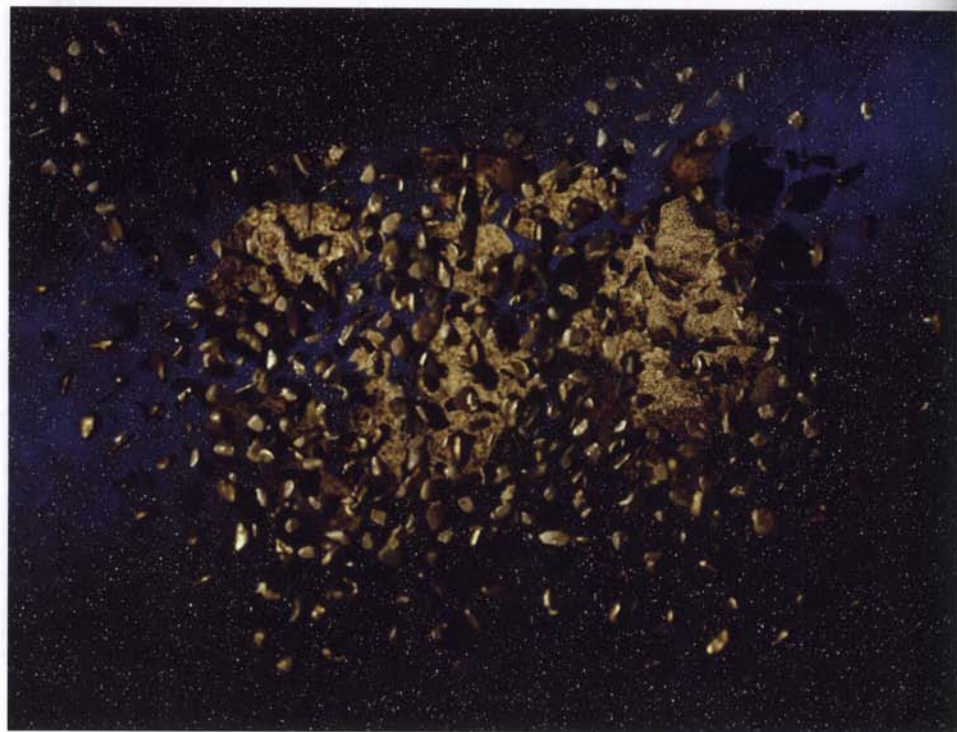
Pero eso no es todo. La corteza que cubre el resto del planeta resulta consistir en roca basáltica brillante y bastante reluciente (aquí no hay compuestos carbonáceos sucios) y esas piedras sólo pudieron cubrir la superficie de un modo conocido: mediante erupciones volcánicas.

Por tanto, ¿qué diablos pasa con Vesta? Aún estamos bastante perplejos con él, para ser sinceros. La estratificación interna o «diferenciación» y la actividad volcánica deberían descartarse en un mundo tan pequeño. Una explicación contempla que Vesta sea en un fragmento sobrante de algún mundo desaparecido hace mucho, quizá arrancado de un planetóide progenitor por una colisión enorme que fundió toda su materia. Esto lo habría metamorfoseado para conferirle una nueva estructura estratificada y con el tiempo, mientras la corteza se solidificaba y el interior permanecía fundido, pudo originar volcanes efímeros en la superficie. La alternativa es que Vesta terminara con una composición diferente al resto de asteroides por algún otro mecanismo y que eso le permitiera evolucionar hasta convertirse en un miniplaneta, mientras todos los demás asteroides se estancaron en su estado primigenio.



¡LOS VESTOIDES ATACAN!

Los astrónomos accedieron al análisis de fragmentos de Vesta mucho antes de que las sondas llegaran hasta él. Existe todo un grupo de asteroides menores, además de algunos trozos de meteoritos hallados en la Tierra, que son como reproducciones de la superficie de Vesta. A los geólogos les gusta denominarlos «acondritas basálticas», que significa «piedras hechas de basalto que no albergan condritas» (los trozos de materia basada en el carbono presentes en muchos asteroides). Nosotros consideramos que «vestoides» es un término mucho más fácil de recordar.



No es tan difícil desmembrarse...

Si hemos aprendido algo de la exploración del cinturón de asteroides, es que muchos de ellos se deshacen en cachitos más deprisa que una actriz en ciernes en una ceremonia de entrega de premios. El cinturón principal está repleto de muestras de ello. Al identificar órbitas con un asteroide típico es fácil ver que el mismo espacio es compartido por una variedad de progenies abandonadas que fueron arrancadas de la superficie por explosiones o choques ocurridos en algún instante del pasado.

La última parada que recomendamos en el cinturón de asteroides es el asteroide 253 Mathilde, un asteroide bastante normal y apenas esférico de unos 66 km de ancho. Para situarse en órbita alrededor de este trozo de roca se requiere un piloto muy diestro debido a la escasa gravedad.

Un ligero empujón bastó para hacer añicos un asteroide formado por una acumulación de escombros ya frágil de por sí. Cada fragmento sigue ahora una órbita independiente alrededor del Sol, pero puede que la gravedad acabe reuniendo de nuevo la mayoría de ellos.



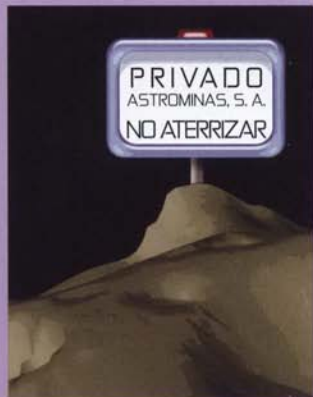
MINERÍA ASTEROIDAL

Dentro de unas décadas la explotación minera de asteroides podría pasar de ser el objeto de una especulación interminable y de oleadas ocasionales de inversión, a convertirse en el *boom* de los negocios espaciales. Varias empresas ya se están comiendo con los ojos algunos de los asteroides más cercanos y pequeños, y estudian con detenimiento las gráficas proporcionales que muestran la estimación de su contenido mineral y su valor. Así que, si usted aterriza en algún lugar, hará bien en cerciorarse de que no se verá implicado en un conflicto de propiedad!

Según los buscadores de minerales más entusiastas, una vez superados los problemas básicos de la extracción mineral con gravedad cero y de traer el material a la Tierra, resultará mucho más sencillo que excavar túneles y dinamitar canteras en la Tierra.

La razón principal de ello estriba en que la mayoría de los asteroides han permanecido casi intactos desde su formación. En la Tierra, la exposición al aire, el agua e innumerables fuerzas recicladoras, han confinado muchos elementos valiosos en el seno de minerales complejos. Para extraerlos hay que recurrir a menudo a procesos químicos tediosos y caros bautizados con el nombre de algún que otro químico del siglo *xx*. En un asteroide, en cambio, los elementos suelen conservarse en su forma nativa (o, en el peor de los casos, combinados con compuestos muy simples). Los entusiastas aseguran (con cierto tono de fanatismo) que cuando los asteroides se puedan desmembrar, cribar, y transportar hasta la órbita terrestre, dará comienzo otra revolución industrial en el espacio.

De modo que, en caso de duda, consulte el mapa antes de aterrizar para ver si alguien ha puesto ya algún cartel. Aún no cuentan con sistemas defensivos automáticos pero ¡podría llegarle una desagradable orden judicial si no pone atención!



Los angulosos bordes de los cráteres también dan muestras de ello: apenas hay depósitos de eyecciones que suavicen los bordes porque todo el material salta al espacio cuando se forman los cráteres.

Lo curioso es que la superficie de Mathilde parece muy sólida, pero sólo es para mirar, no para tocar. Las apariencias engañan y la gravedad de Mathilde revela que, en promedio, tiene una densidad similar a la del agua. Como lo que se ve es piedra, el resto del asteroide debe de consistir en espacio vacío, para que concuerde con una masa tan escasa. Mathilde tipifica toda una clase de asteroides que constituyen poco más que acumulaciones de escombros unidos de un modo tan superficial que un ligero puntapié los situaría camino de una lenta pero progresiva desintegración.



Se cree que Mathilde consiste en un 40 por ciento en espacio vacío. ¡Si lo desmembráramos, podríamos volver a ensamblar los pedazos!



Eros se muestra muy distinto dependiendo del ángulo de aproximación. En la imagen superior, aparece con claridad el accidente de la «Silla de Montar», mientras que el cráter «Pata de Gato» ocupa el centro de la imagen inferior.

Más allá: Eros

Como ya hemos mencionado, hay gran cantidad de asteroides desviados ahí fuera que deambulan por el espacio entre los planetas mayores y que, por lo general, parecen un problema. Tal vez el más famoso, y también uno de los más accesibles desde este lugar del Sistema Solar, es Eros, el asteroide número 433.

Pero no se deje engañar por el nombre; si aspira a una escapada romántica, este lugar se asemeja más a una especie de vertedero, y es poco probable que su pareja se entusiasme ante la idea de pasar un fin de semana en órbita alrededor de un trozo yermo de basura espacial.

Sin embargo, esto no disuadió a la pionera sonda espacial de la NASA, la *Near Earth Asteroid Rendezvous*, de pasar todo un año allí. Desde luego, *NEAR* era una sonda robótica y entonces los robots no tenían mucha oportunidad de perderse en enso-

Box

¡IMPACTO!

Lo primero que todos queremos saber sobre los Asteroides Cercanos a la Tierra (NEA) es la probabilidad que tienen de chocar con ésta. En el caso de Eros, la estadística indica que hay una posibilidad entre diez de que choque con la Tierra o Marte en el próximo millón de años. Tal vez parezca una probabilidad alarmante, pero estamos considerando escalas temporales astronómicas y no hay que olvidar que toda la historia humana junto con la prehistoria que se remonta hasta los albores de la conciencia, coincide con los últimos cien mil años. Las órbitas de los asteroides resultan bastante difíciles de predecir más allá de unas pocas decenas de giros alrededor del Sol, pero hoy en día sería bastante sencillo fijar un motor de cohete a un asteroide peligroso y darle un pequeño empujón para desviarlo de su camino. Los objetos que deben preocuparnos son los que no vemos venir, sobre todo los cometas que salen despedidos en dirección a la Tierra desde la nube de Oort (véase p. 202).

ñaciones románticas, pero llegó a Eros el día de San Valentín del año 2000 y realizó un último gesto romántico besando la superficie al final de su misión justo un año después. Como resultado de aquello, Eros es hoy uno de los asteroides mejor estudiados por fuera. Mide sólo 31 km de largo, tiene forma de patata algo deforme y una hendidura manifiesta llamada la «Silla de Montar» hacia el centro del costado más largo.

Si se sitúa en órbita alrededor de Eros quizá le sorprenda la intensidad del campo gravitatorio. Aunque el asteroide mide la mitad que Mathilde, tiene una gravedad más fuerte. Esto se debe a que Eros parece ser un pedazo bastante sólido de roca de silicatos, con una densidad similar a algunas partes de la corteza terrestre. En efecto, aquí no existen los grandes vacíos ocultos que alberga Mathilde.

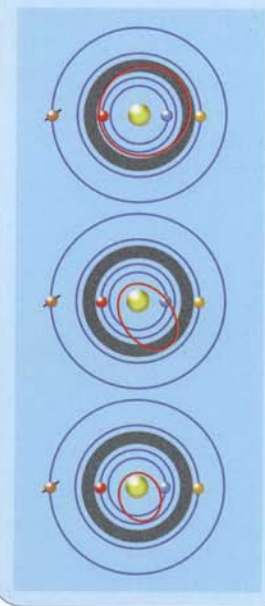
La gravedad de Eros es lo bastante intensa como para retener las eyecciones de los impactos meteóricos ocasionales que recibe la superficie. En consecuencia, buena parte del objeto aparece cubierta de piedras grandes que han rodado en direcciones extrañas debido a la forma irregular del asteroide. Si desciende a la superficie, pasee por ella para saber a qué nos referimos: es curioso ponerse de pie a un lado de la Silla de Montar con toda la pared opuesta trazando una curva que llega a todo lo alto, pero aún se antoja más extraño comprobar que es posible pasearse sin esfuerzo a lo largo de toda esa pared vertical para terminar hallando que el punto de partida se sitúa ahora justo por encima de la cabeza.



NOMBRES DE LOS NEA



Las tres clases de asteroides cercanos a la tierra que existen son los de los grupos de Amor, Apolo y Atón, según sus órbitas. El truco está en recordar cuál es cuál. El grupo de Amor (arriba) se adentra en la órbita de Marte durante el perihelio, pero no supone una amenaza para la Tierra. El de Apolo (centro) cruza la órbita terrestre pero pasa la mayor parte del tiempo más lejos del Sol. Los de Atón, en cambio, cruzan la órbita de la Tierra con órbitas muy pequeñas y pasan la mayor parte del tiempo más cerca del Sol que nuestro planeta (abajo).



Esta fotografía la envió la sonda *NEAR* durante el último descenso que realizó a la superficie de Eros en 2001.





Lo último en viajes organizados

El mayor planeta del Sistema Solar ofrece la mayor experiencia vacacional. Visitar **Júpiter** no sólo implica ir a este gigante gaseoso siempre cambiante, sino también al inmenso sistema de satélites que lo rodea, un auténtico Sistema Solar en miniatura repleto de mundos fascinantes. Disfrute de un viaje en globo por la atmósfera joviana, contemple los espectaculares volcanes sulfurosos de Ío, practique el patinaje en Ganímedes y sobrevuele la mayor reserva natural del Sistema Solar: el océano cubierto de hielo de Europa.

Ya los astrónomos de la antigüedad dieron un puesto de privilegio a Júpiter en la competición turística al asignarle el nombre del dios supremo del panteón romano (también conocido como Iove, o Jove, de ahí el adjetivo *joviano*). Su inmensa familia de lunas, incluidos cuatro satélites gigantes muy destacados, probablemente convierta a Júpiter en el destino más rentable de todo el Sistema Solar. El único problema puede radicar en llegar allí; en términos terrestres, para que un viaje a Júpiter valga la pena debe parecerse más a un crucero alrededor del mundo que a una escapada de fin de semana.

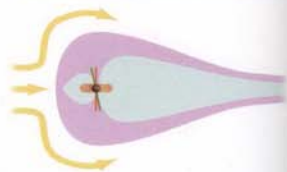
Cómo llegar

Cualquier nave capaz de llevarnos a Marte también servirá para un viaje más largo, más allá del cinturón de asteroides, pero quizá prefiera invertir en algo más potente para reducir el tiempo del viaje. Permítanos ahora una advertencia válida para todos los planetas exteriores: cuando hable con el comercial o con la empresa de alquiler aclare bien adónde se dirige. Además de contar con unos motores principales en condiciones, también necesitará buenos propulsores de maniobra, puesto que una gira decente por cualquier sistema de satélites grande requiere bastantes carambolas cósmicas para pasar de una órbita a otra.



ROTACIÓN INSÓLITA

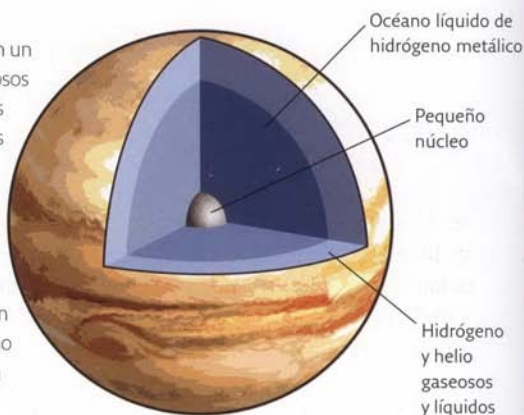
Si se observa Júpiter desde una órbita alta durante el tiempo suficiente, se aprecian indicios seguros de que este planeta consiste en gas y no en roca. Tras unas pocas rotaciones, notaremos que las regiones ecuatoriales completan un giro alrededor del planeta algo más deprisa que las nubes próximas a los polos.



El inmenso campo magnético joviano rompe el viento solar y crea una «magnetocola» que se prolonga hasta la órbita de Saturno!

INTERIOR DE JÚPITER

Júpiter y el resto de planetas gigantes poseen un interior muy diferente al de los mundos rocosos del Sistema Solar interior. Las capas nubosas de la superficie sólo abarcan alrededor de los 100 kilómetros exteriores del planeta. Todo lo que hay bajo ellas es hidrógeno y helio casi puros. A medida que aumenta la presión, los gases se comprimen hasta volverse líquidos. A profundidades mayores, las moléculas de hidrógeno se descomponen en átomos y forman un océano de hidrógeno metálico líquido. En el mismo centro hay un núcleo que ronda el tamaño de la Tierra.





Uno de los placeres del viaje consiste en observar desde la ventana de la cabina cómo Júpiter crece más y más según van pasando las semanas. Es tan inmenso que desde la Tierra se aprecia como un disco manifiesto, y en el momento de situarnos en una órbita inicial, a unos 16 millones de kilómetros de distancia aún de nuestro destino, Júpiter se verá precioso, del tamaño de la Luna llena, y resultará perfecto para contemplarlo con prismáticos o telescopio. A medida que nos acerquemos, empezaremos a perder esta perspectiva de conjunto y los bordes exteriores del disco quedarán reducidos y ocultos.

Desde una órbita alta, también se verá con claridad que hay algo raro en la figura de Júpiter: está achatada como una pelota de playa algo desinflada. En realidad, no es correcto calificarla de achatada puesto que es el ecuador lo que está abultado y no los polos los que se hunden. El motivo de ello estriba en lo que la mayoría de la gente sigue llamando erróneamente fuerza centrífuga (en verdad no es tan simple pero este libro tampoco es un manual de física). Como Júpiter es tan masivo y gira sobre su eje en sólo 10 horas, le ocurre algo similar a lo que pasaría si un patinador sobre hielo realizara una pirueta con un cubo de agua en cada mano: como es lógico, la velocidad del giro impulsa hacia fuera la barriga de Júpiter. Lo mismo le sucede a la Tierra, pero como Júpiter tiene más diámetro, gira más deprisa y consiste en gas, en él se torna más obvio.

Durante la aproximación final, los satélites galileanos suelen aparecer perfilados contra el disco del propio Júpiter.

DATOS JOVIANOS



Puntos positivos:

Gran variedad de mundos en un mismo lugar



Puntos negativos:

Cinturones de radiación peligrosos. No se permite aterrizar en Europa



Duración del día:

9 horas 56 minutos



Duración del año:

11,86 años terrestres



Gravedad en la cima de las nubes:

2,6 g



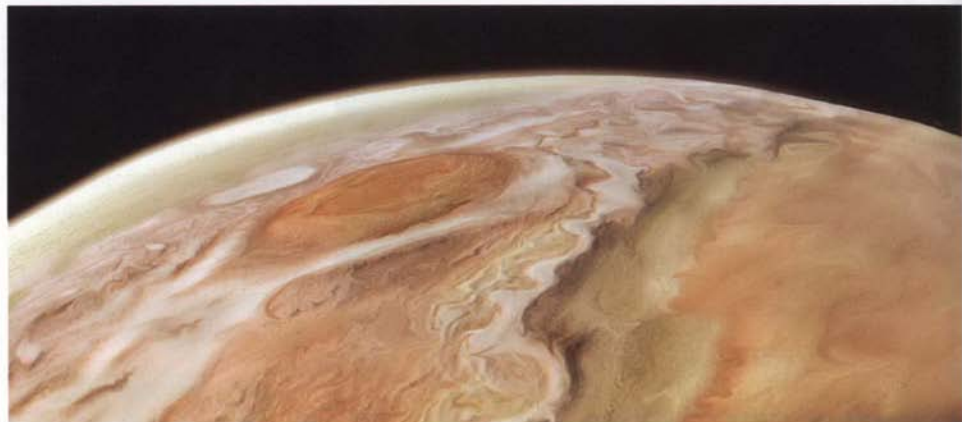
Temperatura en superficie:

-110°C



Retardo en comunicaciones:

35 minutos o más



Aproximación cercana

Un descenso prolongado en espiral hacia el planeta brinda tiempo suficiente para disfrutar de las espectaculares vistas, pero no se concentre únicamente en Júpiter. Los cuatro satélites principales o «galileanos», todos de tamaño semejante al de la Luna, ofrecen imágenes encantadoras mientras danzan su vals orbital alrededor del planeta, cuya duración varía entre 42 horas (de la luna más interior, Ío) y 16.7 días (para la más exterior, Calisto). Los astrónomos han contemplado la danza de estas lunas durante siglos y ello supuso una clave fundamental de la revolución que desencadenó la astronomía moderna (véase el recuadro); pero desde la órbita de Júpiter se ve algo más. Si nos aproximamos a Júpiter desde el plano ecuatorial (y la economía del combustible no permite en realidad mucho más) veremos que las lunas se eclipsan entre sí con frecuencia, penetran en la sombra de Júpiter y tras el disco y, después, transitan ante el planeta y proyectan su sombra en la cima de las nubes. Fíjese en el misterioso «resplandor post-eclipse» de Ío. Se trata de otro de esos fenómenos que aparecen y desaparecen de la vista y que causan sudores nocturnos a los astrónomos, un incremento ocasional e inexplicable del brillo de Ío cuando emerge de la sombra de Júpiter y se expone de nuevo a la luz del Sol.

Otro efecto esquivo quizá requiera forzar la vista, pero al menos tiene una explicación científica conocida. Cuando

La Gran Mancha Roja es un abultamiento inmenso en el paisaje nuboso de Júpiter que arrastra hacia arriba elementos químicos de color rojizo procedentes de regiones subyacentes de la atmósfera.



UNA MANCHA MISTERIOSA

Si sincroniza bien la visita, la GMR hará honor a su fama, pero en otros momentos, la mancha ni es grande ni es roja y hasta puede resultar muy poco impresionante. Los astrónomos que trabajan desde la Tierra han observado sus idas y venidas desde, al menos, 1830, y posiblemente 1655. Antes de saber que Júpiter carece de superficie sólida, había quien proponía que se trataba de una isla volante en medio de las corrientes de un océano global. Hoy en día aún no se entiende por completo su funcionamiento.

pase al lado nocturno del planeta durante la aproximación en espiral, intente localizar la medialuna de Ío y preste atención a un fulgor amarillo alrededor de ella. Se trata del aro sulfuroso, un anillo de partículas expulsadas de la atracción gravitatoria de Ío por sus célebres volcanes, pero atrapadas por el campo magnético de Júpiter. En condiciones ideales, a veces se puede trazar el aro en todas las posiciones alrededor del planeta.

Cuando se alcanzan los 100 000 km de distancia, Júpiter realmente domina la visión, y su colosal volumen amenazador ocupa casi la mitad del cielo. Desde aquí podrá contemplar los hipnóticos y siempre cambiantes sistemas de nubes. Por facilidad de referencia, los astrónomos suelen dividir la mayoría de los rasgos nubosos de Júpiter en dos tipos: las zonas de tonos claros, y las bandas más oscuras, rojas o azules. Estos términos se remontan a cuando se sabía mucho menos acerca de Júpiter y sugieren una idea equivocada sobre el planeta, pues pueden hacer pensar que las zonas corresponden a nubes claras subyacentes, y que las bandas, más oscuras, las cubren por encima de ellas. De hecho ocurre lo contrario, las nubes más claras se hallan más arriba, y las regiones más oscuras revelan el caldo de la atmósfera inferior.

La meteorología joviana funciona de un modo muy similar a la de la Tierra. Las nubes se forman en zonas de bajas presiones y se apartan de zonas de altas presiones. Una diferencia estriba en que toda la masa de Júpiter consiste en nubes de la superficie al interior, de modo que las zonas de altas presiones simplemente separan las nubes más ligeras a gran altura. La otra gran diferencia consiste en que la rápida rotación joviana actúa como el ciclo de centrifugado de una lavadora común y aplasta las diferentes regiones y las enrolla alrededor del «tambor» del planeta. Esto se denomina efecto Coriolis; este efecto también se produce en la Tierra, aunque en menor grado, donde crea el sistema de vientos predominantes en cada hemisferio. Como las distintas capas de la atmósfera viajan a velocidades diferentes, las bandas y las zonas se desplazan, en efecto, en direcciones relativas opuestas alrededor del planeta.



¡PELIGRO: RADIACIÓN!

Mientras esté en órbita, procure mantenerse alejado de la inmensa red de cinturones de radiación jovianos. El planeta posee un campo magnético intenso, que supera en muchas veces el de la Tierra, que acelera las partículas atrapadas en él y les confiere velocidades más raudas y mortales. Si planea una gira razonable por el sistema joviano, orbitará dentro de este horno microondas natural de modo que asegúrese de que la nave espacial y el traje que use estén equipados con un grado alto de protección.



Los colores de las capas nubosas van por alturas. Las azules son las más bajas, luego las marrones y amarillas. Las rojizas, como la Gran Mancha Roja, se forman en la parte superior de la atmósfera.



Deslizarse entre las capas nubosas de Júpiter es una experiencia inolvidable, pero itenga cuidado y manténgase a distancia de los masivos nubarrones de tormenta!

Sobre las capas de nubes más claras se alzan inmensas tormentas ovales, enormes zonas de bajas presiones que suelen estar coronadas por nubes blancas muy brillantes y en rotación. Estas empiezan a formarse con frecuencia en la frontera entre las bandas y las zonas, donde el movimiento de la atmósfera en direcciones opuestas forma corrientes complejas. La mayoría del tiempo, la nube se limita a moverse con rapidez y crea decorativos remolinos llamados «festones» (y que no quedarían mal en una tarta nupcial bien helada). Pero si una masa de aire se enrosca lo bastante alrededor de sí misma, puede convertirse en un anticiclón hecho y derecho, es decir, una célula regeneradora de aire a baja presión en circulación que gira en sentido levógiro mientras permanece atrapada entre las dos regiones atmosféricas. Se parece un poco a un diábolo, donde la rotación que comenzó simplemente al mover la cuerda en dos direcciones al final consigue hacer girar el diábolo lo bastante deprisa como para lanzarlo al aire.



SE ACERCA UNA

TORMENTA

Las tormentas denominadas «manchas blancas» aparecen y desaparecen con frecuencia de la superficie joviana, pero en ocasiones se combinan y transforman en algo mayor, ganando fuerza y tamaño. Las más grandes se forman a presiones tan bajas que se alcanzan kilómetros sobre la atmósfera circundante y llegan a crear corrientes de aire ascendente del caldo químico procedente de la atmósfera más profunda. El ejemplo más conocido es la Gran Mancha Roja, donde imperan presiones tan bajas que en ocasiones llegan a condensarse nubes rojas a gran altura, inexistentes en cualquier otro lugar de Júpiter.

Hacia las nubes

ATRACCIÓN
ESTELAR



GALILEO Y SUS LUNAS

Galileo Galilei es, probablemente, el científico clave del Renacimiento. Metió las narices en todo y, por supuesto, también confeccionó algunos de los primeros telescopios. Se enteró por primera vez del nuevo invento holandés en 1609 y pronto se construyó uno con el que descubrió nubes estelares en la Vía Láctea, las fases de Venus y montañas en la Luna. Pero lo más importante es que divisó los cuatro satélites «galileanos» de Júpiter. Con ellos se convenció de que aquella teoría publicada en 1543 por un desconocido monje polaco llamado Copérnico era cierta, y de que no todo giraba alrededor de la Tierra. En realidad, la concepción de Copérnico con el Sol en el centro del universo ya se iba aceptando en el norte de Europa, pero la Iglesia católica aún sostenía que todo el universo giraba en torno a la Tierra y Galileo fue una de las primeras personas con el coraje de predicar el disparate copernicano a un paso de la Santa Sede. A pesar de ser un antiguo compañero del papa, acabó compareciendo ante la Inquisición y pasó sus últimos años bajo arresto domiciliario.

Un descenso por la atmósfera alta y nubosa de Júpiter representa un viaje inolvidable, aunque entrañe ciertos riesgos inevitables (pero, si ha llegado usted tan lejos, ya debe de haber adquirido un sano optimismo). Compruebe de antemano que la nave es apta para penetrar en la atmósfera porque la envoltura externa de gas empieza mucho más arriba que las cimas visibles de las nubes. También conviene asegurarse de contar con buenos motores porque habrá que usar el freno aerodinámico para perder velocidad y altura al mismo tiempo durante el descenso. Tenga planeado el regreso o quedará atrapado por la gravedad de Júpiter para siempre.

Las zonas recomendadas para el descenso varían tanto como la meteorología joviana. Las lindes entre bandas y zonas parecen lugares bonitos, pero las contracorrientes que se crean en la atmósfera los tornan, si no letales, al menos sí peligrosos para cualquiera salvo para los navegantes jovianos más experimentados. Por otra parte, una opción muy practicada consiste en volar a lo largo de los cañones que se abren a ambos lados de la Gran Mancha Roja. Se trata de zonas bastante tranquilas de miles de kilómetros de longitud.

Como alternativa, use un dispositivo térmico para analizar la emisión calorífica del planeta y dirjase hacia las manchas manifiestas de calor en las nubes. Estas áreas, donde el calor escapa del interior del planeta, suelen caracterizarse por ser tranquilas y por tratarse de claros en las capas nubosas superiores.

No se adentre demasiado en la atmósfera si quiere volver a salir: un par de miles de kilómetros por debajo de la cima de las nubes la presión aumenta hasta tal punto que aplastaría la nave como una bolsa de papel. Si el casco empieza a crujir, es hora de salir pitando. Recuerde que es casi imposible que el casco de una nave resista por igual la presión hacia afuera que soporta en el vacío del espacio y las presiones hacia adentro equiparables a las que soportan los submarinos de gran profundidad.

Sobre el lado nocturno

Al salir de los cañones de nubes de Júpiter, observe el planeta gigante desde una perspectiva distinta con un sobrevuelo del lado nocturno. La imagen del gran Júpiter ocultando el Sol distante es inolvidable y aterradora, pero una vez habituados a la diferencia, no tardaremos en notar que la noche joviana no es tan oscura como podría parecer. Las nubes parpadean sin cesar porque entre ellas saltan poderosos rayos. El efecto se parece un poco a una pista discotequera iluminada con luz estroboscópica, y la imagen de las nubes de Júpiter arremolinándose a medida que se encienden y se apagan casi marea hasta la náusea, de modo que no las mire durante mucho tiempo.

Las regiones polares ofrecen un espectáculo de luz mucho más sofisticado en colores chispeantes. Anillos alrededor de los polos señalan la zona donde se juntan el campo magnético y la atmósfera, y las partículas de viento solar atrapadas y aceleradas por el campo magnético caen alegremente a las capas superiores de gas. También existe otra fuente más próxima de partículas; parte de la materia expulsada por el satélite volcánico Ío encuentran aquí su fin. Como resultado se producen auroras boreales y australes mucho más intensas que cualquiera en la Tierra. Desajuste el sintonizador de la radio de a bordo y oírás los silbidos estáticos que van y vienen con la intensidad de las tormentas.

El otro aspecto notable del lado nocturno sólo se ve desde más lejos. Mire más allá del limbo oscurecido y descubrirá una delgada línea que se prolonga hacia la oscuridad. Se trata del insignificante sistema de anillos de Júpiter, un disco plano de materia que empieza unos 20 000 km por encima de las nubes y abarca hasta la órbita de Tebe, a 150 000 km de distancia del planeta. La mayoría de las partículas que conforman el anillo son microscópicas, tan pequeñas que se puede atravesar tanto para acercarse al planeta como para alejarse de él sin que probablemente notemos nada. Los anillos sólo se tornan manifiestos cuando se miran a contraluz con el Sol de fondo y el disco de Júpiter sumido en tinieblas, por eso no extraña que no se descubrieran desde la Tierra. De hecho, los vemos casi igual que en la primera fotografía que los detectó, tomada por *Voyager 1* en 1977.



EL TÓRRIDO JÚPITER

Al apuntar con una cámara de imagen térmica hacia el lado nocturno de Júpiter se descubre otro secreto: el planeta despidе más calor que un gordo en el tajo. De hecho, emite mucha más energía de la que recibe del Sol. Esto ocurre en todos los planetas gigantes, salvo en Urano (pero Urano también muestra otras rarezas).

¿De dónde procede la energía? La mejor hipótesis la atribuye a efectos de fricción a escala masiva. Probablemente, los planetas gigantes nunca han dejado de contraerse desde su formación inicial, aunque ahora la contracción se produzca sobre todo a gran profundidad bajo las nubes. A medida que los elementos más pesados se decantan poco a poco hacia el centro, van chocando con las partículas circundantes en capas más externas. Así, les transfieren parte de su energía y contribuyen a conservar el calor en todo el planeta.

Esta imagen del lado nocturno de Júpiter reúne los anillos a contraluz, las auroras polares y el creciente del propio planeta.



Ío: entre volcanes

Ío es la gran atracción del sistema joviano: un atormentado mundo volcánico y el más próximo al planeta de entre los satélites grandes. Muchos viajeros aún conservan como un tesoro el traje espacial manchado de azufre como recuerdo de aquella visita, pero algunos tienen cicatrices del encuentro con este mundo violento e impredecible, y un puñado de ellos nunca regresó.

La razón de tanta actividad en Ío estriba en que la atracción gravitatoria de Júpiter, similar a un tornio, lo amasa de manera periódica. Las regiones más calientes del núcleo y el manto, debajo de la superficie, son mucho más maleables que la superficie y se han convertido en el equivalente interplanetario de una de esas bolas de goma que supuestamente alivian el estrés a ejecutivos con exceso de trabajo. Como ellas, el interior se calienta con el constante manoseo del planeta y eso ha permitido que el interior de Ío siga fundido, cuando, de otro modo, se habría enfriado y solidificado hace mucho tiempo. Este efecto se denomina calentamiento de marea y, como veremos luego, hace que los satélites del Sistema Solar exterior sean mucho más interesantes de lo esperable.

A Ío se lo reconoce de manera generalizada como el mundo más volcánico de todo el Sistema Solar; posee varias docenas de volcanes activos simultáneamente, pero no cuenta con contemplar el tipo de vulcanismo que se observa en el Vesubio o en Hawái. Las tripas de Ío contienen gran cantidad de compuestos químicos basados en el azufre, que son mucho



Los volcanes de Ío destacan como lívidos moratones, mientras su escarcha sulfurosa crea terrenos más claros.



A medida que Ío recorre su órbita y varía su distancia a Júpiter, éste lo comprime y lo libera de forma alterna, lo cual calienta su interior.

Ío permanece suspendido ante las nubes de Júpiter en esta imagen que la sonda espacial *Cassini* tomó durante su paso junto a Júpiter en 2001, de camino hacia Saturno.





Los penachos de azufre resultan más fáciles de ver cuando el propio Ío se muestra como una lúnula y la mayoría de la luz del sol incide sobre el satélite desde detrás.

más ligeros que la lava terrestre, basáltica y rica en hierro. Además, el azufre posee ciertas propiedades químicas únicas que le permiten adoptar diversidad de formas que van desde un material amarillo polvoriento hasta una sustancia viscosa y pegajosa marrón, o alquitrán negro. La superficie de Ío es una mezcla de todas esas variantes y algunas más que reciben el nombre técnico de alótropos. Añada una variedad de compuestos esenciales como el dióxido de azufre y obtendrá la receta para crear un mundo lleno de colorido en el que, sin embargo, se añoran los azules y verdes de la Tierra.

Desde órbita Ío se asemeja a una pizza mohosa, pero en la superficie se parece más a las secuelas de un incendio en una fábrica de velas. El azufre erupciona hasta la superficie en maneras muy distintas, que van desde bullentes calderas volcánicas hasta surtidores polvorientos. Con el tiempo, se forman gruesos depósitos alrededor de las chimeneas que las bloquean con materia viscosa hasta cubrirlas, obstruir las y extinguirlas. Los antiguos surtidores ya sellados confieren al paisaje un cariz misterioso y orgánico.

Si aterriza cerca de uno de los penachos volcánicos al amanecer o al anochecer, disfrutará de la imagen espectacular del chorro volcánico iluminado por los rayos oblicuos del Sol. El terreno alrededor de los penachos suele estar cubierto por capas de «escarcha» de azufre blanquiamarilla y crujiente, y si permanece durante varios minutos probablemente también quedará cubierto usted. La escarcha se forma cuando el



GÁSERES EN MARCHA

Los penachos sulfurosos de Ío, como muchos volcanes del Sistema Solar exterior, se rigen por el mismo principio que los géiseres. El magma caliente que empuja desde el interior del planeta hacia el exterior tropieza con una costra bastante fría de dióxido de azufre atrapado en el subsuelo. El dióxido de azufre se calienta con rapidez hasta alcanzar el punto de ebullición pero, como está atrapado bajo el suelo, no consigue hervir. El líquido «sobrecalentado» circula por el subsuelo hasta que encuentra un punto débil. En cuanto atraviesa la superficie hierve de manera explosiva en la atmósfera casi de vacío con que cuenta Ío, subiendo cientos de kilómetros por encima de la superficie y parte de él nunca vuelve a caer.



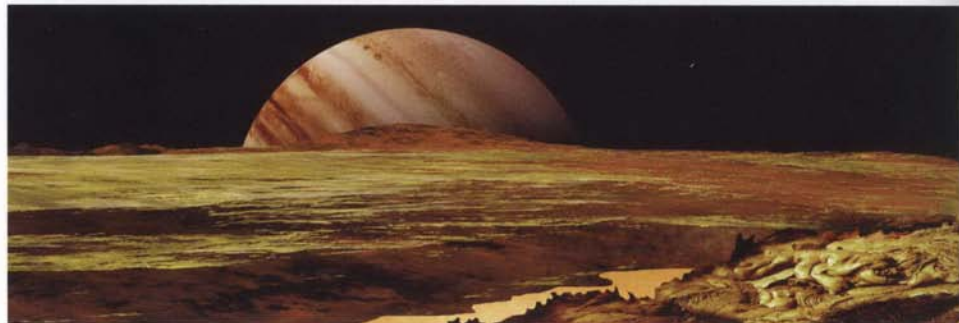
TECTÓNICA DE ÍO

Tal vez sorprenda, pero no todos los accidentes de Ío son volcánicos. Como el interior alberga temperaturas tan altas, también existe un grado ligero de tectónica de placas. No hay ninguna señal de que la corteza esté hoy separada en placas, pero hay regiones donde zonas contiguas del paisaje parecen haber sido empujadas en direcciones opuestas (presumiblemente por el desplazamiento de células de convección en el manto subyacente). Estas «zonas arrugadas» han levantado algunas cordilleras montañosas. Le recomendamos visitar el Monte Tohil, un pico espectacular que se alza 5400 km por encima de la superficie circundante en medio de una región de tierras altas de 300 km de extensión.

azufre pulverulento expulsado por el penacho se desliza poco a poco hasta la superficie debido a la débil gravedad de Ío. Pele es uno de los surtidores volcánicos más espectaculares de Ío y también tiene importancia desde una perspectiva histórica. Debe su nombre a la diosa hawaiana de los volcanes y fue el primer volcán activo que se detectó en Ío (y fuera de la Tierra). Los científicos de la misión *Voyager 1* quedaron estupefactos cuando aquella sonda espacial pionera giró las cámaras hacia atrás cuando se alejaba de Ío y reveló inmensos penachos de material que se alzaba sobre el limbo del satélite. Cuando la sonda *Galileo*, la primera que orbitó alrededor de Júpiter, acudió allí casi veinte años después, este volcán aún seguía activo y con la misma intensidad, y parece tratarse de un potente géiser con unas reservas casi inagotables de «combustible» de dióxido de azufre.

Lagos de lava

Los accidentes más espectaculares de Ío los constituyen, sin duda, las calderas volcánicas: inmensos lagos de lava sulfurosa que se forman de manera periódica en la superficie de Ío. Por lo común, es seguro realizar vuelos rasantes sobre ellos, pero si quiere recorrerlos a pie, deberá tener cuidado. En esas zonas, el suelo suele consistir en poco más que una capa fina de azufre crujiente que se ha formado alrededor del borde de la caldera. Incluso bajo la débil gravedad de Ío (que sólo asciende a la quinta parte de la terrestre) hay que elegir con precaución el lugar donde deje caer su peso.



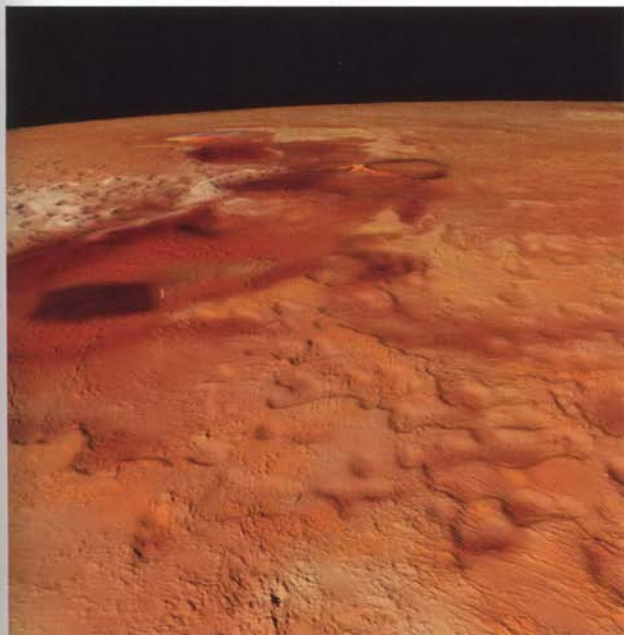
Orto de la masiva esfera de Júpiter en el paisaje sulfuroso de Ío.

La superficie de Ío está salpicada por más de 200 calderas que superan los 20 kilómetros de ancho. Parece haber dos variedades. La mayoría contiene lagos de azufre fundido a temperaturas bastante bajas (aunque quemarían con facilidad a través del traje espacial en cuestión de segundos, de modo que uno se confíe!). Algunos abrasan y contienen rocas fundidas de silicatos que apenas difieren de algunos volcanes terrestres. La lava fundida sale de estas calderas y fluye por la superficie de un modo muy semejante a como sucede en la Tierra.

Con tantos chorros, emisiones, erupciones y escapes generalizados, la superficie de Ío se regenera a un ritmo fabuloso. La mejor estimación actual considera que despiden suficiente materia cada año como para cubrir todo el paisaje hasta una profundidad aproximada de 5 mm. Aunque las erupciones son localizadas, aún queda suficiente material como para mudar bastante rápido la geografía global. Si piensa ir a algún lugar concreto, le aconsejamos que lo haga pronto. Si se demora unos años, quizá lo encuentre irreconocible y hasta ilocalizable. Además, asegúrese de usar mapas actualizados!



No se acerque demasiado a un penacho de azufre. Aunque se enfrían con rapidez y no supone riesgo alguno el volar a su través, desde la superficie son otra historia.



La remodelación del paisaje circundante que producen las calderas volcánicas de Ío se aprecia mejor desde una órbita baja.

Europa

El segundo gran satélite de Júpiter atrae casi tantos visitantes como Ío, pero la helada Europa sólo se mira, no se toca. Desde los primerísimos días de la era espacial ha sido una reserva natural, de acceso prohibido para turistas. Así que, si lees esto y no le apetece dedicar diez años a reciclarse como astrobiólogo y rellenar montañas de documentos administrativos, tal vez prefiera resignarse a disfrutar de las vistas desde una órbita baja.

Incluso a distancia, Europa destaca frente a las otras lunas. Mientras las demás son en su mayoría marrones o grises, Europa es blanca con un ligero matiz rosado. A medida que nos acercamos, los rasgos rosáceos empiezan a resolverse en marcas entrecruzadas que recorren toda la superficie. Más de cerca, empieza a apreciarse algo más; aunque Europa presenta un montón de rasgos superficiales, es tan lisa como una torta especialmente lisa. No tiene montañas ni valles profundos, y hasta los cráteres de impacto parecen haber sufrido un ataque de nihilismo, con bordes desplomados hacia la superficie como preguntándose «¿para qué?».

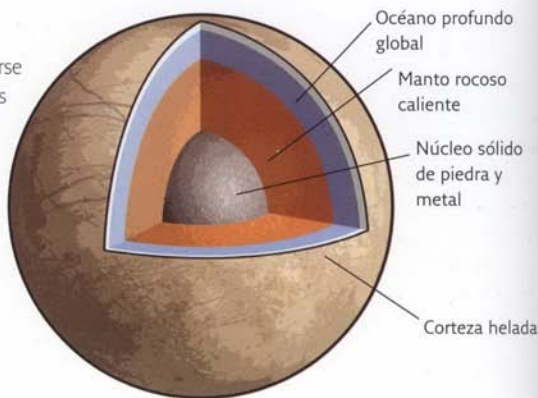
Una metáfora muy usada para definir Europa la identifica con una bola de billar. Sin embargo, se describe mejor si imaginamos la Tierra sin relieves superiores a un par de cientos de metros, sin mares profundos, ni fosas mesoceánicas... no gran cosa, en realidad.

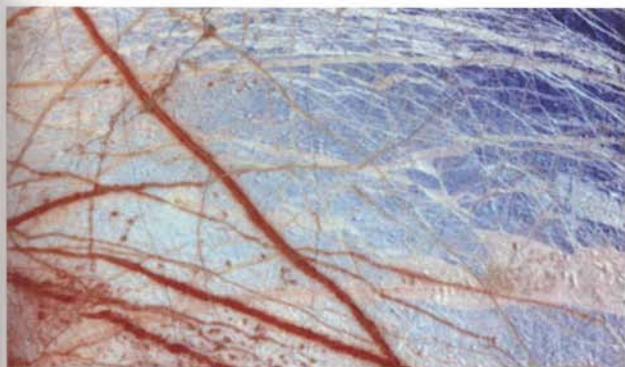


Una imagen distante de Europa revela multitud de grietas por toda la superficie que, sin embargo, afectan poco a la llaneza generalizada de este satélite.

INTERIOR DE EUROPA

La corteza helada de Europa puede adentrarse hasta diez kilómetros bajo la superficie antes de dejar paso al océano global. El mar en sí podría medir 100 km de profundidad y recibiría calor desde abajo por la dilatación y la compresión de las tripas rocosas del satélite. La mayoría del calor se genera en su corteza semifundida y podría haber surtidores volcánicos submarinos en la parte superior del manto. En el centro radica un núcleo de roca solidificada.





No parece la receta más apropiada para un mundo interesante, pensará usted... En efecto, si no fuera porque esta llaneza indica lo que ocurre verdaderamente en Europa. La gran pista procede de los cráteres; la manera en que se alisaron a pesar de encontrarse en un satélite con una gravedad bastante débil indica que la superficie de Europa no es lo que aparenta. Además, hay tan pocos cráteres en comparación con otros mundos de esta región del Sistema Solar que es evidente que algo ha regenerado la superficie de Europa.

Acérquese todo lo que pueda a la superficie de Europa (la tenue atmósfera de oxígeno no daña la mayoría de las naves espaciales) y, si ha visto alguna vez los viejos casquetes polares terrestres, probablemente tendrá la impresión de haber vivido esto antes. Desde unas pocas decenas de kilómetros de altura, la superficie de Europa parece hielo a la deriva. No el hielo sólido ultracongelado que se ve en otros satélites, sino hielo a la deriva suelto, fragmentos muy próximos entre sí que parecen a punto de separarse en cualquier instante.

Desde luego, no es así. Intente ver el mar sobre el que flotan y verá que no existe. Si hubiera agua expuesta en la superficie de Europa, las condiciones de casi vacío la evaporarían al espacio a pesar de las temperaturas inferiores a cero grados que imperan en la órbita joviana.

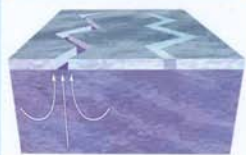
Esto no significa que no haya agua líquida, por supuesto. Lo que pasa es que está encerrada en el interior. Ahora sabemos que existe un mar global bajo el hielo de Europa, aunque los geólogos siguen discutiendo la cantidad exacta de agua y la profundidad que alcanza el hielo bajo el cual se

Esta fotografía en color realizado de la sonda espacial *Galileo* muestra las distintas edades de la superficie. El azul oscuro es hielo antiguo de agua pura. El rojo revela por dónde ha brotado el agua contaminada con elementos químicos a través de las grietas}



HIELOS MOVEDIZOS

Aunque la superficie de Europa no esté tan suelta como nuestros hielos árticos a la deriva, su material tampoco está completamente firme. Las corrientes del agua subyacente arrastran los bloques de hielo en distintas direcciones y, además, la gravedad de Júpiter incide en los puntos débiles y abre grietas en la superficie. Cuando el agua brota desde el interior, se evapora en la atmósfera antes de congelarse y sellar el hueco. Pero aunque la piel de Europa cicatrice con bastante rapidez, queda llena de marcas. El hielo nuevo está mezclado con elementos químicos del mar subyacente que le confieren una tonalidad rosácea manifiesta.

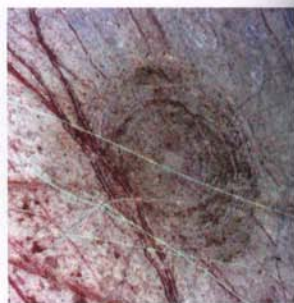


encuentra atrapada. La idea básica es que, como en Ío, la gravedad joviana también amasa el núcleo de Europa, el cual acumula calor suficiente como para desencadenar erupciones volcánicas y elevar la temperatura de la cobertura de hielo como para fundirla por completo.

Pero, por interesante que sea toda esta geología, normalmente no bastaría para prohibir el acceso a todo un mundo. La razón de ello es mucho más emocionante. Los científicos quieren mantener Europa en condiciones prístinas porque es uno de los lugares con más probabilidades de cobijar vida dentro de todo el Sistema Solar.

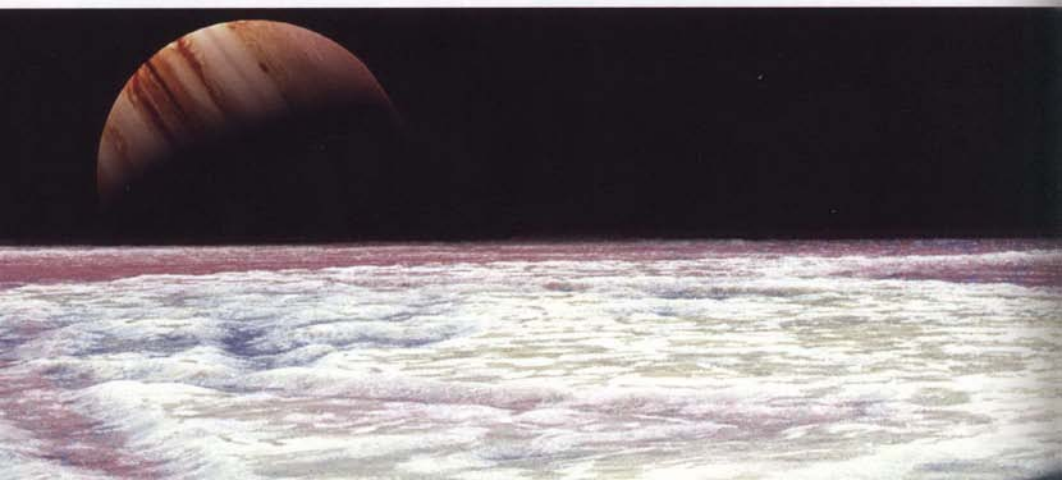
¿Por qué una bola de nieve ultracongelada, casi sin aire y tan alejada del Sol iba a ser un buen lugar para buscar vecinos? La respuesta reside en el agua. Durante siglos, los científicos solían creer que toda la vida de la Tierra dependía de la luz del Sol como fuente energética última. Pero a finales del siglo xx empezaron a descubrir lo equivocados que habían estado. Algunos de los resquicios más desagradables de la Tierra resultaron estar repletos de organismos denominados «extremófilos». Estos marginados de la lucha en la gran superficie echaron un vistazo a la luz del Sol, decidieron que estaba sobrealimentada, y optaron por seguir estilos de vida alternativos alrededor de surtidores del fondo del mar, en rocas volcánicas calientes y en aguas subterráneas ácidas (y, ¿quiénes somos nosotros para juzgar el estilo de vida elegido por nadie sólo porque coma piedra o metabolice azufre para vivir?).

En la Tierra, las comunidades de los surtidores volcánicos de los fondos oceánicos profundos constituyen las formas de



Las ondulaciones de este cráter de impacto antiguo se han desplomado a medida que el hielo de Europa ha ido desplazándose y sólo ha quedado una huella dactilar semejante a un espectro en medio del hielo.

Júpiter sale sobre los serenos blancos y rosados de la corteza helada de Europa.



vida más espectaculares y exitosas de todos estos *hippies*. Remontémonos a la historia evolutiva: un gusano afortunado descubrió que colonias de esas bacterias en su estómago podrían producir todos los nutrientes y la energía que necesitaba. Era el ancestro de los inmensos gusanos tubícolas anclados en vastos jardines alrededor de muchos surtidores actuales que aportan alimento y cobijo a multitud de otros marginados adaptados a una nueva cadena alimenticia.

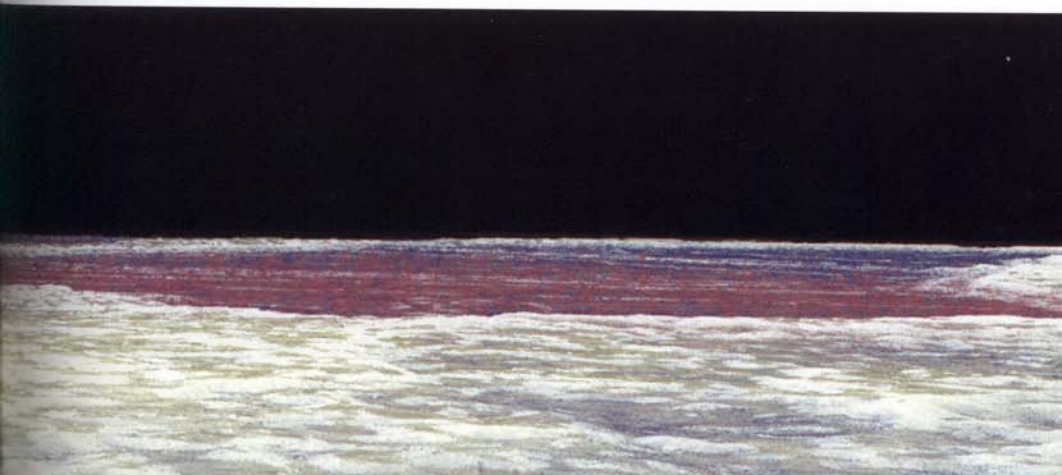
Por tanto, si ocurrió en la Tierra, ¿por qué no en Europa? Quizá las condiciones alrededor de los surtidores volcánicos de este satélite sean tan buenas como en la Tierra y, en tal caso, la cuestión fundamental es si la vida necesita luz solar para tomar la salida en el maratón evolutivo. Aun en caso afirmativo, ¿quién dice que Europa no fuera fertilizada por un impacto cometario ocasional con un paquete de vida ultracongelada que sirviera como punto de partida? Esta idea de «panspermia» cuenta, desde luego, con la aprobación de diversos astrobiólogos.

Puede que nunca lleguemos a saberlo con seguridad. Casi en el mismo instante en que se descubrió el océano oculto de Europa, las antiguas agencias espaciales empezaron a planear el modo de enviar una sonda que atravesara el hielo para averiguar si podía decirle «hola» a algún molusco inteligente residente allí. De momento, todos esos proyectos se han quedado en nada, y las aguas de Europa han permanecido selladas herméticamente. Tal vez algún día tengamos suerte y se abra una grieta por la que podamos dejar caer una sonda submarina. Sin embargo, de momento nos tenemos que contentar con admirar este mundo prístino y misterioso a distancia.



MANTENGA LIMPIA EUROPA

Uno de los grandes problemas que plantea Europa consiste en evitar su contaminación. Las bacterias terrestres son como pequeños tipos duros y, para algunas de ellas, un viaje de quinientos millones de kilómetros a través del espacio no supone mayor engorro que bajar a por tabaco. Si algún día encontramos vida en la superficie de Europa, los científicos no quieren pasarse décadas discutiendo si la llevó allí un pegote de caca de perro pisada por algún técnico del laboratorio varias décadas atrás... Y, si hay vida aquí no queremos, por supuesto, exponerla a los desagradables bichos terrestres. Piense tan sólo en las consecuencias que tuvieron las enfermedades europeas para los nativos americanos.





El hemisferio naciente del satélite más grande de todo el Sistema Solar revela con claridad el mosaico de terrenos diversos que conforma la superficie.

Ganímedes

A pesar de ser menores que Ganímedes, los hermanos de este satélite de Júpiter tienden a acaparar toda la atención. Pero ninguna visita al sistema joviano será completa si no incluye una gira por Ganímedes, el mayor satélite del Sistema solar y un mundo fascinante en sí mismo.

A primera vista, se entiende con facilidad que Ío y Europa acaparen el protagonismo mientras que Ganímedes, el hermano mayor, permanece en la sombra. Es un objeto gris y blanco con muchos cráteres en algunas regiones y ningún signo manifiesto de la actividad observada en Ío y Europa. En cambio, más de cerca, la cosa cambia. Algunas partes del astro empiezan a mostrarse como un lago helado en invierno, y esta impresión no difiere mucho de la realidad. Otros fragmentos parecen una especie de enlucido decorativo, como si hubieran arrastrado un peine por la superficie antes de que se solidificara del todo para trazar así largas franjas de crestas y valles paralelos.

Desde órbita se nota que Ganímedes cuenta con un campo magnético bastante intenso, lo que sugiere que podría tener un núcleo fundido en el centro, como la Tierra. ¡Pues vaya cosa!, pensará usted: Ío y Europa también cuentan con núcleo, manto y corteza de modo que, si Ganímedes es más grande, también albergará más calor.

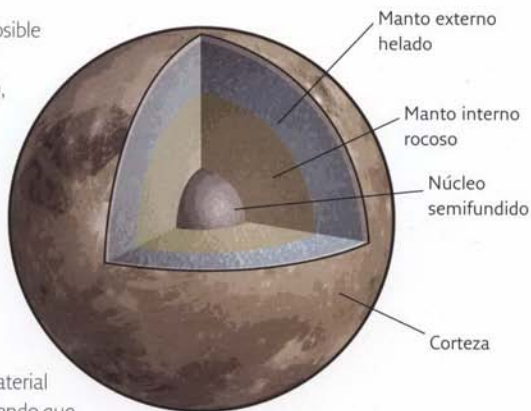


¿OTRO OCÉANO?

¿Alberga Ganímedes otro océano bajo la corteza? Parece bastante probable pero no hay pruebas tan concluyentes como en el caso de Europa y Calisto (véase p. 136). En realidad, Ganímedes parece un candidato mucho más probable que Calisto a contar con una capa salada de agua. El campo magnético natural de este satélite gigante empaña un poco los signos, pero sigue pareciendo muy probable que haya un océano justo debajo de la superficie, tal vez 160 km por debajo del hielo y de varios kilómetros de profundidad. Quien consiga llegar con un taladro de las dimensiones adecuadas quizá logre reservarse un sitio en los manuales de historia de la ciencia...

INTERIOR DE GANÍMEDES

El inmenso tamaño de Ganímedes y el posible calentamiento de marea que sufrió en el pasado (véase el recuadro de la izquierda), le han permitido diferenciarse en varias capas diferentes. Probablemente, el núcleo alberga calor suficiente para seguir fundido, al menos en parte, en la actualidad, y sobre él hay un manto interno consistente en su mayoría en roca. Luego hay un manto externo movedizo de hielo, que parece haber actuado como el manto superior de la propia Tierra, arrastrando «placas» de material de la superficie a un lado y otro, y permitiendo que entre ellas se formara un terreno estriado.

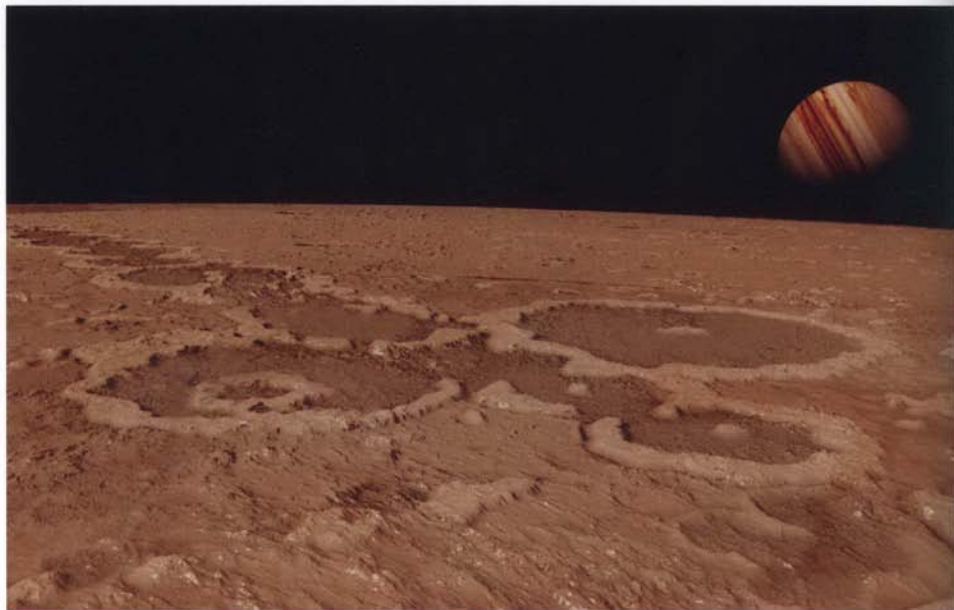


Eso es lo extraño: Ganímedes no recibe ni un ápice del vapor de marea que Júpiter le propina a Ío y Europa. De acuerdo, aún así sigue siendo grande y retendrá mejor el calor. Sin embargo, el mundo más cercano con el que establecer una comparación real, Calisto (véase p. 136), no es mucho menor y parece haber sido una bola congelada de roca inerte desde que se formó.

En cualquier caso, antes de desvelar el secreto del todo, veamos qué ofrece la superficie. La mayoría de la gente se dirige en primer lugar a las crestas, porque parecen lugares más interesantes, pero para apreciarlas como es debido, es mejor comenzar por las manchas oscuras.

Memphis Facula es interesante. Un cráter de 350 km en medio del terreno oscuro con un fondo de hielo liso conocido como palimpsesto (y que encontraremos aquí y en Calisto. Un palimpsesto es un manuscrito antiguo borrado y sobre el que se ha vuelto a escribir). Probablemente un meteorito grande impactó contra Ganímedes y excavó un agujero inmenso en línea recta a través de la corteza hasta llegar a la aguanieve subyacente. Cuando el hielo acudió a sellar el hueco, se solidificó y creó una superficie nueva, clara y brillante.

Esto parece haber sucedido en muchos lugares de Ganímedes, y con los impactos mayores se produjo otro efecto. Al sobrevolar Galileo Regio se aprecian depresiones profundas en la superficie. Cuesta seguir sus restos con todos los cráteres posteriores



superpuestos y el terreno estriado más claro que los separa, pero los surcos se muestran dispuestos en anillos concéntricos que recuerdan a paredes de cráteres.

Cuando el hielo de la superficie afloró para rellenar los cráteres de los impactos mayores, parece que arrastró consigo trozos de corteza. La corteza no se desplazó muy lejos antes de frenar en seco, pero sí se desgajó lo bastante como para formar hondas fallas que permitieron que partes de la corteza se deslizaran debajo de otras.

Ganímedes es el primer blanco de impactos meteóricos y cometarios. Los satélites galileanos se encuentran en plena línea de fuego cuando la gravedad de Júpiter acerca a sus dominios los objetos inocentes que pasan por allí. Véase, por ejemplo, la espectacular cadena de cráteres Enki Catena, de más de 160 km de longitud, que se formó cuando los fragmentos desmembrados de un cometa chocaron con esta luna.

Enki Catena se debe al impacto de una cadena de fragmentos cometarios que se encontró con Ganímedes cuando iba camino de Júpiter.

Uruk Sulcus

Sulcus es el término latino para lo que nosotros llamamos «terreno estriado», es decir, las partes brillantes de Ganímedes



EXPLICACIÓN DE GANÍMEDES

¿Cuál es la gran diferencia entre Ganímedes y Calisto? Costó resolverlo, pero al final resultó deberse al calentamiento de marea. Ío y Europa pudieron apartar a Ganímedes de su cómoda órbita circular y situarlo en una más alargada que lo somete a muchas más tensiones y un mayor calentamiento de marea. Esto pudo suceder hace unos mil millones de años. Hasta entonces, Ganímedes era como Calisto, pero el calentamiento fundió el interior y le permitió estratificarse y desarrollar el núcleo fundido actual. El movimiento del manto helado impulsó fragmentos de la corteza en direcciones opuestas y creó fallas que con el tiempo se escindieron en líneas paralelas. El hielo afloró y así se formaron los *sulci*.

que parecen peinadas. De todos modos, el nombre sólo significa «surco» o «zanja». Uruk Sulcus se cuenta entre las regiones de este tipo más impresionantes. Si se sobrevuela a baja altura llega a apreciarse la espléndida cadena de surcos que se entrecruzan en media docena de direcciones distintas.

Lo interesante de los *sulci* es que constan de una mezcla de terreno reciente y antiguo, lo que sugiere que una parte de la superficie se desintegró, se separó e incorporó materia helada nueva para cubrir los huecos. Esto difiere bastante de lo que sucede en Europa, por ejemplo, donde una simple fractura se rellena con materia nueva y, por lo común, a ambos lados llega a verse dónde reside el accidente antiguo. En Ganímedes es más habitual encontrar la mitad de un accidente intacto y la otra mitad perdida en la confusión de un *sulcus*.

Una ojeada más de cerca o una expedición sobre el terreno revelan con rapidez que no todos los *sulci* son iguales. En algunos casos, trozos de la corteza se han limitado a desplegarse al abrirse grietas a ambos lados. Los accidentes de este tipo se denominan fosas tectónicas (o *graben*), y lo más probable es que se formaran allí donde la corteza de Ganímedes se separó con lentitud. En cambio, en otros lugares, las crestas separadas son bloques inclinados de corteza que recuerdan a fichas de dominó caídas y dispuestas unas encima de otras. Éstas probablemente se derrumbaron con algo de ángulo allí donde la corteza se apartó a un ritmo mucho más rápido.



Los *sulci* atraviesan los cráteres más antiguos de Ganímedes y revelan cómo se formaron al dilatarse la corteza del satélite.

Calisto

Si Ío y Europa son el John y el Paul de los satélites galileanos, y Ganímedes es George, entonces Calisto tiene que ser Ringo. A menudo se lo califica con injusticia como el aburrido, sobre todo porque es un mundo oscuro comparado con los otros, y con muchos más cráteres que sus vecinos interiores. Pero Calisto (como Ringo) tiene encantos ocultos...

Pero desde medio millón de kilómetros o menos, Calisto ofrece el aspecto de una bola que no desentonaría nada en el techo de una discoteca de las de antes. La cubierta superficial oscura parece tener muy poca profundidad y cualquier impacto medio decente consigue picarla y dejar a la vista el hielo brillante y limpio que yace por debajo y esparcirlo en forma de rayos eyectados.

La distancia que lo separa de Júpiter implica que Calisto no recibe todo el vapuleo de marea que se reparte entre los satélites interiores, y ni siquiera participa con estos el juego de perturbaciones mutuas que provocaría episodios esporádicos de calentamiento de marea, como le ocurrió a Ganímedes. En consecuencia, Calisto ha permanecido helado y su interior consiste en un revoltijo desordenado de roca y hielo. Como cuenta con poca o ninguna actividad geológica para renovar el paisaje, esta luna ha conservado casi cada salpicadura de la lluvia constante de cráteres que ha soportado durante varios miles de millones de años. Hay quien lo considera el objeto con más cráteres de todo el Sistema Solar: su tamaño considerable y su posición en la línea de fuego de Júpiter lo han sometido a más impactos que un muñeco de pruebas de choques con vehículos.

El cráter más impresionante de todos es la cuenca Valhalla, un centro de diana enorme, blanca y helada en medio de la oscuridad. Las paredes de la cuenca dibujan anillos brillantes sobre 2600 km de la superficie del satélite, mientras que la región central es uno de los diversos palimpsestos de Calisto. Estos equivalen a los mares lunares, regiones donde un impacto grande permitió que el hielo semifundido emergiera del interior del planeta y cubriera el fondo del cráter. Constituyen casi los únicos lugares de Calisto donde se han borrado los cráteres antiguos.



Desde lejos, Calisto revela pocos rasgos atractivos, aparte de mares de cráteres, porque la superficie ha cambiado muy poco desde tiempos remotos.



LAS AGUAS DE CALISTO

El océano de Calisto se delata a través del comportamiento que le confiere el inmenso campo magnético de Júpiter. La interacción entre el agua salada y el magnetismo crea un campo magnético débil e «inducido», fácil de distinguir del tipo de campo magnético que produce el hierro en el núcleo de un planeta o satélite. Además, este tipo de núcleo está completamente descartado de todos modos en Calisto.



Todo en Calisto está relacionado con los cráteres de impacto, de un modo u otro. Consideremos, por ejemplo, las insólitas agujas al sur de la cuenca de impacto Asgard. Estos pináculos de hielo brillante rodeados por escombros pulverulentos parecen termiteros, pero incluso ellos se explican a través de los cráteres. Son trozos de hielo sucio lanzados por el choque que formó la propia cuenca Asgard, y que quedaron enterrados bajo el paisaje hace millones o miles de millones de años. El calor del Sol ha ido evaporando buena parte del hielo y, de este modo, los bloques se han ido erosionando hasta convertirse en los pináculos actuales; las piedras y el polvo se desplomaron hacia los lados y se concentraron alrededor de la base.

Sin embargo, el mayor secreto de Calisto permanece encerrado bajo la superficie. Por extraño que parezca, este mundo helado conserva de algún modo un océano líquido de agua salada bajo la superficie. Los primeros indicios de ello llegaron de la sonda *Galileo* enviada a Júpiter a finales del siglo xx, y es probable que este océano se halle unos 200 kilómetros por debajo de la superficie y mida entre 10 y 100 kilómetros de profundidad.

Los pináculos de Calisto son buenos candidatos para recibir el título de «El paisaje más insólito del Sistema Solar».

Amaltea

Consulte cualquier mapa del sistema joviano y comprobará lo fácil que resulta pasar por alto Amaltea. Pero, en nuestra opinión, se trata de un destino obligado, no ya por este trozo de roca en sí, sino por las vistas que ofrece, que se cuentan entre las más espectaculares del Sistema Solar.

Amaltea mide 262 km de largo y 150 km de ancho. En un primer acercamiento se asemeja mucho a un asteroide grande salpicado con cráteres de varios tamaños, entre los que se cuenta el inmenso Pan, de 90 km. Pero una observación adecuada de la superficie revela que hay algo extraño. La roca parece haber formado parte de un mundo mayor. Con tantos cometas y asteroides atraídos hacia sus dominios por el cercano Júpiter, no sorprende que al menos uno de sus satélites se situara en un lugar equivocado en el momento inoportuno. Buena parte de la luna logró volver a ensamblarse, pero la reconstruida Amaltea sigue hoy llena de huecos.

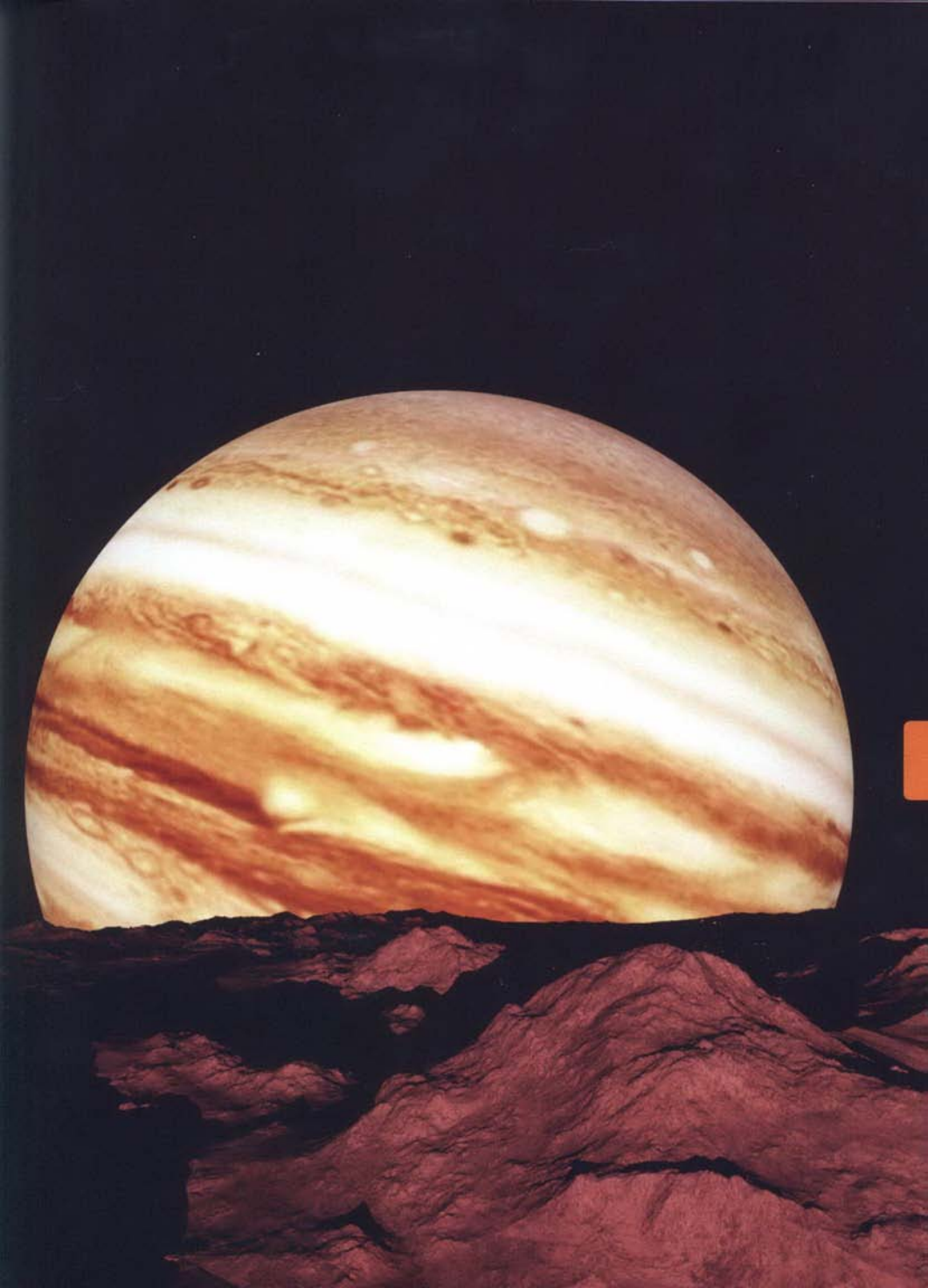
Hoy es fascinante posarse en este mundo arruinado y disfrutar de las vistas. Desde aquí, las cimas de las nubes jovianas sólo distan 110 000 km. El planeta llena por completo un tercio del campo de visión y también se puede contemplar cómo se arremolinan los patrones de nubes, así como las sombras de los satélites galileanos en su pausada danza, siempre que estemos bien protegidos y medicados contra la radiación.

Amaltea alberga otro misterio. Al caminar por su superficie crujiente, notamos que la corteza tiene un color rojizo manifiesto. De hecho, es uno de los objetos más rubicundos del Sistema Solar. Y, más extraño aún, algunas pendientes empinadas, como las paredes de cráteres, exhiben una tonalidad verdosa evidente. Una explicación posible es que Amaltea vaya barriendo el azufre coloreado que cae hacia Júpiter procedente de Ío pero, entonces, ¿por qué no tiene la superficie amarilla o naranja? Tal vez la exposición permanente de Amaltea a los cinturones de radiación jovianos altere el color del material que se acumula en él procedente de Ío, lo que confiere a este satélite ese aspecto rojizo.



A distancia, Amaltea parece un satélite interior muy corriente de figura irregular, como los que existen por docenas alrededor de todos los planetas gigantes.

Las vistas desde Amaltea son las más espectaculares de todos los satélites jovianos: Júpiter ocupa todo el horizonte en una dirección.







El señor de los anillos

Hay quien descarta **Saturno** por considerarlo una versión poco interesante de Júpiter, pero ofrece mucho más de lo que parece. Descienda a través de su niebla externa y encontrará un mundo tan colorido y activo como Júpiter. Salte de un lado a otro en la ingravidez entre los cascotes del tamaño de casas que conforman el fabuloso sistema de anillos. Visite Mimas, la auténtica «Estrella de la Muerte» del Sistema Solar. Escale los afilados precipicios de Hiperión y aterrice en Titán, el extraño mundo helado donde el metano se comporta como el agua en la Tierra.



La maravilla anillada del Sistema Solar tal vez constituya el destino más exótico y a la vez (relativamente) accesible desde la Tierra. Más allá de la órbita de Saturno, las vacaciones se convierten en un viaje de exploración donde sólo se adentran los viajeros independientes más intrépidos. Sin embargo, Saturno en sí sigue atrayendo grandes cantidades de turistas, motivados por el encanto de sus anillos espectaculares y por un sistema de satélites tan exótico como el que rodea Júpiter.

Aunque tenga que aproximarse a Saturno cuando los anillos se muestran de perfil, las sombras que proyectan sobre el planeta ofrecen la oportunidad de tomar una fotografía preciosa.

Cómo llegar

Hasta con una nave de gran potencia hay que tener agallas para el viaje de regreso. Saturno casi dista el doble que Júpiter y lo mejor para llegar allí con rapidez es usar la catapulta gravitatoria del propio Júpiter. Consulte con un asesor de viajes las posibles rutas de vuelo, aunque la cita con Júpiter sea breve, si se planifica bien da tiempo a contemplar el sistema joviano y hasta se puede pasar junto a alguno de los satélites principales. Estudie, además, otras oportunidades de pasos cercanos para amenizar el viaje. Un

asteroide pequeño o un cometa sirven de entretenimiento durante varios días y, créanos, ¡uno llega a Saturno harto de jugar al Scrabble de viaje!

Saturno ocupa el segundo puesto, precedido por Júpiter, en cuanto a tamaño, y completa una órbita alrededor del Sol cada 29.4 años. Si piensa tomar un vuelo turístico regular, tenga en cuenta que la demanda y los precios tienden a bajar cada 15 años; recuerde que Saturno está inclinado sobre su eje, como la Tierra. Durante cada giro orbital, el ecuador (y el plano de los anillos que pende sobre él) se alinea dos veces con el plano de la órbita terrestre (desde el cual partimos nosotros). Como los anillos son tan delgados, desaparecen casi por completo durante esos «cruces del plano de los anillos». Una vez allí no se aprecia ninguna diferencia, pero durante los dos últimos meses de viaje Saturno resulta mucho menos llamativo a la vista. Los apasionados de la fotografía, sobre todo, consideran un veneno esos periodos de cruce. Ellos (y la mayoría de la gente) prefieren aproximarse al planeta durante el verano o el invierno saturnales, cuando uno de los dos polos se inclina hacia el Sol y los anillos se despliegan abiertos por completo hacia la Tierra y hacia la nave en vuelo. Tal vez salga más económico viajar fuera de temporada pero, al igual que en la Tierra, quizá las fotos de las vacaciones resulten de una monotonía decepcionante...

Como los anillos llaman tanto la atención, el propio globo de Saturno suele considerarse el primo soso de Júpiter. Esto no es del todo justo. De hecho, la frase «pálido e interesante» podría haberse inventado para este mundo con tintes sepia, tal como descubriremos enseguida.

DATOS DE SATURNO



Puntos positivos:

Los anillos, por supuesto. Una variedad inmensa de satélites



Puntos negativos:

Un buen trecho de viaje



Duración del día:

10 horas 39 minutos



Duración del año:

29,37 años terrestres



Gravedad en la cima de las nubes:

1.1 g



Temperatura en superficie:

-140°C

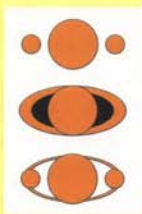


Retardo en comunicaciones:

71 minutos o más

LA CUESTIÓN DE LOS ANILLOS

Aquel italiano astuto llamado Galileo Galilei (véase p. 121) probablemente fue el primero en notar que había algo raro en la figura de Saturno, aunque la escasa potencia de sus telescopios no le permitió concluir qué sucedía en realidad. En 1610, anunció que Saturno estaba acompañado por dos satélites grandes, mientras que otros astrónomos creían que tenía «asas». Ambas hipótesis cayeron en 1612, cuando Saturno se situó de perfil hacia la Tierra y los anillos desaparecieron. Hubo que esperar hasta 1655 para que Christiaan Huygens interpretara que el planeta está rodeado por un anillo delgado.





Vistas desde la órbita

El paisaje nuboso de Saturno parece una versión blanquimarillenta de Júpiter. A medida que nos acercamos, se percibe casi tan activo como el propio Júpiter, sólo que los sistemas meteorológicos saturnales tienden a conllevar tormentas de color blanco sucio que circulan entre bandas nubosas de tonos violáceos, con algún remolino de tintes sepia. Como si se tratara de un televisor con los colores rebajados...

De hecho, esa comparación no difiere mucho de la explicación real. La atmósfera saturnal se parece mucho a la joviana en términos químicos, y las diferencias aparentes se deben a una capa de neblina blanca situada a gran altura que mata todo el color, aunque no oculte por completo los fenómenos meteorológicos en sí.

Estas nubes a gran altura consisten en cristales de amoníaco que pululan por la gélida atmósfera superior. En teoría, Júpiter podría desarrollar una capa similar de neblina externa, pero como está más próximo al Sol y cuenta con una fuente más potente de calor interno, las capas superiores experimentan

Incursión a lo largo del anillo D (véase p. 147) en una órbita de baja inclinación. Nótese la pálida proyección de sombras sobre el hemisferio opuesto de Saturno.

PARA ELUDIR LOS ANILLOS



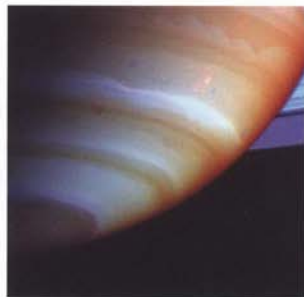
Las órbitas inclinadas alrededor de Saturno sólo son seguras si se mantienen muy cerca del planeta o muy alejadas del mismo, allí donde las partículas de los anillos son demasiado menudas como para causar daño. Cualquier error nos conducirá a los anillos principales y pasaremos los últimos segundos de nuestra vida esquivando trozos de hielo del tamaño de casas.

temperaturas demasiado altas. Saturno, por cierto, también dispone de uno de esos generadores internos, probablemente alimentado del mismo modo que el de Júpiter, a través del lento deslizamiento de elementos químicos pesados hacia el núcleo.

Si le apetece zambullirse en la atmósfera saturnal, quizá prefiera evitar las condiciones meteorológicas del ecuador. Allí cae una lluvia constante de micropartículas procedentes de los anillos que se incineran en la atmósfera. Procure situarse en una órbita que atraviese el ecuador con un ángulo más bien agudo, y reducirá al mínimo esta tormenta de granizo microscópico mientras contempla el despliegue impresionante de innumerables meteoros tenues que vuelan a lo largo del plano. Como siempre en los viajes espaciales, más vale prevenir que lamentarse luego, sobre todo cuando el lamento puede convertirse en una experiencia breve y fatal.

Las órbitas con ángulo agudo que nos mantienen cerca del ecuador plantean el problema de que no ofrecen una imagen completa de Saturno. En cambio, si se sigue una órbita elíptica alta, se consiguen cambios de orientación económicos (en el extremo de la órbita se viaja mucho más despacio, de modo que el encendido de motores resulta mucho más efectivo). Como alternativa, siempre se puede planear un encuentro con un satélite interior que sirva de catapulta para cambiar de rumbo.

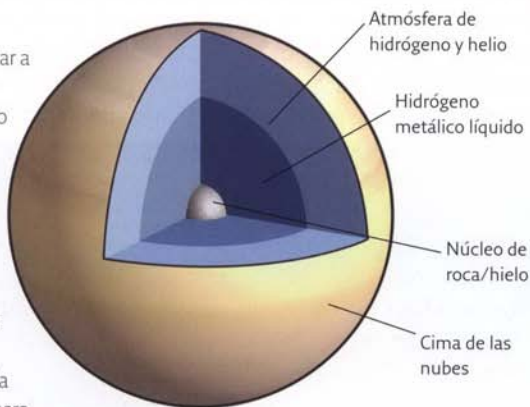
Entrar en órbita polar brinda una experiencia impresionante en muchos sentidos, porque desde este ángulo los ani-



La atmósfera de Saturno experimenta tormentas eléctricas frecuentes. En esta imagen de color falso, el fulgor rojizo de la parte superior es una tormenta descomunal.

INTERIOR DE SATURNO

La estructura interna de Saturno es muy similar a la de Júpiter, con una capa nubosa superior y una atmósfera despejada de hidrógeno y helio gaseosos que poco a poco pasan a estado líquido. Allí donde la presión aumenta lo suficiente como para escindir las moléculas en átomos, se forma un océano de hidrógeno metálico líquido que rodea un núcleo central de roca y metal. La mayor diferencia con Júpiter estriba en que las capas externas son más delgadas, mientras que la gravedad global del planeta es muy inferior y la atmósfera superior puede expandirse hacia fuera.



llos se despliegan por completo ante nosotros, abiertos contra el firmamento. Dependiendo de la época del año saturnal, la luz del Sol incidirá directa en el lado meridional o septentrional del plano de los anillos y éstos se convierten en un arco iris brillante y monocromo. Puede que hacia uno de los horizontes los anillos desaparezcan de pronto en el aire, porque la sombra del propio Saturno se proyecta sobre ellos e impide que les dé el Sol.

A medida que se avanza hacia el ecuador, los anillos se vuelven más altos y más delgados en el cielo hasta que, casi demasiado rápido para percibirlo, se estrechan, se tornan invisibles y, luego, empiezan a ensancharse de nuevo. El lado oscuro de los anillos es, en realidad, muy poco más tenue que el lado orientado hacia el Sol: las partículas de los anillos están tan apretujadas entre sí que reflejan una cantidad considerable de luz hacia el lado oscuro de sus vecinas. Cuando vea que los anillos se ensanchan y caen hacia el horizonte, obsérvelos ante el disco del Sol. Entonces, estaremos atravesando la sombra de los anillos que se proyecta en la superficie del planeta. Millones de partículas de tamaños diversos hacen que la luz del Sol parpadee con rapidez y algunos viajeros cuentan que esta experiencia llega a marear.

Anillos sin compromiso

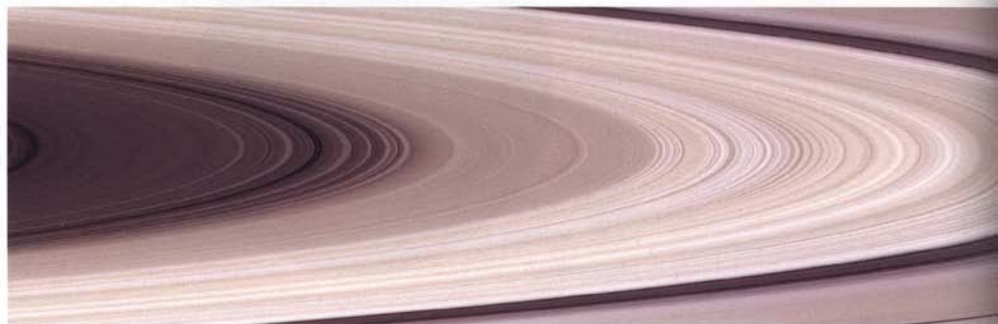
ATRACCIÓN
ESTELAR

En los últimos años, los anillos de Saturno se han convertido en un lugar de ocio para los turistas intrépidos. Una casualidad espectacular de la naturaleza ha creado un parque temático sin gravedad para quien pueda costearse un buen seguro. Aquí, podrá quedar suspendido entre bloques

BIX
SALTE DE PIEDRA EN

PIEDRA CON SEGURIDAD

La gente más experimentada caminando sobre anillos recomienda a quien planea un paseo espacial por los anillos de Saturno que realice primero un curso básico de seguridad. Aun así, aconsejan permanecer atados en todo momento durante el recorrido, si no directamente a la nave, sí al menos a un fragmento grande de los anillos accesible para ponerse a salvo. Es fácil descuidarse mientras se salta de piedra en piedra y ha habido varios incidentes con turistas que agotaron todas las reservas de combustible para maniobrar, quedaron varados fuera del alcance de la nave, y necesitaron misiones de rescate caras y arriesgadas. Por esta razón, también es buena idea depositar combustible de reserva en la roca «base» antes de iniciar una exploración más seria.

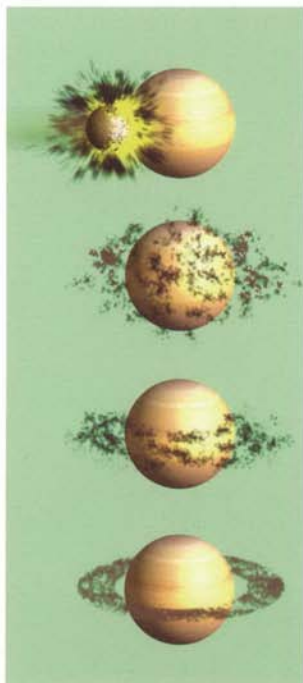


de hielo del tamaño de casas, miles de kilómetros por encima de la amenazante mole de Saturno, saltar de un lugar a otro usando los trozos más pequeños como piedras de paso en un arroyo, o simplemente admirar las vistas espectaculares del interior y los alrededores del plano de los anillos.

Los anillos presentan gran variedad de tamaños y composiciones, y todos merecen una visita para apreciar sus características únicas. En el extremo más próximo al planeta yace el anillo *D*, un plano casi invisible de hielo y partículas pulverulentas microscópicas que se prolonga hasta la atmósfera de Saturno. La combinación del arrastre atmosférico y los efectos del campo magnético de Saturno asegura que el anillo *D* se encuentre en un estado de flujo constante. A medida que las partículas caen del anillo hacia el planeta, son reemplazadas por otras procedentes de lugares más exteriores.

Le sigue el anillo *C*, a menudo llamado el anillo *de crespón*. Éste, repleto de partículas de pocos centímetros de diámetro, es casi diáfano y a su través se ve, por ejemplo, la mole espectacular de Saturno en lontananza.

Pero es en los anillos principales, el *A* y el *B*, donde empieza de verdad lo emocionante. Se trata de territorios peligrosos donde trozos de hielo del tamaño de casas se suceden a corta distancia como conductores en hora punta por la autopista orbital que con frecuencia compiten por tomar la posición y en ocasiones chocan y giran fuera de control. Desde la distancia, los anillos *A* y *B* parecen opacos y proyectan sombras densas en la superficie de Saturno. Más de cerca, se ve que consisten en innumerables anillos independientes muy finos superpuestos unos a otros y de aspecto muy similar a los surcos de un disco de vinilo. A veces aparecen pequeños claros



Una colisión o desintegración en órbita crea una nube de escombros que adoptan órbitas aleatorias diversas. Los choques entre partículas que orbitan en direcciones diferentes no tardan en aplanar la nube de residuos y convertirla en una serie de anillos concéntricos y circulares.

Los anillos principales de Saturno. De dentro hacia fuera: anillo *D*, anillo *C* o anillo *de crespón*, anillo *B*, división de Cassini, y anillo *A* (que incluye la fina división de Encke).





en los anillos debidos al influjo gravitatorio de los satélites interiores de Saturno.

No alcanzamos a ver las partículas individuales hasta que nos situamos casi encima de los anillos. Éstas están confinadas en un solo plano cuya anchura sólo alcanza en ocasiones unos cientos de metros. A veces, las colisiones o encuentros cercanos con algunos de los satélites más próximos lanzan partículas de los anillos a órbitas alejadas del plano, pero las fugas indisciplinadas se reconducen con rapidez hacia la fila por los golpes que reciben en cada paso sucesivo a través del plano de los anillos. Las reglas básicas de circulación se parecen mucho a las terrestres: ¡quien no siga el carril, recibirá un golpe!

Pilotar por el plano de los anillos puede suponer una experiencia peliaguda, de modo que aconsejamos situarse justo por encima o por debajo del mismo. Resulta pasmoso lo fácil que es mantenerse suspendido a tan sólo unas decenas de metros de distancia sin correr ningún peligro. En cambio, si nos vemos obligados a entrar en él, hay que procurar situarse cerca de una de las lunitas, los trozos más grandes de roca y hielo, de unos 100 metros de ancho. Estos gigantes son los coches patrulla de la autopista del sistema de anillos: la gravedad de los mismos mantiene al resto a una distancia prudencial y, como consecuencia, se forman claros delante y detrás de ellos.

Los paseos espaciales por el plano de los anillos constituyen una experiencia emocionante. Da la impresión de que los fragmentos que circulan en dirección contraria nos atropellarán pero contamos con una ventaja decisiva comparados con los erizos que cruzan las vías: si nos sincronizamos bien en la órbita, viajaremos a la misma velocidad que el jardín orbital de rocas. Desde nuestro punto de vista, todo tendrá un estatismo misterioso. La mayoría de los fragmentos de los anillos apenas rotan, capturados por las mareas de Saturno de modo que siempre muestran el mismo lado al planeta. Si se encuentra con trozos grandes en rotación probablemente será señal de que han sufrido una colisión reciente.

A falta de gravedad que nos retenga, es sobrecogedor saltar de una piedra a otra en medio del vacío del espacio. No obstante, asegúrese de que el equipo para maniobrar tenga la carga al completo. Lo ideal sería llevar también un juego de garfios de sujeción para anclarse a la superficie.



MIRIADAS DE SATÉLITES

Incluso después de que Huygens describiera correctamente los anillos de Saturno (véase p. 143), llevó otros dos siglos entender qué eran en realidad. Muchos astrónomos estaban convencidos de que tenían que ser objetos sólidos, pero las fuerzas que actúan a distintas distancias de Saturno no tardarían en romper una estructura tan inmensa. Otros consideraban que debía de ser algún tipo de fluido. Entonces llegó James Clerk Maxwell, un físico escocés conocido sobre todo por sus aburridas pero importantes leyes de la termodinámica (para tormento de los estudiantes de nuestros días...). Maxwell resolvió que los anillos tenían que consistir en incontables objetos pequeños, cada uno de ellos con una órbita propia alrededor de Saturno, y confinados en un solo plano y a un radio fijo por la gravedad del planeta y sus satélites.

Un sinfín de satélites minúsculos se despliega alrededor de Saturno en esta imagen tomada por encima del anillo B.

Mimas

El álbum fotográfico de Saturno de cualquier turista experimentado requiere la inclusión de alguna foto de Mimas. Este satélite no sólo ofrece una plataforma fabulosa para contemplar Saturno de cerca, sino que también es un mundo curioso por sí mismo. Esta luna bastante menuda, de sólo 418 km de diámetro, está dominada por el inmenso cráter Herschel, una abolladura de la superficie tan grande que se extiende desde el ecuador hasta casi el polo norte. Esto le confiere un parecido asombroso con la Estrella de la Muerte de las películas clásicas de *La guerra de las galaxias*.

Tras recibir un impacto de estas dimensiones, sorprende un tanto que Mimas siga estando ahí para contarlo. Asimismo, representa una buena demostración de lo que tienen que soportar los satélites de los planetas gigantes, orbitando estoicamente como patos en un pasillo cósmico de tiro mientras su planeta atrae cualquier objeto de paso al que le apetezca probar suerte con ellos.

Herschel es un lugar excelente para sobrevolarlo a poca altura, ya que ninguna atmósfera obstaculiza la nave. Es incluso probable que el cráter se aprecie mejor a mayor altura porque, si se vuela demasiado rasante, el corto horizonte de Mimas impedirá contemplarlo entero de un solo vistazo.



El cráter Herschel pende amenazante del terminador que separa el día de la noche en una imagen digna de *La guerra de las galaxias*.

Como es el satélite mayor más cercano a Saturno, Mimas es un sueño para los amantes de la fotografía. Aquí, la diminuta luna pende ante las sombras del anillo en el hemisferio norte de Saturno, mientras los anillos cruzan por debajo de ella.



Para disfrutar bien de Mimas aconsejamos aterrizar con un todoterreno de baja gravedad en las proximidades de las antípodas de Saturno, en la cara oculta de Mimas, la región del satélite orientada justo en dirección opuesta al centro de Saturno. No ofrece mucho para contar al volver a casa (la superficie está cubierta de cráteres de todos los tamaños y poco más) pero la diversión está en el viaje, no en el destino. Haga una excursión a pie por el ecuador en dirección al lado orientado hacia Saturno y disfrutará de una de las imágenes más asombrosas del Sistema Solar. No hay que andar mucho hasta detectar un hilo de luz como un tacón de aguja saliendo del horizonte: el plano del sistema de anillos visto de perfil. Si puede esperar a que se ponga el Sol merecerá la pena intentar ver el fulgor de los anillos exteriores, mucho más tenues y separados entre sí.

Poco a poco, los anillos se elevan en el cielo hasta casi partirlo en dos. Entonces empieza a asomar el propio Saturno, una esfera hinchada y blanquiamarilla que asciende lenta por el horizonte. Parece suspendido a una distancia imposible y un acercamiento bordeando el ecuador le confiere un aspecto mucho más insólito porque todo el planeta parece tumbado sobre un costado, con las capas nubosas dispuestas en vertical sobre el horizonte cual cortinas ondulantes. Realmente se trata de una de las atracciones culminantes del sistema saturnal, y la experiencia es suprema cuando se contempla sobre la inmensa cuenca del cráter Herschel.

Saturno y los anillos de perfil sobre las murallas del inmenso cráter Herschel de Mimas.



Mimas suspendido ante el hemisferio hiemal teñido de azul de Saturno, atravesado por sombras de anillos.

Encélado

Lo primero que se aprecia en Encélado es su brillo intenso. Encélado, un veinte por ciento mayor que Mimas y con 512 km de diámetro, es un brillante satélite de color blanco que refleja el 70% de la luz solar que incide en su superficie.

Pero el Sistema Solar es un lugar sucio. Los impactos de meteoritos tienden a mancharlo todo con rapidez, y los cometas no son mejores; en efecto, son bolas de nieve, pero formadas por esa suerte de cubierta marrón que queda en medio de la calle dos días después de una nevada. De modo que el brillo y la blancura de Encélado resultan muy sospechosos. Allí pasa algo extraño, y una ojeada furtiva con prismáticos lo confirma. Encélado apenas exhibe cráteres, de modo que debe contar con algún mecanismo que haya limpiado la superficie en tiempos muy recientes.

Si sobrevuela el lado nocturno del satélite, observe el cielo situado en la frontera de la oscuridad en este mundo. Con un poco de suerte, verá que ese borde se torna de color blanco lechoso, casi como si esta pequeña luna contara con atmósfera. No se preocupe por pasar a través de esas columnas ascendentes de material; de hecho, si la nave porta en el casco uno de esos sistemas para analizar partículas desconocidas en suspensión, aquí podrá ponerlo a prueba. Comprobará entonces que las columnas consisten sobre todo en hielo cristalizado de agua con un poco de dióxido de carbono y metano, expulsados por añadidura. En términos cotidianos, eso es nieve.

Bajo la débil gravedad de Encélado, las columnas lanzan muy lejos su contenido de hielo. Parte del material escapa del todo a la atracción del satélite, se esparce alrededor de la órbita original y se convierte en el anillo *E*, extremadamente tenue y disperso, de Saturno. Sin embargo, la mayoría de esa materia vuelve a caer sobre Encélado en forma de nieve y confiere al paisaje un aspecto de perpetuo país de las maravillas invernal.

Para contemplar de cerca estos penachos, aconsejamos aterrizar en el hemisferio sur. Una cámara de imagen realzada resaltará la región observada y mostrará «rayas atigradas» azules, casi invisibles para el ojo humano, a través



Esta imagen en color realzada del helado Encélado muestra con claridad las «bandas atigradas» de color azul de las que surgen las erupciones.



LOS NOMBRES DE LOS SATÉLITES

Los satélites de Saturno no suenan tan clásicos como los de Júpiter, pero tal vez se deba a que unos mitos se conocen mejor que otros. Si las lunas jovianas portan el nombre de varios amantes mitológicos de Júpiter y otros allegados, casi todos los de Saturno deben su nombre a los Titanes, una generación legendaria de dioses griegos que gobernaron, riñeron y lucharon antes de que los dioses clásicos alcanzaran el poder dirigidos por Júpiter. Curiosamente, según la mitología, los Titanes eran hijos de Urano en realidad, no de Saturno.

de buena parte del hemisferio sur. Con una cámara térmica contrastarán mucho con el resto, puesto que el hielo en esas bandas se mantiene unos 20°C más caliente que la mole del satélite, con una temperatura templada (en comparación) de -180°C .

Aterrice cerca de una banda activa hacia el amanecer o el anochecer y verá la luz solar atrapada muy arriba en una columna de hielo sin que el brillo del paisaje le moleste demasiado. Si Encélado estuviera mucho más próximo al Sol, recomendaríamos gafas protectoras de esquí para evitar la ceguera de la nieve pero, a tanta distancia, incluso un mundo tan reflectante como este resulta bastante tenue.

Aquí, la gravedad ronda el 1% de la terrestre de modo que, si ha practicado durante el viaje, podrá saltar de un lugar a otro como un niño hiperactivo. Brincar entre las columnas se asemeja a corretear entre aspersores de riego de jardines, y el silencio habitual del traje espacial se rompe de repente con el repiquetear de las gotas de agua al rebotar en las capas externas. Las columnas en sí no causan ningún daño, pero tenga cuidado con el lugar donde aterri-za, e intente no pisar dos veces en el mismo sitio. El suelo ya está quebrado y debilitado, ¡y nadie querrá ver cómo cae por una grieta en el hielo!



Esta imagen, tomada por la sonda *Cassini* en 2006, fue la primera que mostró uno de los potentes géiseres de Encélado en acción.

Saturno amanece sobre el paisaje azul helado del hemisferio sur de Encélado. Nótese el géiser de hielo en erupción de la derecha.



Tres lunas heladas

Flanqueadas por los géiseres de Encélado y los misterios de Titán, resulta demasiado sencillo pasar por alto los mundos helados de Tetis, Dione y Rea. Pero todos ellos ofrecen vistas impresionantes y revelan mucho acerca del modo en que se formaron y evolucionaron los satélites de Saturno.

Por un lado, las dimensiones de los satélites de Saturno presentan una tendencia obvia. Mimas y Encélado, tratados con anterioridad, casi tienen el mismo tamaño, y tanto Tetis como Dione miden alrededor del doble que cualquiera de los anteriores, con diámetros de 1072 km y 1120 km, respectivamente. Rea es un 50% mayor que estos últimos, con 1528 km de diámetro; sigue el gigantesco Titán y, después, vienen las lunas exteriores Hiperión y Japeto, de menor tamaño. El patrón que siguen las dimensiones de los satélites se asemeja bastante al que presentan los planetas del Sistema Solar, con mundos interiores pequeños, gigantes en el centro y orbes menores en la región exterior. Por tanto, la formación del sistema de Saturno probablemente ocurrió de un modo similar al del propio Sistema Solar (véase p. 206), donde polvo y hielo concentrados en una gran nube en forma de rosquilla chocaron y se fundieron hasta generar mundos sólidos. Los objetos mayores se formaron en los lugares más densos de la nube, mientras que los más pequeños aparecieron en los confines interiores y exteriores, más tenues.

Tetis

A distancia, Tetis se ve brillante y helado, como una versión más grande de Encélado. Pero, a medida que nos acercamos, empiezan a apreciarse diferencias. Exhibe muchos más cráteres y la cara dirigida en el sentido de su movimiento orbital está dominada por una cuenca descomunal llamada Odysseus (por cierto, todos los nombres topográficos de Tetis proceden del poema épico de Homero *La Odisea*). A pesar de tener unos 400 km de ancho, Odysseus tiene una profundidad escasísima y sorprendente. Desde la formación del cráter, la corteza helada ha fluido y se ha desplazado hasta convertirlo en una sombra de lo que fue.

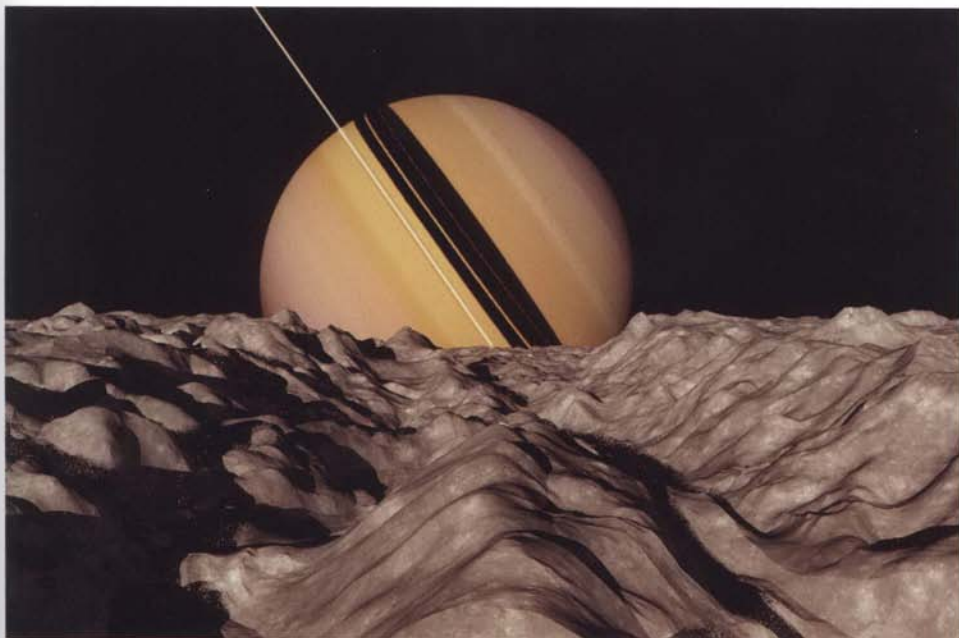
Tetis orbita Saturno desde 294 700 km de distancia y, como la mayoría de los satélites, siempre muestra la misma



El extremo sur de Ithaca Chasma en Tetis se pierde en un paisaje muy lleno de cráteres, tal como revela esta fotografía orbital.



Odysseus domina una cara de Tetis, un mundo repleto de cráteres.

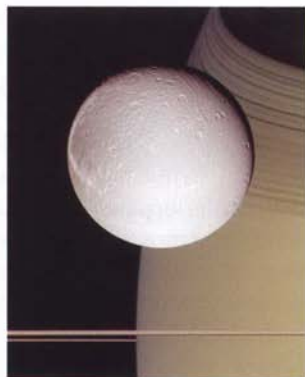


cara a su planeta. Mientras el lado opuesto al planeta tiene poca cosa recomendable aparte de cráteres, la cara orientada hacia Saturno aparece dominada por un inmenso sistema de cañones llamado Ithaca Chasma. Esta sima, de hasta 4 km de profundidad en algunos lugares, se abre camino a través del hemisferio norte lleno de cráteres. Aunque Ithaca Chasma diste medio satélite de Odysseus, discurre paralela a la pared del cráter y es poco probable que se deba a una coincidencia. Muy posiblemente esta falla gigantesca se originara durante el mismo impacto que formó Odysseus, o durante el desplazamiento que experimentó la corteza para allanar el cráter.

Dione

Este mundo casi gemelo de Tetis es más exterior y, en promedio, dista 377 000 km de Saturno. Es un satélite de dos mitades, con un hemisferio cubierto de cráteres pequeños y otra mitad más oscura que porta las cicatrices de impactos más graves. Como en Tetis, muchos de los cráteres se han

La esfera imponente de Saturno se alza sobre Ithaca Chasma en Tetis.



Dione pende ante Saturno, justo encima del plano de los anillos. Nótese las manchas oscuras y las vetas brillantes en un lado del satélite.



«desplomado» y alisado a medida que la corteza de hielo ha ido deslizándose a lo largo de dilatados intervalos temporales. Si alcanzamos este satélite en su órbita tendremos buenas vistas del accidente más enigmático de Dione.

Al principio, las regiones oscuras de Dione parecen estar cubiertas por manchas de hielo que vetean la superficie; más de cerca se ve que son paredes de precipicios que discurren en franjas paralelas y brillan por el hielo liso y expuesto. Lo que les falta de altura lo compensan con su número, ya que hay cientos de vetas como éstas por la cara del satélite opuesta al sentido de avance en su órbita. Se trata de signos contundentes de que la corteza de Dione empezó a deslizarse y fragmentarse en algún instante pasado de su historia, tal vez impulsada por fuerzas de marea.

Precipicios de hielo escalonados y estrechos discurren por las regiones donde la corteza de Dione se dilató y quebró en su pasado remoto.

Rea

Como Rea es mayor que Tetis y Dione, aquí cabría esperar numerosas pruebas de volcanes de hielo y, tal vez, mayor actividad tectónica. Pero Rea resulta ser un pequeño chasco



ERUPCIONES DE HIELO

Tanto las llanuras repletas de cráteres de Tetis como las de Dione presentan gran variedad. Algunas regiones aparecen marcadas por numerosos impactos grandes, mientras que otras sólo presentan cráteres pequeños y dispersos. Todo ello representa signos muertos de que algunas partes de estos mundos renovaron la superficie, probablemente hacia la misma época en que nuestra Luna también se sirvió de ese truco hacia el fin del intenso bombardeo, ocurrido unos 3900 millones de años atrás (véase la p. 206).

Pero existe una diferencia con nuestra Luna y los planetas terrestres. Estos satélites de hielo, y la materia que emergió a su superficie, eran claramente una mezcla de piedra y hielo. Pero ¿quién ha oído hablar de que los volcanes escupan hielo?

Por supuesto, hay una manera, y se basa en que los satélites helados de Saturno albergan otra sustancia química: el amoníaco. Por suerte ya sabemos que en la gélida región del Sistema Solar exterior hay amoníaco, de modo que no parece excesivo creer que las lunas de Saturno también cuentan con alguna cantidad de esta sustancia. Cuando el amoníaco se mezcla con agua a temperaturas muy bajas, forma una solución con propiedades muy extrañas. Por un lado, tiene un punto de congelación mucho más bajo que el agua pura. Por otro, cuando alcanza temperaturas próximas al punto de congelación se convierte en un fluido viscoso, cenagoso, que se comporta casi igual que la lava. Por tanto, parece que en épocas tempranas de su historia, Tetis y Dione albergaron suficiente calor como para fundir la mezcla de agua y amoníaco y permitir que emergiera y se deslizara desde el interior hacia la superficie. En algunos lugares ese fluido borró las huellas de cráteres previos y dejó una lámina lisa que vendría a ser el equivalente helado de los mares lunares recientemente solidificados.

congelado. Tiene muchos cráteres y es más oscuro que sus vecinos interiores, señal segura de que la superficie es muy antigua. Los únicos signos de actividad son algunos precipicios de hielo similares a los de Dione, lo que revela que la corteza experimentó deslizamientos mucho tiempo atrás. A menos que le entusiasmen los cráteres, probablemente preferirá encaminarse hacia los atractivos de Titán.

Pero, ¿por qué es Rea tan distinta y tan decepcionante? Lo más probable es que al ser un cuerpo mayor y más masivo consiguiera congelarse y solidificarse de un modo imposible para satélites más pequeños. Al parecer (según los científicos) existen dos clases de hielo. La materia que sacamos del congelador no difiere demasiado de la que conforma los glaciares, o los satélites menores de Saturno. Es bastante activa y capaz de deslizarse y moverse de un lado a otro. En cambio, el material que alberga Rea en su interior es «hielo II», una forma sensata y carente de toda gracia. En el frío extremo del interior de Rea, ni siquiera jugó con el amoníaco (véase el recuadro «erupciones heladas»), de modo que no hubo manera de que apareciera forma alguna de criovulcanismo que aportara alguna vidilla a esta vieja bola de hielo.



Rea exhibe su superficie repleta de cráteres y algunos de los precipicios de hielo similares a los de Dione.

Titán

El mundo misterioso y cubierto de nubes de Titán tiene para los turistas casi el mismo atractivo que los anillos de Saturno. Titán, descubierto en 1655 por Christiaan Huygens (el mismo que dedujo la verdadera forma de los anillos), es uno de los satélites más grandes del Sistema Solar. De hecho, supera en tamaño a Plutón y a Mercurio, con sus 5150 km de diámetro.

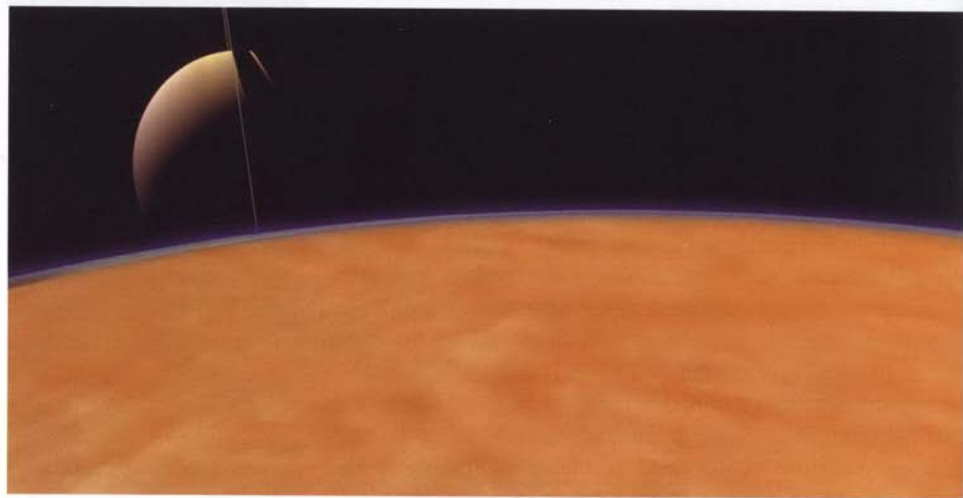
La mayor parte del entusiasmo de la gente por Titán estriba en la superficie y, para verla de cerca, hay que atravesar antes la atmósfera. La neblina de metano impide observar el suelo desde la órbita, aunque con los filtros adecuados se aprecian algunos detalles superficiales, sobre todo manchurrones claros y oscuros.

El descenso por la atmósfera de Titán no supone gran cosa porque en esta zona tan exterior del Sistema Solar imperan temperaturas bajas y vientos bastante flojos. El aire consiste básicamente en nitrógeno con grandes cantidades de metano, el cual confiere una coloración naranja manifiesta. Las nubes también están formadas por gotitas de metano condensadas en la atmósfera. La mayoría del tiempo, la base nubosa de Titán permanece suspendida a



EL VELO DE TITÁN

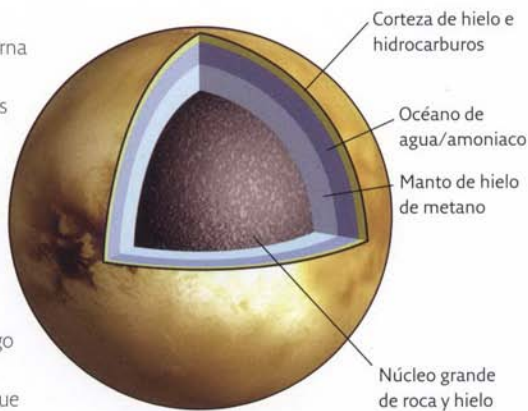
¿Por qué, de todos los satélites del Sistema Solar, es Titán el que cuenta con una atmósfera tan densa? Al igual que la Tierra, Titán es simplemente perfecto. Más cerca del Sol, Titán sería más cálido y tendría una gravedad demasiado débil para retener una atmósfera. Si estuviera más alejado, el gas permanecería helado sobre la superficie. Pero justo donde se encuentra impera un frío suficiente como para que los átomos de gas se desplacen con lentitud sin que adquieran jamás la energía necesaria para escapar al espacio.



Desde la órbita sobre Titán, la densa atmósfera anaranjada parece llena de misterio y premoniciones.

INTERIOR DE TITÁN

Titán parece contar con una estructura interna única que encaja con su aspecto exterior también único. Bajo la corteza de sustancias químicas orgánicas se cree que hay un satélite helado similar a sus vecinos, con un núcleo grande de roca y hielo. Sin embargo, justo debajo de la superficie hay un océano de agua y amoníaco que basta para alimentar el criovulcanismo y contribuye a remodelar la superficie. Esta capa se ha calentado muchas veces a lo largo de la historia de Titán debido a cambios químicos en el manto de hielo de metano que rodea directamente el núcleo.



pocos kilómetros de altura. Por debajo de ella, los cielos se mantienen bastante despejados y empiezan a apreciarse las primeras imágenes vagas de la superficie.

La superficie de Titán puede resultar impactante después de meses o años lejos de casa. Es bastante conmovedor contemplar vestigios evidentes de ríos, lagos y líneas costeras en un lugar tan remoto del Sistema Solar, y eso hace añorar la Tierra. Pero resista: no hemos llegado tan lejos para volvernos sin explorar, ¿no?

Si no quiere parecerse a un patinador novato en el Rockefeller Center al dar los primeros pasos sobre Titán, aconsejamos que mire bien dónde aparca. Grandes regiones de la superficie están cubiertas de manchas de metano helado y otras sustancias químicas orgánicas (por cierto, no se confunda porque las denominemos orgánicas; no es más que el término químico para cualquier compuesto basado en el carbono). Si acepta el consejo, busque un lecho lacustre seco y poco profundo. Eso sí, compruebe que no se ha rellenado con nada desde la confección de sus mapas o podrá verse remando entre metano líquido hasta alcanzar la orilla.

Diríjase al delta donde uno de los canales fluviales desemboca en el lecho lacustre y descubrirá un tesoro de piedras y otros materiales arrastrados hacia el fondo desde



TITÁN INFLAMABLE

Con tantos compuestos de hidrocarburos pululando por ahí, Titán debiera ser altamente inflamable. De hecho, la única razón que lo impide estriba en la ausencia de oxígeno, imprescindible para que prendan esas sustancias. Como la mochila del traje espacial va llena de oxígeno y electrónica, le sugerimos que tome las mismas precauciones que si organizara fuegos artificiales cerca de una refinería de petróleo.

terrenos más altos. El tamaño de las rocas acarreadas por los ríos sugiere que puede haber corrientes un tanto intensas, aunque de momento nunca se han visto en acción. No obstante, las piedras en sí son ligeras comparadas con las de la Tierra o los planetas terrestres porque portan mucha mezcla de hielo. A pesar de la atmósfera y la cubierta de hidrocarburos, Titán no difiere tanto de su vecindario en el sistema saturnal.

Con algo de suerte pillaremos una ducha ligera. La extraña meteorología de Titán hace que llueva metano del cielo y puede que áreas extensas de este mundo quedaran anegadas no hace demasiado tiempo. De hecho, la temperatura media en superficie, alrededor de -180°C , es perfecta para que Titán haya desarrollado un auténtico «ciclo del metano» similar al ciclo del agua que transforma el agua de la Tierra en hielo, líquido y vapor. Así, el metano cae del cielo en forma de lluvia, crea ríos y se acumula en lagos, se solidifica en hielo y vuelve a evaporarse para migrar a la atmósfera. Esto significa que el paisaje de Titán es el blanco de gran cantidad de erosión, lo que explica sus extrañas similitudes con la Tierra.

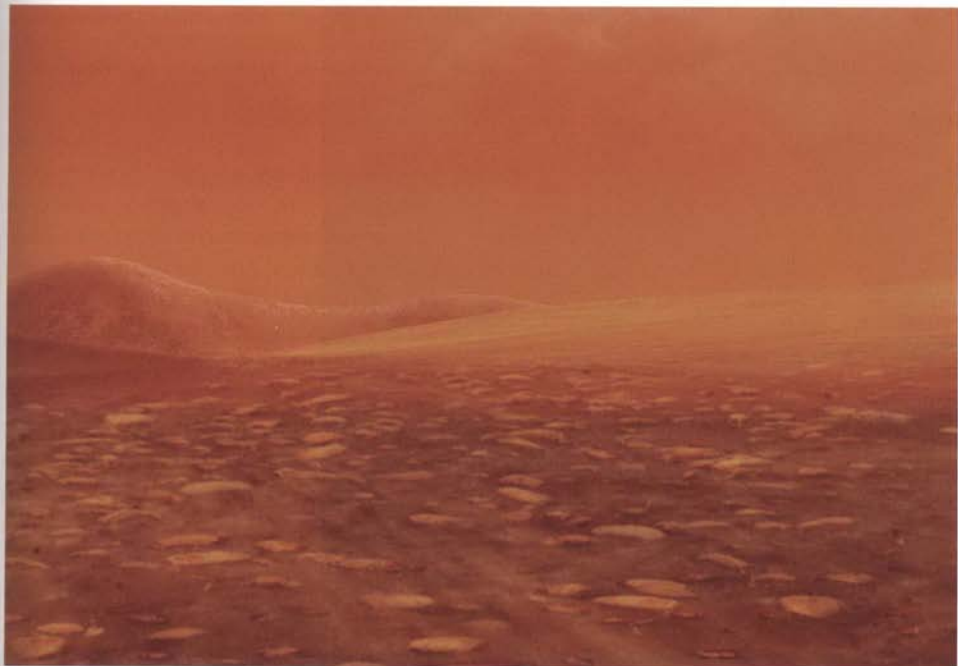
No obstante, la procedencia originaria de todo este metano constituye una gran incógnita. El metano en la atmósfera de cualquier mundo se descompone al quedar



Rocas de hielo en el delta fluvial seco donde el módulo de aterrizaje de la *Huygens* tocó tierra por primera vez en la superficie de Titán en 2005.



A medida que las nubes se separan se ve un paisaje «costero» de ríos, bahías e islotes en un «mar» de dunas de arena.



expuesto a la luz solar y ha habido tiempo más que suficiente en la dilatada historia de Titán para que el gas hubiera desaparecido por completo. Algo debe de renovarlo con cierta periodicidad, y los expertos en Titán creen saber de qué se trata. Según ellos, Titán cuenta con una corteza gruesa de agua y metano congelados que reposa sobre un manto consistente en una mezcla de agua y amoníaco (la misma mezcla que renovó la superficie de Tetis y Dione, véase «Erupciones de hielo» en p. 157). El interior de Titán aún continúa enfriándose despacio desde su formación, y cuando el manto empezó a congelarse hace unos quinientos millones de años, liberó el exceso de calor, calentó la corteza y desencadenó estallidos de criovulcanismo de hielo que bombearon metano a la atmósfera.

Puede que las erupciones sigan ocurriendo hoy en día de manera ocasional, aunque seguro que han decrecido mucho. Desde luego, la superficie de Titán alberga «puntos calientes» que, por su aspecto, bien pudieran ser el resultado de erupciones de hielo apaciguándose.

Por desgracia, la atmósfera neblinosa de Titán nunca se despeja lo bastante como para que Saturno aparezca suspendido en sus cielos.



Hyperion, con aspecto de esponja, debe contarse entre los mundos más extraños y bellos del Sistema Solar.

Hyperion

Hyperion, que sigue a Titán en cuanto a distancia orbital, es una rareza. Por un lado, sigue una órbita muy elíptica y, en promedio, dista de Saturno 1.48 millones de km. Esto complicará un poco más el traslado orbital pero, a medida que se aproxime a este extraño satélite, creemos que convendrá con nosotros en que el esfuerzo merecía la pena.

Hyperion es un mundo de aspecto insólito: por ciertas partes se parece más a un coral o a esponja que a una luna. Es casi tan grande como Mimas, pero tiene una figura irregular de 330 por 260 por 215 km. Con esas dimensiones bien podría haber adoptado una forma esférica y, en cuanto nos acerquemos lo suficiente para captar detalles, resultará bien obvio qué ocurrió: en algún instante del pasado, Hyperion recibió el impacto directo de otro objeto grande y se hizo añicos.

Los restos tienen tantas cicatrices que quedaron casi irreconocibles. Los rasgos más espectaculares son los cráteres con aspecto de gotas de agua congeladas en plena salpicadura: como si la superficie de Hyperion estuviera picoteada por la polla.

ESPELEOLOGÍA EN HIPERIÓN



Para los turistas más intrépidos, la superficie porosa de Hyperion ofrece otra actividad fascinante: algunos de los cráteres más profundos permiten acceder al interior, igualmente poroso, de este satélite. La espeleología en otros mundos exige grandes precauciones, sobre todo con piedras tan dentadas y afiladas como las de Hyperion, pero los pocos que la han practicado (y regresan vivos) afirman que la experiencia es inolvidable.

Hiperión también sigue una rotación única. Gira de un modo completamente caótico, sin un eje de rotación claro ni un periodo de rotación medible. Lo más probable es que esta torpeza se deba a la órbita tan elíptica y a la irregularidad de su figura.

En muchos lugares del Sistema Solar, los satélites y asteroides destrozados por colisiones han logrado a menudo volver a ensamblarse incluso bajo el efecto de una gravedad débil. Hiperión, en cambio, no tuvo oportunidad. El influjo del cercano Titán dispersó los fragmentos más pequeños arrojados por el choque y los arrastró hacia su atmósfera y su superficie. Otra cantidad considerable de trozos eludió Titán por completo y bombardeó la superficie del siguiente satélite, Rea, donde sus marcas forman una familia muy particular de cráteres de impacto, todos de unos 20 km de diámetro y formados hacia la misma época. Con el tiempo, los fragmentos mayores de Hiperión se soldaron de nuevo para seguir una órbita distinta y desorganizada alrededor de Saturno.

Saturno vigila sobre los despeñaderos afiladísimos que bordean uno de los mayores cráteres de Hiperión.



Japeto (¿y algunos trozos de Febe?)

Japeto, otro mundo con nombre de titán, es el más exterior de los satélites grandes de Saturno y sus 1436 km de diámetro casi lo convierten en gemelo de Rea. Una multitud de satélites menores orbita Saturno a distancias mayores que los 3.56 millones de km que lo separan de Japeto, pero se trata de meros fragmentos variados de escombros capturados, en su mayoría asteroides extraviados o sus equivalentes helados, los centauros (véase p. 167).

Mucho antes de llegar a reconocer detalles de la superficie ya se aprecia que hay algo extraño en Japeto. Cuando realice su primer acercamiento a Saturno, observe la danza de los satélites. No tardará en ver que Japeto experimenta cambios considerables de brillo y que, dependiendo del ángulo de acercamiento y del instante temporal, incluso llega a desaparecer por completo a medida que recorre un lado del planeta.

Como Japeto tiene rotación capturada y muestra siempre la misma cara a Saturno, resulta bastante fácil apreciar que una mitad del satélite es mucho más oscura que la otra y, según nos aproximemos, veremos la clara diferencia. Es como si un artista de graffiti hubiera actuado en Japeto con un bote de pintura pero sólo le hubiera dado tiempo a terminar un hemisferio antes de que llegara la policía. Por supuesto, lo interesante sería saber qué sucedió en realidad. Al situarse en órbita se vislumbran algunos detalles. Ambos terrenos presentan la misma cantidad de cráteres y, en algunos lugares próximos a la frontera, hay cráteres excavados en el material oscuro y rojizo que dejan al descubierto manchas claras, un signo seguro de que Japeto es un mundo claro cubierto de algo oscuro, y no al revés.

La mejor explicación del extraño aspecto de este satélite culpa de él al mundo vecino más inmediato: el oscuro e irregular Febe. Desde que la sonda espacial *Cassini* pasó junto a él cuando se dirigía a situarse en órbita alrededor de Saturno allá por el año 2004, la mayoría de la gente coincide en que Febe es un mundo capturado, un núcleo cometa-rio grande o un centauro, de 230 km de diámetro. Es el mayor, con mucha diferencia, de los satélites irregulares de



¿Será verdad que Japeto atraviesa corrientes de material oscuro procedente de Febe a medida que gira alrededor de Saturno?

Saturno y gira en torno a este planeta en la dirección opuesta a la que siguen los satélites «normales», lo que constituye un signo seguro de que quedó capturado tras un encuentro cercano casual, en lugar de gestarse en la órbita actual.

Al parecer, ocurrió lo siguiente: Febe, como todos los satélites, recibe el bombardeo de micrometeoritos minúsculos a medida que orbita alrededor de Saturno. Éstos dejan un rastro de «hollín» que cae paulatinamente en espiral hacia el planeta pero, cuando Japeto pasa a través de los gases de escape de Febe, el hemisferio dirigido hacia adelante se cubre de porquería.

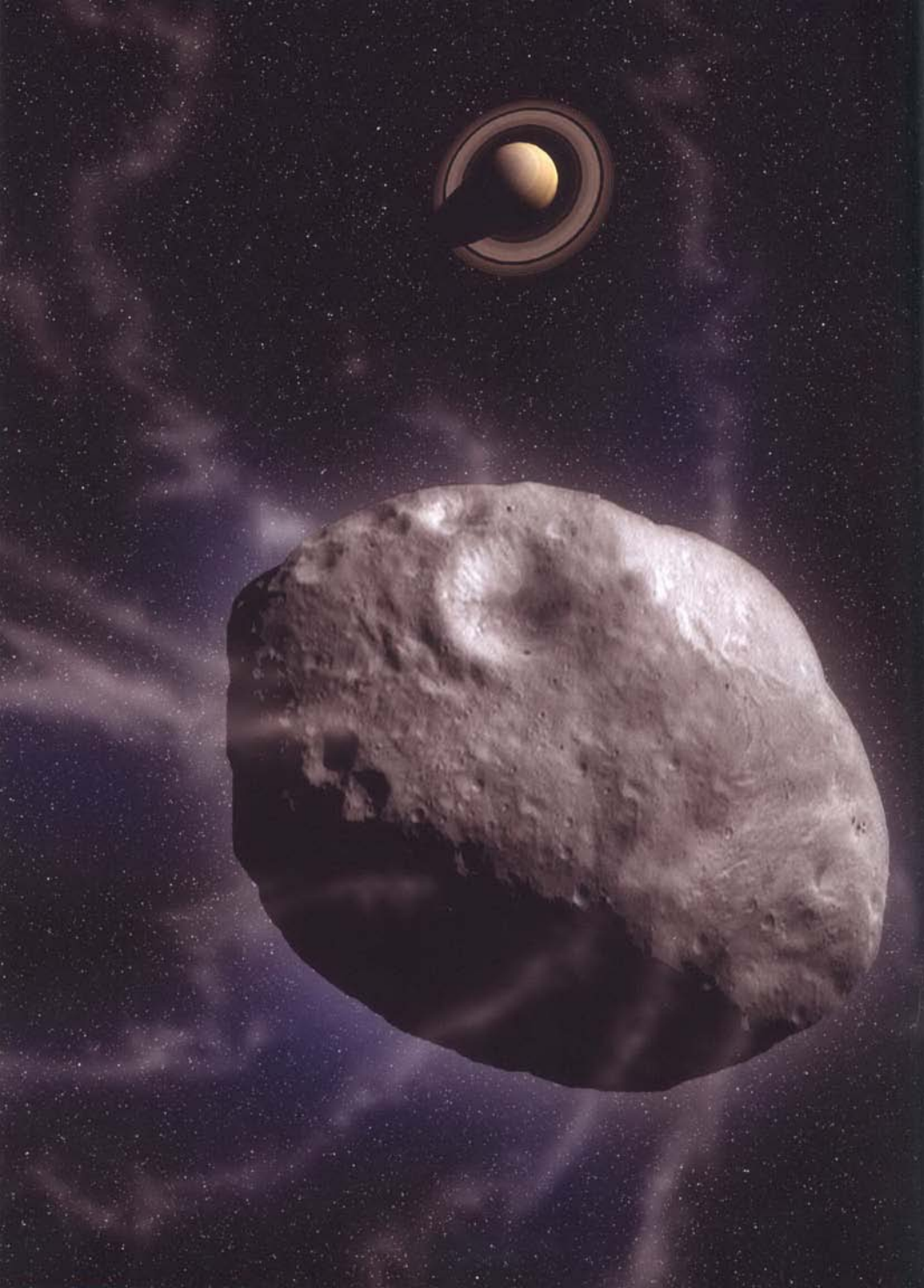
Todo perfecto salvo una cuestión. La superficie de Febe es de color gris oscuro, mientras que la mitad oscura de Japeto tiene tonos rojos manifiestos. Si el polvo de Febe es el verdadero culpable, algo tiene que alterarlo cuando llega a su destino. Una hipótesis es que el calor producido cuando el polvo choca con Japeto basta para fundir el metano de la corteza del satélite. Entonces, el polvo y el metano reaccionan y crean compuestos rojizos alquitranados. Como consecuencia, un paseo por la mitad oscura de Japeto puede convertirse en una tarea engorrosa muy parecida a cruzar una carretera recién asfaltada el día más tórrido del año.



Febe, un satélite exterior, oscuro y deforme de Saturno, es un objeto capturado y probablemente el origen de la suciedad que recubre Japeto.



Saturno pende en la distancia en esta imagen tomada sobre la mitad oscura de Japeto. Se aprecian partes de terreno más claro cerca del polo norte. Observe también la notable cordillera que discurre por el ecuador de Japeto.



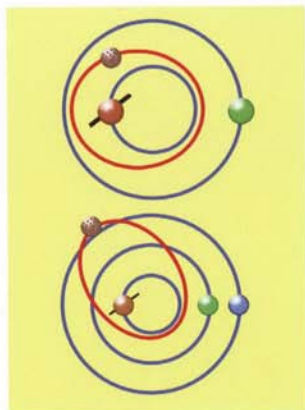
Más allá: Quirón

Toda una diversidad de extraviados interplanetarios merodea alrededor de las órbitas de Saturno y el resto de planetas gigantes exteriores. Conocidos como *centauros*, se diferencian bastante de los asteroides del Sistema Solar interior. El primero que se descubrió, el mayor y todavía el mejor conocido, es Quirón, que completa un giro alrededor del Sol cada 51 años, durante los cuales se adentra en la órbita de Saturno en el perihelio y llega casi hasta Urano durante su alejamiento máximo. Si usted se encuentra por los alrededores y da la casualidad de que las órbitas cuadran, merece la pena posarse sobre un centauro como Quirón o Folo.

Los centauros tienen superficies muy oscuras, de modo que para verlos antes de tenerlos encima hay que aguzar la vista. Las cámaras infrarrojas servirán de gran ayuda porque, aunque los centauros están ultracongelados, brillan como faros comparados con el gélido fondo del espacio circundante. Al encaminarnos hacia Quirón o cualquier otro centauro que avance hacia el Sol, notaremos que nuestro destino se ve algo borroso por los bordes. No es un fallo instrumental sino un indicio de que algunos centauros cuentan con atmósferas tenues propias.

Si nos situamos en órbita junto a Quirón será fácil ver por qué. Este trozo de roca y hielo de 180 km muestra el mismo aspecto que un cometa gigante: columnas de vapor salen poco a poco de grietas de la superficie y envuelven todo el objeto con una cubierta fina de gas y partículas de hielo.

Al parecer, los centauros son mundos «enanos de hielo» que partieron del cinturón de Kuiper, más allá de Neptuno (véase «El último confín» en pp. 190-203). Probablemente, las órbitas originales se vieron perturbadas por algún encuentro cercano con Neptuno, pero se mantuvieron lo bastante alejadas como para evitar la atracción fatal de Júpiter. No han podido deambular por esta región durante mucho tiempo en términos astronómicos porque atravesar las órbitas de los planetas gigantes supone una empresa peligrosa, y la gravedad de Saturno aún es lo bastante intensa como para precipitar a Quirón inevitablemente al Sistema Solar interior en cuestión, quizá, de unos pocos miles de años.



Representación de las órbitas de Quirón (arriba) y Folo (abajo) en relación con las de Saturno, Urano y Neptuno.



HERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ

Al consultar los mapas, que recogen la nomenclatura oficial internacional, y no los nombres en castellano, procure no confundir Quirón (nombre oficial Chiron) con Caronte (nombre oficial Charon), el satélite más grande de Plutón. Quirón debe su nombre a un centauro de la mitología griega, una casta de guerreros sabios, mitad hombres mitad caballos. Caronte es un tipo mucho más sombrío, el barquero que conducía las almas de los muertos por la laguna Estigia hacia el inframundo gobernado por Plutón.

Durante el máximo acercamiento a Saturno y el Sol, la superficie de Quirón alcanza su actividad más intensa.





Entre los colosos de hielo

Urano y **Neptuno** conforman un doble núcleo ideal de vacaciones. Planifique el viaje a Urano con bastante antelación, pues sus extrañas estaciones le confieren un aspecto aburrido e inactivo durante gran parte de los 84 años que tarda en completar una órbita. Neptuno es más activo, un mundo azul rodeado por tormentas oscuras y morada de algunos de los vientos más intensos del Sistema Solar. No obstante, también encontrará muchas cosas interesantes en sus satélites y anillos, entre los que se cuenta Miranda, tal vez el mundo más insólito de todo el Sistema Solar, y Tritón, la luna gigante de Neptuno, con sus géiseres activos de hielo.

Aun en estos días, el Sistema Solar más allá de Saturno sigue siendo un lugar reservado a los viajeros serios. El viaje dura tanto que hay que pasar varios años fuera de casa, algo que sólo pueden plantearse los listillos de ciudad en excedencia, los pensionistas sanos y unos pocos rastacueros estudiantes.

Cómo llegar

Si se hace hay que hacerlo bien, y si va a desplazarse hasta Urano, también deberá aprovechar la experiencia para llegar hasta Neptuno. Los colosos de hielo pueden parecer gemelos a primera vista, pero muestran muchas diferencias y el gran satélite de Neptuno, Tritón, le permitirá echar una ojeada al exótico cinturón de Kuiper sin necesidad de alargar el viaje.

Urano tarda 84 años en orbitar el Sol y Neptuno, 164 años, de modo que probablemente no habrá muchas oportunidades para elegir las condiciones del viaje. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el modo más rápido de acceder a Neptuno consiste en usar Urano como catapulta, lo cual establece restricciones en cuanto a la alineación que deben mantener ambos planetas (véase p. 15).

La meteorología de Urano es muy estacional, de modo que conviene evitar los periodos de letargo que coinciden con el centro del verano y del invierno en cada hemisferio. En 1986, la *Voyager 2*, la primera sonda espacial que sobrevoló Urano, llegó en pleno invierno y encontró el planeta en una de sus languideces regulares, con la esfera pálida y casi carente de rasgos. Para no cometer el mismo error, trate de visitarlo en primavera u otoño, cuando los sistemas meteorológicos despiertan y Urano resiste la comparación con el resto de gigantes.



Los mundos que quedan más allá de Saturno no fueron más que manchas vagas hasta finales del siglo xx, cuando una única sonda espacial de larga distancia, la *Voyager 2*, visitó Urano y Neptuno.

¿GIGANTES DE GAS O GIGANTES DE HIELO?

Como ya habrá notado, denominamos a Urano y Neptuno «gigantes de hielo» en lugar de gigantes de gas. Hay razones para ello, y no sólo porque estén fríos. Mientras que Júpiter y Saturno consisten casi por completo en gas hidrógeno, Urano y Neptuno están formados por una mezcla de otros materiales que son «hielos» en un sentido químico (es decir, sustancias químicas con un punto bajo de ebullición que pueden existir en forma de hielo congelado o vapor dependiendo de la distancia al Sol y de la temperatura, y en forma de líquido sobre superficies planetarias o en su interior). Bajo sus atmósferas exteriores hay un interior que consiste en su mayoría en hielos líquidos o semifundidos, mezcla de agua, metano, amoníaco y otras sustancias.



Urano

Aunque los gigantes de hielo son muy semejantes en cuanto a tamaño y color, Urano es el mayor y más verdoso del par. A medida que emerge de la oscuridad durante los meses previos a nuestro acercamiento máximo, podemos seguir el recorrido de sus satélites. Casi a la vez que se descubrieron los satélites principales, los astrónomos repararon en que sucedía algo raro en Urano. Quizá quiera descubrirlo usted mismo, o tal vez prefiera hacer trampa y echar un vistazo con prismáticos o telescopio. Éstos le revelarán el tenue sistema de anillos finísimos que circundan el planeta y que descubren el pastel. Urano parece una diana gigantesca porque el planeta, los satélites y los anillos están inclinados hacia un lado.



DATOS DE URANO



Puntos positivos:

Inclinación singular.
Miranda



Puntos negativos:

Tiempo nublado
Muy lejano



Duración del día:

17 horas 15 minutos



Duración del año:

84,1 años terrestres



Gravedad en la cima de las nubes:

0,9 g



Temperatura en superficie:

-200°C



Retardo en comunicaciones:

2 horas 31 minutos,
o más

Los anillos ladeados que rodean Urano muestran con claridad que todo el sistema de Urano mantiene una inclinación superior a 90 grados.

No es posible que Urano se formara de este modo, así que claramente recibió un golpe en algún instante de la historia, víctima con gran probabilidad de un choque cósmico frontal con un planetoide grande que deambulaba por el Sistema Solar exterior. Fuera lo que fuera, tuvo que suceder hace mucho, mucho tiempo, puesto que los satélites de Urano han tenido más que de sobra para estabilizarse en órbitas alrededor del ecuador volcado, y no hay ningún signo de que el sistema haya sufrido traumas recientes.

Tampoco queda ningún vestigio del «otro tipo» que intervino en esta colisión interplanetaria: tal vez se destruyera por completo o saliera disparado al exterior del Sistema Solar. Y, como Urano es un mundo blandito, ni siquiera hay un cráter de gran tamaño para admirar. Sin embargo, el planeta sí conserva las marcas de este pasado violento en sus extrañas estaciones del año. Como mantiene una inclinación de 98 grados respecto de la vertical, padece estaciones mucho más extremas que el resto de planetas. Sólo una banda estrecha alrededor del ecuador disfruta siempre de una salida y una puesta de Sol diarias coincidentes con el periodo de rotación de 17 horas del planeta. Los polos en sí tienen que soportar días y noches de 42 años de duración, mientras un polo o el otro permanecen orientados hacia el Sol. Las latitudes medias experimentan una mezcla de ambas situaciones extremas. Pasan parte de cada año de Urano en una oscuridad permanente, otra parte con una salida y una puesta de Sol diarias, y otra parte en una claridad permanente.

EL CHISTE SAJÓN

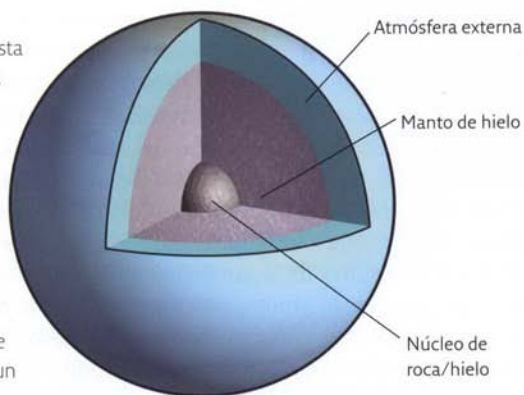


La mayoría de los turistas que acuden a este planeta hablan inglés. Por eso le brindamos un consejo para tener un viaje feliz. Durante el largo viaje hacia Urano, el chistecito se pondrá manido enseguida. Ya sabe, ése que ha obligado a generaciones de astrónomos anglosajones a pronunciar el nombre del planeta de mil modos distintos con tal de no decir *your anus*. Si se empeñan en gastar la misma broma constantemente durante el primer par de meses, no se sorprenda de que alguien le cierre la cremallera del saco de dormir y lo arroje al espacio dentro de él.

Cuando se observa Urano «derecho» empieza a notarse lo extrañas que son sus estaciones. Aquí, el hemisferio norte está disfrutando de su dilatado verano.

INTERIOR DE URANO

La atmósfera exterior de Urano se adentra hasta una profundidad aproximada de 7250 km y la presión y la temperatura aumentan de manera gradual hasta que la atmósfera se funde con el manto líquido. Entre ambos no existe una frontera clara, sino que la atmósfera se torna cada vez más densa y húmeda hasta que pasa de estado gaseoso a líquido. El manto es en buena medida una mezcla semifundida de metano, amoníaco y hielo de agua, y en el centro del planeta reside un núcleo de roca y hielo probablemente de un tamaño similar al de Marte.



EXPANSIÓN DEL SISTEMA SOLAR



Ahora cuesta creerlo, pero durante la mayor parte de la historia conocida, los astrónomos han creído que el Sistema Solar se terminaba en Saturno. Fue toda una sorpresa, por tanto, que un músico y astrónomo aficionado alemán llamado Wilhelm Herschel avistara en 1781 un objeto borroso y oscuro que él consideró un cometa. Herschel vivía y trabajaba en Inglaterra y se construía sus propios telescopios. Durante el seguimiento del «cometa» a lo largo de varios meses, apreció que se movía demasiado despacio para tratarse de un objeto cercano. Más bien tenía que tratarse de algo enorme y mucho más lejano que la órbita de Saturno: en otras palabras, un planeta desconocido. El descubrimiento le valió tanta fama a Herschel que hoy habría aparecido durante meses en la portada de todos los números de la revista *iHola!* Mucha gente quiso incluso bautizar el planeta con su nombre pero, muy avisado, el propio Herschel lo llamó «estrella de Jorge», en honor al rey Jorge III de Inglaterra (un gesto que le reportó un chollo de trabajo como astrónomo personal del rey). El nombre de Urano (padre de Saturno en la mitología griega) lo propuso el astrónomo alemán Johann Elert Bode.

Todo ello convierte la meteorología de Urano en una pesadilla para los especialistas. Hacia mediados de invierno y de verano, cuando impera la máxima diferencia de temperatura entre un polo y el otro, se forman corrientes inmensas que transfieren calor de un hemisferio al otro. Éstas interrumpen la circulación general del aire causada por la rotación del planeta (la misma fuerza de Coriolis que suele generar corrientes de oeste a este paralelas al ecuador de un planeta). En el choque resultante, ninguna corriente triunfa y las capas superiores de la atmósfera de Urano se convierten en una represa de aspecto plácido y carente de rasgos.

A medida que Urano continúa su lento caminar alrededor del Sol, acercándose al equinoccio (cuando ambos hemisferios reciben la misma cantidad de luz), se nivelan las diferencias de temperatura y se desvanecen las corrientes generadas por ellas. Las fuerzas de Coriolis se tornan dominantes ahora, se forma un patrón de bandas alrededor del planeta y empiezan a aparecer tormentas y otros fenómenos. Éste es el motivo de que siempre vaya mejor planear la visita (si fuera posible) dependiendo de las estaciones del año de Urano. La diferencia entre contemplar una esfera turquesa carente de rasgos o un mundo tormentoso y activo depende de unos pocos años.

Los anillos

Vale la pena contemplar el sistema de anillos de Urano durante nuestra gira relámpago. Aunque no puede competir con el de Saturno en cuanto a espectacularidad, lo más fascinante estriba justo en las diferencias entre ambos sistemas. Si Saturno tiene innumerables anillos tan próximos entre sí que forman grandes planos, Urano cuenta con menos de una docena de anillos finísimos como hebras y completamente separados unos de otros.

Los anillos también están formados por un material de una oscuridad sorprendente, mucho menos reflectante que las montañas de hielo reluciente que orbitan Saturno. La oscuridad de los anillos combinada con la rapidez con que disminuye la luz del Sol convierte en afortunadas a las personas que consiguen divisarlos contra la negrura del espacio. Lo mejor es detectarlos con radar o verlos perfilados



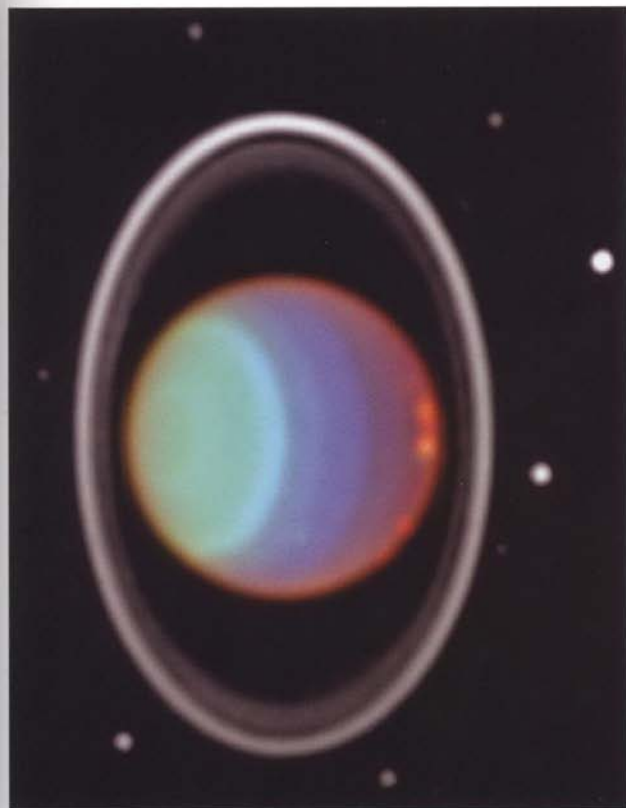
DESCUBRIMIENTO DE LOS ANILLOS

Los anillos de Urano constituyeron el segundo sistema de anillos que se encontró en el Sistema Solar. Hasta su descubrimiento, se creía que el sistema de Saturno era único pero, después de él, Júpiter y Neptuno se sumaron pronto al club y, al parecer, donde hay planetas gigantes, hay anillos.

El hallazgo en sí, acaecido un par de décadas antes de que los telescopios instalados en tierra alcanzaran la potencia suficiente para obtener fotografías directas de ellos, se logró por pura chiripa. Allá por 1977, astrónomos a bordo de un observatorio aerotransportado de la NASA se prepararon para registrar una de esas raras ocasiones en que Urano pasa ante una estrella. Para su sorpresa, la estrella parpadeó varias veces antes de desaparecer tras el planeta y, luego, mostró el mismo comportamiento tras su reaparición. Pronto resolvieron que aquellos descensos de brillo revelaban una serie de nueve anillos y, cuando la *Voyager 2* pasó junto al planeta en 1986, incorporó dos más a la colección.

contra el disco del planeta. De este modo se aprecia que son concatenaciones de piedras de una uniformidad asombrosa, alrededor de 1 metro de ancho. Si los anillos de Saturno consisten en hielo de agua, los fragmentos que conforman los anillos de Urano están formados por hielo de metano, y tal vez por ello sean menos reflectantes.

Desplácese alrededor del anillo más exterior, «Épsilon», y acabará topándose con los satélites menores Cordelia (en la frontera interior) y Ofelia (en la frontera exterior). Ambos miden unos 40 km de ancho y su influjo gravitatorio mantiene alineado el anillo Épsilon. Según una teoría, estas «lunas pastoras» podrían incluso estar desmoronándose en fragmentos y procurando materia adicional a los anillos, pero nadie ha hallado aún la prueba definitiva de ello.



Esta imagen de todo el sistema de anillos de perfil revela diferencias de brillo y color en los diversos anillos, debidas a sus distintas composiciones. El anillo Épsilon, el superior (más exterior), es el más brillante con diferencia.

Las fotografías ampliadas tomadas desde la Tierra muestran los satélites principales de Urano alrededor del planeta, así como los anillos. Nótese, además, las tormentas brillantes en el hemisferio más alejado.

Miranda

ATRACCIÓN
ESTELAR

Este satélite minúsculo de tan sólo 480 km de ancho encarna probablemente la mayor atracción turística del sistema de Urano, un mundo abigarrado cuya historia traumática quedó escrita en sus caóticos paisajes.

Al acercarse en vuelo, lo primero que se ve son los inmensos accidentes que parecen «hipódromos» llamados coronas. El ojo humano tiene una capacidad asombrosa para identificar figuras conocidas, y no hay nada más parecido a estos extraños accidentes concéntricos que un circuito del Grand Prix.

Lo siguiente que sugerimos buscar son los precipicios del hemisferio sur, unas escarpaduras inmensas en la superficie del satélite, tan altas que proyectan largas sombras en cualquier momento del día.

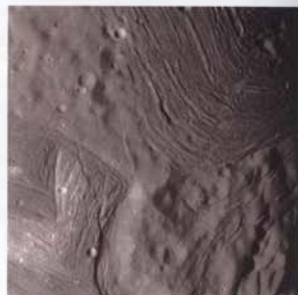
A medida que nos acercamos más, se revelan con rapidez otros rasgos bien marcados. Algunas regiones están repletas de cráteres y, por tanto, quizá no hayan cambiado nada desde la historia temprana de Miranda. Otras son más suaves, brillantes y presentan menos cráteres; es evidente que los impactos quedaron borrados en algún punto del pasado lejano del satélite. Las coronas en sí resultan muy variadas vistas de cerca. Aunque en general son más oscuras que el resto del terreno, algunas muestran manchas brillantes en el interior. El trazado también sigue patrones distintos: algunas tienen esquinas redondeadas, mientras que otras, sobre todo Inverness Corona (apodada «el galón»), ostentan curvas angulosas y repentinas. En general, da la impresión de que Miranda hubiera sido ensamblada por un arquitecto planetario eufórico que no quería dejar nada sin poner.

Sin duda es un mundo pequeño y extraño que resultó bastante enigmático a los científicos de finales del siglo xx encargados de explicarlo a partir del puñado de primeras imágenes enviadas por la *Voyager 2*.

Lo primero que pensaron fue que Miranda era todo un monstruo de Frankenstein planetario, tal vez la víctima de una colisión antigua que volvió a ensamblarse por gravedad. En cambio, tras pensarlo bien, la mayoría opinó que Miranda



Una vista general de Miranda revela su aspecto característico de mundo formado por retales.



Incluso desde órbita, algunas regiones de la superficie de Miranda parecen piezas de un puzzle encajadas a la fuerza por algún niño colosal e impaciente.

nunca se fragmentó por completo en pedazos, sino que parece más probable que el interior del satélite se fundiera y que la corteza se agrietara y permitiera que grandes trozos de la superficie yacieran bajo la masa fundida para no volver a aflorar jamás. Distintos procesos crearon nuevos accidentes en la superficie recién cicatrizada, antes de que otro ataque de calor y fundición volviera a revolver el conjunto de la superficie.

El calor de Miranda pudo provenir de su propia energía interna y de los impactos de objetos grandes. Quizá contribuyó también el calor de marea (véase p. 124). O tal vez Miranda se calentara durante el período turbulento posterior al golpe que apartó a Urano de su eje y obligó a todo el sistema a redistribuirse en un plano nuevo de rotación.

Un vuelo sobre las coronas revela que probablemente se formaron porque partes de la superficie se escindieron y brotó material nuevo para rellenar las grietas.



Los satélites exteriores

Los otros satélites de Urano que siguen a Miranda son algo más comedidos. La mayoría de los viajeros, que realiza un ligero sobrevuelo en Urano para continuar hacia Neptuno, sólo visita estos mundos al vuelo, pero cada uno de ellos tiene una historia propia que contar.

Tal vez haya apreciado en algún otro lugar del Sistema Solar, que los satélites suelen darse a pares, y eso se cumple también en Urano. Las siguientes lunas de importancia, después de Miranda, son Ariel y Umbriel, ambas de unos 1170 km de ancho. Les siguen Titania y Oberón, ambas con apenas 1550 km de diámetro.

Ariel y Umbriel

Todos los satélites grandes de Urano presentan una superficie bastante oscura, pero la de Ariel es la más clara de todas. Al pasar por su lado, tendrá ocasión de admirar los hondos cañones que atraviesan la superficie. Las zanjas trenzadas y paralelas de Kachina Chasmata tienen una belleza singular. Quizá aprecie también que Ariel cuenta con una superficie bastante reciente y salpicada con algunos cráteres pequeños, lo que sugiere que buena parte del satélite regeneró la superficie en algún instante de la historia. Tal vez vea incluso aquellos lugares donde el fondo de los cañones se rellenó con materia clara y helada que obviamente brotó del interior de esta luna. Al tratar-



La superficie resquebrajada de Ariel, salpicada de cráteres pequeños.

Kachina Chasmata y la esfera naciente de Urano. Nótese el fondo de hielo del cañón.



SATÉLITES LITERARIOS

Algunos de los satélites de Urano sonarán más familiares que otros. Esto se debe a que portan el nombre de personajes de dramas de Shakespeare. Miranda proviene de *La tempestad*, Titania y Oberón de *El sueño de una noche de verano*. Fue John Herschel (hijo de Wilhelm y descubridor del planeta y sus primeros dos satélites) quien ideó este esquema de nombres pero, por desgracia, no lo mantuvo. Ariel y Umbriel deben su nombre a personajes de Alexander Pope, un dramaturgo y poeta mucho menos conocido (aunque un Ariel diferente participa también en *La tempestad!*).



se del segundo satélite grande más próximo a Urano, Ariel ha tenido que soportar un gran calentamiento de marea en su juventud. No llegó a fundirse del todo como Miranda, pero sí lo suficiente como para que un criovolcanismo alimentado con amoníaco redecorara la superficie (como se ha visto en Tetis y Dione, p. 157). Cuando Ariel volvió a helarse, se dilató desde el interior, lo cual quebró la superficie y abrió los cañones.

Comparado con Ariel, Umbriel resulta bastante aburrido. Es más oscuro y exhibe más cráteres que cualquier otro satélite de Urano. Parece bastante obvio que ha permanecido ultracongelado desde tiempos primigenios de su historia y que su función ha consistido en poco más que servir de blanco a los meteoroides y cometas que pasaban por ahí.

Titania y Oberón

El siguiente satélite en distancia a Urano, y el mayor, es Titania. Visto en vuelo parece el hermano mayor de Ariel; la superficie no es tan brillante pero presenta una mezcla muy similar de llanuras con cráteres y hondas cicatrices. Titania nunca recibió el mismo tipo de calentamiento de marea que Ariel, pero es lo bastante grande como para no necesitarlo y, al igual que Oberón, se muestra extrañamente rocoso para tratarse de un satélite exterior. Esto significa que el calor retenido desde su formación, sumado a la energía generada por elementos radioactivos internos, resultó más que suficiente para alimentar su actividad. Ésta creó la falla que escindió la superficie de Titania e incluso habría regenerado algunas partes de la superficie en tiempos muy tempranos.

Nuestra última parada es Oberón. En general, se parece a Titania, pero tiene menos zanjas pronunciadas y cráteres más grandes y antiguos. Esto sugiere que Oberón no tuvo un pasado tan activo como Titania, pero se compensa con ciertos accidentes únicos. Algunos de los cráteres más grandes aparecen rodeados por salpicaduras brillantes de eyecciones, mientras que el fondo está cubierto de material oscuro. Parece que esos impactos arrancaron hielo brillante y reflectante de las capas superiores del planeta pero también permitieron que afloraran hielos de metano, oscuros y ricos en carbón.



Umbriel exhibe las cicatrices de innumerables impactos. La mancha blanca es un misterio; como esta imagen está tomada desde el polo, en realidad se halla en el ecuador.



Titania es uno de los satélites más brillantes de Urano, con cañones y regiones con la superficie renovada que lo asemejan a Ariel.



Los cráteres de fondo oscuro de Oberón. ¿Consigue ver la inmensa montaña que hay en el limbo?



Neptuno

Dada su distancia al Sol, cabría esperar que Neptuno tuviera la misma gracia que un solitario filete de pescado que ha permanecido años olvidado al fondo del congelador de casa. La cuestión de si el planeta y su satélite más grande, Tritón, son o no mundos fascinantes y activos aún se debate entre los astrónomos. Y, además, supone un atractivo mayor para los viajeros que se adentran en los últimos confines del Sistema Solar.

Neptuno es algo menor que Urano, recibe mucha menos luz solar y posee un color natural más oscuro, todo lo cual implica que estaremos mucho más cerca de él cuando aparezca en la penumbra. Sin embargo, en el momento en que se vislumbra a simple vista ya se aprecian detalles superficiales con prismáticos si se sabe adónde apuntar. Las manchas oscuras conforman los rasgos más evidentes, grandes tormentas ovales con la misma causa que las manchas de Júpiter y Saturno. La primera sonda espacial que se adentró hasta aquí, *Voyager 2*, pasó por él justo en el momento en que una mancha inmensa, bautizada de inmediato como «Gran Mancha Oscura», dominaba todo un hemisferio del planeta. Pero, al final, resultó no ser tan importante porque, cuando los astrónomos volvieron a observar unos años después, la mancha había desaparecido.

No obstante, las tormentas de Neptuno siempre van y vienen, y hay que tener mala suerte para no presenciar nada impresionante. A veces, zonas con distinto clima se envuelven alrededor del planeta y crean bandas de nubes muy semejantes a las de los gigantes interiores.

DATOS DE NEPTUNO



Puntos positivos:

Atmósfera
tempestuosa. Tritón



Puntos negativos:

La distancia. Pocos
satélites importantes



Duración del día:

16 horas 6 minutos



Duración del año:

164,9 años terrestres



Gravedad en la cima de las nubes:

1,1 g



Temperatura en superficie:

-200°C



Retardo en comunicaciones:

4 horas o más

EL «CASO NEPTUNO»

El jaleo del descubrimiento de Neptuno constituyó la pelea astronómica del siglo. Tras el descubrimiento casual de Urano por parte de Herschel, la mayoría de los astrónomos admitía que había algo extraño en su órbita, muy probablemente debido al influjo de otro mundo desconocido. Hacia 1843, el virtuoso inglés de las matemáticas John Couch Adams calculó dónde se hallaba ese otro planeta pero, al parecer, no conocía a nadie que tuviera un telescopio, y al astrónomo real no le interesó el tema. Un par de años después, el astuto francés Urbain Le Verrier realizó los cálculos por su cuenta e hizo que su amigo Johann Galle, del observatorio de Berlín, comprobara la posición. Galle encontró Neptuno el 23 de septiembre de 1846. Uno a cero para los franceses. Los británicos no han dejado de lamentarse por ello desde entonces, de cuando en cuando.





Viaje en patinete

ATRACCIÓN
ESTELAR

La atmósfera de Neptuno parece más apacible que la de Júpiter o Saturno, pero engaña. En realidad, este planeta alberga los vientos más potentes de todo el Sistema Solar, y bien vale la pena zambullirse en las capas más externas para disfrutar de la experiencia de «surcarlas» al lado de las nubes de Neptuno.

Los vientos de Neptuno no sólo se deben al calor del Sol. El propio planeta genera el doble de la energía que recibe, y esto conlleva que la temperatura en la cubierta nubosa de Neptuno casi iguale la de Urano, alrededor de -215°C , a pesar de que Neptuno se halla mucho más alejado del Sol. Es más, como Neptuno mantiene una inclinación parecida a la de la Tierra, no presenta las complicaciones estacionales que se observan en Urano. Al contrario, las fuerzas de Coriolis creadas por la rotación neptuniana de 16 horas mantienen bajo control la situación atmosférica y arrastran vientos y formas nubosas alrededor de todo el planeta.

Los vientos alcanzan la velocidad máxima en las capas más elevadas. Adéntrese hasta situarse junto a uno de los pequeños «patinetes» blancos y viajará a más de 2000 km/h, una velocidad suficiente para recorrer todo el ecuador de

«Patinetes» de nubes brillantes penden sobre el azul oceánico intenso de la atmósfera inferior de Neptuno.



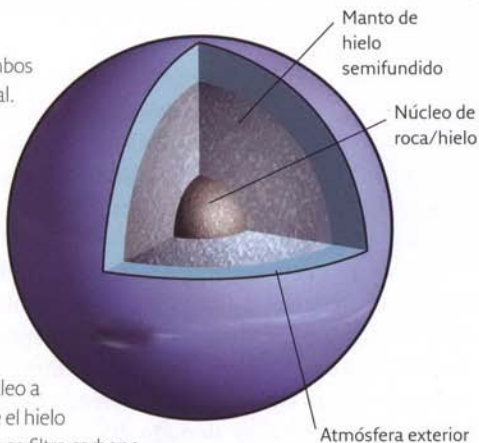
Cerca de las oscuras tormentas de la atmósfera inferior suelen formarse «patinetes» blancos y de gran altitud, aunque su elevada velocidad no tarda en apartarlos del lugar donde se originaron.

INTERIOR DE NEPTUNO

Neptuno es un poco más pequeño que Urano, y ambos planetas presentan una estructura similar en general.

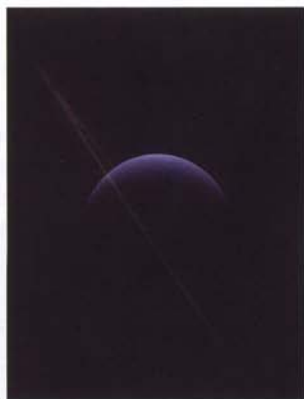
Pero el más exterior es algo más denso, y eso constituye un dato clave para saber que Neptuno posee un núcleo algo mayor.

La fuente energética interna de Neptuno probablemente provenga de la contracción gravitatoria bajo la superficie, igual que en Júpiter y Saturno. No obstante, existe una diferencia espectacular al respecto, debida a la composición helada de Neptuno. Los materiales más densos generan calor a medida que se deslizan hacia el núcleo a través del manto del planeta, y el calor descompone el hielo de metano situado en el manto, lo cual permite que se filtre carbono puro a través de las capas. Cuando las altas presiones que imperan aquí comprimen unos contra otros los átomos de carbono, éstos se unen para dar lugar a la sustancia más dura que conoce la humanidad: sí, es muy probable que en el interior de Neptuno illeven diamantes!



Neptuno en poco más de tres días terrestres. En otros lugares se forman nubes blancas alargadas allí donde el vapor caliente procedente del interior del planeta se transforma en gotitas al llegar a la fría atmósfera superior. Cuando la débil luz del Sol proyecta sus sombras contra el uniforme color azul oscuro de las capas de nubes inferiores, el resultado evoca las nubes sobre el océano Pacífico de la Tierra.

Cualquier planeta gigante que se precie posee un sistema de anillos, pero los de Neptuno conforman un conjunto un tanto pobre. Sólo hay cinco bandas estrechas, oscuras y bastante parecidas a los anillos de Urano. Minúsculas lunas pastoras contribuyen a mantenerlas en su fila gravitatoria, pero lo curioso es que los anillos son mucho más delgados a un lado del planeta que al otro. Cuando los astrónomos empezaron a buscar anillos en Neptuno usando la misma técnica que reveló el sistema de Urano (véase p. 174), observaron que algo bloqueaba la luz estelar a un lado de Neptuno, pero no al otro. Durante un tiempo pareció que Neptuno contaba con «arcos de anillos» incompletos en lugar de aros completos, pero el paso cercano de la *Voyager 2* en 1989 desveló la verdad: sólo las partes más gruesas de cada anillo son lo bastante densas como para bloquear unos instantes la luz estelar.



Los tenues anillos de Neptuno sólo se tornan visibles cuando el Sol los ilumina desde atrás y, aun así, la luz de un finísimo Neptuno en fase casi nueva puede llegar a desvanecerlos.

Los satélites de Neptuno

Comparado con el de los otros planetas gigantes, el sistema de satélites de Neptuno es bastante escaso y deslucido. Entre los estrechos anillos orbita un puñado de lunas pastoras, y mucho más lejos figuran varios cuerpos menores capturados, pero sólo hay tres satélites importantes más: Proteo, Nereida y Tritón.

Proteo es un trozo de roca de forma casi oval con 440 km de largo y una cuenca de impacto, muy grande en comparación, de 255 km de diámetro. Orbita Neptuno justo en el exterior del sistema de anillos en menos de 27 horas y, a juzgar por la cantidad de cráteres que exhibe en la superficie, puede haber donado bastante materia a los anillos.

Nereida es algo menor, con 340 km de ancho, y sigue una órbita muy excéntrica que la sitúa a 817 000 km de Neptuno durante su acercamiento máximo y a 9.5 millones de km del planeta durante su alejamiento máximo. Tarda casi un año terrestre en completar una sola órbita y, a menos que nos pille cerca durante su acercamiento máximo, tal vez no valga la pena ir en su busca. Por lo común, los objetos con órbitas excéntricas no son más que meros asteroides o centauros capturados, pero Nereida es distinta. Su proximidad durante los acercamientos máximos a Neptuno sugiere que partió de una órbita normal y que más tarde fue lanzada hacia la elipse actual.

Por fortuna, Tritón compensa con creces las deficiencias de sus compañeros (tal vez hasta sea el causante de ellas, pero retomaremos esta cuestión más adelante...). Es el satélite más atractivo a este lado de Titán, posee una superficie insólita, una actividad inesperada y una historia traumática comparable a la de Miranda.

Tritón

Si vamos a darle la vuelta a Neptuno, merece la pena tomarse el tiempo necesario para estacionar en órbita alrededor de Tritón, y echar una mirada larga y detenida al



La mayoría de los visitantes sólo puede aspirar a percibir una imagen borrosa y distante del satélite exterior Nereida.



EL NOMBRE DE TRITÓN

Tritón constituyó el mayor hallazgo de la carrera científica de William Lassell, un cervecero de Liverpool aficionado a la astronomía que confeccionó los instrumentos más finos de mediados del siglo XIX. Encontró Tritón apenas quince días después del descubrimiento del propio Neptuno pero, curiosamente, jamás propuso un nombre para el satélite nuevo, el cual permaneció sin nombre hasta 1880, cuando el astrónomo francés Camille Flammarion sugirió llamarlo Tritón. Aún así, el nombre no se consideró oficial hasta alrededor de 1950.

mundo azul y gris que queda debajo. Los dos tipos esenciales de paisaje resultan obvios incluso a distancia: llanuras grisáceas bastante lisas salpicadas de algunos cráteres y los extraños «terrenos de cantalupo», una superficie de tintes verdiazules que, naturalmente, se parece a la piel de un melón cantalupo o, si lo prefiere, a un pliego de plástico de envolver de burbujas con todas ellas reventadas.

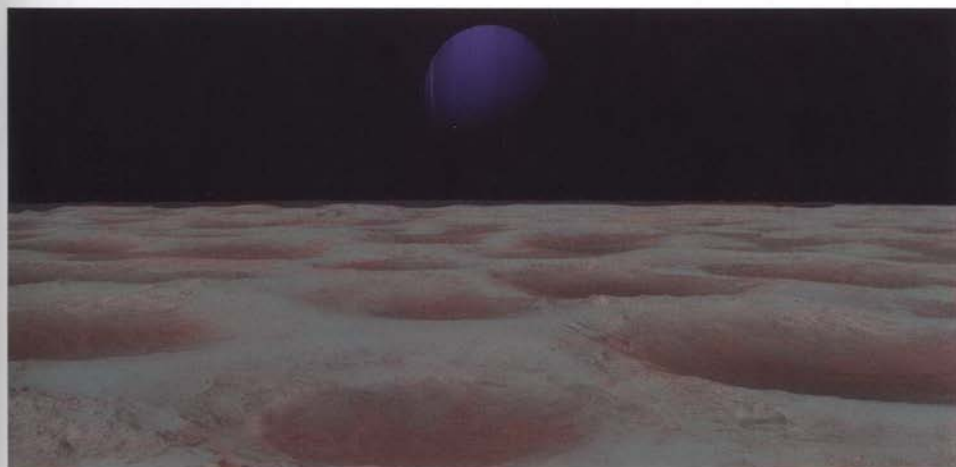
Un poco más de cerca, empiezan a vislumbrarse rasgos bastante alargados y oscuros que atraviesan algunas de las llanuras grises, sobre todo en el hemisferio sur de Tritón. Ahí es donde este satélite empieza a ponerse interesante de verdad. Una vez situados en órbita baja, observemos con prismáticos una de esas regiones veteadas que caen hacia el horizonte. Tras un par de segundos de viaje por la órbita, el efecto de la paralaje dejará claro que estas bandas no se encuentran en la superficie, isino sobre ella!

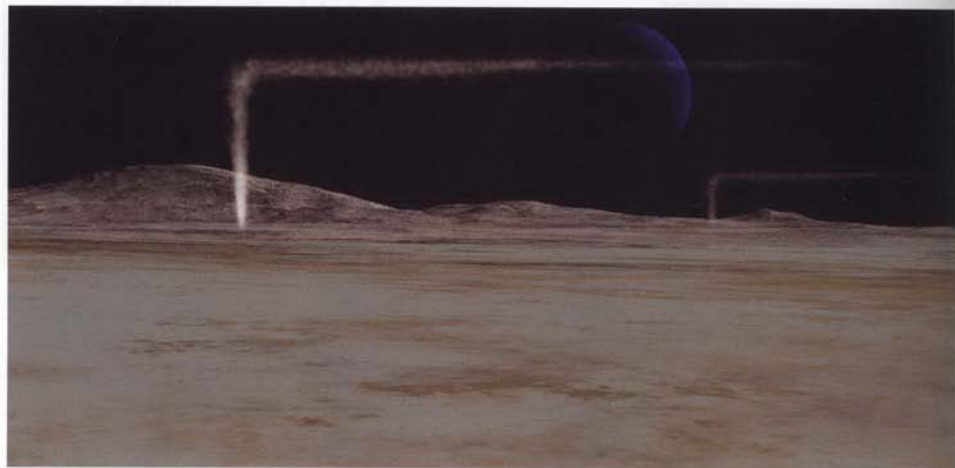
Disculpe el signo de admiración pero en este caso es bien merecido: así de extraña e inesperada es la actividad de Tritón. No sólo tiene estos «géiseres», también cuenta con una atmósfera tenue pero útil para mantenerlos suspendidos. Siga algunas de las bandas hasta localizar los surtidores donde ondean desde el suelo y establecerá otra conexión. Las bandas tienden a discurrir paralelas unas a otras en la misma dirección, lo cual revela la existencia de vientos en la atmósfera de Tritón.



Incluso a distancia, Tritón exhibe con claridad varios tipos distintos de terrenos.

Neptuno sale sobre las vastas llanuras gélidas del helado terreno de cantalupo de Tritón.





Tritón es un lugar fantástico para volver a poner el pie en tierra firme, quizá por primera vez en años. Es un satélite grande, de 2707 km de ancho, cuya gravedad en superficie asciende a $1/12$ de la terrestre. Esto tal vez baste para recuperar los conceptos de «arriba» y «abajo» sin romperse ningún hueso en el proceso. Aunque hay que tener cuidado con las manchas de hielo, lugares de Tritón tan resbaladizos como pistas de patinaje, por lo que recomendamos usar botas para el hielo.

Para sacar todo el partido a Tritón conviene aterrizar cerca de los géiseres del hemisferio sur (el terreno de cantalupo muestra un extraño atractivo desde órbita, pero ya en el suelo no es más que una sucesión de montículos viejos). La lluvia hollinienta que cae de los surtidores se puede atravesar a pie, incluso se pueden tomar muestras de los propios géiseres. Al parecer, la mayor parte del gas que emana de los géiseres es nitrógeno, mientras que el hollín oscuro consiste en una mezcla de varios compuestos basados en el carbono.

Si los géiseres de Tritón funcionan como los de otros lugares del Sistema Solar, entonces el nitrógeno líquido subyacente que se calienta por contacto con rocas o hielo del subsuelo a una temperatura considerable, entra en ebullición y sale disparado al espacio en cuanto encuentra un punto débil en la corteza. Bueno, decimos que «se calienta», pero conviene recordar que el nitrógeno hierve a poco más de -200°C .

Los géiseres se elevan en vertical desde el terreno helado del hemisferio sur de Tritón antes de ser arrastrados por los vientos de la tenue atmósfera.



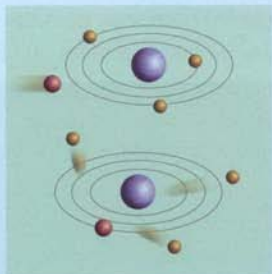
Esta fotografía tomada desde órbita revela las sombras que proyectan los géiseres en la superficie de Tritón, y las bandas oscuras que se forman cuando el polvo y la suciedad emergen del gas.

Sin embargo, incluso esas temperaturas implican que Tritón cuenta con alguna clase de fuente de calor interna. Es demasiado pequeño y helado como para conservar calor del momento en que se formó, de modo que, como siempre, sólo queda la hipótesis de un efecto de marea. Como Tritón orbita Neptuno en dirección «inversa», padece fuerzas de marea más intensas de lo habitual y esto parece bastar para calentar el interior y alimentar los géiseres.

Si son ciertas las teorías acerca del origen de Tritón (véase abajo), entonces tuvo que ser mucho más cálido en el pasado, y eso explicaría muchos de los otros rasgos curiosos de la superficie. Si algunas regiones de la superficie se fundieron, eso también explicaría por qué el territorio de los géiseres parece una «piel» arrugada sobre la pasta uniforme del terreno de cantalupo. Si el suelo de los géiseres «se cuajó» antes, pudo flotar sobre el resto del satélite a medida que éste se iba enfriando y solidificando cuando adoptó la órbita actual. El propio terreno de cantalupo, tan similar a papel de envolver con burbujas, incluso podría haber aparecido debido a que núcleos de hielos más ligeros flotaron bajo él durante esas etapas finales.

LOS ORÍGENES DE TRITÓN

Entonces, ¿cómo se explica Tritón? ¿Un gran satélite solitario con una actividad inesperada en medio de un sistema de satélites que rompe todas las reglas establecidas por el resto de planetas gigantes? La clave radica en la órbita: un círculo perfecto, sí, pero que gira en torno a Neptuno en dirección «inversa» a la que sigue la rotación del planeta central: un signo claro de que Tritón no pertenece a este lugar. Era un mundo de paso que quedó capturado por la gravitación, como debió de ocurrir con los objetos menores que orbitan los demás planetas gigantes. Lo más probable es que Tritón formara parte en sus inicios del cinturón de Kuiper (véase p. 197), y que simplemente se precipitara al interior de la órbita de Neptuno. En principio fue arrastrado hacia una órbita excéntrica alrededor del planeta gigante, pero las fuerzas de marea lo condujeron hacia una órbita más dócil y circular. Durante el proceso, Tritón habría echado a perder el sistema original de satélites exteriores de Neptuno en una serie de encuentros cercanos que lanzó la mayoría de ellos fuera de órbita. Sólo Proteo y el resto de satélites interiores salieron indemnes, mientras que Nereida salió bastante bien parada al adoptar la órbita excéntrica que presenta en la actualidad.



Cuando Tritón llegó al sistema de Neptuno (arriba) se encontró con una colección de satélites ordenados. La mayoría de ellos, en cambio, salió despedida completamente fuera del sistema a medida que Tritón se fue abriendo paso hasta situarse en su órbita.

Más allá: el cometa Halley

El cometa más célebre de todos sólo visita el Sistema Solar interior una vez a lo largo de una vida humana promedio, pero si ha tenido la mala suerte de perderselo, o es demasiado impaciente para esperarlo, un viaje al confín exterior del Sistema Solar constituye la ocasión ideal para alcanzar el cometa llamado Halley.

Este trozo de hielo y roca de 15 km orbita el Sistema Solar desde una posición perfecta para convertirse en un visitante ocasional espectacular. Completa un giro alrededor del Sol cada 76 años, de modo que aparece con la frecuencia suficiente como para recordarlo de generación en generación, pero no tan a menudo como para haber consumido ya toda su sustancia de hielo y quedar reducido a un chasco cometario. A lo largo de cada órbita pasa varios meses cerca del Sol, dentro de la órbita de Marte, y mucho más tiempo se demora entre las órbitas de Urano y Neptuno. El afelio, el punto más alejado del Sol, cae entre las órbitas de Neptuno y Plutón.

Sin embargo, cuando se le da alcance en el Sistema Solar exterior, es fácil preguntarse a qué se debe tanto alboroto. A semejante distancia del Sol, el cometa está real y verdaderamente inactivo, con tan sólo unas grietas ocasionales ribeteadas de hielo reciente que interrumpen una superficie, en



La visita del cometa en 1910 al Sistema Solar interior fue una de las más espectaculares de los últimos tiempos.



El núcleo inactivo del Halley brilla con la luz del Sol distante durante su largo y lento trayecto más allá de Neptuno.

general, oscura y quebradiza. Cuesta creer que, durante sus breves visitas al Sol, pueda desarrollar una cabellera tan extensa como el diámetro de Júpiter, y una cola de millones de kilómetros de longitud. Todo el material del que se despoja queda tras el propio cometa, difuminado en una larga corriente de partículas que sigue la misma órbita alrededor del Sol. Cuando la Tierra pasa cerca de la órbita del Halley, en los meses de mayo y octubre de cada año, estas partículas dan lugar a las lluvias meteóricas de las eta Acuáridas y las Oriónidas.



GRANDES ÉXITOS DE HALLEY

El cometa Halley es lo bastante brillante como para hacerse notar durante la mayoría de sus retornos, los cuales han quedado registrados a lo largo de la historia.

240 a. de C.: Astrónomos babilonios registran una aparición brillante del Halley.

837 d. de C.: El cometa realiza el mayor acercamiento a la Tierra de su historia y pasa a tan sólo 5 millones de km de distancia.

1066: El Halley surca los cielos terrestres y se considera un mal augurio para el rey Haroldo II de Inglaterra, quien pocos meses después será herido en un ojo por una flecha del duque Guillermo de Normandía.

1301: El artista italiano Giotto di Bondone usa el cometa como modelo para pintar la estrella de Belén en el cuadro de *La adoración de los Magos*.

1456: El papa Calixto III excomulga el cometa temiendo que ejercerá un influjo negativo en los soldados cristianos que defienden Belgrado del ejército otomano.

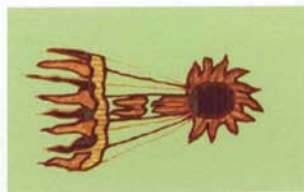
1758: Tras un altercado con Júpiter, el Halley llega casi dos años tarde a su gran cita con la historia. En 1705, el astrónomo inglés Edmond Halley había indicado que los cometas de 1607 y 1682 eran en realidad un mismo cometa y predijo que regresaría en 1757. El cometa se bautizó con el nombre de Halley aunque él no llegó a saberlo.

1910: El Halley efectúa uno de sus regresos más impresionantes y provoca el pánico generalizado ante el temor de que la Tierra quedara envenenada con el gas cianuro de su cola.

1986: Una aparición algo decepcionante en la que el Halley se mantiene a distancia de la Tierra durante el brillo máximo, que se compensa porque un ejército de sondas espaciales aporta los primeros datos científicos sobre el cometa, incluidas imágenes del núcleo.



La primera imagen del núcleo la captó en 1986 la sonda espacial europea *Giotto*.



Quizá no resulte muy parecido a un cometa para usted o para mí, pero sí para los bordadores de la Francia del siglo XI, que registraron de este modo el Halley de 1066 en el tapiz de Bayeux.





El último confín

Para los viajeros de larga distancia, los confines del Sistema Solar poseen muchos destinos sugerentes, aunque se precisa una cámara de hibernación para los prolongados viajes entre esos mundos minúsculos. Éste es el reino de **Plutón, Éride** y millares de mundos como ellos que residen en el cinturón de Kuiper. Más allá del cinturón se encuentra la heliopausa, donde la corriente de partículas procedentes del Sol se cruza con el viento estelar de otros astros. Luego viene Sedna, un misterioso mundo rojo que los astrónomos aún no saben explicar. Y en el límite absoluto de la atracción del Sol yace un halo esférico de innúmeros cometas latentes, la nube de Oort, situada a un cuarto de la distancia que nos separa de las estrellas más próximas.

Cuesta creerlo pero algunas personas ya están hartas de las maravillas que ofrece el turismo espacial. Le sonará a esnobismo pero alguien dijo aquello de «Ése es un turista, usted es un veraneante pero yo... yo soy un viajero».³

Si pertenece usted a esa clase de personas que opina que la Luna está superpoblada, que Marte es demasiado vulgar, y que hasta los anillos de Saturno están a la vuelta de la esquina, ¿qué le queda? Bueno, hay mucho espacio en los bordes, miríadas de mundos inexplorados a la espera de que alguien los descubra, les asigne un nombre y los cartografie. La única dificultad estriba en que le llevará toda la vida llegar hasta allí y no podrá traer de vuelta fascinantes artesanías nativas con las que impresionar a amigos tan esnobs como usted. De hecho quizá ni siquiera regrese!

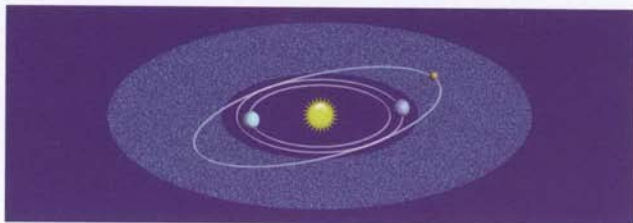
Desde luego, no estamos siendo justos. No todas las personas que emprenden la exploración de los últimos confines del Sistema Solar son turistas esnobs y, para ser francos, de momento sólo unas pocas docenas de personas se han adentrado tan lejos. Aparte de las expediciones científicas, la mayoría de los exploradores que llegan hasta allí son jubilados ricos que pueden permitirse equipar una nave grande con suministros suficientes para varios años.

El confín exterior del Sistema Solar se divide en dos partes bien diferenciadas. Más allá de Neptuno reside el cinturón de Kuiper, formado por planetas «enanos helados» entre los que se cuentan Plutón, Éride y un montón de mundos cuyo tamaño llega a acercarse al de nuestra Luna. Más alejada aún se encuentra la nube de Oort, un halo esférico de cometas que circunda el Sistema Solar. En realidad, nadie ha llegado tan lejos jamás pero lo incluimos aquí por precaución; no queremos que nadie reclame la devolución del dinero dentro de un

³ Conocida frase del poeta inglés Humbert Wolfe (1885-1940). [N. de la T.]



Hasta que la sonda espacial *New Horizons* sobrevoló Plutón por primera vez en 2015, lo único que se veía del cinturón de Kuiper eran imágenes tomadas desde la Tierra, como ésta, en la que aparecen Plutón y sus satélites.



El cinturón de Kuiper se extiende desde justo la frontera de la órbita de Neptuno hasta más del doble de la distancia que lo separa del Sol. Plutón, considerado el noveno planeta durante mucho tiempo, orbita cerca del límite interior del cinturón.

siglo porque su vapuleado ejemplar de la *Guía turística del Sistema Solar* no menciona la nube de Oort.

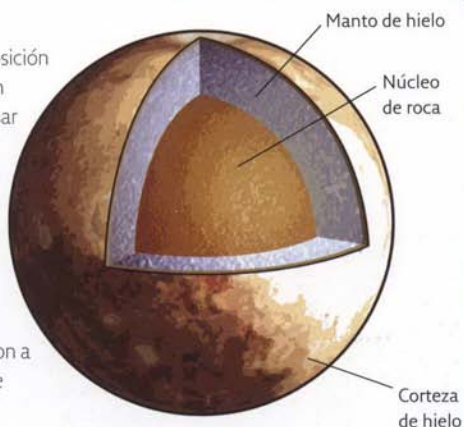
Cómo llegar

Nuestra recomendación más encarecida es alcanzar la máxima velocidad posible y, después, itirar, tirar y tirar millas! Eso es más difícil de lo que parece, por supuesto, sobre todo si se acarrearán varias toneladas de combustible y víveres. Si le gusta el riesgo y no le preocupa demasiado la posible pérdida de un par de dedos de los pies por congelación, ahorrará peso y dinero llevando una unidad de hibernación. De este modo pasará durmiendo las largas y aburridas etapas entre cada mundo (aunque le deseamos suerte para encontrar compañía de seguros).

Para lograr una velocidad razonable es indispensable usar los alrededores de Júpiter como catapulta (véase p. 15) y, créanos, el viaje es ya de por sí lo bastante aburrido como para encima añadirle cuatro o cinco años más. A menos que sea completamente imposible, debería programar varios pasos cercanos más a lo largo del recorrido. Los cuatro planetas mayores adoptan una disposición adecuada tan sólo cada 176 años pero, si puede pillar dos o tres alineados, ayudarán a pasar el rato y le imprimirán una velocidad mayor para la etapa final del viaje.

INTERIOR DE UN ENANO HELADO

Se cree que todos los enanos helados tienen una composición semejante. Nuestro esquema ilustra el interior de Plutón que, como es natural, es el que conocemos mejor. A pesar de su nombre, los enanos helados no consisten en hielo en su totalidad. Alrededor de un 70 por 100 de Plutón es roca, y el calor generado cuando se ensambló pudo bastar para fundir el planeta, volverlo esférico y estratificarlo en capas. El resultado es un núcleo de roca rodeado por un manto de hielos varios donde predomina el agua. La superficie de los enanos parece diferir bastante, probablemente debido a que se formaron a partir de hielos finos y multicolores de gases diversos que pueden variar de un mundo a otro.





Plutón

ATRACCIÓN
ESTELAR

Viajar al cinturón de Kuiper y no visitar Plutón es como ir a Egipto y no ver las pirámides. Es mucho más insólito incluso, y nadie aceptaría excusas tan poco convincentes como que se encontraba en el lugar opuesto de la órbita, que miró hacia el otro lado y se lo perdió, o que se le atascó la cámara.

Plutón se descubrió mucho antes que cualquiera de los demás objetos del cinturón de Kuiper, y pasó la mayor parte del siglo xx siendo una pequeña molestia: un mundo minúsculo aislado más allá de los planetas gigantes que arruinaba cualquier teoría bien organizada sobre el proceso de formación del Sistema Solar. Algunos astrónomos empezaron a decir: «¡No es un verdadero planeta!» desde el mismo instante de su descubrimiento y, al fin, fue expulsado de la lista oficial de planetas en 2006 (véase p. 199).

Si planifica bien la visita a Plutón ni siquiera tendrá que llegar hasta Neptuno, puesto que a lo largo de su órbita de 248 años, Plutón llega a internarse en la de Neptuno y permanece en ella durante 20 años. Por desgracia, no se pueden visitar ambos mundos en el mismo viaje puesto que Plutón fue empujado hacia una órbita que lo mantiene bien alejado de Neptuno alrededor del perihelio. (Esto causó algún desconcerto en los astrónomos del siglo xx que confiaban en explicar Plutón como un satélite extraviado de Neptuno).

Durante esos pasos cercanos, Plutón sufre una ola suave de calor que eleva la temperatura de la superficie hasta -230°C . Esto basta para evaporar parte de las manchas de hielo que hay en ella y permite que Plutón desarrolle una atmósfera efímera. No es gran cosa, pero algo es algo: una mezcla tenue de nitrógeno, metano y monóxido de carbono. Los días, las noches y las estaciones de Plutón presentan la misma complejidad que en Urano porque los polos también mantienen una inclinación considerable que asciende a 122 grados respecto de la vertical. Como consecuencia, algunas partes de Plutón viven un día de 100 años, seguido de un periodo breve en el que el Sol sale y se pone con el periodo de rotación de 6.4 días terrestres y, después, una noche de 100 años. De todos modos, no hay gran diferencia entre el

DATOS DE PLUTÓN



Puntos positivos:

Cercano (para tratarse de un objeto del cinturón de Kuiper)



Puntos negativos:

Hay que planificar bien la visita para sacarle el máximo partido



Duración del día:

6.4 días terrestres



Duración del año:

248 años terrestres



Gravedad:

0.06 g



Temperatura en superficie:

-230°C



Retardo en comunicaciones:

4 horas o más

Al acercarse al sistema de Plutón y mirar más allá de él se puede ver el satélite más grande, Caronte, y quizá también uno de los satélites menores.



PLANETAS DE PACOTILLA

El descubrimiento del cinturón de Kuiper desencadenó un buen lío astronómico relacionado con la definición de *planeta*. Al parecer, cada pocos años aparecía alguien deseoso de ser noticia afirmando que Plutón no era un planeta, o anunciando que había descubierto el décimo planeta «auténtico», o el undécimo o el duodécimo. Sin embargo, para ser sinceros, incluso antes de que empezaran a detectarse objetos del cinturón de Kuiper mayores y mejores que Plutón, la lista de los planetas ya era un pequeño desastre, y la mayoría de los intentos por hallar una definición científica del término acababan o prescindiendo de alguno de los nueve tradicionales o incluyendo algún asteroide u objeto menor. El hallazgo de que Plutón no era ni tan siquiera el mundo más grande de los de su clase sólo sirvió para aumentar la diversión (véase más adelante).

día y la noche ya que, a tanta distancia del Sol, éste no es más que una estrella muy brillante.

Plutón, como muchos otros objetos del cinturón de Kuiper, no viaja solo alrededor del Sol: está acompañado por tres satélites, el mayor de los cuales, Caronte, tiene más de la mitad del diámetro de Plutón. Caronte, con 1207 km de diámetro, orbita alrededor de Plutón a una distancia reducidísima de sólo 19 600 km. Las omnipresentes fuerzas de marea han frenado la rotación de Caronte hasta lograr que siempre dirija la misma cara a Plutón pero, en este caso, se han esmerado aún más y han desacelerado Plutón hasta el punto de que completa una rotación en el mismo tiempo que tarda Caronte en completar una órbita: 6.4 días terrestres. Esto convierte el sistema Plutón/Caronte en un sistema «binario» auténtico. Ambos mundos se muestran siempre la misma cara entre sí y Caronte jamás se desplaza por los cielos de Plutón.

Los otros dos satélites, Nix e Hydra, son bastante más pequeños, ambos de unos 50 km de diámetro. Sus órbitas los desplazan a 49 000 km y 65 000 km de distancia de Plutón, respectivamente, y los convierten en buenas plataformas de observación para contemplar el par central.

En la superficie

Si va a explorar Plutón, lleve una linterna. El mediodía en Plutón es como una noche de Luna en la Tierra y la superficie helada es resbaladiza. Las temperaturas son algo más altas que en Tritón durante el perihelio, porque la superficie es más oscura en general, y absorbe más el débil calor del Sol. Sin embargo, Plutón no alberga ningún géiser helado de los que se observan en Tritón. La superficie es antigua y está repleta de cráteres y su remedo de atmósfera se reduce a la evaporación de las manchas de hielo que hay en el suelo.

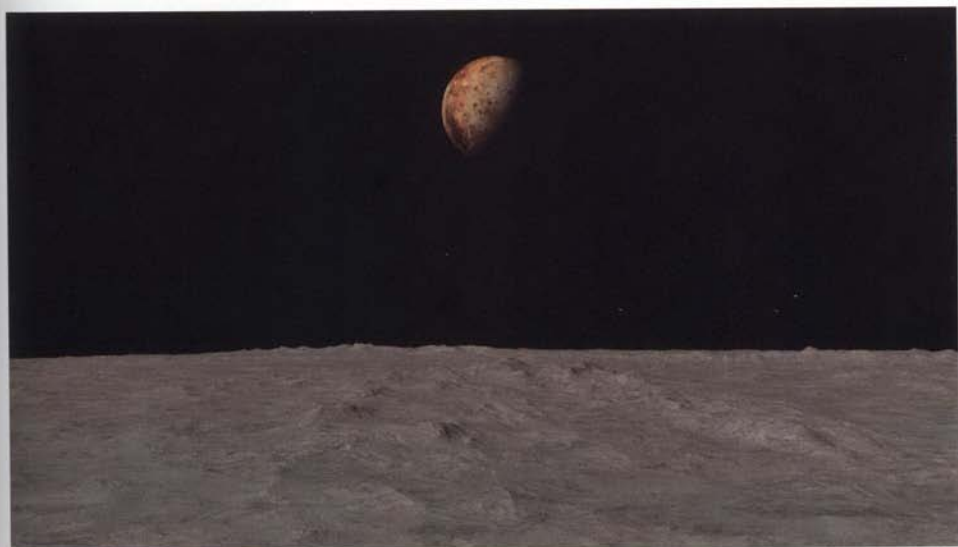
Las imágenes más espectaculares de Plutón las brinda Caronte. Si se aterriza en el hemisferio correcto no pasa inadvertido. Tiene un tamaño aparente siete veces mayor que el de la Luna vista desde la Tierra, y es más brillante y gélido que la superficie de Plutón. Es extraña la sensación cuando se está en la superficie con la amenaza de esa gran bola de roca marrón grisácea suspendida e inmóvil encima de la cabeza.

EL DESCUBRIMIENTO DE PLUTÓN

La historia del descubrimiento de Plutón consiste en un 1% de inspiración, un 2% de casualidad, y un 97% de pura mala leche. La inspiración provino de Percival Lowell (1855-1916), un astrónomo estadounidense que había trazado algunos de los mejores mapas de los canales marcianos (véase p. 83) lo que, visto en retrospectiva, no lo convertía en la persona más recomendable. A finales del siglo XIX, muchos astrónomos tenían la clara percepción de que en los últimos tiempos no se habían descubierto suficientes planetas, de modo que se lanzaron a la invención de algunos nuevos. En rigor, las invenciones aparecieron como respuesta a lo que parecían desviaciones en la órbita de Neptuno, pero algunas personas llegaron más lejos que otras tirando de la madeja especulativa. A finales de 1900, el propio Lowell propuso un planeta al que asignó el título de moda de «planeta X». Construyó un observatorio flamante en Flagstaff, Arizona, con la intención expresa de buscarlo, pero falleció antes de encontrar el nuevo mundo.

En 1929, 13 años después de la muerte de Lowell, un astrónomo joven llamado Clyde Tombaugh emprendió la tarea de buscar el planeta X. Para ello, planeó obtener imágenes de una región extensa de cielo en los alrededores de la eclíptica, y fotografiar cada área dos veces con varias noches de diferencia entre ambas. Así podría comparar ambas placas y comprobar si algo se había movido en ellas. Por suerte, contaba con una máquina especial de búsqueda llamada «comparador de parpadeo» que resaltaba las diferencias entre las placas pero, aun así, fue una labor tediosa.

En cambio, por increíble que parezca, Tombaugh tuvo suerte. Encontró Plutón en cuestión de meses, muy cerca de la posición predicha por Lowell. Pero, vista desde la distancia, la fortuna de Tombaugh fue mayor de lo que parecía en su época: Plutón resultó ser demasiado pequeño para perturbar la órbita de Neptuno y, al final, las «oscilaciones» de Neptuno terminaron explicándose isin ninguna necesidad de recurrir a otro planeta!



Del mismo modo que Caronte no se desplaza jamás por el cielo de Plutón, también Plutón permanece siempre suspendido sobre el horizonte de Caronte.



Éride

Hacia finales del siglo xx, Plutón perdió el título de solitario en el Sistema Solar exterior, porque al fin emergieron sus compañeros del cinturón de Kuiper. Con anterioridad se habían pasado por alto por diversas razones (Clyde Tombaugh, por ejemplo, continuó la búsqueda durante trece años más sin ningún éxito). La sequía concluyó al fin con el advenimiento de telescopios más potentes y de computadoras capaces de realizar gran parte de la tediosa labor de cotejo de imágenes mientras los astrónomos aguardaban junto a máquinas de café ideando nuevas propuestas de investigación.

Éride no fue el primer objeto del cinturón de Kuiper nuevo que se detectó, pero sí el primero más grande que Plutón. De inmediato se anunció en la prensa a bombo y platillo como el «décimo planeta», pero la Unión Astronómica Internacional (la máxima autoridad astronómica) se encontró entonces con un quebradero de cabeza. Los catálogos oficiales lo registraron como 2003 UB₃₁₃, y sus descubridores lo apodaron Xena, en honor a una princesa guerrera de la televisión de la época pero, antes de otorgarle un nombre oficial algo más serio, la UAI tuvo que decidir qué era exactamente. Al final repararon en que para ello se precisaba una

Éride tiene un brillo y un color gris sorprendentes para ser un objeto tan exterior del Sistema Solar.



Este diagrama ilustra la órbita de Éride comparada con las de Plutón, Neptuno y Urano.

definición decente, desde el punto de vista científico, del término *planeta*.

Así pues, la asamblea general de la UAI se reunió en Praga quizá con la esperanza de que la cerveza local facilitara la decisión. A lo largo de una semana de debate acalorado, consideraron una propuesta que habría añadido docenas de planetas más a la lista, antes de calificarla de un tanto absurda, y desecharla. Al final, optaron por la elección más práctica de declarar que sólo hay ocho planetas mayores, y que el resto de objetos más pequeños son planetas enanos, y así concluyó el asunto. Mucha gente lo lamentó por Plutón pero, al menos, pudo bautizarse a Xena, que recibió un nombre más apropiado, el de la diosa griega de la discordia y el caos, Éride (o Eris).

Éride no es precisamente el objeto más accesible del cinturón principal de Kuiper pero, en regiones tan exteriores del Sistema Solar, las velocidades orbitales son tan bajas que puede cambiarse de dirección con un solo encendido de motores. Éride forma parte del «disco disperso», un grupo de objetos del cinturón de Kuiper que salió despedido hacia órbitas con una disposición inusual debido a encuentros cercanos con Neptuno. Como consecuencia, su distancia al Sol varía ahora entre 5 700 millones de km, casi tan cerca como Plutón en su afelio, y 10 200 millones de km. Su órbita también mantiene una inclinación de 44 grados respecto del plano del Sistema Solar. Si se adentra usted hasta aquí, será mejor que traiga una unidad de hibernación que funcione y que no deje a nadie esperándole en la Tierra. Si no se atreve, no se lo reprocharemos, puesto que nadie ha llegado jamás tan lejos...

Dicho esto, tenemos una idea muy vaga sobre lo que puede esperarse en Éride. Sí se sabe que tarda 557 años en completar una vuelta alrededor del Sol y que es muy poco mayor que Plutón, con unos 2397 km de diámetro. También presenta un brillo excepcional, ya que se trata del mundo más reflectante de todo el Sistema Solar con la única excepción de Encélado, el satélite de Neptuno recubierto de nieve. La superficie alberga diversos hielos, entre los que se incluye el de metano, que forman una escarcha reflectante. Otra cosa que cabría buscar es el pequeño satélite de Éride, apodado «Gabrielle» en un principio por la compañera fiel de Xena, pero bautizado ahora como Disnomia. Mide unos 300 km de diámetro, y orbita Éride en apenas 14 días.

DATOS DE ÉRIDE



Puntos positivos:

Bastante fácil de detectar. Cercano en ocasiones.



Puntos negativos:

Crisis de identidad. Muy lejano si se sincroniza mal el viaje.



Duración del día:

14 días terrestres (?)



Duración del año:

557 años terrestres



Gravedad:

0.07 g



Temperatura en superficie:

-240°C



Retardo en comunicaciones:

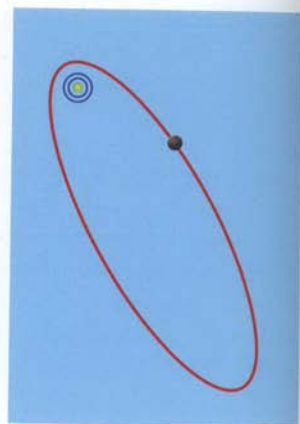
De 4 a 8 horas

Más allá: Sedna

El mundo individual más distante de nuestra guía es Sedna, un solitario incluso para los estándares del Sistema Solar exterior. Deambula con torpeza entre el cinturón de Kuiper y la nube de Oort sin ánimo de unirse a ninguno de esos grupos, pero aparentemente contento de romperle los esquemas a los astrónomos aficionados a las cosas bien estructuradas.

Sedna se descubrió en 2003 durante una búsqueda de objetos del cinturón de Kuiper, pero se movía tan despacio que tenía que hallarse mucho más lejos que el cinturón. Cuando los descubridores calcularon su órbita, se encontraron con que tarda 10 500 años en completar una vuelta alrededor del Sol, que nunca se acerca a éste más de 11 400 millones de km y que, durante sus alejamientos máximos, se sitúa a una distancia de 146 000 millones de km. No es extraño, pues, que bautizaran su hallazgo con el nombre de la diosa inuit del océano, asociada a los gélidos mares del Ártico.

Sedna roza la frontera exterior del cinturón de Kuiper, a unos 12 000 millones de km del Sol, pero no llega a penetrar en el límite interior de la nube de Oort (que, según se cree, reside a unos 4.8 billones de km de distancia). Algunos astrónomos sugirieron que Sedna evidenciaba la existencia



La órbita de Sedna es tan inmensa que incluso los planetas exteriores se pierden en este esquema. Lo único que se ve es la región general del cinturón de Kuiper.



Sedna acecha en la oscuridad del Sistema Solar exterior, donde la distante luz del Sol incide sobre su rubicunda superficie.

de una «nube de Oort interior» pero, mientras no se encuentre algún amigo de Sedna con una órbita similar, no pasará de ser una mera teoría.

Entonces, ¿qué se sabe de este mundo si nadie lo ha visitado jamás? Bueno, se cree que mide unos 1700 km de diámetro, es muy brillante, de modo que quizá albergue hielo en la superficie, y es muy, muy rojo, tanto como Marte, para sorpresa de todos. Para no tener que admitir que simplemente no sabemos por qué, diremos que podría guardar alguna relación con compuestos químicos orgánicos en la superficie.

Otra cosa: es probable que Sedna no cuente con ningún satélite grande. La detección de alguno se convirtió en una prioridad inmediata tras el descubrimiento porque, en caso de existir, serviría para saber mucho más acerca de este mundo extraño y pequeño. Pronto se observaron cambios de brillo en Sedna que sugerían que rota en unos 20 días y se creyó que la rotación se había frenado por la interacción con un satélite (como le ocurrió a Plutón) pero, a pesar de las diversas búsquedas, ide momento no hay satélite!



MÁS ALLÁ DE LA HELIOPAUSA

En algún lugar más allá del cinturón de Kuiper, se penetra en el espacio interestelar al atravesar la heliopausa, la frontera donde el viento solar choca de frente con el resto de la Galaxia. Durante todo el trayecto por el interior del Sistema Solar nos acompañan partículas cargadas procedentes del Sol que parten raudas pero, de forma gradual, van perdiendo velocidad. Con el «choque final», las partículas se frenan por debajo de la velocidad del sonido. Entonces se sale de la heliosfera, una región del espacio en forma de huevo, dominada por el Sol y cuyo extremo más plano apunta en la dirección del movimiento que sigue el Sol por la Galaxia. Por último, en la linde de esta zona, el viento solar se debilita tanto que es superado por la presión entrante del viento interestelar, el flujo de partículas que recorre el espacio interestelar. Algunos astrónomos sostienen que se sale del Sistema Solar al atravesar la onda de choque subsiguiente pero, a nuestro entender, queda un último lugar por visitar...

DATOS DE SEDNA



Puntos positivos:

Un destino único.
Tiene colorido.



Puntos negativos:

Un viaje muy muy largo... ¡para no mucho!



Duración del día:

20 días terrestres (?)



Duración del año:

10 500 años terrestres



Gravedad:

0.05 g (?)



Temperatura en superficie:

-260° C



Retardo en comunicaciones:

De 10 horas a 5,5 días terrestres

Más allá: la nube de Oort

La nube de Oort es lo último en destinos de difícil acceso. Está tan lejos que, si se viaja en la dirección correcta, antes de atravesarla se cubre la mitad de la distancia que nos separa de la estrella más próxima. Se trata de una envoltura esférica cuya frontera interior dista del Sol alrededor de medio año-luz (unas mil veces la distancia de Plutón), y su frontera exterior ronda 1.5 años-luz de distancia. En esa nube orbitan literalmente billones de cometas, pero ocupan un espacio tan vasto que se encuentran incluso más dispersos que los asteroides del cinturón principal.

Ésta es la zona del Sistema Solar entre bastidores, donde cometas latentes esperan el momento de saltar al candelero. Casi todos ellos se formaron más cerca del Sol, en la región donde orbitan ahora los planetas gigantes, pero fueron des-



LA PREDICCIÓN DE LA NUBE

Si la nube de Oort es tan distante y tiene un contenido tan ínfimo, ¿cómo estamos seguros de que existe? Todo se reduce a una cuestión estadística, y la nube de Oort lleva el nombre de la primera persona que dedujo su existencia, el astrónomo holandés del siglo xx Jan Oort. Éste reparó en que los cometas de periodo largo provienen de todas direcciones, y que sus órbitas presentan cualquier ángulo de inclinación respecto de la eclíptica, mientras que los puntos de afelio siempre residían en una misma región esférica del espacio. Esta distribución de los cometas sólo se explica con la existencia de la nube de Oort.





¿CICLOS COMETARIOS?

Cada pocos millones de años, la nube de Oort experimenta una alteración mayor de lo habitual y lanza cientos, si no miles, de cometas hacia el Sistema Solar interior, lo cual incrementa de forma masiva el riesgo de impacto directo con un planeta. Pero, ¿se pueden predecir esos bombardeos cometarios con antelación? Algunos astrónomos creen que sí y sospechan que se producen a intervalos regulares de unos 26 millones de años, tal vez relacionados con las oleadas de extinciones en la Tierra. Si así fuera, una causa podría estribar en el paso regular del Sol a través del poblado plano de la Galaxia. Otra gran idea, aunque sin ninguna evidencia que la respalde, es que el Sol tenga una estrella enana tenue como compañera que orbite en algún lugar baldío del Sistema Solar exterior. Según la misma teoría, esta «estrella de la muerte» se adentra en el territorio de la nube en algún lugar de su órbita, y manda una nueva ola de cometas letales hacia el Sol.

terrados a la oscuridad por encuentros cercanos con los chulos del patio de recreo, Júpiter y Saturno. Ahora merodean siguiendo órbitas de millones de años, y sólo en ocasiones se encuentran con algún pariente en mitad del vacío.

Pero, de vez en cuando, algo se mueve en la nube de Oort; dos núcleos inactivos se rozan de cerca y alteran para siempre sus órbitas; o el acercamiento de otra estrella causa un efecto de marea entre los cometas; o tal vez el paso del Sistema Solar por una región especialmente poblada del espacio los empuja a un lado u otro.

Con independencia de la causa, el resultado siempre es el mismo: los cometas se desvían de sus órbitas y se precipitan al interior del Sistema Solar a una velocidad creciente a medida que avanzan. Miles de años después, regresarán a este lugar con las marcas de su paso alrededor del Sol. Pero muchos no vuelven. Si sufren otro encuentro cercano con Júpiter, se destruyen por completo o se ven arrastrados hacia órbitas propias de los cometas de periodo corto, mucho más próximas. O se desintegran con las tensiones producidas por el paso cerca del Sol, o chocan de frente con un planeta o un satélite. Parece improbable, pero docenas de cometas se precipitan en dirección al Sol cada año, de modo que es más o menos inevitable a largo plazo.

Aquí reside el verdadero confín del Sistema Solar, el límite absoluto del influjo gravitatorio del Sol. Si no da media vuelta ahora, probablemente jamás regrese a casa.



Un encuentro casual entre dos cometas inactivos en la nube de Oort puede situar a uno o a ambos en una trayectoria dirigida hacia el Sol.



Información de interés

Por muy bien preparados que estemos, el Sistema Solar se vuelve a veces un lugar desconcertante. De modo que este apartado de la guía ofrece información básica sobre la historia de nuestro sistema planetario y de su exploración y, además, trata ciertos aspectos específicos relacionados con viajes espaciales, como la elección del transporte, comida, agua y alojamiento.

Evolución histórica

No vendrá mal tener una pequeña idea acerca de la historia básica del Sistema Solar. Todo cobra sentido si se sabe quién le hizo qué a quién, dónde y cuándo. Es como un juego interplanetario de Cluedo, sólo que con asteroides en lugar de candelabros.

Todo comenzó hace 4600 millones de años. El Sistema Solar era poco más que una bola de gas y polvo en colapso y con una densidad creciente en el lugar donde acabó formándose el Sol. A medida que chocaban entre sí las distintas regiones que orbitaban en direcciones diversas, sus movimientos aleatorios se fueron aplanando hasta formar un disco alrededor del ecuador del Sol. Esta «nebulosa protoplanetaria» debía de parecerse a los anillos de Saturno pero a lo bestia.

Por suerte para nuestra futura existencia, las partículas y moléculas más pesadas de la nebulosa eran bastante pegajosas y tendían a agruparse entre sí. Incluso antes de que el Sol empezara a brillar como es debido, alrededor de él ya se habían formado «planetesimales» del tamaño de asteroides en el disco. Estos mundos incipientes eran pequeños pero ya contaban con gravedad suficiente como para atraer más material de sus alrededores. Esto favoreció que crecieran mucho más deprisa que los objetos que dependían únicamente de colisiones aleatorias con otros materiales de la nebulosa. A medida que captaban materia del disco circundante, también giraban más deprisa, por lo común alrededor de un eje que los mantenía «derechos» en relación con el resto del Sistema Solar en ciernes, y en sentido levógiro vistos desde «arriba».

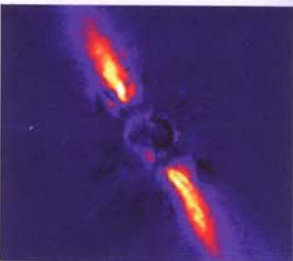
Cuando las reacciones nucleares de fusión se desencadenaron al fin en el seno del Sol, la mera fuerza de radiación que emergía de la superficie empezó a dispersar gran parte del gas ligero del Sistema Solar interior y evaporó todo el hielo fácil de fundir. Pronto sólo quedó la materia rocosa, la mayoría de ella concentrada en un número decreciente de planetesimales que recorrían veloces varias órbitas excéntricas, y que terminaron chocando y ensamblándose entre sí. Las mismas fuerzas que organizan las partículas de los anillos planetarios en órbitas planas y concéntricas también nivelaron las órbitas de los planetesimales de tal modo que los más grandes desarrollaron órbitas próximas a círculos perfectos.



Las estrellas nacen en cúmulos, inmersas en columnas de gas y polvo elevadas y en forma de dedo, como estas de la nebulosa del Águila, situada a 7000 años-luz de distancia de la Tierra.



Las estrellas aisladas se forman a partir de grumos bastante pequeños de gas, de alrededor de un año-luz de diámetro y llamados glóbulos de Bok, desgajados de las nebulosas mayores.



Los telescopios de infrarrojos, que revelan materia demasiado fría como para que brille, han descubierto muchas estrellas rodeadas de discos donde se están gestando planetas.

Mientras, en el Sistema Solar exterior ocurría lo mismo pero aquí la radiación solar era demasiado leve para dispersar las inmensas cantidades de gas y hielos de sustancias químicas congeladas (como el agua) que orbitaba junto con materia rocosa. Por ello, aquí nacieron planetas mucho mayores que, probablemente, surgieron como nudos descomunales de gas en rotación, separados del resto del entorno, que se comprimieron hacia el centro como Sistemas Solares en miniatura y dieron lugar a complejas proles de satélites.

Buena parte del material que quedó alrededor de los planetas gigantes se concentró para dar lugar a pequeños mundos helados: los cometas. Pero a medida que los gigantes fueron creciendo, su gravedad empezó a expulsar muchos de los mundos menores que los rodeaban, y los mandó fuera del Sistema Solar o los condenó a orbitar para siempre en la distante nube de Oort. Esto no afectó tanto a los «enanos de hielo» algo más grandes que se formaron más allá de Neptuno, y permanecieron en el mismo lugar aproximado donde se gestaron. La gravedad de Júpiter también pudo atraer la materia que orbitaba más cerca del Sol que él y anular cualquier posibilidad de que se concentrara y diera lugar a un mundo de tamaño considerable, lo que terminó convertido en el actual cinturón de asteroides.

Hace unos 4560 millones de años, los planetas eran más o menos tal como los conocemos ahora, aunque aún orbitaban entre una granizada de objetos menores que bombardeaban sin cesar las superficies. Unos pocos planetesimales aislados aún seguían órbitas elípticas que los situaron en trayectorias de colisión con los planetas mayores. Una de esas colisiones acaecidas por esta época originó la Luna. Otras continuaron durante algún tiempo; una de ellas destruyó gran parte del manto rocoso de Mercurio, y otra desplazó el eje de Urano, pero no contamos con datos precisos sobre estos eventos. Lo único que se sabe es que probablemente se produjeron hace más de 3900 millones de años, durante la denominada era de bombardeo intenso tardío, cuando los pocos planetesimales masivos que quedaban fueron absorbidos por mundos mayores y dieron lugar a las grandes cuencas de impacto de los satélites. Éste fue el último gran evento en la historia del Sistema Solar, y todo lo demás no pasa de ser una mera posdata.



El Sol empieza a formarse en el centro de una nube de gas en colapso.



La materia alrededor del Sol se concentra en un disco en rotación y empieza a compactarse.



La radiación solar dispersa el gas próximo al Sol y las colisiones dan lugar a los planetas telúricos o rocosos.



En la parte exterior del Sistema Solar, grandes remolinos de gas se compactan para formar los planetas gigantes y sus satélites.

La exploración del Sistema Solar

Nos ha llevado siglos empezar siquiera a conocer los mundos del Sistema Solar, pero los primeros pasos decisivos los dieron una serie de sondas espaciales a finales del siglo xx, durante los primeros años de lo que se conoce como la Era Espacial.

Las primeras décadas de exploración espacial fueron impulsadas, no tanto por la investigación científica o comercial, como por un juego de competitividad política entre Estados Unidos y lo que se conocía como Unión Soviética. Pero, lo que subyacía a esta «carrera espacial» no era tan sólo «¿No somos fantásticos? ¡Somos mucho más listos que los otros!». También había gran cantidad de «Y, ¡mira! ¡También tenemos unos cohetes imponentes!».

Un modo de exhibir la grandeza y la potencia de los cohetes consistía, por supuesto, en mandar cosas a destinos cada vez más lejanos del Sistema Solar. De modo que, antes incluso de que la humanidad le cogiera el tranquillo al lanzamiento preciso y fiable de satélites, ya se planeó la invasión de otros mundos.

Como es natural, las primeras sondas espaciales se dirigieron a la Luna. Pero, hasta con un destino grande a tan sólo 400 000 kilómetros de distancia, hicieron falta un par de pruebas para atinar. *Lunik 1*, de fabricación soviética, erró por completo, y aunque *Lunik 2* chocó contra la superficie lunar en 1959, no envió ninguna imagen. El primer éxito real lo logró *Lunik 3*, la cual transmitió las primeras imágenes de la cara oculta de la Luna, también en 1959. Los soviéticos siguieron enviando sondas *Lunik*, *Luna* y *Lunajod* a la Luna durante las dos décadas siguientes, pero los estadounidenses no tardaron en arrebatarles la furia al enviar flotas enteras de naves espaciales a la Luna para estudiarla por completo antes de efectuar los aterrizajes tripulados de las *Apollo* en las décadas de 1960 y 1970.

Cuando la potencia de los cohetes aumentó lo bastante como para enviar vehículos a otros planetas, los soviéticos se concentraron en Venus, mientras que Estados Unidos tuvo más suerte con Marte. Una serie de sondas *Venera* intentó posarse en Venus, pero este mundo se mostró más severo de lo que nadie había imaginado. Misiones posteriores carto-



La sonda europea *Venus Express* fue una máquina sofisticada que se situó en la órbita de Venus en 2006 para estudiar su atmósfera en detalle.



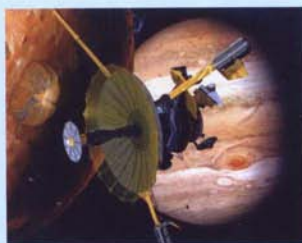
La sonda europea *Mars Express*, de mediados de la década de 2000, usó fotografías tridimensionales para elaborar imágenes en perspectiva de accidentes orográficos tales como Valles Marineris.



A comienzos del siglo xxi varios todoterrenos robóticos se deslizaron por el suelo marciano en busca de signos de agua y vida.

grafieron la superficie con radar. Las sondas estadounidenses a Marte sobrevolaron el planeta rojo varias veces y enviaron imágenes de desiertos y cráteres antes de que el primer orbitador marciano, *Mariner 9*, revelara accidentes más interesantes como volcanes, cañones y valles fluviales. La NASA logró también enviar la primera sonda a Mercurio usando una catapulta gravitatoria (véase p. 15) por primera vez.

Cuando la tecnología avanzó lo suficiente para explorar los planetas exteriores, la carrera espacial ya casi había finalizado, y los estadounidenses se encontraron con los planetas gigantes para ellos solos. Tras un par de sobrevuelos iniciales de Júpiter y Saturno a alta velocidad, desarrollaron un plan para que dos sondas realizaran una «gran gira» por los mundos exteriores aprovechando una alineación casual entre ellos para catapultarse de uno en otro y ganar velocidad para acudir a la siguiente cita. Esas máquinas fueron las legendarias sondas *Voyager*. *Voyager 1* se centró en Júpiter, Saturno y Titán (satélite de Saturno), mientras que la *Voyager 2* logró llegar hasta los gigantes de hielo y envió las primeras imágenes de Urano y Neptuno. Los viajes iniciales a Júpiter y Saturno no tardaron en ir seguidos de las primeras sondas que se situaron en órbita a su alrededor: *Galileo* y *Cassini*, respectivamente. Plutón, ese cabo suelto perpetuo del Sistema Solar, quedó al fin tachado en la lista gracias al sobrevuelo que realizó la sonda *New Horizons*, lanzada en 2006, aún dentro de los primeros cincuenta años de la Era Espacial (aunque no alcanzaría su destino hasta mediados de la década de 2010).



La sonda espacial *Galileo* pasó seis años en órbita alrededor del planeta gigante fotografiando sus sistemas meteorológicos y sus satélites.



La sonda *Cassini*, del tamaño de un autobús, orbitó Saturno desde 2004 y reveló la superficie de Titán por primera vez.



Stardust fue una sonda cometaria pionera diseñada para coleccionar materia de la cola de un cometa y traerla a la Tierra.

MUNDOS MENORES



Toda una multitud de sondas espaciales tempranas estudió también los mundos pequeños del Sistema Solar y estableció con ello las bases del conocimiento de los asteroides y cometas. La primera oleada se envió al cometa Halley durante su perihelio de 1986 (un acontecimiento demasiado grande y manifiesto como para ignorarlo). *Galileo* pasó cerca de un par de asteroides en su trayectoria hacia Júpiter y, después, *NEAR* pasó un romántico año alrededor de Eros (véase p. 112). Otras sondas varias estudiaron cometas de diversos modos: recolectando partículas de la cola, intentando aterrizar sobre ellos, e incluso lanzándoles proyectiles para ver cómo reaccionaban!

Medios de transporte

Uno de los factores más importantes en relación con cualquier viaje por el Sistema Solar es la elección del medio de transporte. Antes de la Era Espacial, la gente tenía gran cantidad de ideas descabelladas sobre cómo situarse en órbita, pero la mayoría de ellas habrían acabado matándonos de diversos modos más o menos interesantes. Por entonces, y durante mucho tiempo, los viajes espaciales iban inextricablemente unidos a un único medio de transporte: el cohete.

Los primeros que meditaron en serio acerca de cómo salir al espacio fueron los grandes escritores del siglo XIX. H. G. Wells y Julio Verne. Ambos intentaron descripciones realistas, pero cuando hubo que tocar el tema de los sistemas de propulsión, no dieron con la tecla. En su novela *The First Men on The Moon* (*Los primeros hombres en la Luna*)⁴⁰ Wells inventó una sustancia llamada *cavorita*, capaz de aislar una nave espacial de los efectos de la gravitación. Verne se acercó algo más al propulsar su nave en *De la Terre à la Lune* (*De la Tierra a la Luna*) con un cañón gigante, aunque no reparó en que los personajes habrían quedado aplastados por la inmensa aceleración del despegue.

Es irónico, pero la solución se había inventado hacía siglos. Los chinos habían usado cohetes desde, al menos, el siglo XIII, y aquel invento trascendió al resto del mundo en los 200 años siguientes. Los dos problemas principales de aquellos cohetes eran que costaba mucho dirigir su rumbo y que los propulsores tradicionales eran tan débiles como un gatito. Esto no detuvo al revolucionario Nikolai Kibálchich, un ruso decimonónico que proyectó el primer cohete tripulado, pero eso fue varios años antes de que otro ruso empezara a convertir el sueño en realidad.

Ya hemos hablado de Konstantin Tsiolkovski (véase p. 31). Este profesor de escuela desarrolló gran parte de la teoría relacionada con cohetes y explicó cómo podrían funcionar en el vacío del espacio (véase el recuadro), cómo podrían controlarse y que un cohete con varias fases facilitaría ponerlo en órbita. Tsiolkovski, un teórico estricto, fue ignorado al principio, pero tras la Revolución rusa su obra se publicó ampliamente.

⁴ La versión cinematográfica recibió en España el título de *La gran sorpresa*. [N. de la T.]



Dibujo chino de un cohete militar propulsado con pólvora típico de la época medieval.



Robert Goddard exhibe su cohete pionero de combustible líquido en 1926.



Un V2 capturado, montado en White Sands (EEUU) poco después de la Segunda Guerra Mundial.

Fue un estadounidense, Robert Goddard, quien logró el siguiente paso. Él reparó en que una combinación de combustibles y «oxidantes» líquidos, como el hidrógeno y el oxígeno, prendería al mezclarse y produciría un infierno con mucho más empuje que los combustibles sólidos tradicionales. Esto le permitió lanzar el primer cohete impulsado por un líquido en 1926. Fue el paso crucial que faltaba: un cohete impulsado por combustible sólido tradicional necesitaría el aire circundante como agente oxidante para quemar el combustible molido. Al llevar el oxidante y el combustible a bordo, el cohete ya puede volar a cualquier lugar.

El trabajo de Goddard y Tsiolkovski entusiasmó a muchos científicos jóvenes en las décadas de 1920 y 1930, y condujo a la creación de sociedades de cohetes en muchos países. La más importante se estableció en Alemania, donde la «Sociedad para Viajes Espaciales», dirigida por Hermann Oberth, desarrolló motores nuevos y potentes. Los miembros de la sociedad, como Wernher von Braun (quien más tarde se trasladó a Estados Unidos y proyectó los cohetes *Apollo*), quedaron absorbidos por la máquina militar del partido nazi antes de la II Guerra Mundial, y desarrollaron el primer cohete grande de largo alcance, el misil V2. Al final de la guerra, tanto la Unión Soviética como EEUU pugnar por reclutar a los científicos de los cohetes alemanes para sus propios programas balísticos y espaciales. El resultado fue una edad dorada de los cohetes químicos.



Hermann Oberth (delante), Wernher von Braun (derecha central) y otros miembros del equipo de desarrollo de misiles balísticos estadounidenses.



Un cohete Saturno V gigantesco despega en Cabo Cañaveral llevando a los astronautas de la *Apollo 11* camino de la Luna.

FUNCIONAMIENTO DE LOS COHETES



El principio básico es muy simple. El combustible y el oxidante del cohete se mezclan y se prenden en una cámara de combustión con una abertura para los gases de escape orientada hacia la parte trasera del cohete. Cuando el combustible se quema, los gases de escape se expanden con rapidez y se encauzan hacia la abertura de salida. Como, según las leyes de Newton, cualquier acción tiene una reacción idéntica pero opuesta, los gases que escapan en una dirección impulsan el cohete en la contraria. Antes de la Era Espacial, un montón de gente brillante no creía que los cohetes pudieran funcionar en el vacío del espacio. A su entender, los cohetes se impulsan hacia delante porque en cierto modo se «empujan» contra la atmósfera circundante.

Transporte moderno

Aún hoy dependemos de cohetes alimentados por combustible químico para salir de la Tierra y situarnos en órbita. Tal vez sean ruidosos e incómodos, pero constituyen con mucha diferencia la única clase de vehículo que genera un impulso suficiente para vencer la gravedad de la superficie terrestre. Sin embargo, una vez en órbita ya se puede elegir entre toda una serie de naves interplanetarias, cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes.

Los cohetes químicos también se pueden usar para viajes interplanetarios, por supuesto, pero comparados con otros no resultan eficaces para largos recorridos porque obligan a acarrear gran cantidad de combustible para invertir la aceleración y volver a frenar al llegar al destino. No obstante, hay que usarlos en algunos puntos del viaje (aún son habituales en las cápsulas de aterrizaje, por ejemplo). Si acude a un mundo con atmósfera, ahorrará combustible con sistemas de aerofrenado para la llegada: se trata de descender hasta las capas superiores de la atmósfera en cuestión para frenar, pero es una experiencia espeluznante y no se la recomendamos a principiantes.

Los motores iónicos constituyen una alternativa segura, tranquila y popular. Existen varias configuraciones pero todas ellas funcionan escindiendo átomos de «combustible» gaseoso mediante chispas eléctricas. Los iones cargados que surgen del proceso salen por el escape del motor e impulsan la nave hacia adelante. Esta clase de motores ofrece la gran ventaja de acelerar a un ritmo mucho más lento y constante hasta alcanzar al fin velocidades muy altas. Esto permite acelerar hasta la mitad del viaje y, entonces, dar la vuelta y frenar hasta llegar a destino creando una gravedad artificial durante todo el trayecto (véase el recuadro). El mayor problema estriba en que se precisa una fuente fiable de alimentación eléctrica, aparte del motor en sí. Los paneles solares son eficaces cerca del Sol, pero no funcionan tan bien en el Sistema Solar exterior, donde la mejor opción la constituyen los generadores termoeléctricos de isótopos radiactivos (una batería alimentada por el calor que se libera en desintegración de sustancias radiactivas).

Y, hablando de opciones nucleares, también se puede elegir un motor atómico cien por cien, donde la propulsión proceda de una serie de explosiones nucleares minúsculas. La



Un estatorreactor nuclear ofrece un viaje rápido de gran eficacia energética a los planetas, pero esto no significa que a la gente le guste la idea.



Las velas solares brindan una aceleración casi ilimitada, pero pueden resultar poco prácticas y limitan la cantidad de carga útil.



Los motores iónicos resultan fáciles de divisar por distintivo el fulgor azul que expulsan. Éste es *Deep Space One*, un prototipo de sonda espacial para probar la tecnología.

agencia espacial estadounidense, NASA, experimentó por primera vez con esta idea en la década de 1950. En ella se combina la intensidad del empuje de los motores químicos con la aceleración sostenida de los motores iónicos. Sin embargo, a la mayoría de la gente no le hace mucha gracia la idea de compartir nave con una bomba atómica.

Por otro lado, el extremo «verde» del espectro ofrece velas solares. Éstas tal vez representan lo máximo en cuanto a rendimiento energético, porque en realidad no requieren ningún combustible en absoluto. El sistema se basa en el despliegue en órbita de una vela de papel plateado de varios kilómetros cuadrados que, cuando la luz del Sol rebota en ella, transfiere suficiente impulso como para empujar la nave hacia adelante. Las ventajas son que las reservas energéticas nunca se agotan y, como la radiación solar siempre se mueve más rápido que la nave, se alcanzan velocidades muy altas. Las desventajas son que se tarda muchísimo en adquirir velocidad y que, por mucho que se apliquen técnicas náuticas, como dar bordadas o usar focos, es imposible retroceder en el viento solar, de modo que, en la práctica, se precisa combustible para el viaje de regreso.

Una alternativa chalada a las velas solares la constituye la propulsión láser. El principio básico es el mismo, sólo que en lugar de usar luz del Sol, el empuje lo imprime la radiación de un rayo láser lanzado contra un reflector situado en la parte trasera de la nave. Esto evita la necesidad de usar una vela descomunal, pero los científicos que idearon el sistema aún no le han pillado el tranquillo a mantener el láser bien apuntado, y ¡aún quedaría resolver el problema del regreso!



La propulsión láser es una idea excelente, para hacerla práctica habría que establecer potentes generadores de rayos láser por todo el Sistema Solar, tal como se aprecia en esta representación artística.



La gravedad artificial (véase más abajo) no sólo va bien para la salud. ¡También ayuda a controlar el pelo suelto!

GRAVEDAD ARTIFICIAL

Si se elige una nave capaz de crear algún tipo de gravedad artificial, nos evitaremos toda una multitud de inconvenientes cotidianos (por ejemplo, con la comida y el agua), por no hablar de los problemas de salud. El método más directo de producir un efecto de gravedad consiste simplemente en hacer girar la nave sobre su eje. Esto conferirá a todo una tendencia natural a pegarse a las paredes, pero se requiere bastante energía para mantenerla girando durante un viaje largo. La alternativa más sensata consiste en usar un sistema de propulsión capaz de impulsar la nave durante largos periodos del viaje (como los motores iónicos, pero no cohetes químicos). De este modo, la aceleración o desaceleración constantes ejercen un empuje en una dirección u otra en todo momento, y crean un «arriba» y un «abajo». Es algo así como distribuir a lo largo de todo el viaje las inmensas fuerzas gravitatorias que actúan durante el lanzamiento de un cohete. El único problema estriba en que, al llegar a la mitad del camino, dar la vuelta y empezar a frenar para alcanzar el destino, «arriba» y «abajo» se invierten, de modo que el suelo se pondrá por techo, y viceversa!



Comidas y bebidas

La comida en el espacio ya no constituye el mismo problema que fue antaño. En los primeros días del vuelo espacial, los médicos se mostraron preocupados ante la posibilidad de que la digestión humana no funcionara sin la ayuda de la gravedad, mientras que a los ingenieros les horrorizaba la idea de que se colaran migajas en sus delicados aparatos.

Por suerte, ambos temores resultaron exagerados. Tal como se mencionó en el apartado «Arriba, arriba y ¡fuera!» (pp. 20-27), es inevitable sentir algo de náusea al salir a la ingravidez por primera vez, pero el tracto digestivo humano depende más de contracciones musculares que de la gravedad, de modo que sigue funcionando con absoluta perfección. Y el hecho de comer en un entorno sin gravedad no implica de forma automática que la comida vaya a fragmentarse en pequeños trozos para desperdigarse por todas partes.

La verdadera dificultad estriba, en cambio, en la preparación inicial de la comida, lo cual implica calentarla y, si está liofilizada, rehidratarla. Los hornos espaciales son bastante sencillos. Por lo común cuentan con una especie de «bandeja caliente» a la que se fija el recipiente con la comida para asegurarse de que se calienta bien por todas partes. Algunos alimentos son tan simples que se pueden tomar directamente del envase (una especie de comida rápida en la ingravidez) y, quien prefiera disfrutar de una cena más formal, podrá usar el mismo sistema de sujeción para fijar la comida a la mesa. Otros alimentos exigen un poco más de esfuerzo: seguramente se encontrará con algunos alimentos liofilizados preempaquetados en sobrecitos con una boquilla en cada extremo, o en recipientes de plástico en forma de acordeón. En ambos casos, basta con añadir agua por una de las válvulas (por lo común insertando el tubo del calentador de agua de la nave), apretar y estirar el recipiente hasta que la mezcla de alimentos del interior se rehidrate. Entonces se abre la otra válvula y se estruja el envoltorio para llevarse a la boca la pasta recién elaborada. No es el modo más elegante de comer, pero tampoco estamos tomando té en el Ritz.

Aunque muchos de los alimentos espaciales se parecen mucho a las variedades más horripilantes de comida precocinada en la Tierra, no se preocupe demasiado por la nutrición.



Tiene un aspecto delicioso, ¿no cree? Esta es una mesa puesta típica de los astronautas de la Era Espacial temprana.



Comer en la ingravidez es lo último en «comer sobre la marcha», pero es mejor para la digestión pararse a comer como es debido.



¡Goce de la fruta y las verduras frescas mientras duren! Por suerte, los suplementos vitamínicos protegen de las enfermedades relacionadas con la dieta que acosaron a los primeros navegantes espaciales.

Las comidas espaciales se diseñan con un cuidado esmeroso para que aporten una cantidad equilibrada de vitaminas, minerales y grupos de alimentos para la vida cotidiana en órbita. Confiamos en que todo ello le sirva de consuelo cuando se encuentre en medio del cinturón de asteroides y añore una lasaña casera con una ensalada recién aliñada...

Pero, ¿esta agua es potable?

Ya hemos comentado los problemas que plantean los líquidos en el espacio (véase p. 25). La regla de oro consiste en mantener los fluidos a buen recaudo dentro de recipientes durante el mayor tiempo posible. Sin embargo, el suministro de agua constituye un tema sensible que las agencias de viajes programados prefieren no tocar. Esto se debe a que, nos guste o no, cualquier vuelo espacial de larga duración implica cierta cantidad de reciclaje. El agua es sencillamente un recurso demasiado precioso como para derrocharla: no se puede comprimir para almacenarla y cada mil litros que llevemos con nosotros sumaremos otra tonelada de peso a la carga útil. Por tanto, el vapor de agua que se exhala con la respiración se recupera mediante filtros en el sistema de climatización y se devuelve a los depósitos principales. Lo mismo sucede con (¿cómo decirlo para que suene bien?) las otras emisiones de agua procedentes del cuerpo. Esto no debe preocuparnos en absoluto, puesto que los sistemas de purificación son muy minuciosos, y los habitantes de algunas ciudades terrestres han aguantado este tipo de soluciones durante siglos. El verdadero problema se reduce a que en las estrecheces de una nave espacial, todo resulta más obvio.

En el exterior hay otras fuentes de agua, por supuesto, y confiamos en que pronto ofrezcan algún respiro al reciclaje. Mercurio, la Luna y Marte albergan hielo de agua bastante puro en los polos, y los satélites de los planetas gigantes cuentan con cantidades ingentes de hielo mezclado con proporciones diversas de roca. Resulta sencillo extraer el agua fundiendo el hielo pero, además, se necesita una planta desalinizadora y purificadora portátil para eliminar las sales químicas que pueda haber disueltas en el agua. Con todo, sólo es cuestión de tiempo que alguna mente astuta empiece a transportar a la Tierra agua mineral marciana!



Comer a través de una pajita puede resultar desconcertante al principio, pero no tardará en habituarse.



El simple hecho de que el agua sea escasa no sirve de excusa para eludir la higiene personal. ¡Una tripulación limpia es una tripulación contenta!



Aunque ver flotar una gota de agua en la ingravidez produce una fascinación inagotable, ¡hay que tener cuidado con los delicados circuitos!

Hospedaje

Si podemos asegurar algo acerca de las condiciones de vida que nos aguardan durante el viaje es que estaremos apretados. La vida de cosmonauta no es para quienes sufran claustrofobia: fuera de la ciencia ficción, nadie ha diseñado jamás una nave que pueda describirse como luminosa y aireada. Este problema es menos acusado en naves ensambladas y lanzadas desde la órbita terrestre que en las que despegan desde tierra firme. Los aviones espaciales deben ser aerodinámicos para atravesar la atmósfera con eficacia, mientras que las cápsulas más pequeñas deben, cuando menos, ir envueltas en capuchas protectoras y aerodinámicas. Una vez en el vacío, se pueden diseñar naves en forma de cubo sin que eso repercuta en su rendimiento y manejo. Pero tener espacio de más significa por lo común peso de más y, tal como hemos visto repetidas veces, el peso (o, más bien, la masa) excesivo es negativo para las naves espaciales. Algunos diseñadores de las primeras estaciones espaciales flirtearon con la idea de usar segmentos cilíndricos hinchables que pudieran desplegarse para crear salas espaciosas donde habitar, pero la idea aún tiene que asentarse: la gente tiende a sentirse incómoda al pensar que la única protección frente al vacío del espacio es una fina membrana.

La vida en el espacio puede tornarse incómoda muy aprisa debido a causas insospechadas. Por ejemplo, al no contar con una atmósfera alrededor que aplaque los efectos del Sol, puede que partes de la nave se achicharren durante el día, mientras, al mismo tiempo, las que permanecen en sombras estén heladas. Los sistemas de transferencia de calor en el casco de la nave reducirán la intensidad de la dilatación y contracción que producen esos cambios, pero no servirán de gran ayuda a la tripulación.

También hay que habituarse a la omnipresencia de la luz solar en el espacio interplanetario. Si la nave gira, al menos causará la impresión de que el Sol se mueve, pero es imposible reproducir un verdadero ciclo de día y noche e, incluso con las persianas echadas, siempre encontraremos encendidas las luces de la cabina para fastidiar todos los esfuerzos por dormir con regularidad. Para la mayoría de la gente, la única alternativa posible consiste en usar antifaces como los de los aviones e



Sus dependencias pueden ser estrechas, y hasta claustrofóbicas, pero un poco de espacio privado siempre es necesario para cualquier vuelo espacial de larga duración.



Mucha gente duerme mejor si se fija con firmeza al suelo (las paredes o el techo). No hay nada más desconcertante que despertarse flotando en la ingravidez.

intentar ignorar los incesantes crujidos, vibraciones y zumbidos propios de una nave espacial en vuelo. A menudo sirve de ayuda abrocharse las fijaciones mientras se duerme, pero seguramente nos llevará algún tiempo adaptarnos al nuevo ritmo.

Una advertencia final: mientras se adapta a la vida en el espacio, tal vez se note con un humor de perros, pero intente no trasladarlo a sus compañeros de viaje. Todas aquellas pruebas psicológicas a las que se sometieron los primeros astronautas tenían una razón de ser y, aún así, a veces las cosas no marchaban nada bien. Procure recordar que no podemos dar marcha atrás cuando se dice algo inconveniente, y que hay pocas cosas peores que iestar metido en una lata a millones de kilómetros de casa con alguien a quien odiamos!



ME MUDDO AL EXTRANJERO

La gente siempre ha sentido tentaciones de vender la casa y establecer su residencia en ese pequeño lugar idílico donde pasa las vacaciones, y es casi inevitable que en el espacio suceda lo mismo, y que colonizadores civiles se trasladen cerca de misiones científicas en otros planetas. Hoy en día ya hay varias organizaciones encantadas de vendernos una hectárea de terreno en la Luna o Marte, pero en realidad es improbable que las escrituras de un terreno en Marte puedan defenderse ante un tribunal de justicia. La situación se parece más bien a la colonización del oeste americano (aunque, por suerte, esta vez no habrá nativos que reclamen la posesión de la tierra...).

Pero la vida en la frontera no resultará encantadora. Con el transporte tan caro, probablemente habrá que construir la vivienda con algún desecho que viaje en la misma dirección, como un depósito de combustible reformado. Aunque la equipemos con algunas comodidades domésticas, seguirá resultando tan incómoda como un refugio antibombas, sobre todo si se tienen en cuenta las gruesas capas de protección que se precisan en la Luna o Marte para resguardarse del viento solar.

Las colonias permanentes deben contar con acceso fácil al suministro de agua, como los casquetes polares marcianos o los cráteres congelados del polo sur lunar. Aun disponiendo de agua, también dependerán de otros suministros de la Tierra, pero al menos podrán generar energía a partir de reactores de fusión nuclear y hasta producir sus propias reservas de combustible para dar pequeños saltos por el planeta.



Ah, claro: el baño. ¡Lea las instrucciones con *mucha* atención antes de usarlo! No hay peligro de ser succionado hacia el vacío del espacio, pero si algo va mal en condiciones de ingravidez, todo resultará bastante más desagradable para usted y sus compañeros de viaje.



Los asentamientos marcianos aún no se han desarrollado a esta escala, pero esta representación artística brinda una idea muy aproximada del aspecto que tendrá una colonia grande. Repárese en el planeador marciano que sobrevuela el lugar.



La jardinería supondrá un gran pasatiempo cuando las colonias aumenten y se vuelvan más autosuficientes, tal como sugiere esta otra representación artística.

Vocabulario

Durante el viaje por el Sistema Solar se encontrará con mucha jerga. Esperamos que este vocabulario de referencia le facilite las cosas.

AMONIACO

Sustancia química volátil con la fórmula NH_3 , que significa que se compone de un átomo de nitrógeno rodeado por tres de hidrógeno. Por lo común se encuentra congelado en los planetas exteriores y fomenta el criovulcanismo.

AFELIO

Punto de la órbita de un objeto que gira alrededor del Sol que lo sitúa a la distancia máxima de éste, y donde se desplaza a la velocidad más lenta.

APOGEO

Punto de la órbita lunar o de una nave espacial alrededor de la Tierra donde el objeto se sitúa a la máxima distancia de la Tierra, y se desplaza a la velocidad más baja. También se aplica con menos rigor a las órbitas alrededor de otros planetas.

ASTEROIDE

Planeta menor rocoso que suele hallarse en el Sistema Solar interior más allá de la órbita de Júpiter. La inmensa mayoría de los asteroides se concentra en el cinturón principal de asteroides situado entre Marte y Júpiter, pero hay multitud de fugitivos en otras órbitas.

ATMÓSFERA

Una envoltura de átomos y moléculas de gas que se mantiene alrededor de un planeta por efecto de la gravedad.

CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Propiedad de cualquier objeto con masa que se obtiene al multiplicar su masa por su velocidad (velocidad en una dirección determinada). Isaac Newton descubrió que hay que aplicar fuerza para alterar la cantidad de movimiento de un objeto, y que la misma suele «conservarse» en cualquier interacción entre objetos; ésta es la razón de que «toda acción tenga una reacción igual y opuesta».

CATAPULTA GRAVITATORIA

Maniobra en vuelo que consiste en acercarse a un planeta para adquirir velocidad y cambiar de rumbo.

CENTAURO

Planeta menor helado del Sistema Solar exterior que suele hallarse en el exterior de la órbita de Júpiter. Los centauros son cometas grandes y, en su mayoría, latentes.

CINTURÓN DE KUIPER

Anillo en forma de rosquilla formado por cometas y enanos de hielo que circunda el Sistema Solar desde la órbita de Neptuno hasta casi dos veces la distancia que lo separa del Sol.

COHETE

Cualquier motor que genere un impulso mediante la ley de acción y reacción. En los cohetes químicos típicos, una explosión en el interior de la «cámara de combustión» expulsa los gases de escape por la parte

trasera del cohete. Para conservar la cantidad de movimiento conjunta del cohete y el combustible, el cohete se ve empujado con una fuerza similar.

COMETA

Pequeño objeto helado con una corteza oscura. La mayoría de los cometas reside en la nube de Oort, muy lejos del Sol, pero también se encuentran alrededor de los planetas gigantes. Una pequeña proporción ha sido desviada hacia órbitas muy elípticas que los acercan al Sol. Cuando se calientan en el perihelio, el gas y el polvo liberados por el hielo fundido del «núcleo» cometario desarrollan una atmósfera o «cabellera» y una extensa «cola» que fluye en dirección opuesta al Sol.

COMPUESTOS QUÍMICOS ORGÁNICOS

Término químico que designa cualquier sustancia basada en el carbono, por lo común mezclado con otros elementos como hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

CORTEZA

Los kilómetros superiores de roca sólida que forman la capa más externa de un mundo telúrico como la Tierra.

CRIOVULCANISMO

Un tipo especial de actividad volcánica que se produce en planetas y satélites fríos, donde una mezcla de agua y amoníaco se comportan como el magma fundido en el vulcanismo normal.

ECLÍPTICA

El plano del Sistema Solar que contiene el Sol y la órbita de la Tierra.

La mayoría del resto de planetas grandes y pequeños orbita sobre la eclíptica o cerca de ella.

ELIPSE

Técnicamente, una elipse es la figura resultante al cortar un cono por medio de un plano. Para el resto de nosotros, es un círculo alargado con dos «focos», uno a cada lado del centro. Las órbitas siempre adoptan figuras elípticas, y un círculo no es más que una clase particular de elipse.

ENANO DE HIELO

Mundo compuesto en su mayor parte por hielos y que orbita el Sol en el cinturón de Kuiper, más allá de Neptuno. Los enanos de hielo más grandes son Plutón y Éride.

EVA

Extra-Vehicular Activity
(o «actividad extravehicular»), la manera elegante de referirse a los paseos espaciales.

EYECCIONES

El material que sale disparado durante un impacto meteórico, regresa al terreno alrededor del punto de impacto y puede formar cráteres secundarios menores.

FOCOS

Los dos puntos de una elipse, como una órbita planetaria, situados en lugares simétricos junto al centro de la elipse. Su distancia al centro depende de la forma de la elipse. El «centro de masas» común del sistema, por lo común dentro del objeto orbitado, se sitúa en uno de los focos.

FUERZA DE CORIOLIS

Fuerza alrededor de un planeta generada por su rotación y que, por lo común, repercute en la circulación atmosférica.

GRAVEDAD

Fuerza que se siente alrededor de cualquier objeto masivo que atrae otros objetos hacia sí o hacia su superficie. Los objetos más pequeños con una gravedad apreciable son asteroides y cometas pequeños con un par de kilómetros de diámetro.

GRAVITACIÓN

Fuerza fundamental del universo que hace que todos los objetos con masa atraigan otros objetos hacia sí. Según Einstein, la gravedad se debe en realidad a que los objetos masivos distorsionan la forma del espacio en su derredor.

HEMISFERIO PRECEDENTE

Lado de un planeta o satélite orientado en la dirección de la órbita. En los satélites con órbita sincronizada, que siempre dirigen la misma cara al planeta, el hemisferio precedente es siempre el mismo.

HEMISFERIO SIGUIENTE

Parte de un planeta o satélite orientado en dirección opuesta a la del movimiento. Véase hemisferio precedente.

HIDRÓGENO METÁLICO LÍQUIDO

Una forma de hidrógeno encontrada en el interior de los planetas gigantes Júpiter y Saturno. Por lo común, a los átomos de hidrógeno les gusta emparejarse en moléculas pero a las

altas presiones que imperan en el seno de los planetas gigantes, pueden escindirse en átomos individuales que actúan como un metal, de modo que conducen la electricidad y contribuyen a generar campos magnéticos.

LUNA (CON MINÚSCULA)

Cualquier objeto natural en órbita alrededor de un planeta, ya sea mayor o menor. Muchas lunas (o satélites naturales) se formaron al mismo tiempo y a partir del mismo material que sus planetas, pero algunas son planetas menores solitarios que quedaron capturados durante encuentros cercanos con planetas gigantes; mientras que otras, como nuestra Luna (con mayúscula), tuvieron un origen más complejo.

MANTO

Capa intermedia en la estructura de un planeta situada entre la corteza externa, bastante fina, y el núcleo central.

NUBE DE OORT

Envoltura esférica inmensa que contiene innumerables cometas latentes y que circunda todo el Sistema Solar desde una distancia aproximada de un año-luz. Los cometas de la nube se formaron en su origen mucho más cerca del Sol, pero fueron expulsados a sus órbitas actuales por encuentros con los planetas gigantes.

NÚCLEO

La región central y más comprimida de cualquier planeta o satélite; por lo común la parte que retiene el calor durante más tiempo.

ÓRBITA

Cualquier trayectoria cerrada que sigue un objeto alrededor de otro debido al influjo de la gravitación. Las órbitas siempre son elípticas, y el objeto orbitado, o el «centro de masas», ocupa uno de los «focos» de la elipse.

ÓRBITA BAJA TERRESTRE

(*LEO*, del inglés «Low Earth Orbit») Órbita a un par de centenares de kilómetros por encima de la Tierra, donde las naves espaciales pueden permanecer en órbita tras el lanzamiento y antes de aventurarse en el Sistema Solar.

ÓRBITA RESONANTE

Órbita (por lo común de un satélite) que guarda una relación precisa con la órbita de otro objeto. Por ejemplo, un satélite que completa una órbita en la mitad o dos tercios del tiempo que precisa su vecino más externo. Las órbitas resonantes pueden mantener los objetos implicados a una distancia segura, o arrastrarlos a encuentros cercanos frecuentes.

ÓRBITA SINCRÓNICA

Órbita en la que un objeto rota al mismo tiempo que tarda en completar una órbita, de tal suerte que siempre muestra la misma cara al planeta o estrella alrededor del cual orbita.

PARALAJE

Efecto por el cual los objetos situados a distintas distancias parecen desplazarse en relación con otros debido al movimiento del observador.

PERIGEO

Punto más cercano a la Tierra en la órbita de la Luna o de una nave espacial que gire en su derredor, y donde el objeto en cuestión se mueve más aprisa. El término también se aplica de manera informal a órbitas alrededor de otros planetas, porque poca gente se anima a bregar con términos como «perijovio».

PERIHELIO

Punto más cercano al Sol en la órbita de cualquier objeto que gira en su derredor, y donde el objeto en cuestión se mueve más aprisa.

PLANETA

Objeto grande con una órbita independiente alrededor del Sol u otra estrella. El problema de esta definición es que aún no se ha decidido con exactitud qué tamaño debe tener el mundo en cuestión para considerarlo un planeta. Hoy existen ocho planetas oficiales en el Sistema Solar: cuatro terrestres y cuatro gigantes, pero antes había nueve. Plutón terminó fuera de la lista después de que el descubrimiento de Éride confirmara que no era más que otro enano helado algo más grande que la media.

PLANETA MENOR

Cualquier objeto en órbita alrededor del Sol que no es un planeta hecho y derecho.

SATÉLITE

Cualquier objeto, natural o artificial, que orbite alrededor de otro. Los satélites naturales que orbitan alrededor de planetas también se llaman lunas (con minúscula).

SISTEMA SOLAR

Toda la región del espacio donde imperan la gravedad del Sol y el viento solar, junto con todo lo que ella alberga, que se corresponde con una región esférica del espacio de unos 2 años-luz de diámetro.

TECTÓNICA

Proceso observado únicamente en planetas rocosos grandes (sobre todo en la Tierra) por el cual la corteza se escinde en placas independientes que flotan sobre el manto. Esto da lugar a toda suerte de actividad geológica a medida que las placas se abren paso entre ellas, chocan o se separan.

LIA

Abreviatura de *unidad astronómica*, una unidad de medida habitual para el Sistema Solar que corresponde a la distancia media que separa la Tierra del Sol: unos 150 millones de km.

VULCANISMO

Erupción de magma (roca fundida) desde el interior de la superficie de un mundo a través de una grieta en la corteza. El magma ya en superficie suele denominarse lava.

Epílogo

Allá vamos, éste es el Sistema Solar que circunda la Tierra: un parque temático vacacional con dos años-luz de diámetro que ofrece toda clase de entretenimientos, aventuras y muertes súbitas imaginables y, probablemente, otras que no llegamos a concebir. Para visitar todos los destinos mencionados en esta guía quizá se precisen un par de vidas enteras y unos fondos financieros que despertarían la envidia de algunos países, pero ipor eso recomendamos elegir con cuidado el destino!

Por supuesto, no podemos aspirar a brindar una información completa, ya que en la actualidad aún no se sabe todo acerca del Sistema Solar. Aún quedan innumerables cuerpos menores por descubrir entre los objetos más grandes conocidos y más allá de ellos, y no estamos completamente seguros de que no nos aguarden sorpresas aún mayores pululando por los yermos oscuros y gélidos más allá del cinturón de Kuiper.

Con todo, esperamos que esta guía cubierto al menos los lugares más destacados del Sistema Solar conocido y, tal vez, haya saciado su sed de viajar. Decida lo que decida, ya sea seguir adelante y permitirse el lujo de hacer un viaje de toda una vida, o simplemente practicar un turismo de sofá, ¡buena suerte!

LA LETRA PEQUEÑA

El autor y el editor desean aclarar que, aunque se han realizado todos los esfuerzos para asegurar el rigor científico y técnico dentro de los márgenes del conocimiento actual, no podemos aceptar ninguna responsabilidad por parte de ningún viajero espacial, presente o futuro, que use este libro como algo más que una guía de viaje. Lea siempre el manual de la nave espacial antes de salir de órbita. Todas las garantías quedan invalidadas si se sale de la atmósfera terrestre. Esto no afecta a los derechos establecidos por la ley.

COSMÓDROMO
SALIDA



Bibliografía

La lectura elegida durante un vuelo espacial de larga duración puede marcar la diferencia entre unas vacaciones encantadoras o de un aburrimiento tal que paralice el cerebro. ¿Por qué no prueba con algunos de estos títulos clásicos?

Cosmos, de Carl Sagan
Barcelona, Editorial Planeta, 1982

La conquista del Espacio, de Willy Ley, ilustrado por Chesley Bonestell
Pozuelo de Alarcón, Espasa-Calpe, 1966

The New Solar System, editado por Beatty, Collins Peterson, Chaikin
Cambridge, Cambridge University Press, 1999

This New Ocean: The story of the first Space Age, de William E. Burrows
Nueva York, Random House, 1998

Astronomía general teórica y práctica, de D. Galadí-Enríquez y Jordi Gutiérrez Cabello
Barcelona, Ediciones Omega, 2001

Nuestro Sistema Solar y su lugar en el cosmos (destino o azar), de Stuart Ross Taylor
Madrid, Cambridge University Press, 2000

Páginas web

www.nasa.gov

Páginas de la NASA en Internet, con enlaces a varias misiones (en inglés)

www.hubblesite.org

Páginas oficiales del telescopio espacial *Hubble* (en inglés)

www.space.com

Actualizaciones diarias de noticias relacionadas con el espacio (en inglés)

www.planetary.org

Páginas de la Planetary Society (en inglés)

www.esa.int

Páginas de la Agencia Espacial Europea (en inglés)

sea.am.ub.es

Páginas de la Sociedad Española de Astronomía (en castellano)

www.infoastro.com

Noticias y actualidad astronómica divulgativa (en castellano)

Índice

- acondritas, 109
adaptación, 21, 23
aerofrenado, 57, 121, 212
áfelio, 11, 67, 81, 188, 199, 202, 218
Aitken, cuenca, 42, 43, 64
Aldrin, Buzz, 34, 35
alótopos, 125
Amaltea, 138
amoniaco, 75, 144, 157, 159, 161, 170, 173, 179, 218
apogeo, 218
Apollo, 7, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 113, 208, 211
Ariel, 178, 179
Aristarco, 31, 36
Armstrong, Neil, 29, 34
astenosfera, 55
asteroides, 6, 10, 11, 12, 39, 44, 45, 59, 69, 74, 100, 101, 102-113, 116, 138, 143, 163, 164, 167, 184, 196, 202, 206, 207, 209, 215, 218, 219 astro-biología, 128, 131
auroras polares, 26, 70, 122
azufre, 49, 115, 119, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 138
bacterias, 96, 131
cabellera, 76, 77, 189, 218
calcio, 18, 19
Calisto, 118, 132, 133, 135, 136, 137
canales de Marte, 83
cantalupo, terreno de, 185, 186, 187
carbonatos, 55, 57
carbono, 55, 57, 75, 81, 98, 99, 105, 107, 109, 152, 159, 160, 179, 183, 186, 195, 219
Caronte, 167, 195, 196, 197
Cassini, división de, 147
Cassini, sonda espacial, 124, 153, 164, 209
centauros, 164, 167, 184, 218
cianuro, 189
cohetes, 14, 23, 25, 27, 30, 31, 32, 35, 50, 60, 84, 89, 107, 112, 208, 210, 211, 212, 213, 220
cometas, 10, 39, 42, 43, 66, 68, 69, **74-77**, 105, 107, 112, 131, 134, 138, 143, 152, 164, 167, 173, 179, 188, 189, 191, 192, 202, 203, 207, 209, 218, 219, 220
compuestos carbonáceos, 105, 107, 109
condritas, 105, 109
Copérnico, Nicolás, 121
Cordelia, 175
corona (en Miranda), 176, 177
corona (en Venus), 54
corona (solar), 66, 70, 72
criovulcanismo, 157, 159, 161, 179, 218
Cruithne, 44, 45
cuenca Caloris, 42, 59, 61, 64, 65
Cydonia, 92, 93
Diamantes para la eternidad, 25
diamantes, 183
Dione, 154, 155, 156, 157, 161, 179
dióxido de carbono, 57, 81, 98, 99, 152
Doctor Who, 97
eclipse, 68, 69, 101, 118
eclíptica, 12, 197, 202, 218
Einstein, Albert, 69, 219
enanos de hielo, 10, 167, 192, 193, 207, 219, 220
Encélado, 152, 153, 154, 199
Éride (o Eris), 187, 192, 198, 199, 219, 220
Eros, 103, 112, 113, 209
escarpaduras (o *rupes*), 61, 62, 63
espículas, 70, 72, 73
Estados Unidos de América, 30, 93, 100, 131, 197, 208, 209, 211, 217
estatorreactor nuclear, 212, 213
Europa, 115, 117, **128-131**, 132, 135, 136
Febe, 164, 165
Fobos, 89, 100, 101
Folo, 167
fuerza de Coriolis, 119, 174, 182, 218
fuerzas gravitatorias, 22, 213
Gabrielle, 199
Gagarin, Yuri, 40
Galilei, Galileo, 118, 121, 143
Galileo, sonda espacial, 126, 129, 137, 209
Galle, Johann, 181
Ganimedes, 115, **132-135**, 136
géiseres, 125, 126, 153, 154, 169, 185, 186, 187, 196
gigantes de hielo, 5, 10, 168-189, 209
Giotto, 189
Goddard, Robert, 210, 211
golf, 29, 37
gravedad cero, 23, 24, 141, 146, 214
Guerra de las galaxias, La, 150
Gúsev, 90, 91
Halley, cometa, 188, 189, 209
Halley, Edmond, 189
helio, 71, 116, 145
heliopausa, 191, 201
hematites, 90, 91
herradura, órbitas de, 44, 45
Herschel, Wilhelm, 31, 150, 151, 173, 178, 181
Huygens, Christiaan, 143, 158
infrarrojo, 167, 206
ingravedez, 18, 23, 24, 25, 214, 216, 217
Ío, 115, 118, 119, 122, **124-127**, 128, 130, 132, 135, 136, 138
Japeto, 154, 164, 165
Júpiter, 10, 75, 76, 77, 101, 105, 107, **114-139**, 141, 142, 143, 144, 145, 152, 167, 170, 174, 181, 182, 183, 189, 193, 203, 207, 209, 218, 219, 220
Kepler, Johannes, 10
Kuiper, cinturón de, 167, 170, 187, 191, 192, 195, 196, 198, 199, 200, 201, 219, 221
Lassell, William, 184
lava, 37, 38, 41, 47, 52, 53, 54, 65, 87, 125, 126, 127, 157, 220
Le Verrier, Urbain, 69, 181
Leónov, Alexéi, 16
Los viajes de Gulliver, 100
Lowell, Percival, 197, 199
Luna, 5, 6, 7, **28-45**, 61, 66, 68, 100, 101, 104, 106, 118, 121, 192, 196, 208, 210, 211, 215, 217, 218, 220
manchas solares, 70, 72, 73
Mar de la Tranquilidad, 7, 34, 35, 37, 38
marcianos, 81, 97
mareo espacial, 19, 24
mares lunares, 29, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 40, 41, 48, 64, 174
Marte, 6, 10, 13, 42, 63, 75, 76, **78-101**, 104, 105, 107, 112, 113, 116, 120, 173, 188, 192, 201, 208, 209, 215, 217, 218, 220
Mathilde, 110, 111, 113
Mercurio, 10, 12, 42, 49, **58-77**, 158, 207, 209, 215, 220
metano, 75, 96, 141, 152, 158, 159, 160, 161, 165, 170, 173, 175, 179, 183, 195, 199
meteoritos, 16, 31, 34, 36, 38, 39, 65, 96, 105, 109, 133, 134, 152, 165, 218
Mimas, 141, 150, 151, 152, 154, 162
Miranda, 169, 171, 176, 177, 178, 179, 184
monte Sif, 52, 55
motor iónico, 212
NASA, 34, 35, 65, 84, 89, 90, 91, 92, 96, 112, 174, 209, 213

nebulosa protoplanetaria, 206
Neptuno, 3, 10, 69, 74, 167, **168-171**,
174, 178, 180-187, 188, 192, 195, 197,
198, 199, 207, 209, 219, 220
Nereida, 184, 187
New Horizons, sonda espacial, 192, 209
nieve, 42, 77, 99, 130, 152, 153, 199

Oberón, 178, 179
Oort, nube de, 112, 191, 192, 193, 200,
201, 202, 203, 207, 218, 220

panpermia, 131
Piazzi, Giuseppe, 107
Pillinger, Colin, 88
Pink Floyd, 32
planetesimales, 206, 207
Plutón, 10, 12, 158, 167, 187, 188, **190-197**, 198, 199, 201, 202, 209, 219, 220
Poliákov, Valeri, 18
propulsión láser, 213
Proteo, 184, 187

Quirón, 167

radiación, 18, 30, 57, 71, 72, 73, 96, 117,
119, 138, 206, 207, 213 regolito, 36
rápel, 79, 85
Rea, 154, 156, 157, 163, 164
Rusia, 6, 19, 31, 32, 56, 101, 210, 211

Saturno, 6, 7, 10, 116, 124, **140-167**, 170,
173, 174, 175, 179, 181, 182, 183, 192,
199, 203, 206, 209, 211, 219, 220
Schiaparelli, Giovanni, 83
Sedna, 191, 200, 201
seísmos lunares, 31, 36
Shepard, Alan, 37
Sol, 7, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 26, 31, 32,
43, 44, 49, 50, 57, 59, 60, 61, 66, 67,
68, 69, 70-73, 74, 75, 76, 77, 80, 81,
96, 99, 101, 104, 106, 108, 110, 112,
113, 118, 122, 125, 130, 137, 143, 144,
146, 152, 153, 158, 167, 170, 172, 174,
181, 182, 183, 188, 189, 191, 192, 195,
196, 199, 200, 201, 202, 203, 206,
207, 212, 213, 216, 218, 219, 220

Star Trek, 69
sulci, 134, 135

Tebe, 122
tectónica, 55, 57, 93, 126, 156, 220

Tetis, 154, 155, 156, 157, 161, 179

Tharsis, 82, 84, 86, 87

Tía, 42

Titán, 34, 141, 152, 154, 157, 158, 159,
160, 161, 162, 163, 184, 209

Titania, 178, 179

Tombaugh, Clyde, 197, 198

Tritón, 169, 170, 181, 184, 185, 186, 187, 196

troyanos, 101, 105
Tsiolkovski, cráter, 32, 40, 41, 42
Tsiolkovski, Konstantin, 31, 210, 211
Tycho, 29, 38, 39

UAI, 199

Umbriel, 178, 179

Unión Soviética, 18, 47, 56, 57, 89, 208, 211

Urano, 3, 10, 122, 152, 167, **168-179**,
181, 182, 183, 188, 195, 207, 209, 220

Van Allen, cinturones de, 30

Venera, 56, 57, 208

Venus, 10, 13, 17, **46-57**, 60, 61, 63, 65,
121, 208, 209, 220

Verne, Julio, 45, 210

Vesta, 103, 108, 109

vestoides, 109

viento solar, 31, 36, 68, 70, 76, 77, 116,
122, 201, 213, 217, 220

Viking, 92, 96, 98

Van Braun, Wernher, 211

Voyager, sondas espaciales, 122, 126,
170, 174, 176, 181, 183, 209

vulcanismo, 31, 33, 34, 38, 39, 41, 47, 50,
51, 52, 53, 54, 55, 63, 64, 79, 82, 84, 86,
87, 90, 91, 96, 99, 103, 109, 115, 119,

122, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131,

156, 157, 159, 161, 179, 209, 218, 220

Vulcano, 68, 69

vulcanoides, 68, 69

zodiaco, 12

Agradecimientos

Todas las imágenes pertenecen a Pikaia Imaging salvo las enumeradas aquí. Se ha dedicado el máximo esfuerzo a mencionar y reconocer a los dueños de los derechos pero, si hubiera algún error, la editorial estará encantada de enmendarlo en ediciones futuras. Pikaia Imaging desea agradecer la ayuda inestimable prestada por Matt Fairclough y toda la gente de Planetside Software por el apoyo brindado durante la elaboración de este libro.

d = derecha, i = izquierda, ar = arriba, c = centro, ab = abajo. 12 NASA. 16 ar-d NASA. 18 ar nasa. 25 ar NASA. 26 ar NASA. 26 ab ISS. 34 ar nasa. 35 c-d NASA. 36 ab-i NASA. 37 c-d NASA. 38 ab-d NASA/NSSDC. 40 ar NASA. 48 ar, ab-d NASA/JPL. 54 ar-d, ar-d-c, ar-d-i NASA/JPL. 57 ar NASA. 70 ar NASA/SOHO. 70 ab-d: Real Academia Sueca de las Ciencias. 71 NASA/SOHO. 72 NASA/SOHO. 73 SST/Real Academia Sueca de las Ciencias. 76 ar-d NASA/EIT. 84 ab NASA/JPL. 86 ab-d NASA/JPL. 89 ar-d NASA/JPL/Caltech *Mars Polar Lander*. 90 ar-i NASA/Greg Shirah. 91 ar-d, ab NASA/JPL. 92 ar NSSDC/NASA. 93 ar-i ESA/DLR/FU Berlín (Gerhard Neukum). 95 c-d NASA/JPL. 96 ar-d NASA/JPL. 98 ar-d NASA/JPL. 101 ar NASA/JPL. 111 ar-d NASA/JPL. 112 ar-d NASA/JPL. 117 ar NASA/JPL. 124 ar-d, ab NASA/JPL. 129 ar NASA/JPL. 130 ar-i NASA/JPL. 136 ar-d NASA/JPL. 138 ar-d NASA/JPL/DLR. 145 ar-d NASA/JPL. 146-147 ab NASA/JPL. 150 ar-d, ab-i NASA/JPL. 151 c-d NASA/JPL. 152 ar-d NASA/JPL. 153 ar-d NASA/JPL. 154 ar-d, ab-i NASA/JPL. 157 ab-d NASA/JPL. 160 ar-i NASA/JPL/ESA/Universidad de Arizona. 162 ar-i NASA/JPL/SSI. 165 ar-d NASA/JPL. 170 ar-d NASA/JPL. 175 ar-d, ab-i GPL. 176 ar-i, c-i NASA/JPL. 178 ab-d NASA/JPL. 179 ar-d, c-d, ab-d NASA/JPL. 182 ab-d NASA/JPL. 184 ar-d NASA/JPL. 185 ar-d NASA/JPL. 186 c-d NASA/JPL. 188 ar-d NOAA. 189 ar-d ESA. 192 ar-d NASA, ESA. 204 ar-d NASA/ETI, c-d NASA/STSCI, i-d ESO. 206 ar-d ESA, c-d ESA, i-d NASA/JPL. 209 ar-d, c-d, i-d NASA/JPL. 210 ar-d, c-d, i-d NASA. 211 ar-d, i-d NASA. 212 ar-d, c-d, i-d NASA. 213 ar-d NASA/Pat Rawlings (SAIC), c-d NASA/JSC. 214 i-d NASA/MIX, c-d, i-d NASA/JSC. 216 ar-d, c-d, i-d NASA/JSC. 217 ar-d NASA/JSC, c-d, i-d NASA-GRC.

Giles Sparrow estudió Astronomía en el University College de Londres y ahora es un editor y reconocido autor especializado en ciencia y tecnología, así como en la historia de estas disciplinas y su interacción con la sociedad. Se dedica a escribir de manera profesional desde hace diez años y entre sus libros se encuentran *Universe*, *How the Universe Works*, *The Planets* y *The Universe and How to See It*. Vive y trabaja al este de Londres.



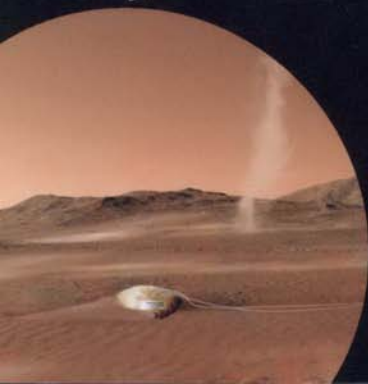


¿Cansado de las vacaciones en la Tierra?

**Láncese desde la Tierra en una montaña rusa
que recorre todo el Sistema Solar**

**Visite las maravillas naturales
de los planetas y sus satélites**

**Incluye consejos de viaje fundamentales
para cada destino**



-akal-
www.akal.com

ISBN 978-84-460-2695-2



9 788446 026952

Imagen de cubierta: Tim Brown