



Lunas planetarias (III): **Titania**

Jesús S. Giner

jsginer@gmail.com

*En esta tercera entrega de la serie dedicada monográficamente a algunas de las lunas del Sistema Solar, conoceremos algo más de **Titania**, el mayor satélite de Urano.*



La imagen de mayor claridad de Titania, la luna más grande de Urano, realizada por la sonda Voyager 2 el 24 de enero de 1986, desde una distancia de 500.000 km. La resolución, para las fotografías de la mayoría de las lunas de este planeta, es bastante baja, y en este caso apenas llega a los 9 kilómetros por píxel. Aun así, es fácil apreciar manchas redondeadas blancuzcas, largos desfiladeros (que indican cierta actividad geológica pasada) y cráteres de impacto, algunos muy bien definidos. La superficie de Titania solo fue fotografiada en un 40%.

(NASA/JPL)

-DESCUBRIMIENTO Y NOMBRE

El astrónomo William Herschel descubrió el planeta Urano en 1781. Solo seis años después, el 11 de enero de 1787, detectó en ese mismo día las dos lunas mayores del planeta: Titania y Oberón, que también son las más alejadas (William Lassell descubriría otras dos, Ariel y Umbriel, también en un mismo día, pero de 1850). Al parecer, Herschel informó asimismo del hallazgo de otras lunas en el sistema de Urano, pero sus afirmaciones no fueron corroboradas. De hecho, las dos lunas mayores solo serían visibles, por espacio de medio siglo, únicamente a través de los instrumentos del astrónomo británico (aunque nacido en Alemania). Hubo, por tanto, quien sospechó de su real existencia, pero Herschel tenía una merecida fama de sagaz observador y excelente constructor de instrumentos ópticos, y sus informes eran correctos.

Dada la enorme lejanía del sistema de Urano (que dista unos 2.800 millones de kilómetros del Sol), es comprensible que virtualmente no hubiera ningún avance notable en el conocimiento de sus lunas, aunque ciertamente su luz fue estudiada y los espectros revelaron una composición superficial fundamentalmente helada para todas ellas.

Titania, al igual que los restantes satélites de Urano, recibió un nombre procedente de personajes recogidos en las obras del dramaturgo y poeta inglés William Shakespeare (aunque también los hay que derivan de obras de otro poeta inglés, Alexander Pope). Hasta entonces, el astrónomo y cervecero William Lassell había denominado como Urano I a Titania; aún antes, al descubrirse los otros satélites mayores, el hijo de William Herschel, John, catalogó como Urano II a esta luna, pero Lassell encontró más sensato nombrarlos por su distancia al planeta; de este modo, Titania recibió la denominación de Urano III (Miranda, el satélite más interno, no había sido descubierto aún).

Pero, finalmente, y con acierto, este galimatías de nombres fue solucionado en 1852, cuando el mismo Lassell sugirió a John Herschel que, en lugar de denominar a los satélites con números,

recibieran nombres tomados de la literatura inglesa. A Titania, en particular, le fue asignado el nombre tomado de un personaje, la reina de las Hadas, de la obra *Sueño de una noche de verano* (1595), de Shakespeare.

-ÓRBITA Y CARACTERÍSTICAS

Titania es, de las lunas mayores de Urano, la cuarta en distancia al planeta, solo superada por Oberón. Orbita al mundo anillado a 436.000 km, algo más que la Luna a la Tierra, empleando algo menos de 9 días en dar una vuelta completa, y su excentricidad e inclinación respecto al ecuador de Urano son poco significativas. Al igual que Caronte y Jápeto, las dos lunas que hemos visto en artículos anteriores de esta serie, Titania también tarda lo mismo en girar alrededor de Urano que sobre sí misma, por efecto del acoplamiento mareal, de manera que desde el planeta siempre ven la misma cara de la luna.

Dado que Urano gira alrededor del Sol como “acostado” (la inclinación de su eje de rotación es de nada menos que 98°, mientras que el de la Tierra es de apenas 23°), y por su lejanía al Sol, los dos hemisferios viven 42 años en total oscuridad, y tras ello otros 42 años de completa iluminación.

Titania, como hemos dicho, es la mayor luna de Urano (figura 1), y la octava de todo el sistema solar (solo la superan las cuatro galileanas, Titán, Tritón y nuestra propia Luna). Tras el paso fugaz de la sonda Voyager 2, el 24 de enero de 1986 (primera y única vez que una sonda espacial ha llegado a las proximidades del planeta), en septiembre de 2001 Titania ocultó una brillante estrella, la conocida como HIP 106829, de magnitud visual 7,2. Este fenómeno permitió ajustar con más precisión la medida del diámetro y otras características de la luna. El valor que se obtuvo fue de 1.576,8 km para el diámetro (anteriormente se consideraban valores de 1610 km).



Figura 1: vista general de los mayores satélites de Urano, a escala. Aparece, de izquierda a derecha, el perfil del planeta, Puck, Miranda, Umbriel, Titania (dentro del cuadrado rojo) y Oberón. El diámetro de Titania se ha establecido en unos 1.576 km. (NASA-JLP)

La densidad media, por su parte, alcanzaba valores de $1,6 \text{ g/cm}^3$ tras la Voyager 2, pero ahora se acepta un valor ligeramente mayor, de $1,71 \text{ g/cm}^3$. Una densidad tal, muy superior a la del hielo, implica que Titania posee, como el resto de las lunas mayores de Urano, una composición que en parte es hielo y en parte rocas y compuestos orgánicos pesados (recordemos el caso de Jápeto, la luna de Saturno, que vimos en el anterior artículo de esta serie: apenas tenía una densidad de $1,1 \text{ g/cm}^3$).

Por último, el albedo y el estudio espectral inciden en que, en efecto, la superficie debe estar recubierta por una capa de hielo y sustancias más oscuras. El albedo de Titania, analizando la fotometría obtenida por el telescopio espacial Hubble en 2001, es de 0,35 (la Voyager 2 obtuvo 0,28). Titania, por tanto, tiene un brillo intermedio entre los otros satélites más oscuros, Oberón y Umbriel, y los más brillantes Ariel y Miranda. La superficie es ligeramente roja.

-ATMÓSFERA

La gravedad de Titania, dada su masa, no es muy alta. Esto significa que ciertos gases, como nitrógeno o metano, es complicado que puedan existir en la atmósfera de la luna, ya que escaparían al espacio. Sí, en cambio, es posible que posea una muy tenue atmósfera (o, más bien, velo gaseoso) de CO_2 , de apenas 3 nbar, y que no sería estable, sino estacional. Esto es consistente con los datos recabados en el transcurso de la ocultación por Titania que

hemos mencionado, que reveló la imposibilidad de que tuviera una atmósfera entre 3 y 7 veces más densa del valor supuesto comentado.

Dado su inclinación, y al contrario que los demás cuerpos *normales*, las lunas de Urano reciben más energía solar en los polos que las regiones ecuatoriales. Esto permite que se conserve cierta cantidad de vapor de CO_2 , que con el tiempo puede acumularse en regiones sombreadas como hielo seco. Durante el verano, que es la estación en donde las temperaturas polares suben hasta los $85\text{-}90^\circ \text{ K}$, ese dióxido de carbono se sublima y migra al polo opuesto.

-ORIGEN

El origen de las lunas de Urano es complejo. Existen tres hipótesis al respecto. Según una de ellas, puede que se formaran a partir de la consolidación del gas y polvo en torno a Urano que existía tras su formación. Aunque ubicada en regiones externas, donde abundaba el hielo de agua, se cree que la composición de esta nube de gas y polvo, por la densidad de Titania y los otros satélites, era bastante pobre en agua, y mucho más rica en nitrógeno y carbono (como N_2 y CO).

Otra hipótesis sugiere que se pudieron haber formado a partir del impacto de un asteroide contra Urano, arremolinándose los restos en torno al planeta y uniéndose finalmente como satélites. Esta posibilidad podría explicar, además, la extraordinaria inclinación del eje de rotación de Urano.

Pero aún hay una tercera hipótesis, más arriesgada y novedosa, relacionada con la anterior. En septiembre de 2020, investigadores del Instituto Max Planck de Astronomía, en Alemania, dirigidos por Örs H. Detre, emplearon el telescopio espacial Herschel para determinar las propiedades físicas de las cinco lunas principales de Urano. Este tipo de cuerpos son muy fríos e irradian muy bien en el rango espectral infrarrojo. Recordemos que las temperaturas medias de las lunas de Urano son de apenas entre 60 y 80°K, es decir, -213 y -193 °C. Las observaciones coincidieron con una posición favorable de las regiones ecuatoriales, a las que incidía la irradiación solar; esto permitió medir cómo retiene el calor una superficie a medida que se mueve hacia el lado nocturno debido a la rotación de las lunas, lo cual informa acerca de la naturaleza del material y las propiedades térmicas y físicas de aquellas. Lo que se descubrió es que las lunas son capaces de almacenar calor en sus superficies de un modo bastante eficiente (teniendo en cuenta la distancia y la escasa luz solar que les llega). Por tanto, tienden a enfriarse con relativa lentitud. Este tipo de comportamiento es usual en objetos compactos con una superficie áspera y helada. Por ello, los astrónomos creen que las lunas de Urano podrían ser cuerpos celestes parecidos a los planetas enanos del sistema solar externo, tales como Plutón o Haumea. Si esto es cierto, podría haberse debido al impacto de un planeta enano contra Urano, que habría ladeado al planeta y, tras un tiempo, formadas las lunas mayores.

Titania puede que se formara durante apenas unos miles de años. Al acretarse, los impactos calentarían la capa externa del satélite, alcanzando una temperatura de 250° K a unos 60 km bajo la superficie. La superficie se congeló muy rápidamente, pero el interior conservó el calor gracias a la desintegración de elementos radiactivos de las rocas internas. Este hecho de una capa exterior congelada que tiende a contraerse, y otra interior todavía estaba y dilatándose, provocó fuertes tensiones en la corteza, causando su rotura. En la superficie, como veremos, hay muestras claras de ello. Este proceso pudo durar centenares de millones de años.

-COMPOSICIÓN, INTERIOR Y POSIBLE OCÉANO

Las observaciones espectroscópicas de Titania, llevadas a cabo por el telescopio IRTF de la NASA, en Mauna Kea (Hawai), y dotado del espectrógrafo SpeX, revelaron en 2006 la presencia de hielo de agua cristalizado. Lo curioso es que las líneas de absorción del hielo de agua son más intensas en el hemisferio delantero —o sea, el delantero respecto a la traslación del satélite— que en el trasero. La causa de tal asimetría, aunque no es seguro, quizá tenga que ver con el bombardeo de partículas ionizadas procedentes de la magnetosfera de Urano. Si tales partículas impactan en la superficie pueden provocar la descomposición del agua y de los compuestos orgánicos. El residuo resultante sería un material oscuro rico en carbono.

Además de la propia agua, el CO₂ es el único compuesto identificado en la superficie por espectroscopia infrarroja, que puede haberse formado a partir de carbonatos o algún tipo de compuestos orgánicos tras la incidencia de la radiación solar ultravioleta, o las mencionadas partículas ionizadas de Urano. Incluso podría proceder del interior de la luna, atrapado en el hielo de agua y liberado a causa de algún proceso geológico pasado de Titania. Debe haber también, como hemos comentado, materiales rocosos, sales y compuestos orgánicos de distinta índole.

El interior de Titania, aunque no es suficientemente conocido aún, podría estar dividido en un núcleo rocoso al que rodearía un manto helado. Puede que el núcleo fuera especialmente extenso (los modelos sugieren un espesor de 520 km, dos terceras partes de todo el radio de la luna). Aunque es de suponer que este manto helado conserva ese estado físico, en el caso de que hubiera algún compuesto que actuara como anticongelante (como el amoníaco, por ejemplo), su comportamiento habría facilitado mantener, por el contrario, un estado líquido. Es decir, durante su etapa de formación, y a lo largo de los siguientes millones de años, el calor inicial de la acreción, junto con la desintegración de elementos radioactivos, tal vez fue lo suficientemente intenso como para fundir el hielo del manto, siempre que algún

anticongelante, como el amoníaco (en forma de hidrato), hubiera estado presente en ciertas cantidades. Es viable que se hubiera formado una capa de agua líquida rica en amoníaco disuelto justo en el límite entre el núcleo y el manto. Ahora bien, la temperatura debería haberse mantenido siempre superior a los 176°K, dado

todo insuficiente para proporcionar los datos necesarios que ayuden a reconstruir y estudiar cuáles fueron los procesos geológicos que han modificado su superficie. Las imágenes logran cubrir un 40% del total superficial de Titania, aunque solo del 24% tenemos fotografías de buena calidad (figura 2).



que si hubiera sido menor la capa ya se habría congelado. En otras palabras, sería factible que Titania dispusiera (o hubiera dispuesto) de un océano líquido en su interior; los modelos, para esta luna, apuntan a que el océano sería relativamente extenso (una capa de 50 km, como máximo; en comparación, el océano de la luna de Júpiter Europa podría alcanzar los 170 km). En Titania, como hemos dicho y veremos a continuación, hay señales superficiales que indican la expansión del interior, rasgando la superficie y formando largos cañones. Por tanto, el proceso de congelación del agua de dicha capa tal vez se haya completado ya hace muchos millones de años. Con todo, sabemos muy poco acerca de Titania como para afirmar algo rotundamente acerca de su pasado remoto.

-SUPERFICIE

Como hemos comentado, todas las imágenes de Titania de que se dispone desde cerca fueron obtenidas por la sonda Voyager 2 en el ya lejano 1986, es decir, hace casi 40 años. Durante el sobrevuelo, el hemisferio sur de la luna apuntaba al Sol, pero el norte estaba en oscuridad y no pudo ser fotografiado.

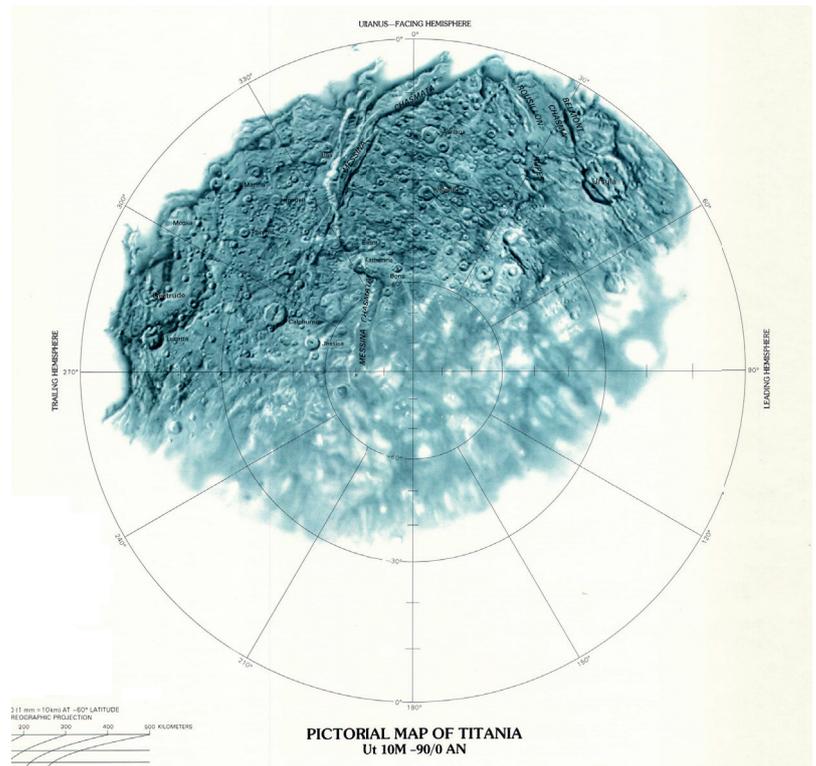
La distancia mínima del sobrevuelo de la sonda en relación a la luna fue de 365.200 km, lo que significa que la resolución, en el mejor de los casos, no bajó del 3,5 km. Esta resolución permite apreciar las características generales de un cuerpo planetario, pero es del

Figura 2: secuencia de imágenes de Titania, realizada por la sonda Voyager 2 en enero de 1986. Aunque obtuvo algunas fotografías con cierta resolución, otras son de baja calidad y no disponemos de ninguna del hemisferio norte de la luna. (NASA-JLP-Ted Stryk)

Ya hemos dicho que el albedo de Titania es de tipo medio en relación con las otras lunas. La superficie tiene un suave tono rojo, probablemente debido a la erosión producida por el impacto de pequeños micrometeoritos y partículas solares cargadas. En algunos cráteres de impacto hay depósitos de color más azulado, y en general el hemisferio anterior de la luna, respecto a la traslación de Titania, parece ser bastante más rojo que el posterior. Esto puede recordar a Jápeto, la luna de Saturno que vimos en el anterior artículo de esta serie.

Los astrónomos planetarios consideran varios tipos de características superficiales en Titania (figura 3). En primer lugar, naturalmente, cráteres. Pero, a diferencia de otras de las lunas externas de Urano, como Umbriel u Oberón, Titania parece tener menos cráteres; esto, como sabemos, indica que su superficie es bastante más reciente. Hay, ciertamente, un gran número de pequeños cráteres repartidos por la porción del globo fotografiada por la Voyager 2, así como cuencas de impacto mayores, con diámetros superiores a los 100 km. Pero también existen zonas con un aspecto *a priori* mucho más liso, que son pobres en cráteres, lo que sugiere que

Figura 3: proyección del polo sur de Titania, en un mapa en relieve sombreado obtenido a partir de imágenes de la Voyager 2 y elaborado por el USGS estadounidense. Aparecen nombrados los rasgos catalogados por la IAU en 1988. Se aprecia claramente que la porción fotografiada es muy limitada, y solo una parte de ella posee cierta resolución. Aparte de los cráteres, las formaciones más relevantes son cañones y escarpes. Gertrude, el mayor cráter de impacto, aparece a la izquierda. Úrsula, otro cráter notable en tamaño, aparece a la derecha, atravesado por el cañón Belmont. El sistema de cañones Messina, por su parte, es visible en el centro. (NASA-JLP-USGS)



en el pasado, relativamente reciente, ha habido algún proceso de rejuvenecimiento superficial. Los cráteres tienen tamaños desde apenas unos pocos km hasta el mayor de todos ellos, la cuenca de impacto *Gertrude*, que posee 326 km, casi una quinta parte del diámetro de la luna.

Hay cráteres que muestran eyecta bastante notables, como es el caso de *Úrsula* o de *Jessica*, de 134 y 65 km, respectivamente. Estos rayos quizá exhiban hielo excavado bastante recientemente. Aparecen también muchas manchitas blancas alrededor de otros cráteres menores, y la tipología de la práctica totalidad de los cráteres es la habitual cuando poseen tamaños relativamente grandes, es decir, fondo plano y picos centrales; el único cráter que rompe esta regla es el mencionado *Úrsula*; pero, aquí, precisamente la ausencia de pico central se debe al cañón (*Belmont Chasma*) que lo atraviesa por el centro, el cual habrá borrado esa formación característica. Teniendo en cuenta el grado de erosión y desgaste que presenta, bastante menor que muchos otros, es probable que sea uno de los más recientes de Titania. El foso central que divide al cráter alcanza un diámetro aproximado de 20 km, y la formación está rodeada de suaves llanuras, las cuales apenas muestran cráteres de impacto; de hecho, es la región con menor

densidad de ellos en toda Titania. Estas llanuras quizá se deban al asentamiento de los depósitos de material eyectado tras el impacto que formó *Úrsula*, que “limarían” los terrenos y borrarían señales anteriores, aunque también podrían ser resultado de actividad criovolcánica, gracias a procesos endógenos que expulsaron material fluido del interior.

Es posible que existan otras grandes cuencas de impacto en Titania, pero las imágenes de la Voyager 2 no permitieron contemplar más territorio y, de momento, se mantiene el desconocimiento de su topografía completa.

Otras características muy notables de la luna son los cañones. Estos sistemas de fallas y cañones cortan la superficie de Titania en varios sectores, y es muy probable que se prolonguen o existan en las áreas no fotografiadas aún. En ciertos sectores, estas fallas paralelas constituyen fosas tectónicas, apareciendo como grandes grietas o fracturas superficiales. El más notable de estos sistemas de cañones es *Messina Chasma*, que transcurre a lo largo de casi 1.500 km (figura 4, página siguiente), atravesando el ecuador hasta cerca del polo sur, en dirección NO-SE (y que puede estar conectado con el mencionado *Belmont Chasma*, aunque las imágenes no permiten asegurarlo). El cañón lo forman dos fallas

normales, que generan, en efecto, una fosa tectónica, o más bien un sistema de fosas tectónicas, que varían en amplitud entre 20 y 50 km y en profundidad entre 2 y 5. Este cañón gigantesco va cortando distintos cráteres de impacto, lo que viene a decir que probablemente se formó en una fase tardía de la evolución geológica de la luna, tras expandirse su interior (en un porcentaje que se calcula en 0,7%) y agrietarse y fracturarse la superficie helada. Dado que apenas tiene un puñado de cráteres pequeños superpuestos, esto supone otra señal de que la región es bastante más reciente que la media de la superficie.

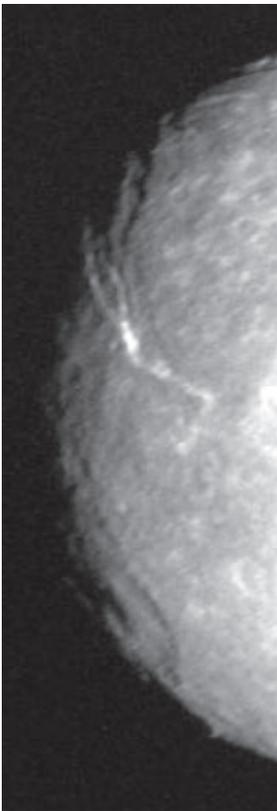


Figura 4: *el sistema de cañones de Messina Chasma, en Titania, que lacera la superficie de la luna desde el ecuador hasta el polo sur. Con 1.500 km de longitud, es el más largo del satélite. Arriba se aprecia el gigantesco cráter Gertrude, de 326 km de diámetro. (NASA-JLP)*

Hay, aún, otro tipo de fracturas que no están relacionados con cañones, los escarpes, que corresponden a saltos o pendientes visibles en las fracturas de la corteza. En latín se conocen como *rupes*, y en Titania tenemos el ejemplo de *Rousillon Rupes*, no lejos del gran cráter Úrsula.

Por tanto, tenemos dos fuerzas principales como las responsables de la formación de la superficie de Titania: la continua generación de cráteres de impacto, que ha ido actuando a lo largo de la historia del satélite, y que afectó a su completa esfera, y los procesos endógenos,

que aunque también globales únicamente estuvieron activos en momentos puntuales; ambas fuerzas son las causas de que veamos en Titania tan poco del terreno original craterizado. Más recientemente, los procesos endógenos, de carácter tectónico, han sido los responsables de la aparición de los grandes sistemas de cañones (figura 5).

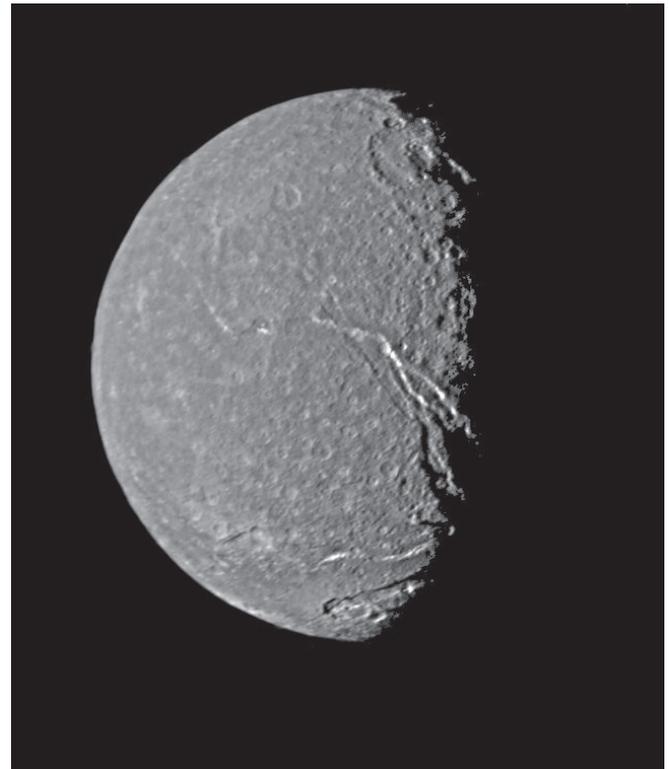


Figura 5: *una de las mejores imágenes de Titania, realizada por la Voyager 2 en enero de 1986, cuando la sonda estaba a 369.000 km de la luna. La resolución es de 13 km por píxel. El brillo dentro del sistema de cañones de Messina Chasma en parte se debe al ángulo de iluminación, pero también indica la presencia de un material más claro, que posiblemente sean algún tipo de depósitos de escarcha reciente. Aparecen perfectamente visibles los grandes cráteres Úrsula, al sur, y Gertrude, al norte, los dos mayores de todo el satélite conocido. (NASA-JLP)*

-EXPLORACIÓN FUTURA

Toda vez que de Titania apenas hemos visto el 40% de su superficie, y apenas el 27% con cierto detalle, y dado que la situación es bastante

Nombre del accidente	Tipo	Tamaño (km)	Latitud central	Longitud central
Adriana	Cráter	50.00	-20.10	3.90
Belmont Chasma	Cañón	258.00	-8.50	32.60
Bona	Cráter	51.00	-55.80	351.20
Calphurnia	Cráter	100.00	-42.40	291.40
Elinor	Cráter	74.00	-44.80	333.60
Gertrude	Cráter	326.00	-15.80	287.10
Imogen	Cráter	28.00	-23.80	321.20
Iras	Cráter	33.00	-19.20	338.80
Jessica	Cráter	64.00	-55.30	285.90
Katherine	Cráter	75.00	-51.20	331.90
Lucetta	Cráter	58.00	-14.70	277.10
Marina	Cráter	40.00	-15.50	316.00
Messina Chasmata	Cañón	1492.00	-33.30	335.00
Mopsa	Cráter	101.00	-11.90	302.20
Phrynia	Cráter	35.00	-24.30	309.20
Rousillon Rupes	Escarpe	402.00	-14.70	26.50
Ursula	Cráter	135.00	-12.40	45.20
Valeria	Cráter	59.00	-34.50	4.20

Tabla 1: relación de los accidentes geográficos de Titania que han recibido nombre oficial. Los nombres proceden, como se puede ver, de distintas obras del dramaturgo y escritor inglés William Shakespeare (1564-1616). (NASA/ USGS Astrogeology Science Center)

semejante en las demás lunas de Urano, tras la ya lejana en el tiempo visita de la sonda Voyager 2, que como hemos dicho tuvo lugar en 1986, la NASA ya planea una vuelta al primer planeta descubierto en la época moderna. En su reciente informe para estudiar la viabilidad de los próximos proyectos espaciales, se prestó especial atención y prioridad a *Uranus Orbiter and Probe*, una misión que pretende llevar una sonda hasta Urano y orbitar allí durante dos años. La idea, por tanto, sería estudiar en profundidad al gigante de hielo, e incluso podría lanzarse una sonda auxiliar que atravesara las nubes de Urano para descubrir detalles de su química y física atmosférica. Además, sería muy útil también para conocer más de la evolución de los mundos gigantes de hielo; y, por supuesto, ello también facilitaría el estudio con mucho mayor detalle de sus lunas, cuyas superficies podrían ser fotografiadas en su totalidad y con alta resolución, permitiendo elaborar sus historias geológicas.

Sin embargo, aún se trata de un proyecto de misión. Aunque podría lanzarse hacia el año 2030, no es factible que llegue al sistema de Urano antes de la década de 2040, por lo que aún pasarán mínimo dos décadas antes de que

tengamos información fresca de la mayor luna del planeta *nuevo*.

No queda más que esperar. ■

-Enlaces de interés:

<https://www.mpg.de/15306926/0828-astr-053792-herschel-and-the-uranian-moons>

<https://eos.org/articles/do-uranuss-moons-have-subsurface-oceans>

https://planetarynames.wr.usgs.gov/SearchResults?Target=96_Titania

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/targetFamily/Uranus?subselect=Target%3ATitania%3A>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Titania_\(satélite\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Titania_(satélite))

<https://www.space.com/uranus-orbiter-probe-mission-timeline>