30 AÑOS DE LA SONDA MAGALLANES HACIA VENUS

Jesús Salvador Giner

jsginer@gmail.com

Venus es el planeta más próximo a la Tierra. Desde nuestro mundo se ve como la más brillante estrella, de blanca luz, fija y pura. Es tan hermosa que los antiguos le dieron el nombre de diosa del amor: Afrodita para los griegos y Venus los romanos. Su exploración directa siempre fue un engorro: por la capa de nubes perpetua que impedía ver su superficie y por las terroríficas condiciones ambientales una vez alcanzada ella. La nave que, por fin, permitió revelar el rostro auténtico y completo de Venus fue la sonda Magallanes, de cuyo lanzamiento este año se cumplen tres décadas. En el presente artículo veremos algunos de sus hallazgos.

La causa de su luminosa presencia en el firmamento es una permanente y densa capa de nubes en Venus, que refleja la luz recibida por el Sol y priva de observar la superficie. Se sospechó que la atmósfera podía estar compuesta por grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), extremo que confirmó la primeriza sonda *Mariner 2*, cuando en diciembre de 1962 arribó a Venus y, además, confirmó otros dos datos acongojantes: la temperatura superficial era de unos 400ºC, y su presión podía llegar a ser hasta cien veces mayor que la terrestre; es decir, Venus era un auténtico horno aplastante.

La Unión Soviética dio un paso más en la exploración venusina y logró hacer descansar en la superficie de pesadilla de Venus un puñado de sondas de la serie Venera (fueron la 7, la 9, la 10, la 12 y la 13, que tomaron fotografías en color de la superficie, figura 1), una hazaña sin precedentes no sólo porque se trataba del primer ingenio humano que llegaba a la superficie de otro planeta, sino por las durísimas condiciones imperantes. Todas ellas certificaron las peores noticias: la atmósfera, compuesta casi enteramente (96%) de dióxido de carbono, genera un efecto invernadero desbocado que abrasa a Venus hasta los 480ºC. Las nubes, lejos de ser de agua, están compuestas por gotas de ácido sulfúrico, que corroen la superficie. Y la presión es parecida a la existente bajo un kilómetro de agua.

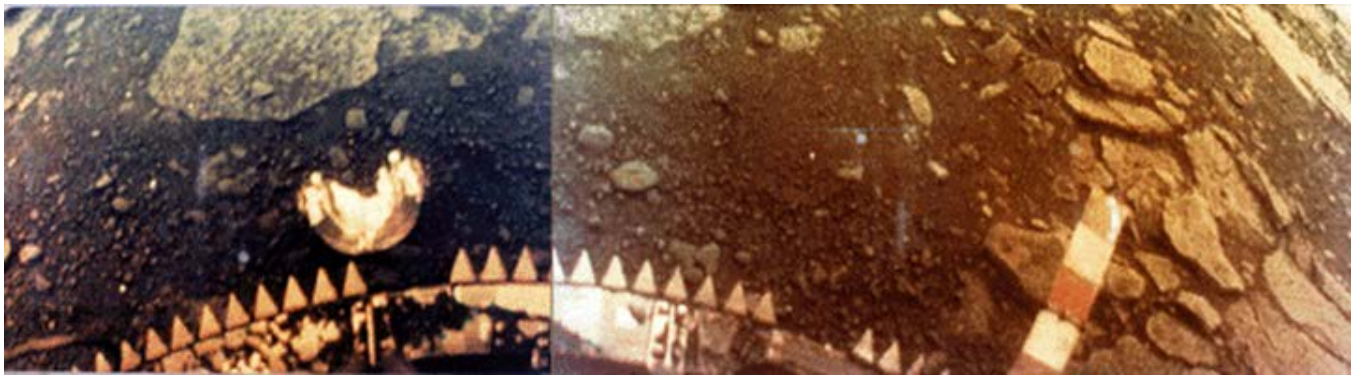


Figura 1: El paisaje superficial de Venus dentro de la zona conocida como Phoebe Regio, al oeste del planeta, según observó la sonda soviética de descenso Venera 13 en marzo de 1982. Se aprecian rocas, lascas y pedruscos erosionados, conformando una llanura de basalto, es decir, lava solidificada que parece ser la tónica habitual en gran parte de este inhóspito mundo. Los colores son próximos a los reales. (Academia de las Ciencias de Moscú)

Las técnicas de radar fueron utilizadas, desde nuestro planeta, para poder confeccionar bastos

"mapas" de la superficie de Venus a mitad del siglo pasado, pero solo con la sonda *Pioneer Venus 1*, equipada con un modesto radar-altímetro, pudo obtenerse una visión de conjunto de las tierras venusinas a baja resolución. Sin embargo, si lo que se deseaba era obtener información que proporcionara señales e indicios de los procesos y mecanismos que habían modelado la superficie venusina, tarea básica en toda descripción de la historia y evolución de otro mundo, entonces era necesario un paso más allá, más precisión y detalle. Este salto definitivo tras la caracterización de la geografía y geología de Venus vino a partir de 1989, cuando la NASA lanzó la sonda *Magallanes*, que dio un giro extraordinario al conocimiento que de él teníamos al obtener un mapa completo con resoluciones inferiores a 300 metros (figura 2).

proporcionó son, con diferencia, las más nítidas disponibles y su cantidad excede las generadas por todas las misiones previas. Con este tesoro de datos e informaciones, no es de extrañar que nuestro saber de Venus haya experimentado un avance vertiginoso. En 1994 la Magallanes fue dejándose caer en la atmósfera de Venus, precipitándose en el manto de nubes. Debió vaporizarse casi totalmente, pero es posible que partes de la sonda llegasen a la superficie del planeta.

Además, y al contrario que otros proyectos y sondas que visitaron Venus en épocas anteriores, en los cuales primó el análisis atmosférico antes que el superficial, la *Magallanes* estaba específicamente orientada a estudiar la geología y geodinámica de nuestro mundo vecino. Pero, dado que empleó el radar como instrumento principal para ello, hay

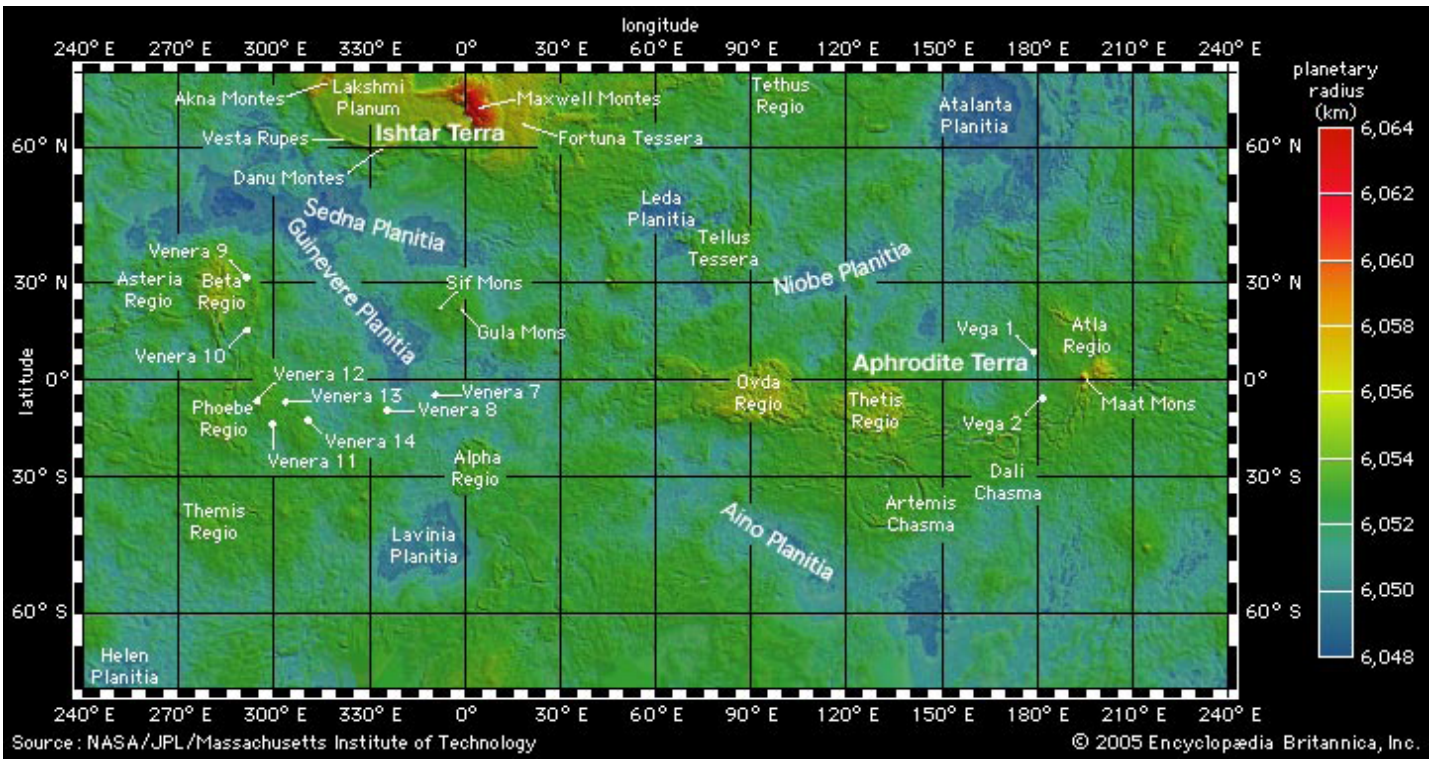


Figura 2: Mapa topográfico de Venus, elaborado a partir de las imágenes de radar de la sonda Magallanes, y publicado a mediados de los años noventa del siglo pasado. Las zonas deprimidas aparecen en azul y verde, y las de tono rojizo representan las regiones altas del planeta. Destacan dos grandes continentes: Ishtar Terra, al norte, con imponentes alturas, y Aphrodite Terra, en el ecuador, y entre ellas amplias llanuras. La composición ha sido procesada en colores falsos para mejorar el contraste y se han añadido los nombres de los principales rasgos superficiales así como los lugares de aterrizaje. (JPL-NASA)

La sonda *Magallanes* partió de la Tierra en mayo de 1989 y el 10 de agosto de 1990 entró en órbita alrededor de Venus, permaneciendo cuatro años observando el planeta y obteniendo un mapa de gran detalle del 98% de la superficie. Como hemos dicho, redujo la resolución de las imágenes de radar hasta los 300 metros de media (cien, en algunos casos) y sus mediciones topográficas alcanzaron precisiones de treinta metros. Las imágenes que

que entender la diferencia entre éste y una cámara fotográfica convencional si queremos comprender e interpretar correctamente el legado de la *Magallanes*.

El radar funciona enviando, en este caso a Venus, un haz de ondas de radio, que alcanza la superficie del planeta. Una parte del mismo rebota y vuelve a la sonda. No siempre lo hace del mismo modo: en efecto, en función de lo rugoso y accidentado que sea el terreno alcanzado por el haz de ondas

radio, la sonda mide unas propiedades particulares. En particular, si el terreno es liso, uniforme, el haz de radio se dispersará, con el resultado de un color oscuro en la imagen de radar porque apenas le llegarán datos; si, por el contrario, el haz choca en una superficie accidentada, rebotará y una parte del mismo sí alcanzará la sonda, imprimiendo una imagen clara y luminosa.

Los vientos de Venus son heterogéneos en función de la altitud. En la capa de neblina superior los vientos aumentan sus velocidades a medida que disminuye la altura, y esta es máxima en el estrato principal de nubes, con velocidades vertiginosas (cercanas a los 360 kilómetros por hora). Al bajar, disminuye mucho la velocidad, hasta que en la superficie no hay virtualmente viento. Los vientos son capaces, pese a ser tan tenues, de transportar partículas en alturas cercanas a la superficie, por lo que es posible ver sus efectos.

Así, en efecto, se pueden localizar gran cantidad de marcas y líneas producidas por el viento en Venus, que se aprecian por la distinta rugosidad entre ellas y el terreno circundante, asociadas casi siempre a cráteres de impacto, por lo que es razonable suponer que se trata de los residuos o desechos producidos durante el impacto, posteriormente modificados por los vientos superficiales. Las hay de varias clases, pero en general se habla de estrías *lineales*, *transversales* y *tenues* (figura 3A). Otra característica son las dunas, visibles sobretodo en el campo llamado *Fortuna-Meshkenet*, donde aparecen más de 40 estrías brillantes al radar, originadas a partir de lo que parecen son pequeños y brillantes conos volcánicos (figura 3B).

La superficie de Venus, el gran objetivo de la sonda *Magallanes*, ha resultado ser variada y muy interesante. En gran parte (86%), el rostro de Venus parece estar cubierto por llanuras volcánicas de baja altura (no superan el kilómetro respecto al "nivel del mar" de Venus, es decir, respecto del radio medio del planeta, correspondiente al valor de 6.051,84 km.). Hay también regiones más altas, montañosas, de gran relieve, que podríamos considerar como "continentes" venusinos. Son tres: en el ecuador de Venus hallamos a *Aphrodite Terra*, tan grande como el continente africano terrestre, y que abarca casi un tercio de la circunferencia del planeta. Su aspecto recuerda a un escorpión. También en el ecuador puede verse a *Beta Regio*, mucho más modesta en tamaño pero que alberga volcanes en escudo que podrían haber desarrollado actividad recientemente. Por su lado, en el hemisferio septentrional, cerca ya del Polo Norte, encontramos *Ishtar Terra*, del tamaño de Australia y que contiene las montañas más elevadas: los *Montes Maxwell*, una gigantesca cordillera de 6.000 metros de altura media y 4.000 kilómetros de longitud, que en su punto mayor llega a los 11 kilómetros de altura.

Pero aunque hablamos de "continentes" venusinos, este título no es del todo adecuado. El origen de las montañas de este planeta, sostenidas por una corteza de cerca de 70 kilómetros de espesor, tiene un origen distinto del terrestre. Aunque la proporción de rocas de tipo volcánico en Venus es muy similar a la de la Tierra (70% del total), en aquel la distribución de las estructuras volcánicas es irregular, casi caótica. En nuestro mundo, las formaciones volcánicas se engarzan

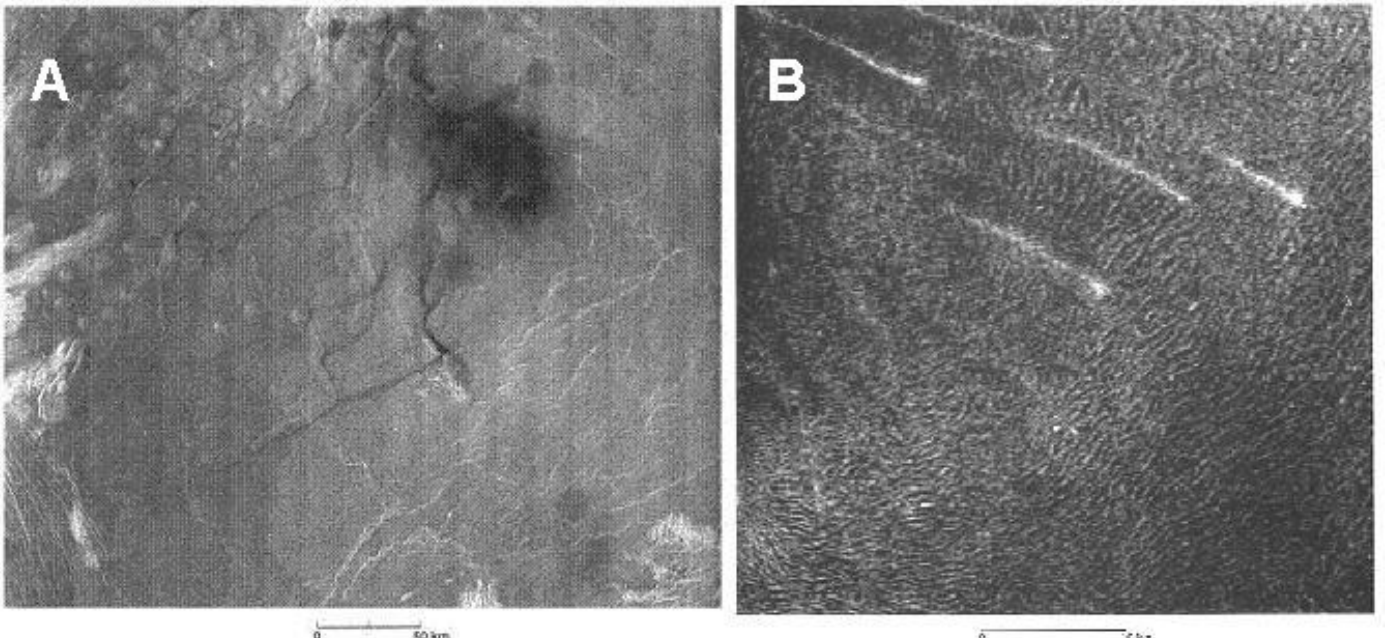


Figura 3: Distintos tipos de modificaciones superficiales en Venus debidos a fenómenos eólicos. (A): estrías tenues, oscuras en esta imagen de radar de la Magallanes, compuestas seguramente por residuos finos; (B): extenso campo de dunas en Venus. Las rayas brillantes, desplazadas por el viento, parecen emerger de pequeños conos volcánicos. (NASA-JPL)

en cadenas siguiendo los límites de las placas litosféricas, pero el "patrón sin orden" que vemos en Venus indica claramente que allí no hay una tectónica de placas en activo.

Ahora bien, que carezca de este mecanismo de renovación superficial no implica que Venus esté geológicamente muerto. Muy al contrario, aunque no hemos contemplado un volcán en erupción (como ha sucedido en otros mundos, particularmente en lunas de planetas gigantes) hay evidencias que sugieren que en fechas recientes ha habido episodios de actividad volcánica.

Tres son las características superficiales de Venus que vamos a analizar en las próximas páginas. Primero: cráteres de impacto, de los que hay relativamente pocos en Venus y con un tamaño siempre superior a 2-3 kilómetros (los objetos *impactores* más pequeños no alcanzan la superficie, sino que se desintegran en la espesa atmósfera antes de llegar allí). En segundo lugar, veremos parte de la gran variedad de formaciones tectónicas que presenta el planeta vecino: *grabens*, escarpes, montañas, crestas, teselas, etc. Finalmente, echaremos un vistazo a los edificios volcánicos, o los relacionados con el vulcanismo, que son también muy variados: volcanes en escudo, volcanes compuestos, canales de lava, coronas, "aracnoides", *pancakes*, etc.

Cráteres de impacto

En la Tierra hay apenas 200 cráteres de impacto reconocidos como tales; en Marte, por el contrario, se han contabilizado al menos 635.000 mayores de un kilómetro. Venus, con sus 963, está más cerca de nuestro mundo en este aspecto que del planeta rojo. Que tenga pocos cráteres de impacto es, por sí mismo, un indicio de que en el pasado Venus ha padecido una remodelación superficial que ha borrado los más antiguos. Pero, fijándonos también en la distribución de los mismos, vemos que es singularmente homogénea: miremos adonde miremos, es fácil encontrar uno de ellos, ya sea en las llanuras o en las tierras altas. Esto señala que toda la superficie tiene una edad similar, o sea, que el acontecimiento que modificó sustancialmente la cara de Venus afectó a la práctica totalidad del planeta.

Los cráteres de impacto son habituales en la gran mayoría de cuerpos celestes rocosos o formados por hielo, porque es común que meteoritos, asteroides y cometas colisionen con ellos en algún momento de su historia. Los cráteres de impacto de Venus permanecen bastante inalterados, por lo general, dado que se trata de estructuras jóvenes y las condiciones ambientales tampoco activan su degradación. Su morfología es bastante similar a la de los cráteres de otros mundos: forma circular con fondo plano (como una sartén), un pico central (no siempre presente), una pared o muro desde el fondo hasta el borde exterior y un cinturón alrededor del cráter de material eyectado. Hay que diferenciar un cráter producido por un impacto de otro causado por la actividad volcánica. Los elementos que determinan que un cráter es resultado de un impacto son varios: un *borde* cuyo contorno sea circular; *flancos* del cráter que ascienden suavemente sobre el terreno circundante; un *manto de eyección* bordeando al cráter y una *cuenca interior* presente en cráteres grandes, además de un *pico central*. Estos requisitos los cumple, por ejemplo, *Danilova*, un cráter de 48 kilómetros de diámetro de las llanuras volcánicas (figura 4). Podemos concluir, pues, que se trata de una estructura de impacto.

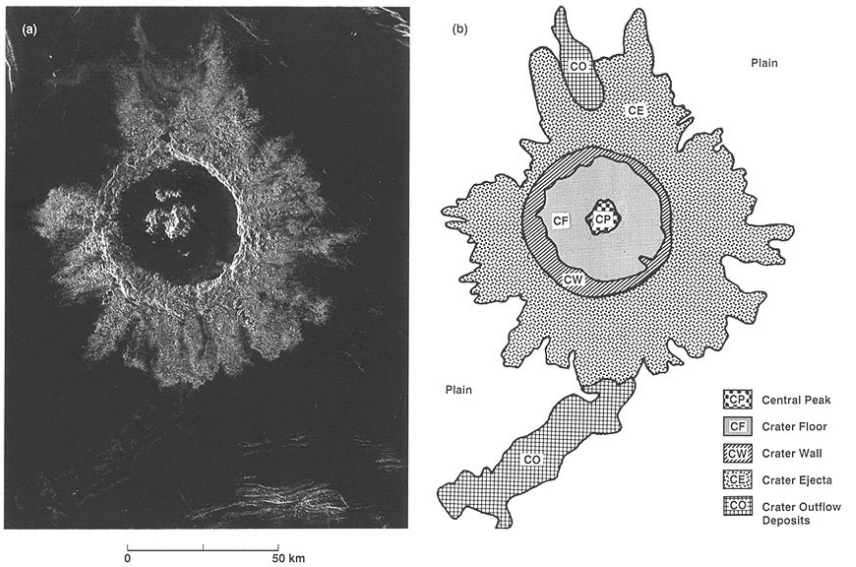


Figura 4: (A) El cráter de impacto Danilova, de 48 kilómetros de diámetro, con pico central. Es bien visible el notable material eyectado (o aureola), que aparece brillante en esta imagen de la Magallanes. (B) Esquema geológico de las distintas partes, del interior al exterior: pico central (CP), suelo del cráter (CF), pared del cráter (CW), depósitos de eyección (CE) y depósitos de flujo del cráter (CO). (NASA-JLP).

Pero, ¿cómo se moldean los depósitos de materiales (eyecta o aureolas) alrededor de los cráteres recién formados? Las aureolas parecen similares a las nubes ardientes que producen los volcanes terrestres, y se producen por las nubes de

material que sale despedido en el impacto, a muy alta temperatura y densidad, que posteriormente descienden y, en función del ángulo del impacto, tienen una u otra forma (más centrada o más irregular, figura 5).

Figura 5: el cráter de impacto Dickinson, de 69 kilómetros de diámetro. Se trata de un cráter complejo, con un pico central compuesto por varios pequeños promontorios y el suelo inundado por materiales que aparecen tanto oscuros como claros al radar. La aureola consta de eyecciones de textura rugosa y se extiende por los aledaños de todo el cráter, exceptuando la parte oeste, lo cual puede deberse a que el cuerpo impactante chocó de forma muy oblicua. La imagen abarca 185 kilómetros de ancho. (NASA-JLP).

Hay aureolas *primarias* (inscritas concéntricamente alrededor del cráter y muy simétricas) y *secundarias* (no siempre presentes, que se originan en el borde del cráter y van descendiendo ladera abajo, a través de canales, hasta difuminarse. Tienen formas alargadas, y parecen ríos que se hayan desbordado).

Otras características de los cráteres de impacto venusinos son los *halos parabólicos* y *flujos de depósitos* brillantes. Los halos parabólicos se producen en el momento del impacto, con fisonomía plana y constituidos por un fino polvo en suspensión, un material pulverizado tras el impacto que se asienta en los márgenes exteriores del cráter y se ve oscuro al radar. Los flujos de depósitos brillantes, por su parte, se presentan más luminosos que el material propiamente expulsado por el impacto y se originan, en su mayor parte, hacia las inmediaciones desde el punto central del choque. Que estos depósitos alcancen grandes distancias y, además, sigan la topografía del terreno, parece indicar que se trata de materiales de baja viscosidad. Estos flujos pueden constituir la masa fundida por el impacto, es decir, roca fundida por el intenso calor liberado en la explosión (figura 6).

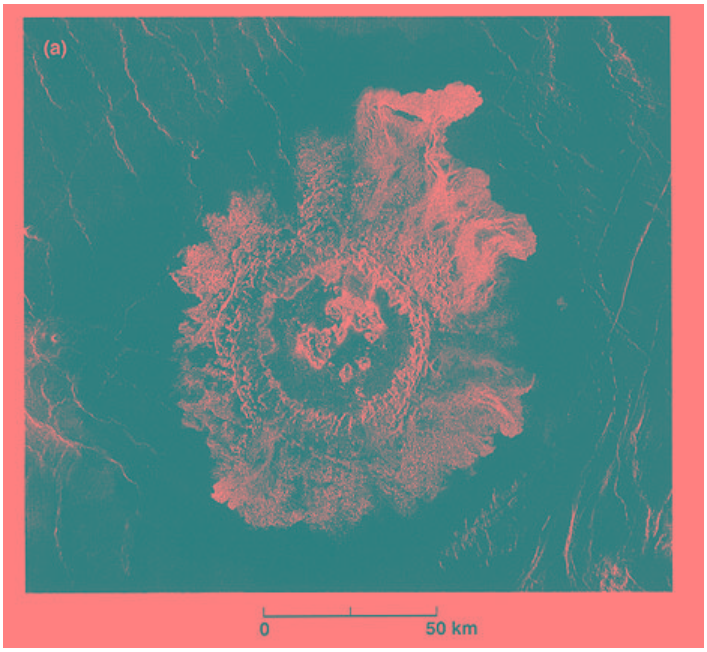


Figura 6: Yablochkina, un cráter de impacto de 63 kilómetros de diámetro. En esta imagen aparecen bien definidos todos los elementos de un cráter venusino: pico central con distintas colinas; fondo oscuro surcado por estrías brillantes; paredes rugosas; eyecta circundante, conformando una compleja aureola y el halo parabólico (el contorno más oscuro alrededor del cráter) y los depósitos de flujo brillantes, sobretodo arriba, que resultan más brillantes que el resto de la aureola. (NASA-JLP).

El suelo llano en un cráter se debe a la solidificación del magma producido en el impacto y el relleno posterior de la superficie original. A través de las fracturas del suelo del cráter la lava puede brotar, configurando relieves planos al enfriarse, que aparece oscuro al radar.

Los cráteres de Venus pueden clasificarse en función de sus tamaños y cada rango presenta peculiaridades específicas (figura 7). Hay seis tipos:

1) *Cráteres multianillo*, de varios cientos de kilómetros de diámetro. Consisten en una sucesión de anillos rodeando el centro plano, y son bastante escasos en Venus;

2) *Cráteres con doble anillo*, de unos 100 kilómetros o más (figura 7A y B) poseen un borde exterior y un anillo interior, brillante en el radar a causa de su rugosidad y pronunciada pendiente;

3) *cráteres con picos o montículos centrales*, que representan algo más de un tercio del total y aparecen a partir de los 60 kilómetros de diámetro;

4) *cráteres con suelos llanos*, sin estructura, sus

paredes y pisos suelen ser planos;

5) *cráteres irregulares*, habitualmente los más pequeños, de menos de 15 kilómetros, y con suelos brillantes (figura 7F y G); y

6), *cráteres múltiples*, que presentan dos o más cráteres generados por proyectiles que chocaron cerca, a veces superpuestos.

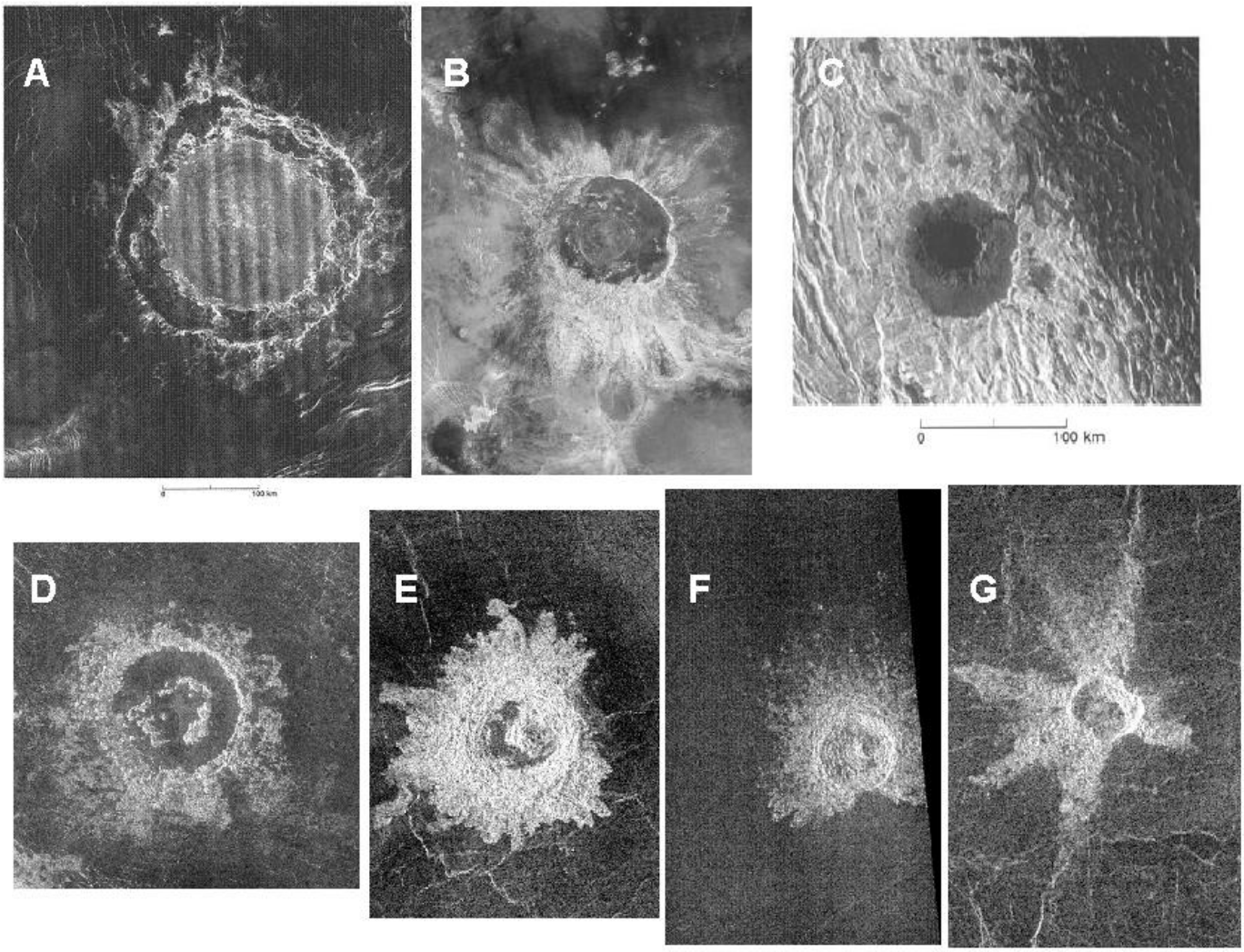


Figura 7: Cráteres de impacto en Venus: (A) Mead, un gran cráter de doble anillo, el mayor del planeta (280 kilómetros); (B) Isabella, de 175 kilómetros, muestra dos extensas depósitos de flujo brillantes, al sur y al sureste; (C) Cleopatra, un cráter de impacto de 105 kilómetros de diámetro en Maxwell Montes. En su día se pensó que se trataba de una caldera volcánica, pero finalmente se ha demostrado que es consecuencia de un impacto; (D) Barton, de 50 kilómetros de diámetro. Entre ese valor y los 15 kilómetros gran parte de los cráteres poseen los característicos picos centrales; (E) Buck, de 22 kilómetros, con paredes llenas de terrazas, suelo oscuro y pico central. Es un ejemplo típico de cráter complejo; (F) Cráter sin nombre en Guinevere Planitia, con un diámetro de 12,5 kilómetros; y (G) Cráter también sin nombre, en Eistla Regio, de 6 kilómetros de diámetro. (NASA-JPL).

Aunque los cráteres de Venus son jóvenes y no han sido modificados por procesos posteriores, aquí y allá hay algunos que han padecido un cambio posterior. Por ejemplo, el cráter *Somerville*, de unos 37 kilómetros de diámetro (figura 8A) y situado en *Beta Regio*, es evidente que ha sido cortado por multitud de fracturas y fallas, dividiéndose por la mitad por la formación de una grieta gigantesca. En la figura B tenemos un caso singular de cráter de impacto, *Alcott* (de 63 kilómetros de diámetro), que ha sido modificado por procesos volcánicos, toda una rareza en este planeta. En efecto, este cráter ha sido inundado extensamente por la lava. Al sureste se aprecia parte de la aureola brillante, que sin embargo al norte y oeste ha sido cubierta por la lava. A la derecha, arriba, se puede ver un intrincado sistema de estrías, que parecen ser los canales a través de los cuales la lava debió fluir hacia las tierras más bajas.

Procesos tectónicos

Igualmente numerosos y complejos son los procesos de deformación de la superficie de Venus, que han originado llanuras fracturadas, largas estrías, grietas, crestas, teselas, etc. Los procesos

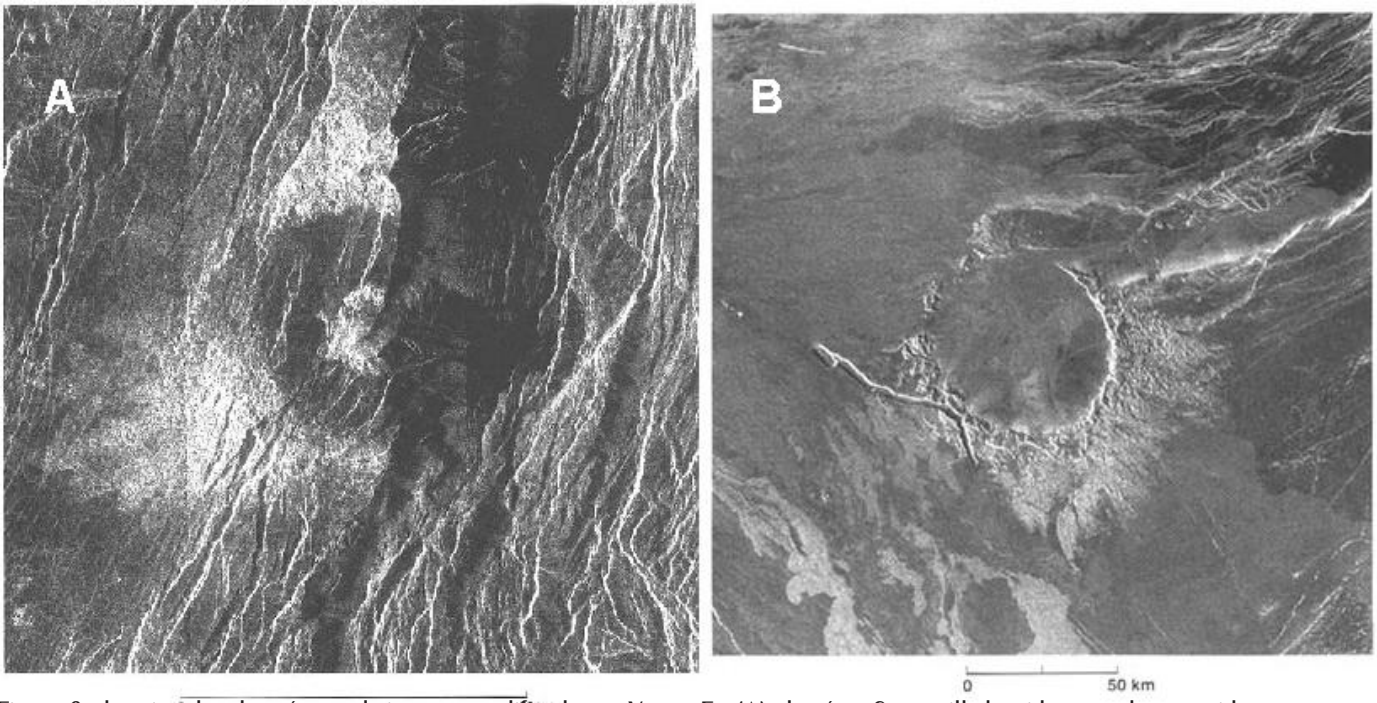


Figura 8: dos ejemplos de cráteres de impacto modificados en Venus. En (A) el cráter Somerville ha sido cortado y partido por una gran grieta, consecuencia de intensos movimientos tectónicos; en (B), Alcott ha sido inundado de lava, corriente que luego se ha escurrido pendiente abajo al norte de la imagen. (NASA-JPL).

tectónicos se deben al movimiento fluido del interior del planeta, que causan modificaciones de los terrenos superficiales al generar fallas, plegamientos, cordilleras montañosas, valles de tipo *rift*, volcanes, etc.

Las fracturas y fallas normales (en las que la roca sobre el plano de la falla se hunde en relación con el bloque superior) se alinean en paralelo en un gigantesco cinturón global.

Hay zonas que han sufrido fracturas por causa, se supone, de la extensión de la litosfera venusiana. Igualmente existen gran cantidad de escarpes en las llanuras y las tierras altas. Todas estas formaciones, ligadas bajo un mismo proceso de producción, son visibles en Venus como extensos campos de fracturas brillantes.

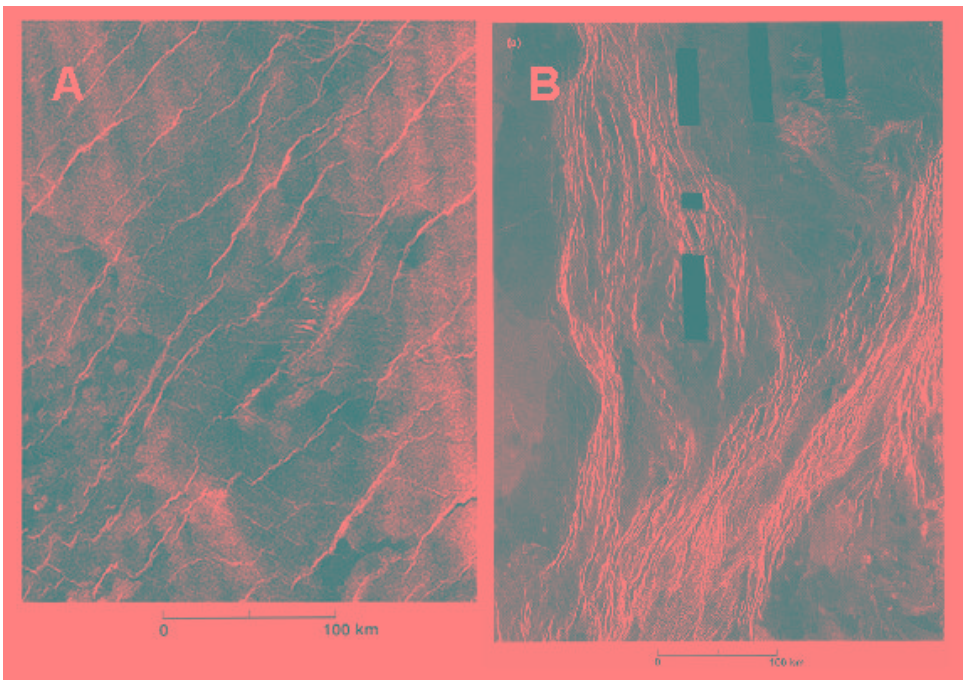


Figura 9: dos clases de crestas en Venus: (A) las espaciadas y pequeñas, al sur de Dali Chasma; y (B) las que forman gigantescos conjuntos de cientos de kilómetros de ancho y longitudes de hasta mil o más, como éstas de Atalanta Planitia. Las manchas oscuras en (B) señalan zonas donde la Magallanes no ha podido recoger datos. (NASA-JLP).

Las *crestas* poseen una topografía elevada y un grado bastante alto de sinuosidad. Las hay "solitarias" paralelas unas respecto a otras (figura 9A) y bastante espaciadas entre sí. Son pequeñas (entre 2 y 5 kilómetros) y son visibles en las llanuras venusinas. Por el contrario, en tierras bajas (planicies de *Lavinia* y *Atalanta-Vinmara*, principalmente) son habituales los extensos cinturones lineales de crestas. Se trata de espectaculares estructuras, que se elevan algunos kilómetros, con anchuras típicas de decenas o cientos de ellos y unas longitudes que, en ocasiones alcanzan los miles de kilómetros (figura 9B). Ambos fenómenos son resultado de esfuerzos compresivos padecidos en la corteza de Venus.

Venus, como formando una red, y se concentran en las zonas ecuatoriales y latitudes altas. Abarcan centenares de kilómetros de ancho y podrían formar

Una característica tectónica de Venus que se asocia con regiones volcánicas son los *rifts*, depresiones de varios cientos de metros de ancho y longitudes de centenares de kilómetros (o puede que incluso mil), formados por la extensión de la litosfera. Suelen aparecer cerca de los domos volcánicos de *Beta Regio*, *Aitla Regio* y también en *Eistla Regio*. Puede que sean producto de gigantescas *plumas* procedentes del manto que han provocado la elevación, la fractura y el vulcanismo de estas regiones.

Las *montañas* de Venus, dado que no hay tectónica de placas activa, se distribuyen en tres grandes cadenas: *Akna*, *Freyja* y *Maxwell Montes* (en el interior de *Ishtar Terra*). Se cree que estos estos enormes edificios montañosos se han formado por la compresión y el acortamiento de la corteza, causando el plegamiento y fallamiento que observamos, como sucede en el caso de *Maxwell Montes*, la mayor cadena montañosa de Venus. En *Aphrodite Terra* también encontramos montañas intensamente plegadas (figura 10).

Figura 10: Una parte de Ovda Regio (dentro de Aphrodite Terra), mostrando montañas y elevaciones fuertemente plegadas. (NASA-JPL).

Por su parte, las *tesseras* o *teselas* (del griego, "baldosa") son regiones muy complejas, repletas de crestas enmarañadas, que presentan innumerables señales de haber padecido episodios intensos de compresión y deformación. Es posible encontrarlas próximas a cadenas montañosas y crestas de las regiones altas (*Aphrodite Terra*, *Alpha Regio*, *Tellus Regio* y la sección oeste de *Ishtar Terra*) y dado que exhiben superposiciones y cortes de distintos *grabens* (fosas) de zonas geológicas diferentes, se piensa que corresponden a las zonas más antiguas del planeta. Las teselas (figura 11) se caracterizan por su enorme extensión y una sorprendente abundancia de fracturas, lo cual indica que se trata de tierras que padecieron una gran actividad de deformación horizontal.

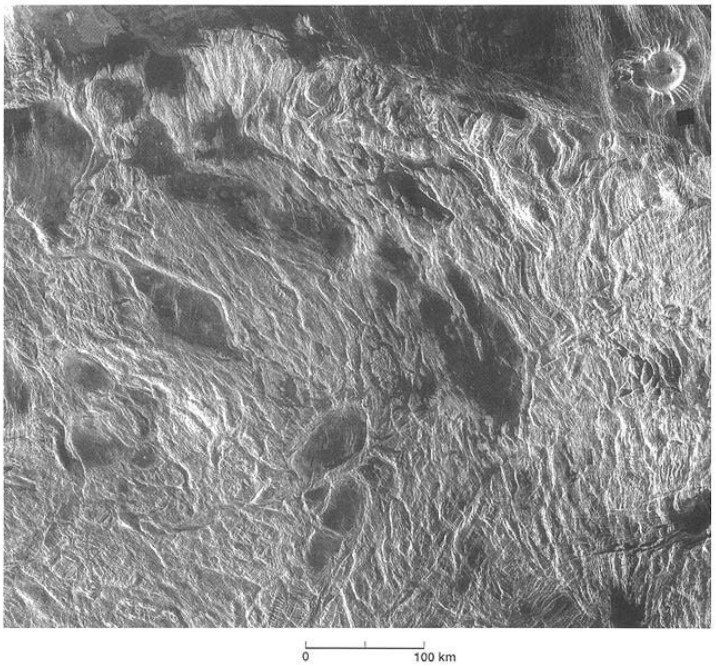


Figura 11: Un terreno de tipo tesela en Alpha Regio. Muestra una increíble densidad de líneas y crestas que se intersectan y superponen. Nótese la escala para apreciar la gigantesca extensión. (NASA-JPL).

Hay quien cree que las teselas guardan conexión a los continentes terrestres, mientras otros investigadores sospechan que se trata de regiones consecuencia de movimientos procedentes del manto que causaron las fracturas superficiales. En todo caso, son una de las formaciones más espectaculares que podemos encontrar en Venus.

Paisajes y fenómenos volcánicos

Pero si algo parece dominar el rostro de Venus son los paisajes de origen volcánico figura 12). Como hemos dicho, cerca del 86% del planeta está cubierto por llanuras volcánicas. Se cuentan por miles los pequeños volcanes en escudo y hay gigantescas extensiones de lava que a modo de ríos

serpentean y discurren por casi toda la superficie del planeta. La mayoría de los materiales volcánicos de Venus (llanuras y escudos, por ejemplo), se cree que están formados por basaltos.

Además de coladas de lava, que se despatarran por las anchas llanuras venusinas, también hay entre ellas lo que podemos llamar "ríos" de lava, esto es, estrechos y largos canales de este material. Se han

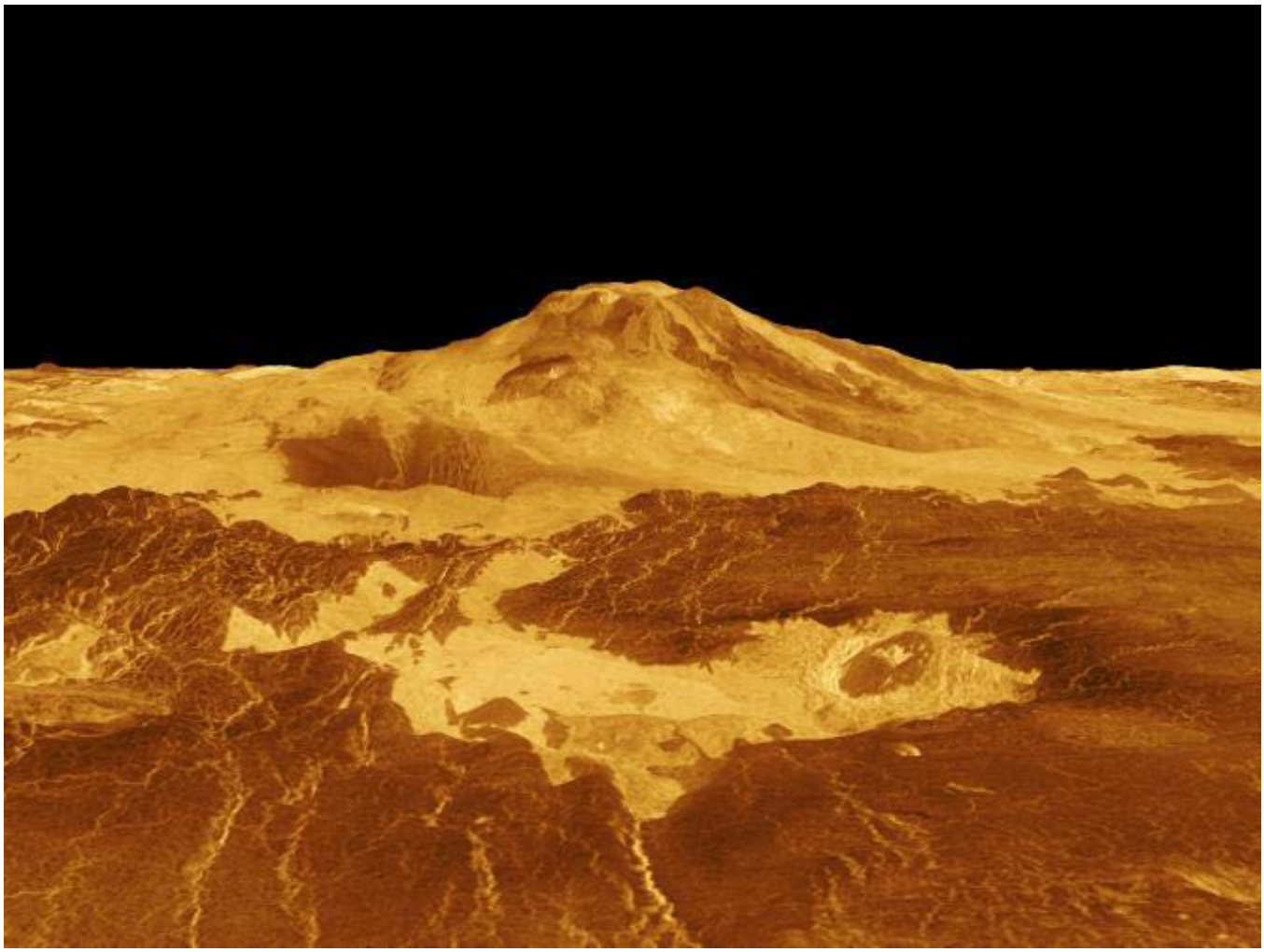


Figura 12: panorámica tridimensional generada por ordenador de la superficie de Venus a partir de imágenes de radar de la sonda Magallanes. El volcán Sapas Mons aparece en el centro, rodeado por extensos flujos de lava que abarcan centenares de kilómetros en las fracturadas llanuras venusinas. Sapas Mons, cuyo nombre deriva de una diosa fenicia, posee 400 kilómetros de ancho y una altura de 4.500 metros. La escala vertical está exagerada diez veces. Al fondo de la imagen aparece el gigantesco Maat Mons (ver figura 15). (NASA-JPL).

Las llanuras volcánicas abarcan extensas áreas de las regiones bajas, y suelen estar separadas por montañas o fracturas estriadas. Son enormes espacios de capas de lava con cientos de kilómetros de ancho y entre 100 y 700 kilómetros de longitud. Los flujos o coladas de lava (figura 13) aparecen por muchas partes del planeta. Hay flujos oscuros y claros, que seguramente obedecen a las distintas características de los mismos: así, se cree que los oscuros son lavas que fluyen suavemente, similares a las *pahoehoe* terrestres (lavas basálticas que al moverse forman depósitos "arrugados", una textura parecida a la de una cuerda enrollada o de estilo almohodillado); los flujos más oscuros, por su parte, podrían ser parecidos a las lavas terrestres tipo *a`a* (que se mueven más rápidamente, tienen una textura rugosa y suelen romperse en bloques).

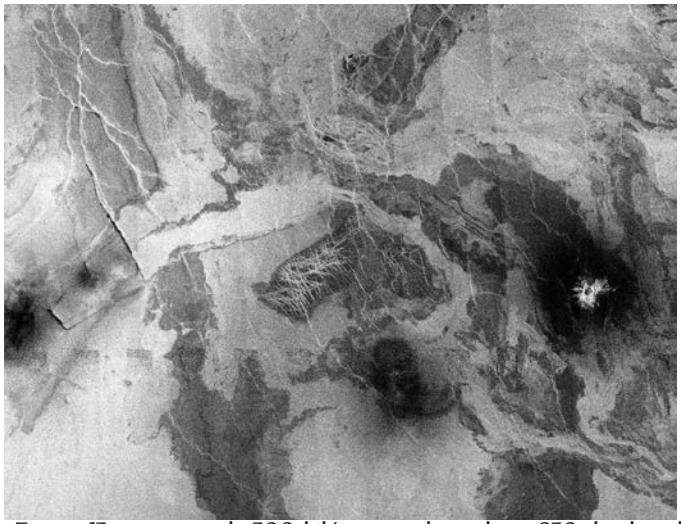


Figura 13: una zona de 300 kilómetros de ancho y 230 de alto al este de Lakshmi Planum, mostrando extensas llanuras compuestas por distintos flujos de lava. Las coladas brillantes señalan lavas tipo viscosas (pahoehoe) mientras que las oscuras suponen otras menos fluidas (a`a). (NASA-JPL)

identificado doscientos canales y complejos de valles en Venus, y se les clasifica en simples, complejos y compuestos. En las imágenes de la Magallanes pueden verse meandros y segmentos de canales ya abandonados, y hay muchos canales que han sido borrados o modificados por flujos de lava más recientes. La mayoría posee una anchura de uno o dos kilómetros, y su longitud abarca desde decenas a cientos de kilómetros, aunque hay algunos larguísimos, como el *Hildr*, que tiene 7.000 kilómetros, y una profundidad de cerca de 300 metros. Las paredes que limitan los canales, que se diferencian claramente del terreno adyacente, aparecen tanto brillantes como oscuras, señal de que están formados por lavas de distinta textura (figura 14).

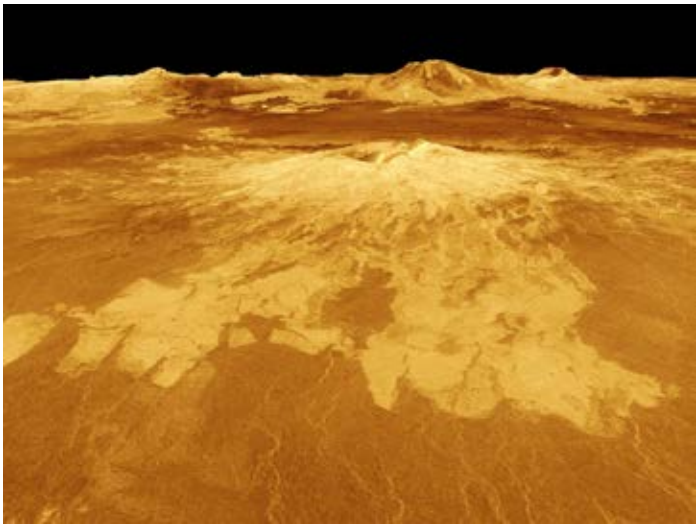


Figura 15: Reconstrucción tridimensional de la superficie de Venus, mostrando al fondo el volcán Maat Mons, al este de Aphrodite Terra, el mayor de todo el planeta y que se yergue 8 kilómetros por encima del nivel medio del planeta. Son bien visibles los flujos de lava que se abren paso a través de las llanuras fracturadas. La escala vertical está diez veces exagerada, y el color es aproximado al real. (NASA-JPL).

En nuestro planeta hay dos tipos de volcanes: "*en escudo*", similares a los de Hawai, escupen magma gracias a puntos calientes que se hallan en el interior de la Tierra, cuya lava es bastante fluida y facilita el escape de gas; y los volcanes *compuestos* (o *estrato-volcanes*), asociados a placas tectónicas y que generan erupciones violentas. En Venus los *volcanes* son numerosísimos pero, sin tectónica de placas activa, sus volcanes son de tipo hawaiano en escudo. Los más pequeños (inferiores a 20 kilómetros de diámetro) están presentes en cantidades ingentes (cientos de miles). Son poco pronunciados, con un kilómetro de altura y es frecuente verlos agrupados formado racimos.

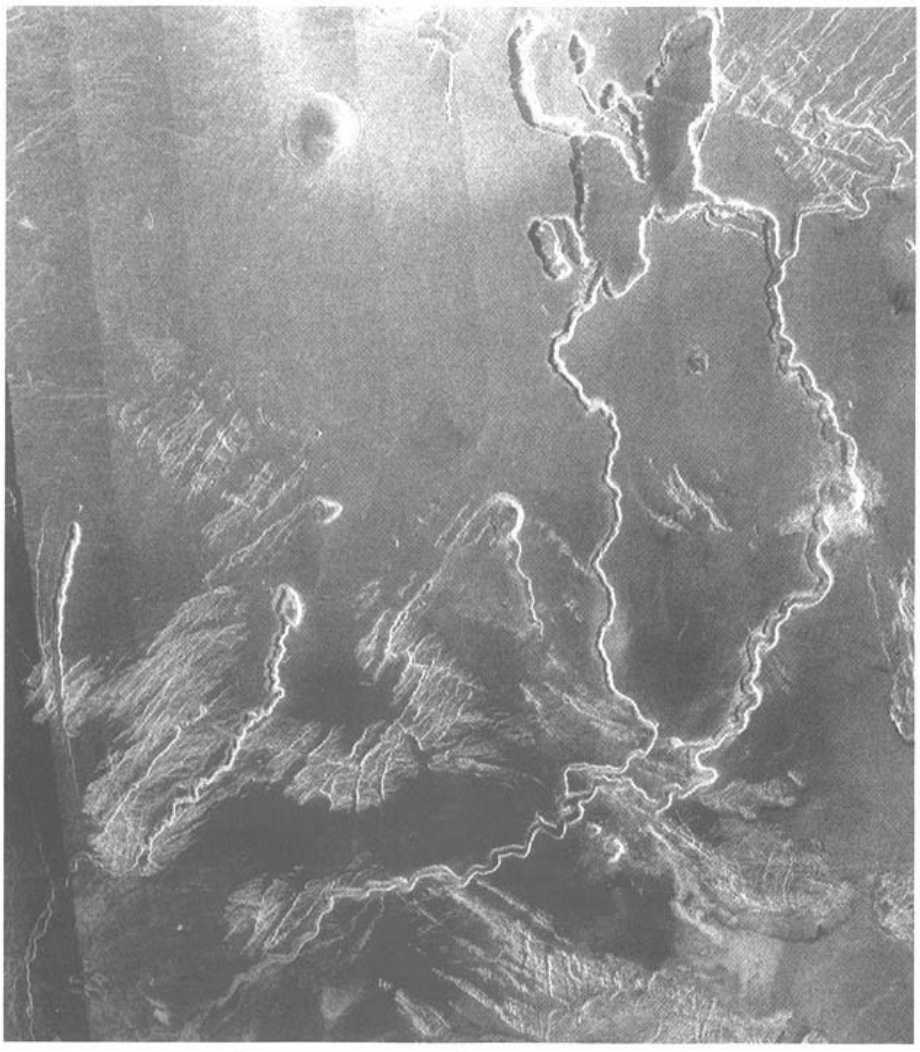


Figura 14: canales de lava serpenteantes que parten de las depresiones y fracturas situadas al sur de Ovda Regio. Estas formaciones abarcan un par de kilómetros de anchura, y discurren por cientos de ellos. A veces, como se ve en la parte derecha central de la imagen, un impacto produce un cráter que corta o interrumpe el camino abierto por los canales de lava. (NASA-JLP).

Hay unos ciento cincuenta volcanes en escudo de mayores dimensiones. Se muestran cubiertos por extensos y radiales flujos de lava, y sus laderas son suaves, con pendientes ligeras. Su altura alcanza cinco, siete u ocho kilómetros en los más imponentes (figura 15), por lo que en este aspecto se asemejan a los terrestres; sin embargo, los de Venus son gigantescos en su base, abarcando entre 100 y 700 kilómetros.

Las *coronas* son una de las formaciones más singulares de

Venus, pues no tienen correspondencia alguna con nada similar en la Tierra. Se han identificado un centenar, y son grandes formaciones circulares u ovaladas, que a primera vista recuerdan a cráteres de impacto y cuyo tamaño oscila entre los 75 y las de enormes dimensiones (unos 2.000 kilómetros de diámetro). Presentan su parte central hundida y un borde externo levantado y las forman un anillo de fallas concéntricas (el *annulus*), y dentro de ellas es corriente hallar coladas de lava, domos volcánicos y hasta pequeños volcanes en escudo.

Podría tratarse de volcanes en escudo abortados al nacer, como consecuencia del agotamiento de la energía interna del planeta o estar relacionados con puntos calientes activos que ascienden desde el manto. Según esto, el magma ascendería hasta la parte superior de la corteza generando un abultamiento que daría lugar a un domo. Paulatinamente, la cámara magmática reduciría su volumen a causa del desplazamiento del magma, que sigue su camino en el interior del planeta, dando como resultado una estructura deprimida y circular con grietas y todo tipo de formas volcánicas. Las coronas aparecen concentradas en grupos y en las cadenas montañosas; se pueden encontrar, por ejemplo, en *Parga* y *Hecate Chasmata*. En la figura 16 vemos una espectacular corona, la *Ainé*, al sur de *Aphrodite* Terra, con cerca de doscientos kilómetros de diámetro.

Otras características volcánicas de Venus incluyen las *novas* y los *aracnoides*. Se trata de dos formaciones ligadas que difieren sólo en complejidad. Las novas, de las que se han detectado una cincuentena, se forman cuando cantidades

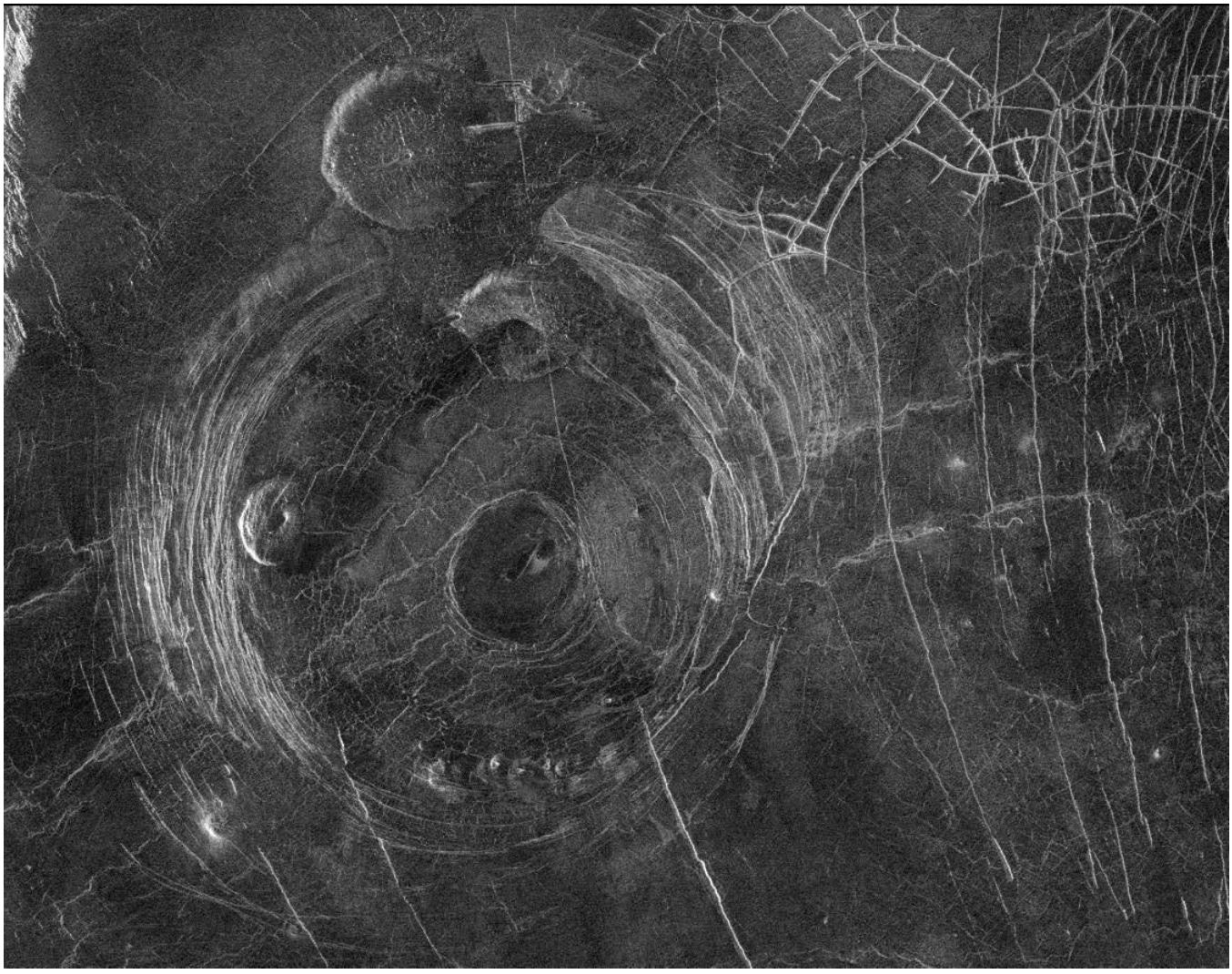


Figura 16: La corona Ainé, al oeste de la vasta llanura del mismo nombre situada al sur de Aphrodite Terra. De forma circular, sus paredes están compuestas por muchas terrazas y en su interior y en los alrededores son bien visibles muchas fracturas, estrías y largos canales. También son evidentes unas estructuras circulares, conocidas como domos "pancake", formaciones volcánicas de cima plana que seguramente son producto de erupciones de lavas muy viscosas. El grupo de fracturas caóticas que se ve en la parte superior derecha aparecen a menudo asociadas a coronas y teselas. Al sur de la corona se aprecia un grupito de pequeñas cúpulas volcánicas, inferiores a 10 kilómetros de ancho, así como un domo liso y plano en el centro de la corona, que seguramente corresponde a un flujo de lava bastante reciente. La imagen tiene 300 kilómetros de ancho. (NASA-JLP).

importantes de magma alcanzan la superficie, pero sin presentar erupciones, por lo que abomban el terreno superior y generan colinas. Esto produce diques que suelen presentar *grabens* o crestas, y si se irradian desde el punto central se conocen como "novas" porque la formación semeja a una estrella que explotara en todas direcciones (figura 17A). Los aracnoides, por su parte, fueron identificados en imágenes de las sondas Venera. Los científicos rusos bautizaron así estas extrañas formaciones (figura 17B) por su semejanza con las arañas y las telas que producen. Los aracnoides poseen una estructura central, en forma de cúpula o depresión, a la que le rodean características lineales radiales.

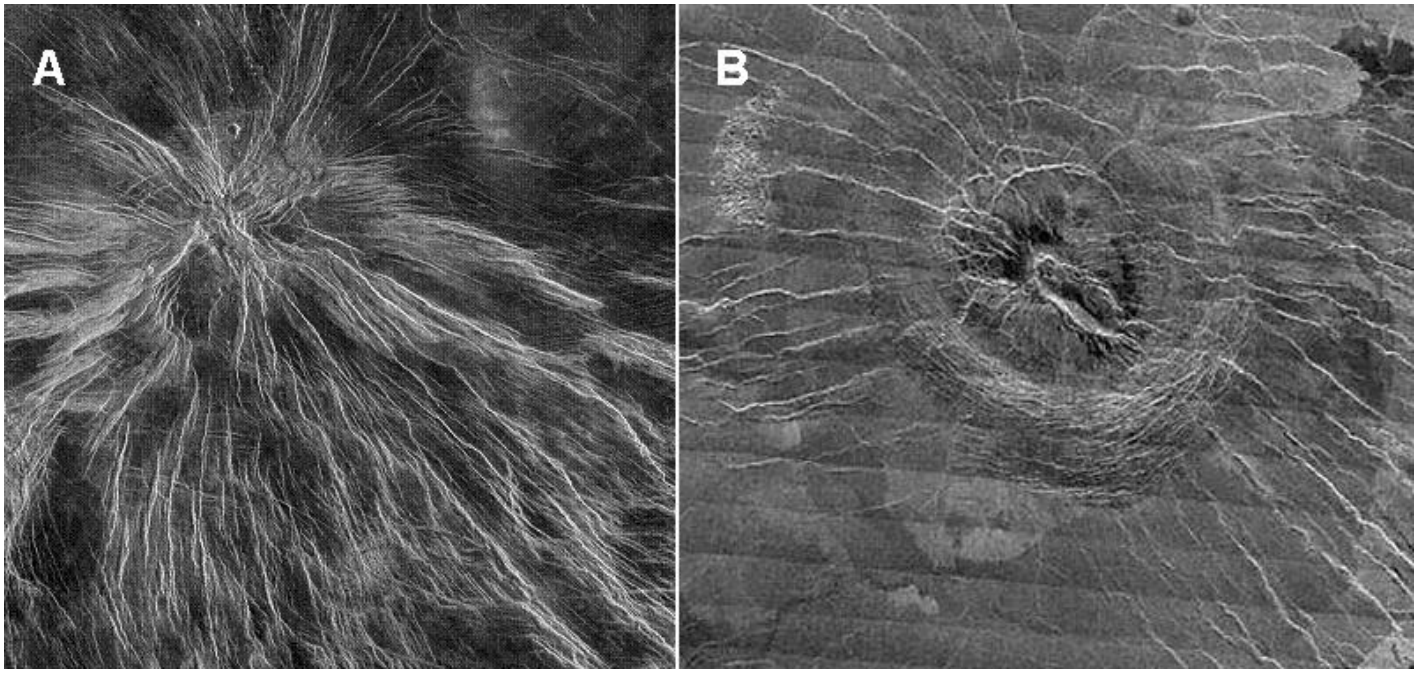


Figura 17: (A) Ejemplo gigante y espectacular de nova, en Themis Regio. Tiene un diámetro de 250 kilómetros y exhibe un rosario de crestas y grabens que surgen radialmente del punto central. (B) Un aracnoide, con sus fracturas radiales desde la corona central. Esta formación, de un centenar de kilómetros de diámetro, es visible al norte de Atla Regio. (NASA-JPL).

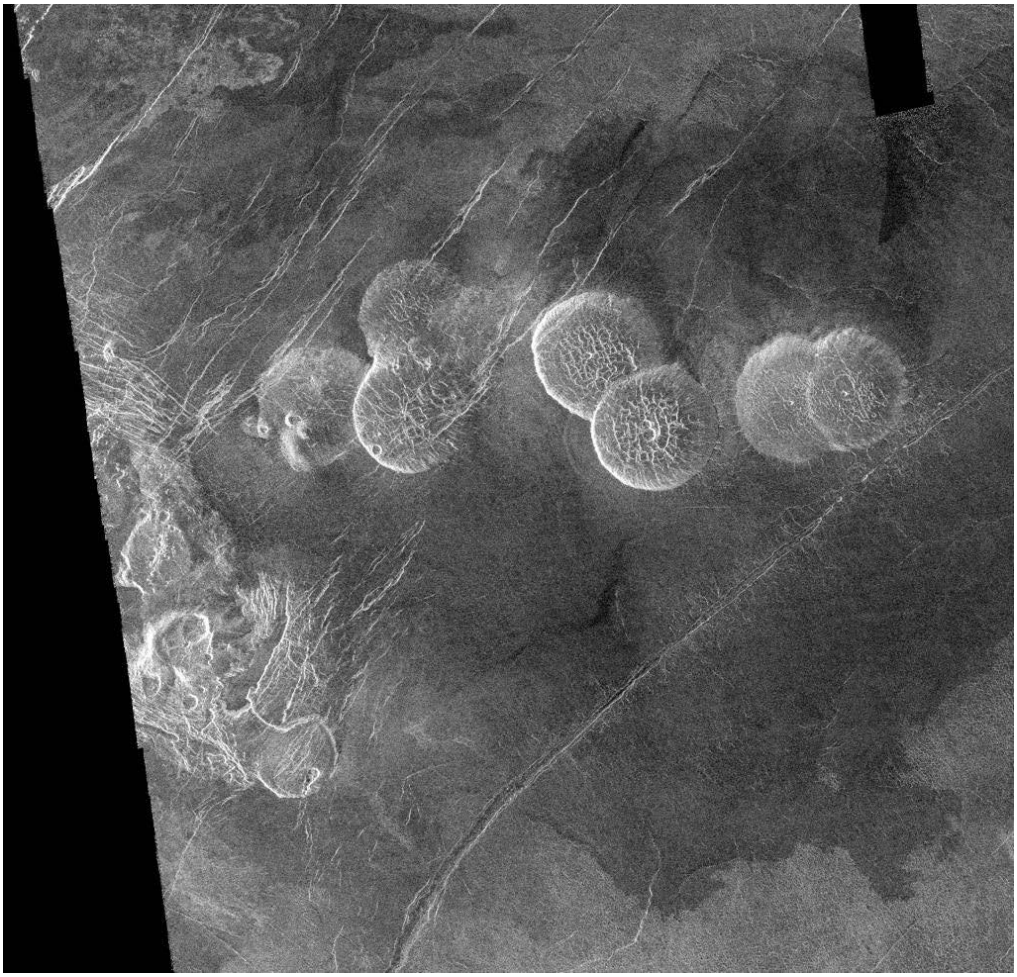


Figura 18: Conjunto, en el borde oriental de Alpha Regio, de siete colinas en forma de cúpula o domo pancakes, que parecen verrugas o esporas gigantes. Tienen en promedio unos 25 kilómetros de diámetro, con alturas sobre la superficie de 750 metros, y unas se superponen a otras. Se trata de flujos de lava de gran viscosidad que surgen desde el interior de Venus. (NASA-JLP).

La cúpula central suele tener diámetros de entre diez y treinta kilómetros. Aquí, igualmente, se cree que las fracturas se producen cuando el magma intrusiona cerca de la superficie, produciendo un pequeño edificio central del que irradian diques y fracturas. Hay unos 250 aracnoides identificados hasta ahora.

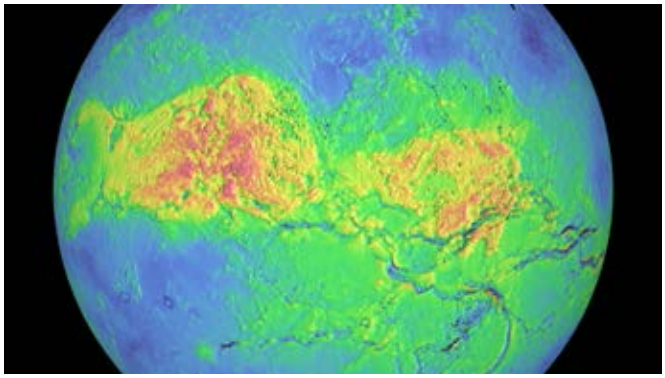
Hay un conjunto de extrañas estructuras llamadas *domos*, que parecen tortas o *crepes* (suelen denominarse, de hecho, domos *pancakes* y en España hay quien las llama "campurrianas", por la semejanza con las galletas) y tienen alturas cercanas a los 2.000 metros. Probablemente, se sospecha, son producto de rápidas e inesperadas erupciones de lava muy viscosa, aunque exhiben menor actividad volcánica que las coronas. Semejan esporas gigantescas (figura 18), con una superficie estriada llena de grietas.

Estas fracturas señalan que han sido formadas por la tensión consecuencia del ascenso de la lava viscosa del interior de la corteza, o bien por el hundimiento de la cámara magmática. Hay una cincuentena de estas formaciones en Venus, casi todas de entre 20 y 300 kilómetros. Se ubican en las proximidades de los grandes edificios volcánicos o grupos de coronas, o también cerca de los aracnoides, de modo que hacen pensar que puede tratarse de distintas estructuras ligadas al volcanismo.

Es más, puede que estas tres estructuras (domos *pancake*, aracnoides y coronas) sean distintas fases en el desarrollo de una *misma* estructura volcánica. Según ello, en un primer momento el ascenso del magma procedente del manto llevaría a la formación de los domos *pancake*, una primeriza expresión superficial de las plumas o puntos calientes venusinos; a continuación, la estructura sufriría sucesivos episodios de fracturación y/o deformación, con lo cual se generaría un aracnoide; finalmente, habría un derrumbe o colapso de la cámara magmática y el consiguiente desarrollo de una corona, con sus paredes llenas de anillos concéntricos a causa de la depresión del terreno por el movimiento del flujo de magma, que dejaría de alimentar la estructura.

***

En cualquier caso, lo que la sonda Magallanes produjo fue un aluvión impresionante de nuevos datos e imágenes que permitió comprender mucho mejor cómo es el planeta vecino. Venus, actualmente, sigue siendo estudiado. Tras la *Magallanes* y la sonda europea *Venus Express*, que ha descubierto posibles episodios recientes de vulcanismo a pequeña escala, la sonda japonesa *Akatsuki* entró en órbita alrededor del abrasado planeta en diciembre de 2015, y estuvo unos años analizando el complejo sistema meteorológico de Venus.

Ella, y las sondas que vendrán en el futuro, como la estadounidense *Venus In-Situ Explorer*, que analizará directamente la superficie venusina tomando muestras, prevista para 2024, o la rusa *Venera-D*, cuyo lanzamiento se espera en 2022, prosiguen la estela de la *Magallanes*.

Una sonda cuya vida, que arrancaba ahora hace 30 años y cuyo objetivo fue escudriñar la fisonomía de Venus, nos ha permitido descubrir y entender muchos de los misterios de este singular y extraordinario planeta.■