Anillos planetarios (II):Saturno

Jesús Salvador Giner

jsginer@gmail.com

Saturno presenta el más majestuoso sistema de anillos que podemos admirar en el Sistema Solar. Conocidos desde que, hace justamente cuatro siglos, Galileo dirigiera por vez primera un telescopio rudimentario hacia el planeta y observara dos extrañas protuberancias a ambos lados de este distante mundo, sus anillos tienen aún muchas incógnitas por desvelar.

1. Observaciones.

La historia sobre nuestro conocimiento de los anillos de Saturno arranca en plena efervescencia del uso del recién inventado telescopio, allá por 1609, momento en que el matemático Galileo Galilei (1564-1642) adopta este instrumento para labores astronómicas, mejorando su calidad a partir de los bocetos primitivos realizados por ópticos holandeses. Galileo estudió Saturno, el astro planetario más lejano conocido entonces, después de hacer lo propio con el Sol, la Luna, Venus y Júpiter. En cada uno de estos estudios el pisano desbarató algunas de las tesis mantenidas por el geocentrismo, el dogma imperante en su época pese a los avances a favor del heliocentrismo verificados por Nicolás Copérnico, Tycho Brahe y Johannes Kepler. Pero en el caso de Saturno no hubo polémica, sino perplejidad. La observación de este planeta sorprendió enormemente, en efecto, a Galileo; a través del ocular vio que Saturno no era un planeta aislado, como Venus o Marte, ni rodeado de pequeños puntos luminosos que orbitaban a su alrededor (sus satélites), como sucedía con Júpiter. Por el contrario, Saturno podía concebirse como un planeta *triple*, dado que presentaba dos singulares *burbujas* en sus costados, pero de un tamaño casi la mitad del mismo cuerpo del planeta. Además, en Júpiter sus lunas efectuaban giros en torno a él, pero las de Saturno (si es que eran lunas) permanecían inmóviles.

Esta especie de "orejas" materiales las vieron también otros grandes observadores, como Christoph Scheiner (un jesuita que polemizó con Galileo acerca de la primacía en la detección de manchas solares), en 1614, Gianbattista Riccioli (1598-1671), entre 1641 y 1650, o Pierre Gassendi (1592-1655), quien dibujó tal vez la forma más extravagante posible para Saturno (figura 1, número XII).

El problema de la configuración de los anillos de

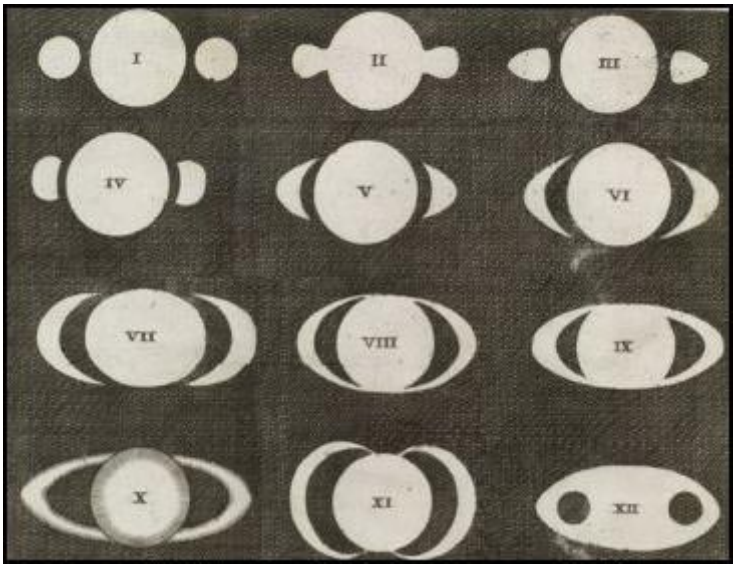

Figura 1: dibujos de Saturno realizados por varios observadores, entre ellos Galileo (I), Scheiner (II), Hevelius (IV a VII) o Gassendi (XII). Ninguna de ellos representa la verdadera forma de los anillos del planeta, que sólo lograría descifrar Christiaan Huygens, autor de esta recopilación de dibujos para su obra Sistema Saturnium, de 1659.

Saturno se debía a la escasa calidad óptica de los aparatos empleados en su observación; incluso el telescopio mejorado de Galileo tenía una resolución (medio minuto de arco) que hoy es prácticamente similar a la de instrumentos astronómicos de juguete, y enormemente inferior a la de cualquier refractor actual de 60 milímetros de obertura. Se necesitaba una mayor perfección en el tallado de las lentes, pero no fue posible hasta varias décadas después de Galileo. El astrónomo que detectó cuál era la verdadera estructura de los apéndices de Saturno fue el holandés Christiaan Huygens (1629-1695).

Huygens era un fenómeno construyendo telescopios de gran distancia focal; con uno de ellos descubrió en 1655 Titán, el satélite mayor de Saturno y primero en descubrirse más allá del sistema de Júpiter. Poco después comprobó que Saturno giraba sobre sí mismo, y que el disco que lo rodeaba no cambiaba con la rotación del planeta, por lo cual dedujo que se trataba, en realidad, de un sistema ecuatorial de *anillos* que no estaba en contacto con el cuerpo del mismo. Huygens, como todos los observadores de la época, realizó varios dibujos de Saturno y su anillo, que él consideraba sólido y de una pieza como un anillo nupcial (figura 2).

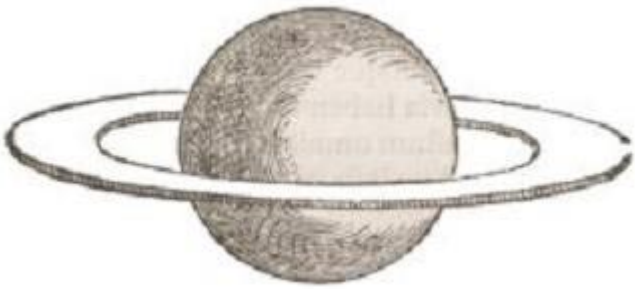

Figura 2: Saturno rodeado por su sólido anillo, según lo dibujó Huygens a mediados del siglo XVII en su Sistema Saturnium (1659).

Poco después otro excepcional astrónomo, el francés Gian Domenico Cassini (1625-1712), siguió los métodos de Huygens de alargar la distancia focal para compensar la aberración cromática de las pequeñas lentes y, en 1676, observó por vez primera una banda oscura (la famosa *división de Cassini*) que dividía en dos al anillo. Así expresaba Cassini su hallazgo: "*El ancho del anillo quedaba dividido en dos partes iguales por una línea oscura; de estas dos partes, la interna y más cercana al globo era muy brillante y la parte externa, ligeramente más oscura. Entre los colores de estas dos partes había aproximadamente la misma diferencia que entre la plata oscura y la plata bruñida*". Cassini llamó *anillo B* a la porción interna y *anillo A* al externo. Más de trescientos años después, aún seguimos denominándolos de la misma forma.

A partir del siglo XVIII hubo muchas observaciones de Saturno y sus anillos, pero debido a la gran distancia al planeta (más de mil millones de kilómetros) incluso con telescopios de calidad era difícil observar detalles en los anillos. Todo lo más podían percibirse algunas escisiones del anillo A en otros más pequeños (como observó ya H. Kater en 1875), nuevos espacios vacíos (la *división de Encke*, descubierta en 1837 y que separaba en dos el anillo A) o descubrimientos de otros anillos externos o internos a los principales, como el C, más interior que el B, aunque estaba en el límite de lo observable. Sólo en 1883 pudo realizarse la primera fotografía de Saturno, obra de A. Common, y a partir de entonces, estudios algo más detallados de la distribución de los anillos (con ella pudo distinguirse el tenue anillo D, el más interno de todos). Sin embargo, la fotografía, más allá de revelar las divisiones ya detectadas, tampoco supuso un avance extraordinario, por lo que hubo que esperar al viaje emprendido, primero, por la nave Pioneer 11 en 1979, y después por las sondas *Voyager* (1980-1981) para dilucidar la definitiva estructura de los anillos, entre otros muchos detalles reveladores. Por su parte la misión *Cassini*, que llegó a Saturno en 2004, prosigue actualmente su labor de estudio del planeta, y ha sido una factoría continua de nuevos descubrimientos, tanto del planeta en sí como de sus anillos y lunas.

2. Naturaleza, edad y estabilidad.

Una cuestión muy importante referente a los anillos ha sido conocer su naturaleza. ¿Se trataba de un anillo sólido, como suponía Huygens, o en realidad era un objeto compuesto por infinidad de pequeñas partículas individuales? Ya poco después de la propuesta de Huygens de un anillo sólido hubo serias objeciones a su naturaleza maciza. ¿Cómo podía una estructura similar no estar sujeta a fracturas o deformaciones

producto de la distinta fuerza de atracción gravitatoria entre sus dos extremos que ejercería Saturno? Dado que la parte interna del anillo (la región C, por ejemplo) está más cerca del centro del planeta que la A, sufriría una atracción mucho mayor hacia el planeta, con el resultado de una dramática fragmentación. En tiempos de Huygens hubo quien pensó en la posibilidad de que el anillo estuviera constituido en realidad por pequeñas y numerosas "estrellas de hielo" (como dijo el propio Cassini); sin embargo, la fama de Huygens y la corroboración de la naturaleza sólida del anillo por parte de otro gran astrónomo, William Herschel (1738-1822) impidieron una discusión más seria del asunto.

Hacia finales del siglo XVIII, sin embargo, Pierre Simon de Laplace (1749-1827) demostró matemáticamente que un anillo sólido con unas dimensiones tan colosales como el de Saturno (unos 100.000 kilómetros) no podía ser estable. En el siglo siguiente Édouard Roche certificó las ideas de Laplace, señalando que en las proximidades de un planeta resultaba imposible la agregación de una estructura sólida, y mucho menos una de las características del anillo de Saturno. Roche también apuntó que había una distancia mínima del centro de un planeta (el *límite de Roche*, como se conoce desde entonces), por debajo de la que ningún objeto sólido o fluido de gran tamaño podría mantenerse estable, sino que, a consecuencia de la gravedad de aquel, acabaría desintegrándose. Las responsables son las fuerzas de marea, que dentro del límite de Roche estirarían un satélite hacia el planeta más intensamente desde su parte más próxima, provocando la fragmentación del objeto (se prevé que dentro de unos mil millones de años Tritón, la mayor luna de Neptuno, acabe despedazada de este modo).

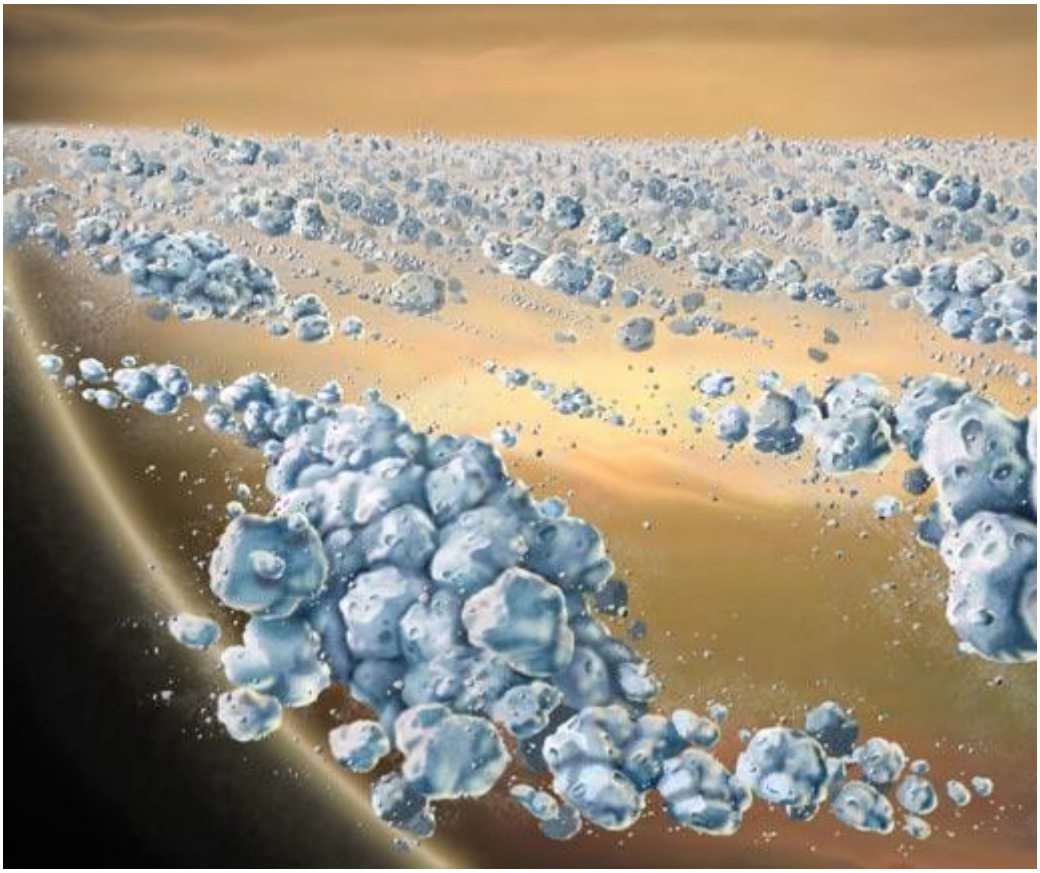

Figura 3: una impresión artística de los bloques y conjuntos de pequeñas rocas heladas que, con distintos tamaños, forman los anillos de Saturno. (University of Colorado)

El resultado es que, según Roche, en Saturno no podía haber un satélite sólido de cierto tamaño hasta una distancia de unos 2,4 radios planetarios. (El límite del anillo A se sitúa en 2,26 radios planetarios; justo por encima de él la sonda Voyager 1 descubrió dos pequeños satélites, Atlas y Prometeo, que orbitan prácticamente en el término externo impuesto por el límite de Roche) Los anillos, en consecuencia, no pueden ser estructuras sólidas, sino enjambres de pequeñísimas rocas (figura 3). Ésta fue una conclusión a la que también llegó James Clerk Maxwell (1831-1879), un importante físico y matemático escocés que logró unificar el magnetismo y la electricidad. Maxwell demostró, también matemáticamente, que cada anillo estaba compuesto de un sinfín de pequeñas partículas variables en tamaño, desde bloques de varios metros (o incluso kilómetros) hasta fragmentos menores que un grano de arena. La comprobación de esta hipótesis se efectuó en 1895, por parte de los astrónomos estadounidenses James E. Keeler y William W. Campbell, quienes hallaron que los anillos giraban alrededor de Saturno a una velocidad distinta de la de la

atmósfera del planeta. Las zonas internas de los anillos, además, giraban a mayor velocidad que las externas, tal y como sugerían las leyes físicas para las partículas que circulan siguiendo órbitas independientes. Así quedaron confirmadas las ideas de Maxwell.

Maxwell, además, elaboró dos modelos de los anillos de Saturno. En el primero suponía que cada uno de los anillos mayores consistía en realidad en una estructura en forma de pequeños y sutiles anillos concéntricos, cada uno con una velocidad de rotación específica y sin contacto o intercambio físico a gran escala entre ellos, aunque sí pudiera haber choques menores. En el segundo consideraba un sistema muy heterogéneo de partículas, siguiendo órbitas más bien elípticas y con mutuo intercambio de material. Maxwell creía que el primer modelo estaba destinado a permanecer estable durante bastante tiempo (aunque no infinito, como veremos a continuación), mientras que el segundo acabaría desintegrando rápidamente toda la agrupación. Justo cien años después de la muerte de Maxwell, en 1980, las naves Voyager 1 y 2 revelaron la estructura en "microsurcos" de los anillos de Saturno, tal y como predijo el científico escocés; es muy similar a la que presentan los viejos discos de vinilo, con sus innumerables surcos concéntricos (figura 4).

Figura 4: estructura en "microsurcos" de los anillos de Saturno, en una fotografía realizada por la sonda Cassini. (NASA)

Sin embargo, pese a la solución de Maxwell, cálculos más recientes llevados a cabo para conocer la estabilidad de los anillos indican que es muy probable que se produzcan impactos entre las partículas de estos (cada choque supone una pérdida de energía que implica, a su vez, una disminución de la distancia de la partícula a Saturno; con el tiempo, pueden terminar siendo absorbidas por éste). Si los anillos se formaron en los primeros tiempos del sistema solar, los continuos impactos los habrían, hoy, hecho desaparecer. Pero dado que no es así, sólo puede haber dos explicaciones: o bien son mucho más jóvenes de lo que pensábamos, o existe algún procedimiento que impide a los anillos se disuelvan.

La primera opción era la preferida hasta hace poco. Las sondas Voyager habían proporcionado indicios de que, como veremos, el origen más probable del material de los anillos era el procedente de un objeto helado que, o sufrió un impacto con otro cuerpo y quedó destruido, o nunca llegó a formarse. Según esto, lo más plausible era que los anillos tuviesen una edad cercana a los 100 millones de años, como mucho, es decir, que no existían cuando los dinosaurios dominaban la Tierra. No obstante, la misión Cassini realizó en 2007 un análisis de la luz solar reflejada en las partículas del anillo y determinó que su edad difería bastante entre ellas, lo que probablemente apunta a un origen no único del material del anillo. Por otra parte, esta investigación también sugirió que los anillos pueden tener varios miles de millones de años de antigüedad, y que incluso aún podrían permanecer estables otros muchos miles de millones más. De ser esto cierto, hay que hallar un mecanismo que está frenando la caída de los bloques de hielo hacia Saturno, o bien alguna fuente que reponga el material que poco a poco va perdiéndose.

En este sentido había que explicar, también, el pequeño enigma que constituía la división de Cassini. Antes de la llegada de las sondas Voyager se creía que dicha región, de más de 4.500 kilómetros, se hallaba vacía de material. Aunque podía aceptarse que no hubiera una gran migración de partículas entre el anillo A y el B, lo inadmisible era sostener que la división de Cassini carecía casi por completo de partículas de dimensiones moderadas. Según las imágenes disponibles entonces, justo donde concluía el espacio del anillo B, el más interno, empezaba la división, mientras que donde ésta concluye empezaba inmediatamente el anillo A. Parecía no existir *nada* entre ambos sectores, pero resulta lógico suponer que una porción de las partículas *debe* haber migrado en algún momento hacia el hueco de Cassini. La explicación de esta hipotética total ausencia de materia en la división vino de la mano de los astrofísicos Peter Goldreich y Scott Tremaine, quienes en 1978, poco antes de que la Pioneer 11 visitara de paso el sistema de Saturno, hicieron unos sencillos pero reveladores cálculos acerca del periodo orbital de las partículas de los anillos.

El periodo orbital de estas partículas está en función de su distancia al planeta. Según la ley de la gravitación de Newton, cuando más cerca están aquellas de éste mayor es su velocidad. Las partículas más alejadas, en consecuencia, tienen un periodo orbital mayor, no sólo porque deben recorrer un círculo mayor, sino también porque se desplazan a menor velocidad. Lo que hallaron Goldreich y Tremaine fue que Mimas, uno de los satélites de cierto tamaño (400 kilómetros de diámetro) más próximos a Saturno, posee un periodo orbital exactamente el doble que el de las partículas del borde externo del anillo B. Y que, por otra parte, la luna Jano (180 kilómetros) tiene un periodo 7/6 el de las partículas externas del anillo A (lo que significa que, por cada siete vueltas que dan las partículas, Jano efectúa seis, quedando aquellas en cierto instante alineadas con él). A este fenómeno (que ya se observó en el siglo XIX en relación a la disposición en grupos de los asteroides) se le llama *resonancia*. Pero cuando la sonda Voyager 1 alcanzó Saturno a finales de 1980 detectó una serie de bandas luminosas concéntricas en el interior de la división de Cassini, de modo que no estaba completamente

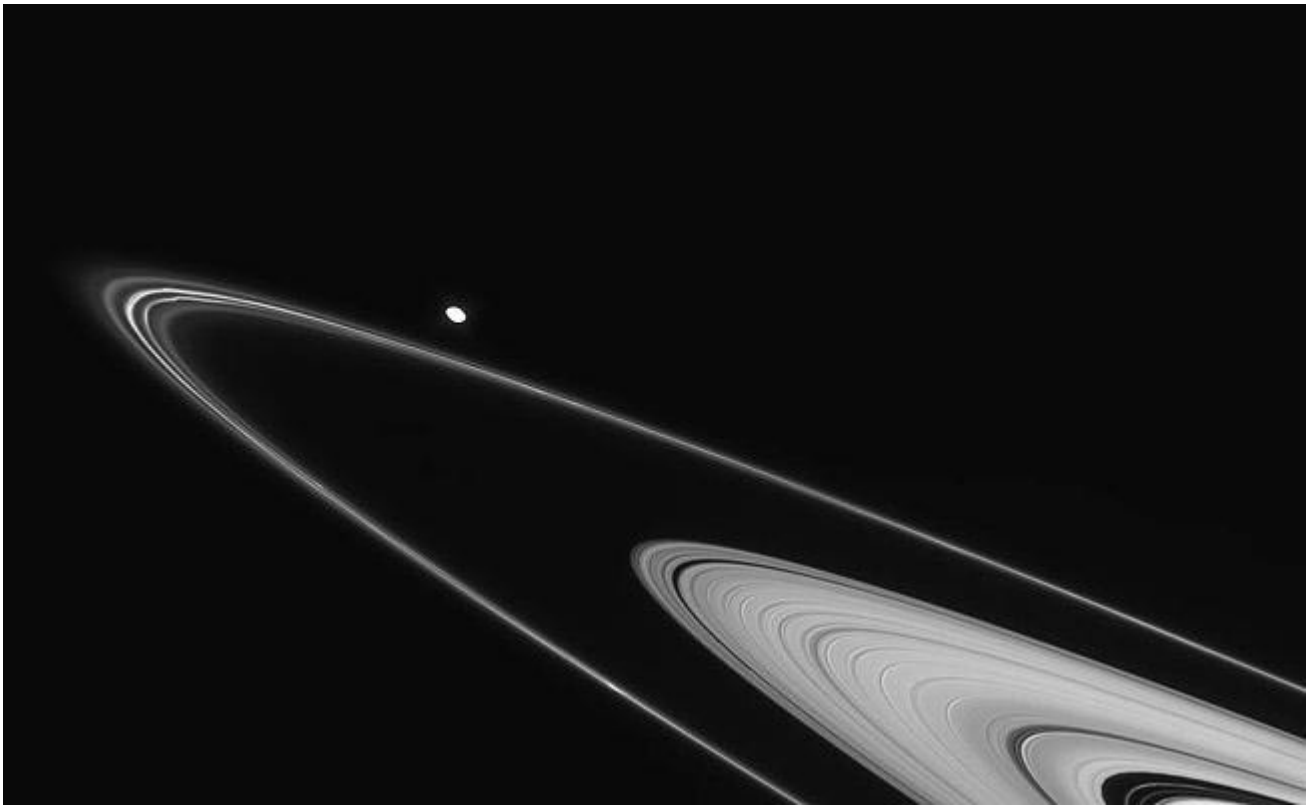

Figura 5: detallada imagen de los anillos de Saturno, obtenida por la sonda Cassini. Se aprecia desde la división de Cassini, en el extremo inferior derecho, así como el detalle del anillo A (en su interior se observa la división de Encke), hasta el fino y algo excéntrico anillo F, en cuyas cercanías orbita Pandora (la pequeña mancha blanca justo por encima de dicho anillo). Pandora y Prometeo, otra luna muy similar, confinan gravitatoriamente el anillo F y evitan su disgregación, y por ello ambos se denominan satélites pastores. (NASA)

vacía, como se suponía. Sin embargo, el mecanismo propuesto por Goldreich y Tremaine sigue siendo útil; la resonancia, en virtud de la "conjunción gravitatoria" entre las partículas y el satélite impide que haya migración masiva de partículas en dirección a Saturno y que la división de Cassini acabe colmada de ellas.

Aunque las resonancias puedan no mantenerse notablemente entre las partículas de los anillos y los satélites, muy probablemente casi todas las pequeñas lunas situadas más allá del límite de Roche (como los ya citados Atlas, Prometeo o Jano, así como Pandora, junto con otros cuerpos diminutos recientemente descubiertos por la sonda Cassini) influyen gravitatoriamente en los bordes externos de los anillos interiores, evitando que se difundan y manteniendo estables sus límites. Pandora (figura 5) y Prometeo, por ejemplo, transitan a ambos lados del sutil y trenzado anillo F (veremos más adelante la estructura completa de los anillos), confinándolo eficientemente e impidiendo su disgregación. A estos satélites suele llamárseles, por razones obvias, *lunas pastoras*.

3. Dimensiones y composición de las partículas.

En 1973, utilizando el radiotelescopio de 64 metros de Goldstone, en California (EE.UU.), se observaron los anillos de Saturno con una longitud de onda de unos pocos centímetros. La señal reflejada en los anillos A y B era muy intensa, lo que implicaba que la mayoría de las partículas que los forman poseían unas dimensiones similares a la longitud de onda del instrumento. En caso de ser mucho menores habrían sido transparentes y, por tanto, indetectables, mientras que si su tamaño fuese mucho mayor la emisión térmica sería relevante y observable, extremo que no sucedió. Esto supone que gran parte de la materia que forma los anillos posee pocos centímetros de diámetro.

Sin embargo, este estudio no es contrario a la presencia de partículas de otros tamaños. Las hay (según se sabe gracias a experimentos realizados en tiempos de la Voyager, enviando una ráfaga de radioondas hacia la Tierra a través del plano de los anillos) cuyas dimensiones no exceden unos pocos milímetros, e incluso se sospecha que son muchísimas más que no son mayores a una fracción de milímetro. Parece ser que este último tipo de partículas es bastante abundante en los anillos externos, mientras que en los interiores su ausencia es notable. Suele pensarse también que los granos de mayor tamaño (entre uno y varias decenas de metros) apenas representan una fracción pequeña del número total. Pero pese a que los bloques mayores sean muy pocos contienen, de hecho, casi toda la masa del conjunto, siendo por tanto los responsables de posibles variaciones en la configuración y la estabilidad de los anillos a largo plazo. Se ha postulado, asimismo, que puedan existir una especie de lunas diminutas, con diámetros de unos pocos kilómetros, ocultas entre el brillo de los anillos. Quizá en la división de Encke, o en otras regiones del plano anillado permanezcan estables estos minisatélites que estarían formados por material suficientemente compacto como para evitar su disgregación por las fuerzas de marea. La sonda Cassini ha confirmado la existencia tanto de estas lunas relativamente extensas como aquellas otras, con tamaños de decenas de metros. Entre las primeras hallamos a *Daphnis*, de unos siete kilómetros de diámetro, que transita en el interior del anillo A y causa profundos disturbios en su estructura (figura 6), aunque también efectúa un trabajo de contención, mientras que en rela-

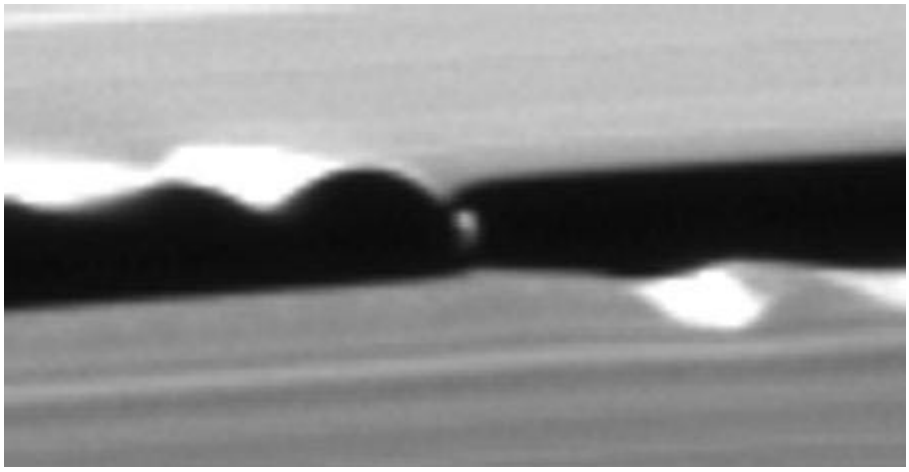

Figura 6: fotografía de la sonda Cassini mostrando a Daphnis, un pequeño satélite de unos pocos kilómetros de diámetro que orbita en el interior del anillo A y le produce importantes alteraciones estructurales. (NASA-JPL-SSI)

ción a las segundas Cassini detectó asimismo cuatro pequeñas minilunas de aspecto alargado y un tamaño de 100 metros, aproximadamente, inmersos igualmente en la parte central del anillo A (figura 7).

absorben la luz solar podemos saber la composición de las partículas que los conforman. Desde luego el hielo de agua es el componente principal, como se desprende de los análisis fotométricos y espectroscópicos. Así,

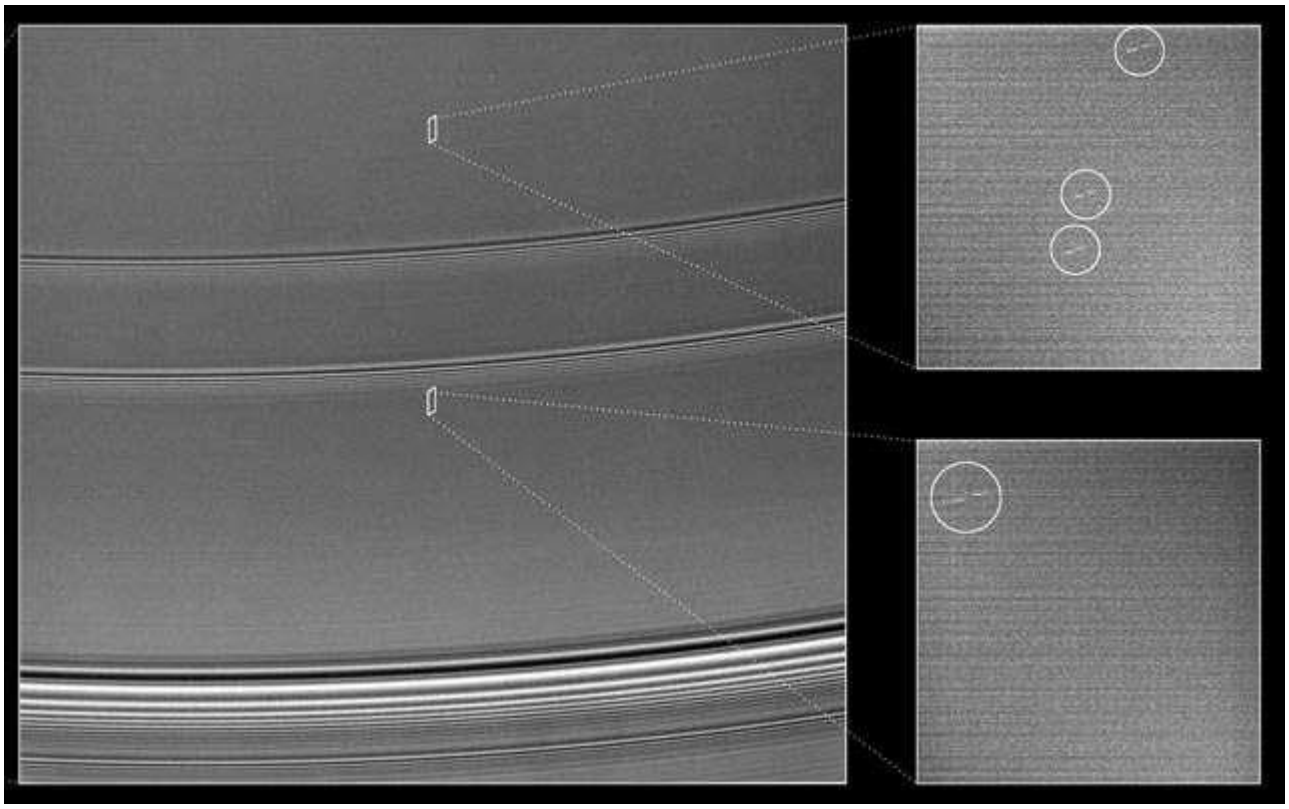

Figura 7: cuatro diminutas lunas descubiertas en 2006 por la nave Cassini, dentro del anillo A de Saturno. Tienen tamaños de unos 100 metros, y podría haber otras muchas similares a ellas. (NASA-JPL-SSI)

Se sospecha, como ya sabemos, que las lunas mayores como Daphnis y Pan (otro satélite un poco mayor) limpian y ordenan los anillos debido a su fuerza gravitatoria; las lunas menores, en cambio, tienen una influencia mucho más pequeña, si bien pueden alterar ligeramente las partículas que encuentran en sus cercanías. El hallazgo de estos pequeños bloques, si se confirma su gran número, puede ser importante para establecer el origen de los anillos de Saturno, como veremos más adelante.

En función de la forma en que los anillos reflejan o

por ejemplo, dado que los anillos principales A, B y C reflejan mal la luz solar para algunas longitudes de onda infrarrojas, siendo ésta es una propiedad típica del hielo, cabe concluir que es éste material el constituyente capital de los anillos. Sin embargo, si únicamente lo fuera él reflejaría cualquier longitud de onda visible con la misma eficiencia, pero los anillos citados reflejan mejor la luz roja que la azul. Esto sugiere que hay algunos otros compuestos químicos, quizá polvo con gran concentración de óxido ferroso, que determina su color rojo predominante.

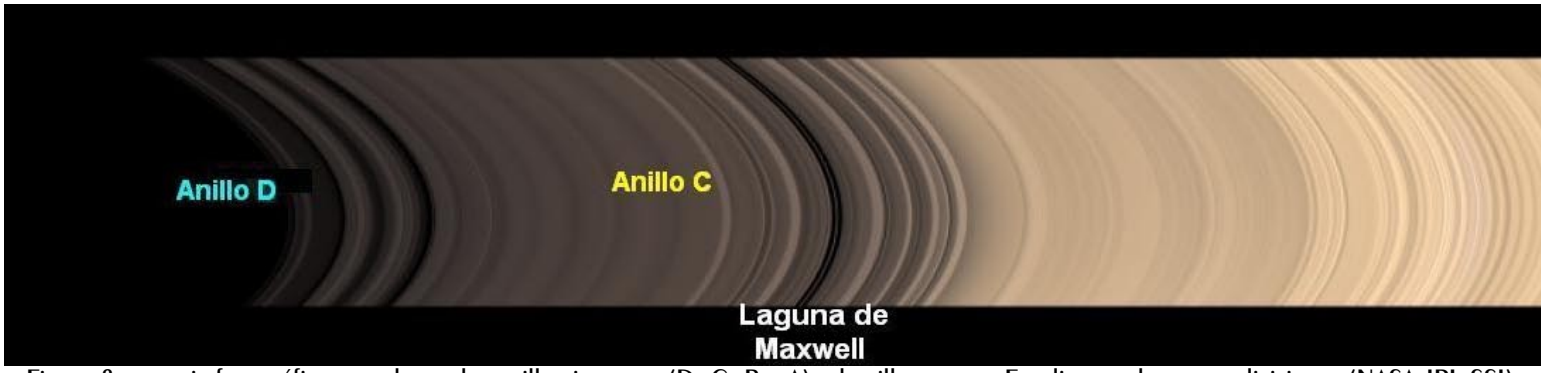

Figura 8: montaje fotográfico que abarca los anillos internos (D, C, B y A), el anillo externo F y diversas lagunas y divisiones (NASA-JPL-SSI)

4. Estructura de los anillos.

Las dimensiones de los anillos de Saturno son gigantescas. Si consideramos sólo los tres anillos principales (C, B y A) ya abarcan 275.000 kilómetros de anchura anular, es decir, más del doble del diámetro del planeta y tres cuartas partes de la distancia que separa la Tierra de la Luna. Su estructura es compleja y bastante diferenciada, siendo también muy distinta por lo que respecta al tamaño y a la composición de las partículas que los forman. A continuación haremos un repaso rápido a cada uno de los anillos (figura 8).

El primer anillo perceptible, empezando por la zona más próxima a Saturno, es el *anillo D*. Se trata de un anillo extremadamente tenue, que toma cuerpo ya casi en contacto con la alta atmósfera del planeta, constituido por una serie de surcos o filamentos de variable grosor cuyas partículas probablemente tengan dimensiones minúsculas, aunque algunas como mucho alcancen unos pocos centímetros.

A continuación hallamos el *anillo C*, ya bastante más luminoso y compuesto por un grupo radial de bandas con varios centenares de kilómetros, e intercaladas a ellas otras bandas más estrechas y algo más opacas. En la parte más externa del anillo encontramos la *Laguna (o división) de Maxwell*, de poco más de 250 kilómetros. Al parecer el anillo C apenas contiene partículas microscópicas, sino sólo de mayor tamaño.

Más allá del C puede observarse el *anillo B*, que junto con el A fue el primero en ser observado. Se extiende a partir de unos 92.000 kilómetros del centro de Saturno hasta casi los 120.000 kilómetros, y está separado del C por un borde extremadamente definido. Es notable, además, el cambio de coloración entre un anillo y el otro; es probable que se deba a la diferente naturaleza de las partículas que los componen, ya que como reveló la sonda Voyager 2 la composición química del anillo B es heterogénea, difiriendo en varias de sus partes marcadamente. La causa tanto de la neta separación entre el anillo C y el B como de la distinta composición del anillo sigue siendo un misterio, pues en esas regiones es imposible hallar, en virtud del límite de Roche, un satélite de dimensiones moderadas responsable del confinamiento del anillo. La organización del material en el anillo B es compleja y algo irregular: coexisten, junto a bandas o surcos brillantes y opacos, otros más oscuros, de ancho diverso. Como dijimos en el apartado anterior, los estudios con radiotelescopios señalaron que las partículas del anillo B tienen predominantemente un tamaño de varios centímetros.

En el anillo B pueden observarse ocasionalmente unas singulares estructuras en forma de cuña que recorren rápidamente el anillo cambiando a veces de aspecto; son los llamados "*spokes*" (en inglés, "rayos" o "radios"). Oscuras, difusas y siempre dirigidas en su parte mayor (que puede medir hasta 2.000 kilómetros de ancho) hacia el cuerpo de Saturno, alcanzan fácilmente longitudes de 10.000 kilómetros. Se piensa que los spokes (figura 9) se forman allá donde hay grandes cantidades de polvo, arremolinándolo y integrándolo gracias a cargas electrostáticas en una estructura radial que atravesaría el material del anillo B. Probablemente su movimiento y evolución está sujeto al intenso campo magnético del planeta.

El anillo B finaliza en la *División de Cassini*, de la

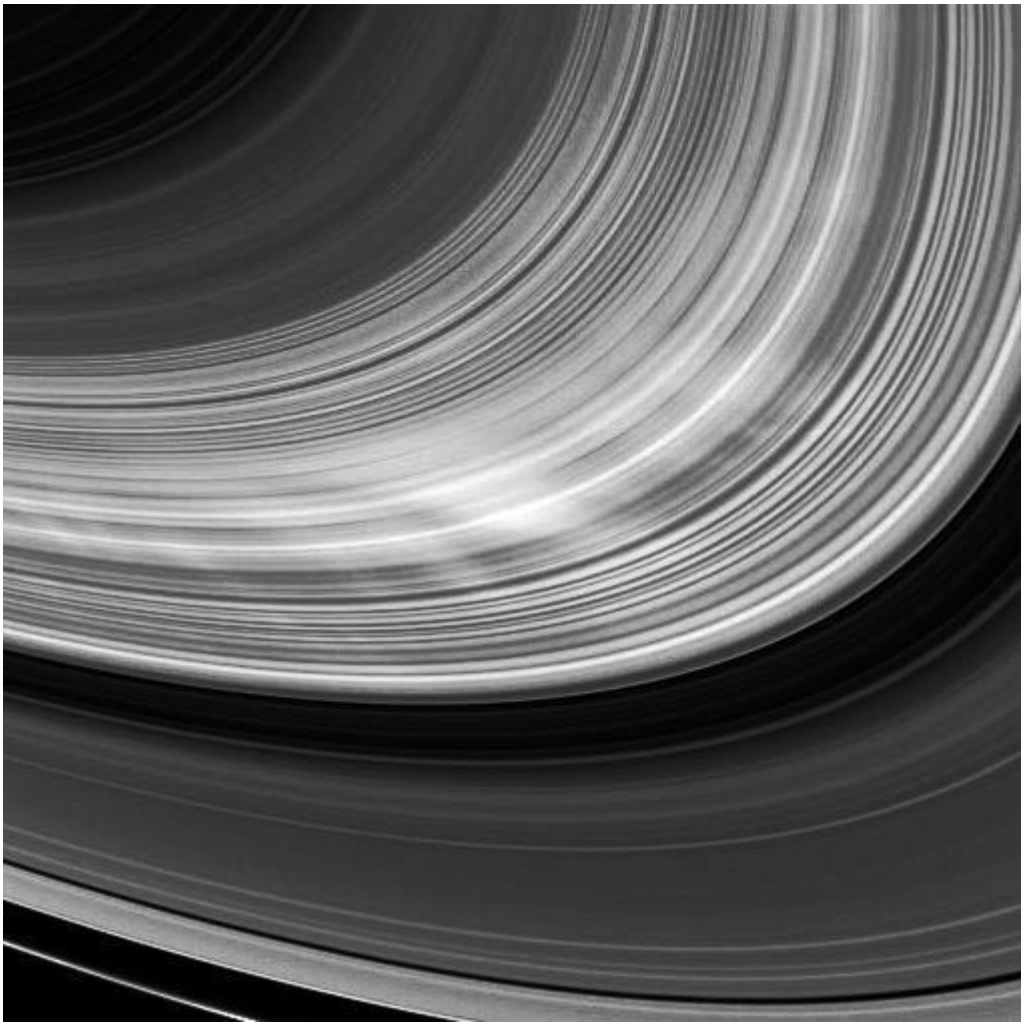

Figura 9: imagen de la sonda Cassini tomada el 26 de diciembre de 2008 que muestra los "spokes", formaciones oscuras con aspecto de cuña que se desarrollan en el anillo B. (NASA-JPL-SSI)

que ya hemos hablado, estructura más transparente a la luz solar y con menor cantidad de materia, aunque en absoluto desprovista de ella. Su configuración recuerda, a menor escala, al anillo C, ya que también cuenta en su interior con una alternancia de bandas claras y oscuras de distintos tamaños y brillos. Las dimensiones de las partículas que constituyen la división parecen ser mayores de las que llenan los anillos, y como dijimos, la resonancia orbital entre Mimas y la región externa del anillo B permite que la división no acabe inundada de material procedente del anillo A.

Éste mismo, el *anillo A*, tiene igualmente un límite inferior muy neto, y su luminosidad mengua poco a poco con la distancia al exterior. Abarca entre 122.000 y 137.000 kilómetros, y en su interior contiene dos divisiones. La primera, la *División de Encke*, tiene sólo 300 kilómetros de ancho (de ahí que no fuese descubierta hasta el siglo XIX por el alemán Johann Frank Encke [1791-1865]). Tampoco ésta está completamente vacía sino que alberga sutiles anillos menores, algo rizados en su forma, lo que puede suponer la existencia de pequeñas lunas en sus alrededores. En la región más externa del anillo A se percibe otra pequeña discontinuidad, la *Laguna de Keeler*. Se trata de una división mucho menor que la anterior, de apenas algunas decenas de kilómetros, que inaugura sin embargo una porción del anillo A bastante más luminosa. Como ya dijimos, el límite externo del anillo A está "controlado" gravitatoriamente por Jano y su resonancia orbital 7/6 en relación a las partículas del anillo, lo que le confiere unos confines muy precisos. También es posible que la cercana presencia del satélite Atlas, que orbita apenas unos miles de kilómetros más allá del anillo A, otorgue una estabilidad adicional e impida que el material se escape al espacio interplanetario.

Más lejos que el anillo A, en relación a Saturno, hallamos a continuación una serie de tres anillos (figura 10) desconocidos hasta la visita de las primeras sondas al planeta. El *anillo F* fue observado por vez primera en 1979 por la nave Pioneer 10. Este anillo confirma algunas de los pormenores propuestos por Goldreich y Tremaine en su modelo sobre la acción que los pequeños satélites realizan para mantener sitiado el material de los anillos. Porque, en primer lugar posee un aspecto extraño, semejante a filamentos ligeramente ondulados o rizados; segundo, su espesor es claramente variable, bastante mayor del presente en otros anillos, como si *algo* hubiese alterado su estrecho confinamiento natural (los anillos de Saturno, en general, son extremadamente

finos; apenas una millonésima de su diámetro, esto es, poco más de dos kilómetros. Es similar al espesor de una hoja de papel de 100 metros de diámetro...); y tercero, Prometeo y Pandora, dos pequeños satélites que ya hemos mencionado, orbitan en los bordes externo e interno del anillo F, que parecen delimitar perfectamente sus límites y confinar su material (figura 5), aunque la propuesta de Goldreich y Tremaine no está libre de problemas y no explica algunos detalles importantes.

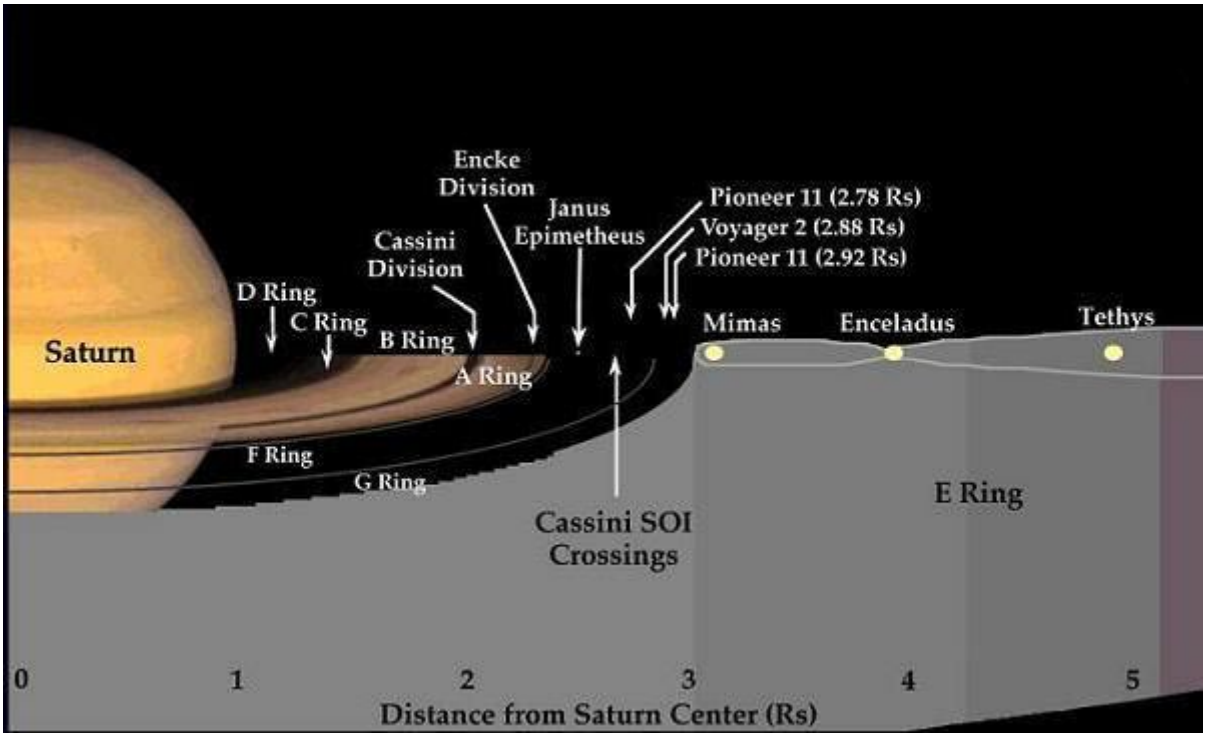

Figura 10: esquema con las principales características de los anillos de Saturno (los anillos internos D, C, B, A, los externos F, G y E y las divisiones de Casino y Encke), así como la posición de algunos satélites entre ellos. (NASA)

Gracias a la labor de las sondas Pioneer 10 y Voyager 1 pudieron detectarse otros dos anillos más externos al F. El *anillo G* está anclado entre el satélite Mimas y las dos pequeñas lunas Jano y Epimeteo, que se persiguen en una misma órbita (por cierto, justo en dicha órbita halló la nave Cassini un nuevo y débil anillo en 2006). Abarca algunos miles de kilómetros y presenta una configuración uniforme en comparación con el anillo F, aunque es bastante más tenue éste y su materia está muy rarificada. En general, puede decirse que posee algunas semejanzas con el anillo de Júpiter.

Por su parte, el *anillo E* es siempre invisible desde la Tierra excepto en las raras ocasiones en que Saturno se coloca 'de canto' (como sucedió en 1995 y volverá a acontecer en verano de este mismo año), observándose entonces una banda difusa muy extensa y con un espesor notable (se prolonga varios radios de Saturno, figura 10, y posee algunos miles de kilómetros de ancho). El anillo E no contiene, sin embargo, más que una ínfima cantidad de material pero, como confirmó precisamente la sonda Cassini hace un par de años, el satélite Encélado parece estar añadiéndole constantemente vapor de agua y material helado, que se desprenden de la luna consecuencia de su actividad criovolcánica. El anillo E y G suelen ser muy difíciles de observar, incluso por las sondas espaciales en condiciones normales, pero cuando éstas se sitúan justo dentro de la sombra provocada por la luz solar sobre Saturno y dirigen su mirada hacia el planeta, el resultado es asombroso (figura 11).

La tabla 1 nos da algunos datos principales de los anillos de Saturno, aunque aún conocemos más bien poco muchas de sus características físicas.

5. Origen.

Hasta la década de los años setenta del siglo pasado se creía que los anillos de Saturno eran una particularidad única en el Sistema Solar, una rareza que éste planeta disfrutaba privilegiadamente. Sin embargo, por entonces se descubrieron los anillos de Júpiter (1979),

Características principales de los anillos de Saturno					
Nombre	*Distancia*	*Ancho*	*Espesor*	*Masa*	*Albedo*
Anillo D	67,000 km	7,500 km	?	?	?
Anillo C	74,500 km	17,500 km	?	1.1x10^18 kg	0.25
***-División o Laguna de* Maxwell**	87,500 km	270 km			
Anillo B	92,000 km	25,500 km	0.1-1 km	2.8x10^19 kg	0.65
-División de Cassini	117,500 km	4,700 km	?	5.7x10^17 kg	0.30
Anillo A	122,200 km	14,600 km	0.1-1 km	6.2x10^18 kg	0.60
-División de Encke	133,570 km	325 km			
***-División o Laguna de* Keeler**	136,530 km	35 km			
F	140,210 km	30-500 km	?	?	?
G	165,800 km	8,000 km	100-1000 km	6-23x10^6 kg	?
E	180,000 km	300,000 km	2,000 km	?	?

Tabla 1: principales características de los anillos de Saturno. (La distancia está medida desde el centro de Saturo al inicio de cada anillo correspondiente)

Urano (1977) y Neptuno (1986) y Saturno dejó de tener la exclusiva. Ahora bien los suyos siguen siendo, con mucha diferencia, los más soberbios y magníficos, pero ¿por qué Saturno posee un sistema tan sobresaliente mientras sus otros hermanos gigantes no disponen que de un par de anillos oscuros y apenas perceptibles? La respuesta podemos buscarla rastreando el origen de los anillos, aunque hoy por hoy todo se reduce a hipótesis posibles y no a certezas definitivas. Suelen presentarse dos teorías para explicar dicho origen: una hace referen-

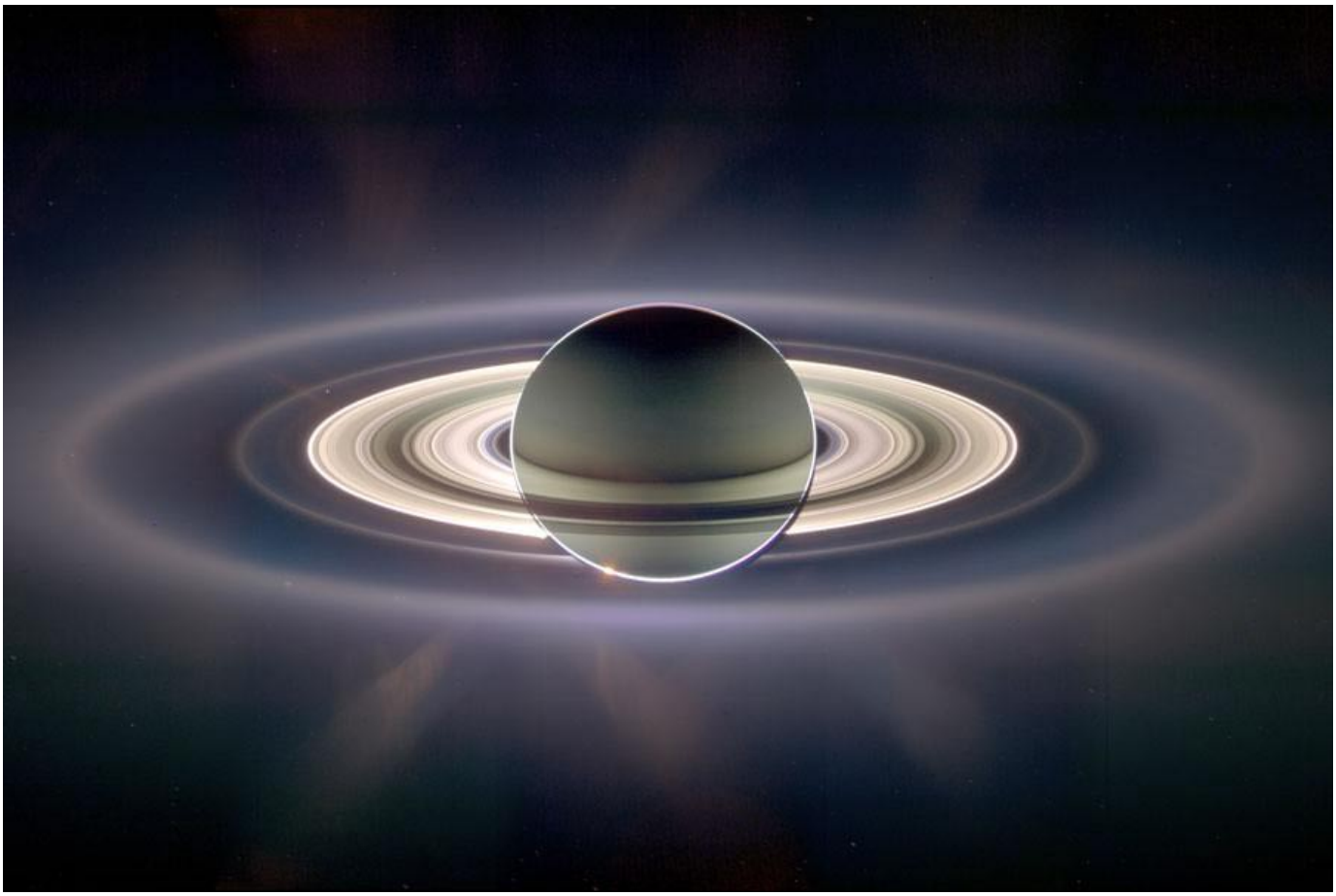

Figura 11: espectacular fotografía de la nave Cassini de Saturno y sus anillos con el Sol ocultado por el cuerpo del planeta. Desde esta perspectiva es posible apreciar de forma inmejorable, gracias a la luz difusa, detalles en los anillos. Son perfectamente visibles, por ejemplo, el anillo D (casi en contacto con el limbo de Saturno), el G (algo más allá del límite de los anillos principales) e incluso el anillo E, en su vertiente más luminosa. (NASA-JPL-SSI)

cia a una supuesta luna que abortó su proceso de formación en los alrededores del planeta, mientras que la otra abraza la idea de que hubo una luna, completamente formada, que se fragmentó en multitud de pequeños pedazos y acabaron formando el sistema de anillos.

A) La luna malograda.

Como se acepta en la actualidad el Sistema Solar y, a menor escala, el propio sistema de Saturno, se formó partiendo de un disco de gas y polvo y partículas sólidas que se hallaban cerca del plano ecuatorial del mundo gigante. Los satélites, incluso los de tamaño moderado, pueden ir agregándose paulatinamente a partir de choques a baja velocidad entre partículas. Pero en las proximidades del planeta la gravedad es tan intensa que genera fuerzas de marea potentes, las cuales impiden la formación de cualquier luna de tamaño apreciable en dichas regiones (el límite de Roche, como ya sabemos). El origen de los anillos, pues, puede ser el de una luna que no llegó a formarse y cuyos restos sirvieron para constituirlos. Esta hipótesis no recurre a un evento catastrófico para la formación de los anillos, y puede dar cuenta de la existencia de ellos en todos los demás planetas gigantes. Un punto a su favor es que, según dijimos, la sonda Cassini ha aportado indicios de que los anillos de Saturno pueden ser casi tan antiguos como el mismo Sistema Solar, requisito que cumple perfectamente esta teoría.

B) La luna destruida.

La segunda propuesta aboga por un origen catastrófico de los anillos. Dado que la masa de los anillos en su conjunto es similar a la de satélites como Encélado o Mimas, y que en la superficie de algunos de ellos (la propia Mimas) se observan cráteres de grandes dimensiones (que, de ser algo mayores, quizá hubieran destruido la luna y, tal vez, formado otro sistema de anillos adicional), la noción de un impacto catastrófico por parte de un cuerpo forastero contra un satélite de Saturno es factible. Además, existe la posibilidad de que algunos satélites de menores dimensiones situados en las cercanías del planeta sean, en realidad, lunas reconstruidas tras un impacto que desintegró a un cuerpo mayor en el pasado lejano, así como puede que algunos peñascos de algunos kilómetros de diámetro (como Atlas, Telesto, Calipso o Helene) sean los fragmentos mayores de aquella hipotética colisión. Puede que la luna originariamente destruida por el impacto se hallara en el interior del límite de Roche, con lo que no podrían organizarse nuevamente para constituir una nueva luna de gran tamaño debido a las fuerzas de marea (que impide la aglomeración de cuerpos mayores a unos pocas decanas de kilómetros). Las continuas colisiones entre los fragmentos residuales iría paulatinamente reduciendo su tamaño, dispersándose entre una amplia franja ecuatorial al planeta. El hallazgo que hemos mencionado de cuatro pequeñas lunas de unos 100 metros de diámetro en el anillo B, así como otros millones similares que se cree orbitan a lo largo del todo el sistema de anillos, pueden representar los restos mayores que aún se conservan de aquel impacto catastrófico, aunque también pueden ser objetos que han podido reunirse de nuevo y ser, por tanto, mucho más jóvenes.

Pero para que una luna se halle (o se precipite) en el interior del límite de Roche evitando su propia desintegración se requieren unas condiciones especiales, que incluyen el contacto con un medio densamente gaseoso. Sin embargo, un medio tal es imposible que existiera incluso hace miles de millones de años, ya que sólo se presentó en los primeros tiempos de vida del propio planeta, cuando éste acababa de formarse y aún restaba un anillo gaseoso de cierta entidad a su alrededor, el cual estaba destinado a la constitución de los satélites mayores. Ello implica que el impacto de un cuerpo externo con una luna radicada dentro del límite de Roche sólo pudo acontecer durante la infancia del planeta, lo que también supone un punto a favor de esta teoría.

Tal vez la respuesta a la pregunta de por qué Saturno posee sus espectaculares anillos sea que una de sus lunas fue destruida por otro objeto, esparciendo su masa a lo largo y ancho de todo la periferia del planeta, mientras que en los demás mundos gigantes los anillos tuvieron un origen más suave, resultando de la no agregación de partículas que estaban, en principio, destinadas a la formación de un satélite próximo a Saturno. Posiblemente se requiera de un episodio catastrófico para que los sistemas de anillos adquieran una entidad tan notable como

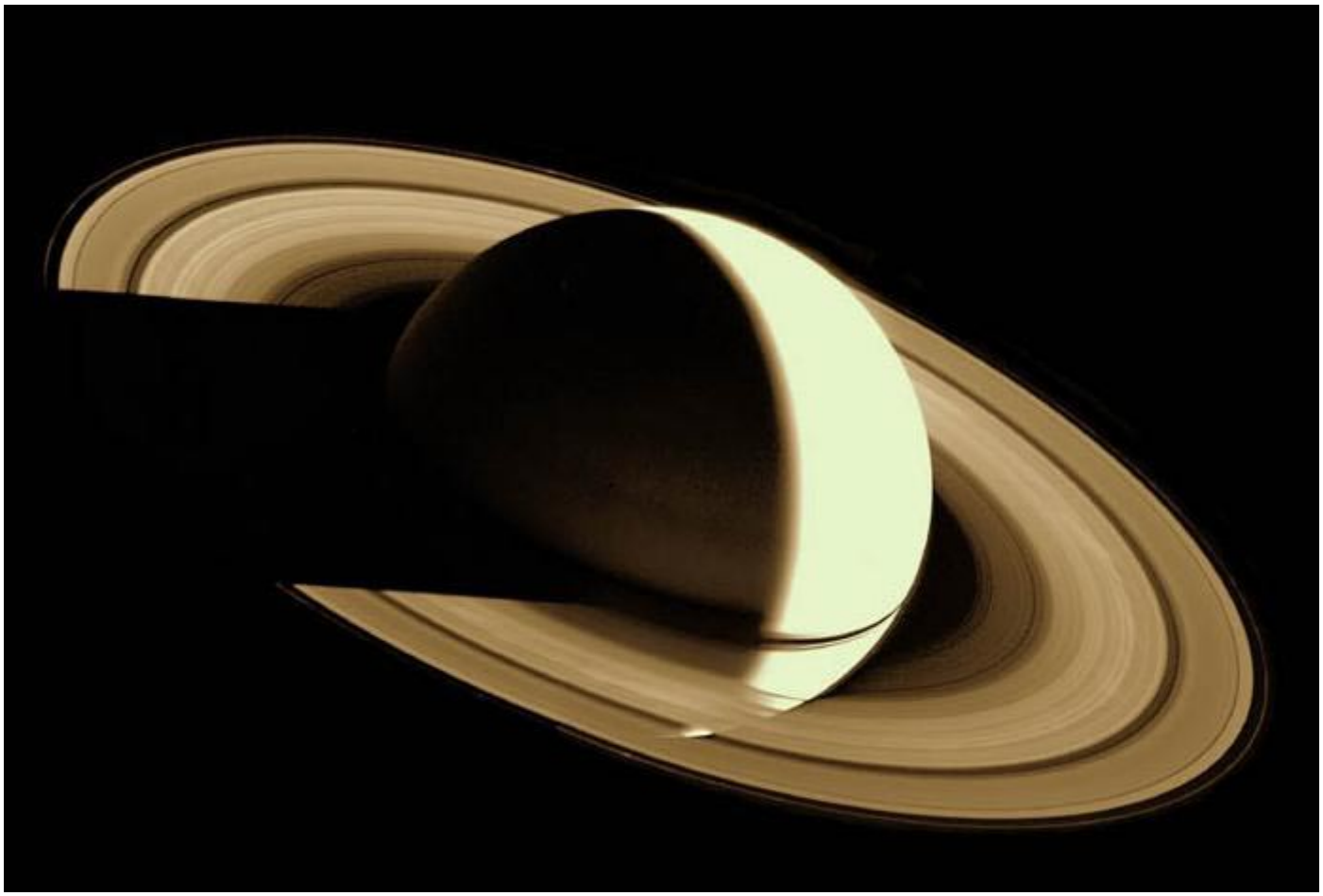

Figura 12: magnífica imagen de Saturno realizada por la sonda Voyager 2 cuando ya se alejaba lentamente del planeta. Los anillos de Saturno aún conservan muchos secretos. La nave Cassini nos está desvelando algunos de ellos, aunque otros aguardan, quizá, hasta el momento en que podamos recoger in situ una muestra del material que los forman. Tal vez ese pedazo de roca helada revele, por fin, el enigma de su origen. (NASA-JPL)

la de este planeta, quedando en los otros casos una serie de anillos finos, oscuros y tenues.

Pero para responder definitivamente a esta cuestión necesitamos datos más precisos. Necesitamos ir allí, hasta Saturno (figura 12), y recoger una muestra de esas pequeñas rocas heladas. Un análisis que revele su composición y estructura estaría en condiciones de indicarnos si la materia que forma los espectaculares anillos del planeta estuvo unida, muchos eones atrás, a una luna mayor y hoy desaparecida o si, más bien, no es más que un pedazo de materia residual de la que, en su día, formó al mismo Saturno.

Galileo observó a Saturno y sus anillos en 1610 a través de un catalejo modesto. Probablemente jamás imaginó que aquellas dos bastas asas circulares que sobresalían del planeta llegarían a ser tan complejas, bellas y enigmáticas como nos las han revelado las naves espaciales. Hoy con cualquier telescopio corriente podemos admirar la preciosa forma de los anillos, cuya historia, naturaleza y origen permanece, de alguna manera, aún en secreto. La tarea de los científicos es descifrarlo.

- Bibliografía y enlaces:

http://es.wikipedia.org/wiki/Anillos_de_Saturno

http://www.alumno.unam.mx/algo_leer/Articulo12.pdf

http://www.solarviews.com/span/saturn.htm