

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Los anillos de Saturno, fuente de conocimiento del Sistema Solar

Karina Galache · Friday, May 15th, 2020

Categorías: [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

I

En el transcurso de los siglos del XVII al XIX, se determinó con bastante precisión la forma del Sistema Solar, tanto en su estructura física como en la correspondiente dinámica descrita por sus rasgos teórico matemáticos. Algunas de las mejores figuras científicas se dedicaron a estudiar aspectos concretos y delicados, a refinar la comprensión de los detalles, además de identificar nuevos procesos que ayudarían en cuestiones cosmológicas importantes.

Quedaban muchos aspectos que desentrañar que fueron paulatinamente surgiendo, entendiéndose y perfeccionando el conocimiento. Como en cualquier viaje, se aprecian y se ven cada vez más detalles, algunos de suma importancia. Para ello era, y es siempre, necesaria la aportación de nuevas visiones e ideas, el mejoramiento de los trabajos, la persistencia exhaustiva del trabajo de muchos científicos.

Hasta Maxwell y más allá...

Los anillos de Saturno (y los del resto de los planetas anillados) son estructuras sorprendentemente instructivas; su conocimiento proporciona información valiosa sobre el origen, la formación y la evolución de los diversos elementos que configuran el Sistema Solar, así como de su estabilidad y condiciones de equilibrio, y el engranaje de los mecanismos entre sí.

Parece que estas ideas motrices bullían en la cabeza de Maxwell^[1]. Sin embargo, en el estado de desarrollo en que se hallaba la Astronomía en el siglo XIX, la curiosidad que despertaban los anillos de Saturno no conllevaba interés suficiente entre matemáticos y físicos como para dedicarles gran esfuerzo y estudio. Maxwell, a propósito, escribió:

No tengo conocimiento de que se haya hecho ningún uso práctico de los anillos de Saturno, ya sea en Astronomía o en navegación. Están demasiado distantes y son insignificantes en masa para producir un efecto apreciable sobre el movimiento de otras partes del Sistema Solar; y por esta misma razón es difícil determinar los elementos de su movimiento que obtenemos con tanta precisión en el caso de cuerpos de mayor importancia mecánica. [...]

Pero cuando contemplamos los anillos desde un punto de vista puramente científico, se convierten en los cuerpos más notables del cielo, a excepción, quizá, de aquellos cuerpos aun menos útiles: las nebulosas espirales. Cuando realmente hemos visto que el gran arco se balancea sobre el ecuador del planeta sin ninguna conexión visible, nuestras mentes no pueden descansar. No podemos admitir simplemente que las cosas ocurren así, y describirlo como uno de los hechos observados en la naturaleza, que no admiten ni requieren explicación. Debemos analizar su movimiento sobre los principios de la mecánica, o admitir que, en el mundo de Saturno, puede haber movimiento regulado por leyes que no podemos explicar. [...]

Anillos, las joyas de Saturno

En 1859 Maxwell publicó el libro *On the Stability of the Motion of Saturn's Rings*, resultado de los trabajos astronómicos que desarrolló en los ratos de ocio. Por este trabajo, en el que presenta su punto de vista astronómico soportado por una matemática exhaustiva, consiguió el premio Adams.



Figura 1. Portada del libro de Maxwell sobre los anillos de Saturno

El científico escocés usaba como idea de partida la demostración hecha por Laplace de que un anillo sólido uniforme no puede durar en órbita permanente o estable alrededor de Saturno, único planeta que en su tiempo era conocido que poseía anillos.

Al iniciar este trabajo, la tarea que se propuso fue averiguar los tipos de irregularidades (y su naturaleza) que se precisan para que un anillo sea capaz de girar de modo estable alrededor de un planeta.

Como consecuencia de su estudio, defendió que la estabilidad del movimiento del anillo se consigue si contiene un satélite, cuyo peso, según sus cálculos, debía ser cuatro veces y media el peso del anillo propiamente dicho, pero esto aparentemente no se percibía y el encaje parecía ser inicialmente artificioso, porque cualquier desajuste por exceso o por defecto tornaría inestable el anillo.

Así, señalaba: “por tanto nos vemos constreñidos a abandonar la teoría de un anillo sólido, y a considerar el caso de un anillo cuyas partes no estén rígidamente conectadas, como ocurriría si se tratase de un anillo de satélites independientes o un anillo fluido”. [...]

Con esta condición, explicaba, no hay peligro de que todo el anillo, o parte de él, se precipite sobre el planeta. “Cada elemento del anillo se comporta como un satélite de Saturno, perturbado por la atracción de los pequeños satélites que integran el propio anillo, a la misma distancia media del planeta, cada uno de los cuales, sin embargo, está sujeto a ligeros desplazamientos. La acción mutua de los constituyentes del anillo será tan pequeña en comparación con la atracción del planeta que ningún fragmento constitutivo del anillo podrá dejar de moverse en torno a Saturno como un satélite”. [...]

El asunto que nos presenta, resumiendo sus conclusiones, es completamente distinto a la idea de anillo sólido. En el estudio de dicho anillo, hay que tener en cuenta las variaciones en la forma y la disposición de sus constituyentes, así como su movimiento en conjunto, y todavía no tenemos seguridad de que estas variaciones no se acumulen hasta que el anillo pierda por completo su forma

original y colapse en uno o más satélites circulando alrededor de Saturno. De hecho, tal resultado es uno de los principales paradigmas de la “teoría de las nebulosas” en la formación de sistemas planetarios con la ruptura física de los fluidos.

Maxwell mostró que la tendencia destructiva de los fluidos interplanetarios persiste en la actualidad, pero debido al tipo de movimiento de revolución se convierte en condición de estabilidad dinámica. El estudioso fijó así su interés científico: la estabilidad de los anillos.

[...] y claro el estudio de su movimiento está íntimamente relacionado con este hecho, y lo he considerado como ilustrativo de los principios generales para centrar la elaboración de los cálculos y por tanto me he limitado a aquellas partes del asunto de la persistencia de una forma determinada de movimiento o de movilidad. [...]

Y continuó explicando que existe un problema importante de Dinámica general, y en su seno la solución que podría contener todos los resultados de este trabajo y mucha más información.

Veamos: habiendo encontrado una solución particular de la ecuación del movimiento de cualquier sistema material, para determinar si una débil perturbación del movimiento indicado por la solución podría causar una pequeña variación periódica, o una perturbación total del movimiento. [...]

[...] Una pregunta que cabría hacerse trata sobre la dependencia de las condiciones de máximo o mínimo de una función de varias variables, pero la teoría de los test para distinguir máximos de mínimos mediante el cálculo de variaciones llega a ser tan intrincada cuando se aplica a funciones de varias variables, que creo es dudoso saber si se resolverá primero el problema físico o el abstracto. [...]

Estructura mecánica de los anillos

Así continuaba, y tras una exposición teórica de los motivos y los métodos de trabajo que había seguido junto con las suposiciones físicas que utilizaba, Maxwell presentó sus estudios matemáticos de gran complejidad, y obtuvo varias conclusiones posibles sobre la realidad física de los anillos del segundo gigante gaseoso. Y describió algunos tipos de anillos compatibles con dicha teoría matemática.

Sabiendo que la estabilidad del movimiento de giro de un sólido rígido depende de un ajuste delicado, y al mismo tiempo conociendo la distribución asimétrica de masa de los anillos, tal que incluso si la condición teórica exacta se cumpliera, apenas podría permanecer mucho tiempo uniforme, y aunque así ocurriera, la gran preponderancia de un lado del anillo sería fácilmente observable, lo que es contrario a la experiencia.

Posteriormente examinó el movimiento de un anillo de satélites iguales, y encontró que si la masa del planeta es suficiente, cualquier perturbación producida en la disposición del anillo se propagaría a su alrededor en forma de ondas, y no introduciría un conflicto peligroso. Si los satélites fuesen desiguales, la propagación de las ondas ya no sería regular, pero las perturbaciones del anillo en este caso, como en el primero, producirían solo ondas y no una confusión creciente. Suponiendo que el anillo no consiste en una sola fila de satélites grandes, sino en una nube de partículas no conectadas distribuidas uniformemente, descubrió que dicha nube debería tener una densidad muy pequeña para resultar permanente, y que esto es inconsistente con su partes externas e internas que se mueven con la misma velocidad angular. Sin embargo, en la suposición de que el

anillo sea fluido y continuo, descubrió que necesariamente se dividirá en pequeños fragmentos.

Algunas críticas a los trabajos de Maxwell

En el tomo II de su Tratado de Mecánica Celeste, “Théorie de la figure des corps célestes et de leur mouvement de rotation”, Tisserand^[2] dedicó 4 capítulos a los anillos de Saturno (al anillo), analizó los estudios de Laplace, los trabajos de Kovalevsky y Poincaré, y asimismo las aportaciones importantes de Maxwell.

Escribió un capítulo sobre los trabajos mecánico-matemáticos de Maxwell en el que comentó sus conclusiones físicas, aunque omitió los desarrollos matemáticos que le llevaron a éstas por considerarlos faltos de rigor, poco precisos y no demasiado claros. Sin embargo, le pareció oportuno incluir sus conclusiones astronómicas.

En definitiva, Tisserand indicó que Maxwell, habiéndose decantado por considerar los anillos formados por una nube de polvo meteórico, encontró que para resistir a la acción destructiva de las ondas que se propagan a través de su masa, es necesario que su densidad sea al menos 1/300 de la densidad del planeta; es decir, que la densidad media debe tener un límite superior igual al doble de la densidad del aire atmosférico a presión normal.

De los estudios matemáticos a la tecnología aeroespacial

En el transcurso de los siglos, las estimaciones del grosor de los anillos fueron mejorándose y pasaron de los 482 803 km previstos por Sir William Herschel en 1789 a la aproximación mucho más precisa de Audouin Dollfus de menos de 3 218 km en 1966.

La comprensión que tenían los astrónomos de los anillos cambió drásticamente con las misiones Pioneer 11 y las gemelas Voyager a Saturno. La célebre fotografía de los anillos de la Voyager, iluminada por el Sol, mostró por primera vez que lo que aparecía como los enormes anillos A, B y C en realidad comprendía millones de pequeños segmentos.



Figura 2. Saturno fotografiado por la sonda Cassini

La misión Cassini a Saturno, tras invertir más de una década orbitando en torno al planeta, proporcionó a los científicos planetarios panorámicas muy refinadas sobre el planeta. El magnífico sistema de anillos de Saturno tiene entre 10 m y 1 km de espesor. Las partículas que lo forman son 99,8% de hielo y la mayoría de ellas tienen menos de 1 m de diámetro, su masa es aproximadamente de 16 000 millones de toneladas, menos del 0,02% de la masa de nuestra Luna y menos de la mitad de la masa del satélite Mimas, de Saturno. Esto ha llevado a algunos científicos a especular si los anillos son el resultado de la ruptura de una de las lunas de Saturno o la captura y ruptura de un cometa perdido.

Anillos dinámicos

En los cuatro siglos transcurridos desde la invención del telescopio, también se han descubierto anillos alrededor de Júpiter, Urano y Neptuno, los planetas gigantes de nuestro Sistema Solar.

Roche,^[3] en 1849, propuso por primera vez la razón por la cual los planetas gigantes están adornados con anillos y la Tierra y los demás planetas rocosos, no.

Una luna y su planeta están en una relación gravitacional muy delicada. La Luna terrestre, tirando en lados opuestos de la Tierra, causa mareas. Las fuerzas mareales también afectan a las lunas planetarias. Si un satélite se acerca demasiado a un planeta, estas fuerzas pueden superar la “unión” gravitacional que mantiene al satélite en su posición, y esto significa someterla a tensiones de ruptura, de tal modo que los fragmentos resultantes se extienden a lo largo de su órbita original, formando un anillo.

El límite de Roche, que es la distancia mínima segura para que se establezca la órbita de una luna, es aproximadamente 2,5 veces el radio del planeta. En el caso de Saturno, esta distancia es de 87 000 km sobre las cimas de sus nubes y coincide con la ubicación del anillo F exterior de Saturno.

Para la Tierra, esta distancia es menor de 10 000 km sobre su superficie. Un asteroide o cometa tendría que aproximarse demasiado a nuestro planeta para que las fuerzas de marea lo destruyeran y los transformaran en un anillo alrededor de la Tierra. Nuestra Luna está a una distancia muy segura de 380 000 km.

La actualidad

Las teorías sobre el origen de los anillos de Saturno van evolucionando, pero de momento no han logrado explicar la composición de más del 90% de las pequeñas partículas que los forman y se han ido mejorando paulatinamente hasta la actualidad. Los últimos datos públicos contrastados se pueden consultar desde el año 2015.

En la revista Nature^{[4][1]} recientemente se publicó una teoría construida a partir de simulaciones computacionales diseñadas para explicar la composición de las partículas heladas, señalando el rango de sus tamaños que van desde bolas de granizo a otras de inferior dimensión. La teoría elaborada basada en estas simulaciones muestra la idea de que durante la formación del Sistema Solar, hace 4 600 millones de años, un satélite helado de Saturno se precipitó sobre el planeta y se incrustó. Como resultado del impacto se formó el sistema de anillos con los fragmentos lanzados a partir de este cuerpo helado cuya estructura nuclear era rocosa. Estos objetos, que salieron despedidos después de la colisión, formaron un sistema de anillos distinto al que observamos en la actualidad. Durante miles de millones de años, los numerosos choques entre esos restos de gran tamaño dieron lugar al sistema de anillos actual.

Parece que un hecho general digno de consideración es que la delgadez de los anillos planetarios se debe a sus continuos cambios. Un pequeño fragmento perteneciente a un anillo cuya órbita esté inclinada con respecto al resto del anillo podrá chocar con otros componentes del mismo. Al hacerlo, perderá energía y se asentará en el plano del anillo.

Durante millones de años, todos estos fragmentos, debido a los continuos choques, caen o se alinean, dejando un anillo muy delgado que es lo que se observa en la actualidad. Esto sucede porque los fragmentos de menor tamaño chocan continuamente entre sí. En el último año de trabajo, la nave espacial Cassini se internó varias veces a través de la ranura de 7 000 km entre las nubes de Saturno y sus anillos internos. Las observaciones que realizó mostraron la dinámica de cambio constante de su aspecto.

Las lunas “pastor” Pan, Daphne, Atlas, Pandora y Prometeo, que miden entre 8 y 130 km de diámetro, mantienen en equilibrio los fragmentos que forman el anillo, permitiendo que permanezcan en sus órbitas actuales. Las ondas de densidad, causadas por el movimiento de los satélites dentro de los anillos, empujan y remodelan los anillos. Todo esto indica que los anillos son efímeros o muy cambiantes. Aproximadamente cada segundo, hasta 40 toneladas de hielo de los anillos llueven sobre la atmósfera de Saturno. Eso significa que pueden durar desde decenas a cientos de millones de años.

Las ideas de Maxwell sobre los anillos en realidad no tuvieron mucha repercusión en su tiempo, si exceptuamos la consideración de algunos pocos científicos, aunque importantes, como Poincaré. En la actualidad, sus estudios se han puesto a prueba con la gran tecnología aeroespacial desarrollada, que se fundamenta, al menos en parte, en su trabajo sobre ondas electromagnéticas.

Un indicador de la edad de los anillos es el polvo que acumulan. Los objetos expuestos al polvo ambiental en el Sistema Solar durante largos periodos se oscurecen (están sucios...). Los anillos de Saturno que son brillantes (y libres de polvo), posiblemente se formaron en un intervalo máximo de 100 millones de años o algo menor.

Referencias

^[1] James Clerk Maxwell (Edimburgo, 1831- Cambridge, 1897)

^[2] Félix Tisserand (1845-1896)

^[3] Édouard Roche (Montpellier, 1820 – id.,1883)

^[4] Canup, R.M.: “Origin of Saturn’s rings and inner moons by mass removal from a lost Titan-sized satellite” Nature Letters, 2010

Bibliografía

- Maxwell, J.C. *On the Stability of the Motion in the Saturn’s Rings*, Cambridge, 1856.
- Tisserand, F.: *Traité de mécanique céleste*, Gauthier-Villars et fils, París, 1891.

This entry was posted on Friday, May 15th, 2020 at 3:58 pm and is filed under [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.

