El Universo en Mi Bolsillo



# Discos Rotando en el Cosmos

TUIMP
No 47
THE UNIVERSE IN MY POCKET

Bożena Czerny
Centro de Física Teórica PAN
Polonia



Anillos de Saturno (NASA/ESA Telescopio Espacial Hubble)

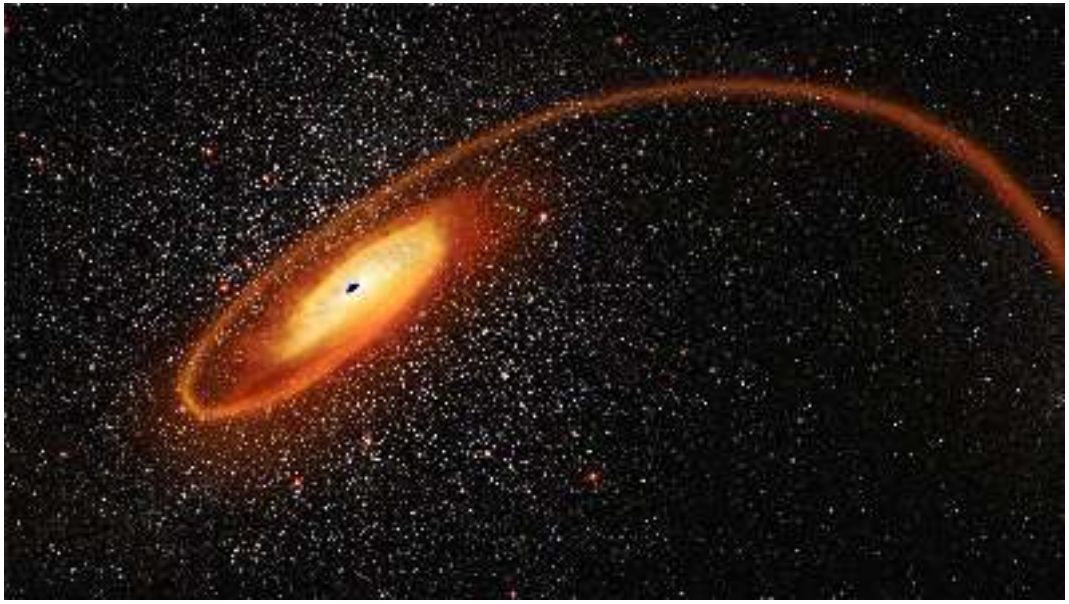
El movimiento de las partículas en órbitas circulares no es en absoluto el ejemplo más simple de movimiento. Cuando ninguna fuerza actúa sobre un cuerpo, este se mueve en línea recta a velocidad constante. Pero la interacción gravitatoria curva la trayectoria del cuerpo. La órbita depende de dos valores: la energía del cuerpo y su momento angular. Una mayor energía, por ejemplo, la de un cometa, hace que se aleje después de orbitar alrededor del Sol. Muy poca energía no le permite escapar y queda atrapado en una órbita elíptica alrededor del Sol. El movimiento circular es un caso muy especial de este tipo de movimiento.



# Anillos de Saturno

¿Quién de nosotros no ha visto los anillos de Saturno? ¿Quizás a través de un telescopio? ¿O al menos en una imagen? Son hermosos y eternos, al menos desde la perspectiva de la vida humana. Mirando desde arriba, parecen anillos. Pero cuando miramos de lado, parecen un disco muy delgado.

Los anillos de Saturno están hechos de trozos de hielo, con una pequeña mezcla de escombros rocosos. Estos trozos se mueven en órbitas circulares fijas, prácticamente sin colisiones aleatorias, razón por la cual, después del caos inicial durante la formación del Sistema Solar, han durado millones de años. Sin embargo, las pocas colisiones aleatorias que ocurren pueden hacer que los anillos desaparezcan en unos 300 millones de años.



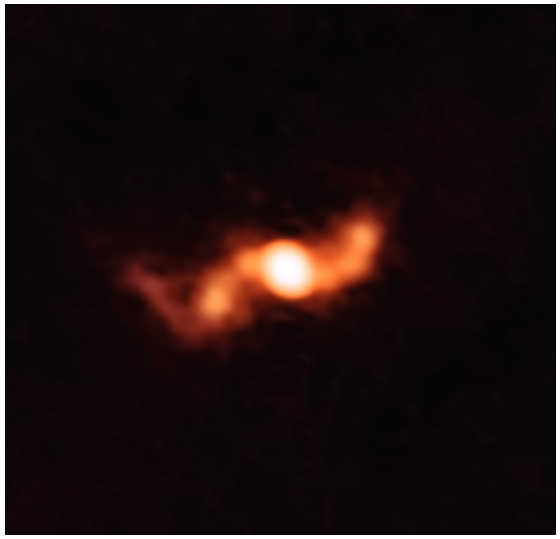
Formación de un disco de acreción alrededor de un agujero negro masivo como resultado de la desintegración de una estrella (NASA/ESA/D. Player (STScI), ilustración).

A veces, una estrella que orbita alrededor del centro galáctico se acerca demasiado al agujero negro central. La atracción gravitatoria del agujero negro cambiará la órbita de la estrella, atrayéndola hacia adentro, y la estrella se desintegrará al caer en el agujero negro. Algunos de sus restos pueden escapar, pero la mayoría quedará atrapada por el campo gravitatorio; sus órbitas se volverán casi circulares y el material formará un disco de acreción. La imagen de arriba no es una fotografía, pero estos fenómenos se pueden observer.



## Discos de Acreción

No todos los discos son tan tenues, brillando con luz reflejada. Cuando un disco de gas es atravesado por un campo magnético, su material se agita con violencia, se calienta y brilla con luz propia. Perdiendo energía y momento angular, este plasma caliente se desplaza hacia el objeto central. Estos se conocen como discos de acreción. Esta aparente paradoja —perder energía pero volverse más caliente— proviene del hecho de que la energía potencial gravitatoria se pierde y se convierte en energía cinética (velocidad) y térmica. El efecto es más fuerte cuando el objeto central es compacto, medido por la relación de su radio a su masa. Tales objetos compactos son estrellas de neutrones y agujeros negros. Hay muchos de ellos en el espacio, y el proceso de caída de materia sobre ellos es bastante común; puede durar desde segundos hasta años.



Objeto SS 433, imagen de microondas, Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/K. Blundell (Universidad de Oxford, Reino Unido), R. Laing, S. Lee & A. Richards, Ap J Letters.

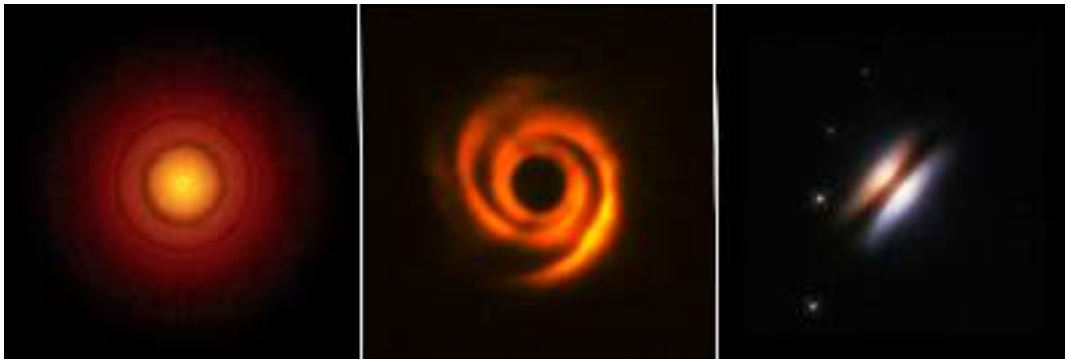
Los discos de acreción alrededor de los agujeros negros estelares son diminutos; es imposible obtener una imagen del disco en sí. Sin embargo, la caída de materia sobre un agujero negro a menudo va acompañada de la eyección de una pequeña cantidad de materia en forma de chorro, una corriente de material que fluye perpendicularmente al disco. La imagen de arriba muestra un chorro bipolar, con eyección ocurriendo en direcciones opuestas. Todavía no estamos seguros de cómo se forman tales chorros, aunque un campo magnético intenso sin duda desempeña un papel.



## Agujeros Negros Estelares y Compañeros

En la Vía Láctea probablemente haya muchos agujeros negros con masas algo superiores a la del Sol. La mayoría son invisibles, pero si uno de estos agujeros negros tiene una estrella normal como compañera, puede arrancarle materia, y ese gas forma un disco de acreción antes de caer en el agujero negro,. Estos discos emiten en rayos X. Algunos brillan de forma constante, y otros de forma irregular, dependiendo de cuanta materia tenga el disco o cómo se mueva dentro de él. Este es un fenómeno raro: solo conocemos unas pocas docenas de estos sistemas en la Vía Láctea, y son demasiado tenues para observarlos en galaxias distantes.

Los objetos más brillantes del Universo son las explosiones de rayos gamma de larga duración. Estas enormes explosiones nacen del colapso de una estrella masiva en un agujero negro. Allí puede formarse un disco temporalmente, pero el material de la explosion lo oculta.



Discos protoplanetarios - imágenes de los telescopios ALMA, VLT y Hubble. Crédito: NASA, ESA, ESO, STScI, ALMA, S. Andrews (CfA), Bill Saxton (NRAO, AUI, NSF), T. Stolker (ALMA)

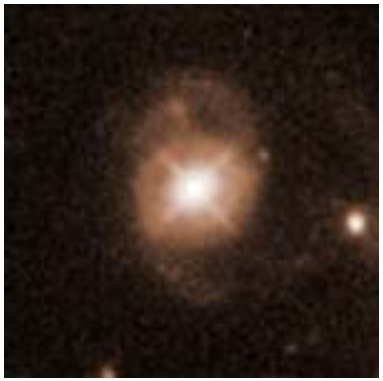
Los sistemas planetarios alrededor de estrellas jóvenes se forman en discos protoplanetarios. La física de este proceso es extremadamente compleja. Las imágenes que obtenemos con los telescopios nos permiten comprender mejor las etapas individuales del proceso. Pero la teoría también es importante, porque las imágenes no muestran cómo se forman los primeros granos de hielo, las primeras rocas y las semillas de los planetas.



## Estrellas jóvenes y formación de planetas

Algunos de los discos de acreción más complejos son los que se forman alrededor de estrellas jóvenes recién formadas. Nuestra Tierra se formó a partir de un disco de este tipo que orbitaba el Sol hace 4.500 millones de años. Es por eso que este proceso, que ocurre ahora alrededor de otras estrellas, es tan fascinante.

Estos discos consisten en gas, granos de hielo y fragmentos rocosos. El material proviene de los restos de la nube de la que se formó la propia estrella, pero sufre transformaciones constantes. Parte del gas cae en la estrella, parte es expulsada, parte forma planetas gaseosos. Los granos de polvo chocan y se pegan, creciendo cada vez más, y finalmente forman planetas rocosos, pero el proceso es lento y difícil de entender en detalle. Por lo tanto, todas las observaciones de este proceso son valiosas.





Izquierda: galaxia activa J0742+2704 (NASA, ESA, K. Nyland (United States Naval Research Laboratory), J. DePasquale (STScI)), derecha: galaxia de radio gigante (Crédito de la imagen: NASA, ESA, S. Baum y C. O'Dea (RIT), R. Perley y W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), y el Hubble Heritage Team (STScI/AURA). La imagen rosa muestra emisión de radio, la imagen blanca es óptica.

Las galaxias activas distantes a menudo se denominan cuásares (objetos cuasiestelares), y las observaciones a menudo solo muestran rastros de la galaxia anfitriona o un chorro que sale. Así es como se ve el objeto de la izquierda. A la derecha, se ve un chorro, mucho más largo que toda la galaxia.



## Núcleos galácticos activos

Agujeros negros masivos, cientos de miles, incluso millones de veces más masivos que el Sol, residen en los núcleos de todas las galaxias. Estos agujeros negros atraen gravitacionalmente la materia circundante, y se forman discos de acreción a su alrededor; estos se llaman núcleos galácticos activos.

Absorber la materia no es fácil, por lo que los núcleos más brillantes son bastante raros: solo una de cada millón de galaxias alcanza este nivel extremo de actividad. La luminosidad de los discos de acreción en estos núcleos puede ser mil veces mayor que la de todas las estrellas de la galaxia anfitriona combinadas.

Estas galaxias activas, al igual que las explosiones de rayos gamma, a menudo se encuentran a distancias cosmológicas, en los límites del Universo observable. Pero hay muchas de ellas, viven mucho tiempo, y siempre que apuntamos nuestros telescopios podemos encontrarlas.



Imagen del agujero negro en el centro de la Vía Láctea, con las líneas del campo magnético indicadas (EHT).

El centro de nuestra Galaxia no se puede ver con telescopios ópticos porque hay demasiado polvo en el camino. Pero las ondas de radio pueden atravesar este polvo y permitirnos ver el centro galáctico. La imagen que se muestra arriba se tomó con ondas de radio milimétricas. Esto permite ver el disco de acreción. La sombra en el centro es donde se encuentra el agujero negro; éste no brilla por sí mismo. La imagen requirió de la cooperación de muchos radiotelescopios en la Tierra, cada uno aportando datos que se usaron para formar la imagen.



## Sgr A* - el centro de la Vía Láctea

¿Y nuestra Galaxia? ¿Está activa? Bueno, depende de cómo se mire. Sí, tiene un agujero negro central, con una masa de cuatro millones de masas solares, pero la materia cae hacia él a un ritmo miles de millones de veces menor que en las galaxias activas. Algo ocurre, pero solo vemos el efecto porque estamos muy cerca de nuestro agujero negro central galáctico.

Gracias al Event Horizon Telescope, por fin tenemos su imagen. Fue difícil de obtener y requirió un gran esfuerzo de equipo. Se ve un disco de acreción de poca masa, hecho de plasma a millones de grados, como el interior del Sol. Brilla en rayos X, pero no solo eso: los electrones rápidos emiten también ondas de radio, y es en esta banda espectral (más precisamente, en el rango de ondas milimétricas) donde se obtuvo la imagen.



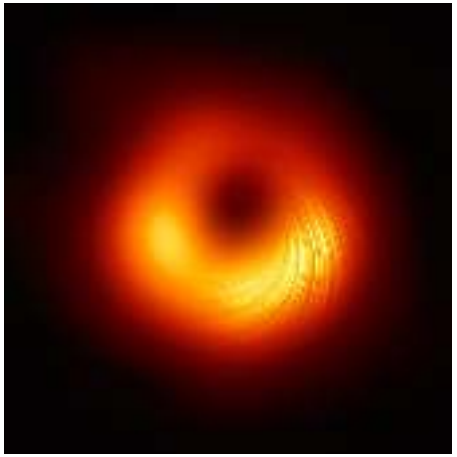
# ¿Puedes adivinar...

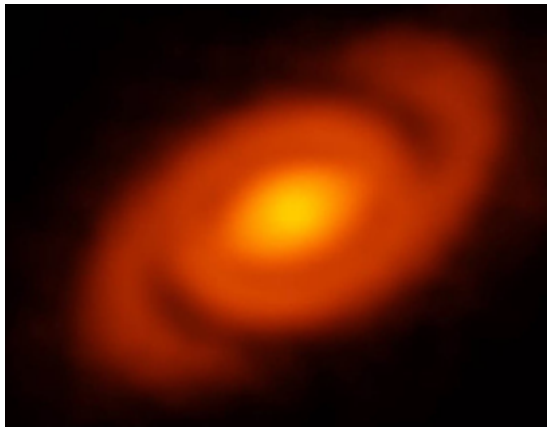






...cuál de estas imágenes no muestra un disco?





Inténtalo.

## 1. Remanente de la Supernova de Tycho

Rayos X (IXPE: NASA/ASI/MSFC/INAF/R. Ferrazzoli, et al.), (Chandra: NASA/CXC/RIKEN & GSFC/T. Sato et al.) Óptico: DSS Procesamiento de imágenes: NASA/CXC/SAO/K. Arcand, L.Frattare & N.Wolk

## 2. La galaxia M87

ESA/Hubble/NASA/D. Thilker

## 3. El disco alrededor de la joven estrella HL Tauri

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

## 4. Anillos de Urano en el infrarrojo

NASA, ESA, CSA, STScI

¡Solo la primera imagen no muestra un disco!

## 5. Imagen del disco alrededor del agujero negro en la galaxia M87

© Colaboración EHT

## 6. Disco protoplanetario alrededor de la estrella Elias 2-27

L. Pérez / B. Saxton / MPIfR / NRAO / AUI / NSF / ALMA / ESO / NAOJ / NASA / JPL Caltech / WISE Team

# Respuesta

# El Universo en mi Bolsillo No. 47

Este librito fue preparado en 2026 por Bożena Czerny del Centro de Física Teórica de la Academia Polaca de Ciencias en Varsovia y revisado por Stan Kurtz de IRyA (Morelia, México).

Portada: foto del disco alrededor de la joven estrella HL Tauri, donde se están formando planetas. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Para obtener más información sobre esta serie de publicaciones y los temas presentados en este librito, visite http://www.tuimp.org

Traducción: Jorge García-Rojas

TUIMP Creative Commons

CC BY NC SA