

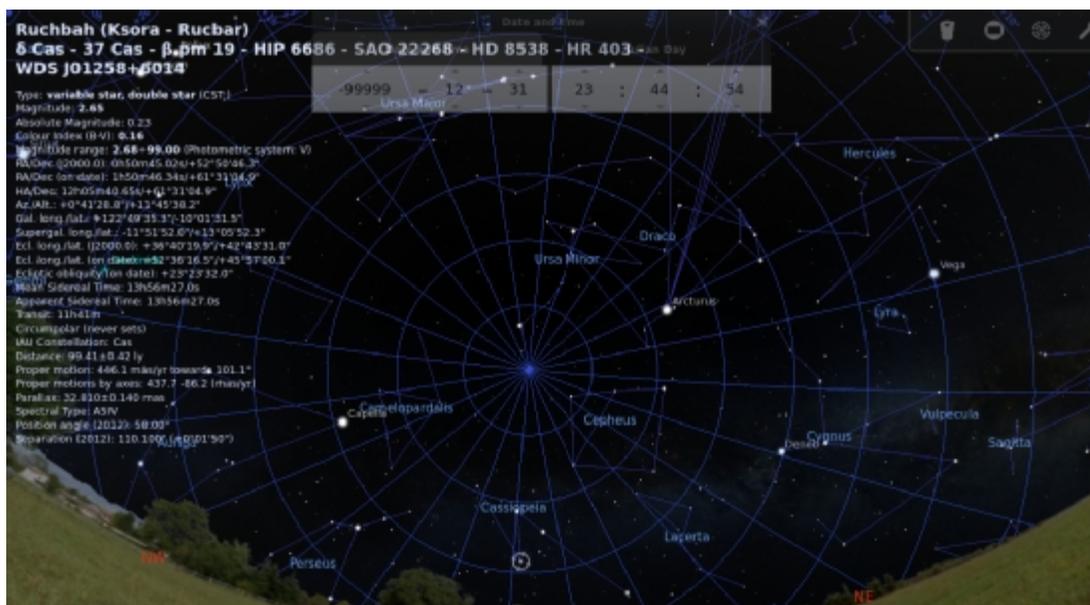
# Noticiero de Física y Química (volumen 3).

## 1. Del año -99999 al +100000 con Stellarium.

### ¿Cómo viajar en el tiempo con aplicaciones como Stellarium?

El cielo nocturno es una máquina del tiempo, y hay aplicaciones que permiten jugar con el tiempo, avanzarlo y retrocederlo, gracias a los datos que poseemos de las estrellas, la Astrometría, y las simulaciones computacionales.

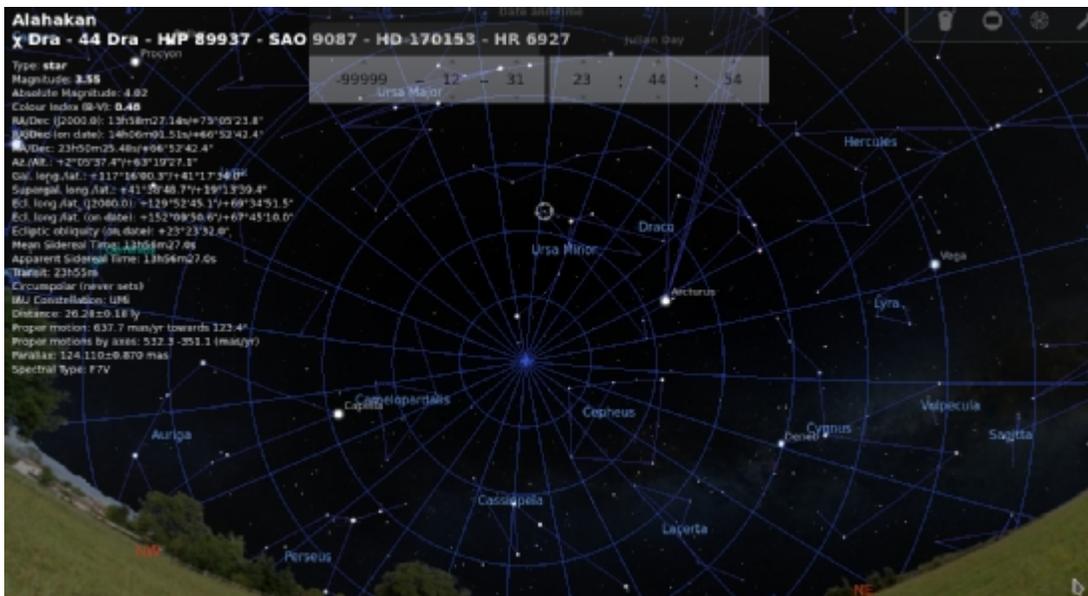
La aplicación Stellarium (hay otras similares como KStars o SkyMap) permite viajar del tiempo y ver, por ejemplo, cuál/cuáles eran la Estrella Polar en el año -99999 (99999 a.C) y cuál es o cuáles serían la/s Estrella/s Polar/es en el año +100000 d.C.



**Figura 1.** Año: -99999(99999 a.C). Una primera opción para estrella polar es la estrella denominada Ruchbah ( $\delta$  Cas).



**Figura 2.** Año: -99999(99999 a.C). Una segunda opción para estrella polar es la estrella denominada Navi ( $\gamma$  Cas).



**Figura 3.** Año: -99999(99999 a.C). Una tercera opción para estrella polar es la estrella denominada Alahakan ( $\chi$  Dra).



**Figura 4.** Año: +100000 d.C (dentro de 97978 años). Una primera opción para estrella polar será Kochab ( $\beta$  UMi).



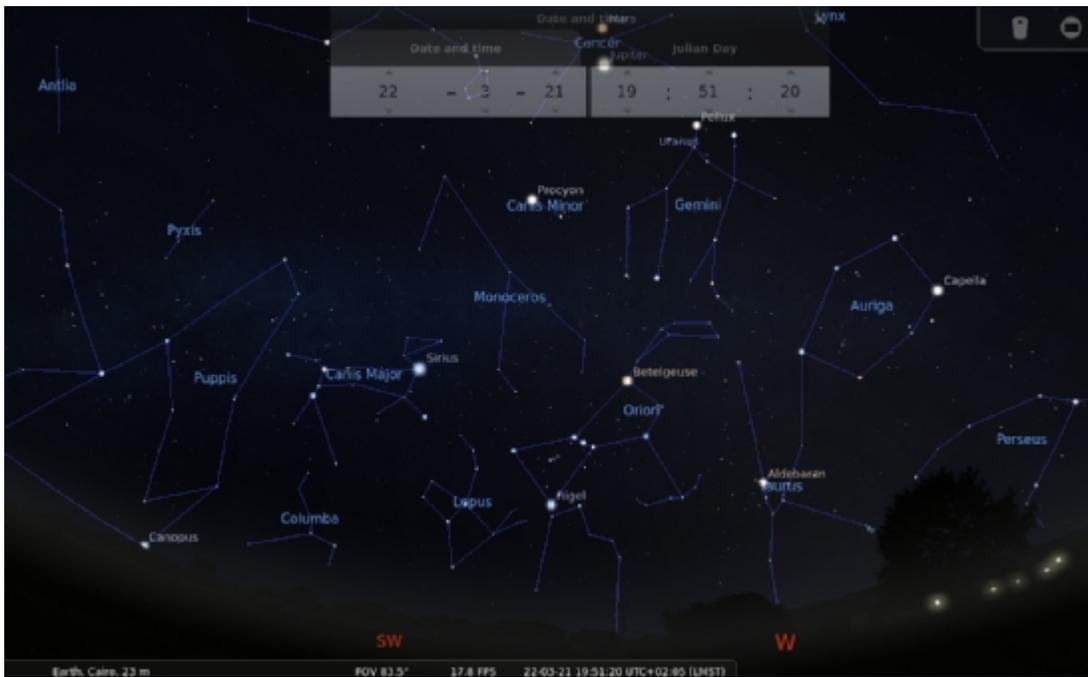
**Figura 5.** Año: +100000 d.C (dentro de 97978 años). Una segunda opción para estrella polar será Thuban ( $\alpha$  Dra).



**Figura 6.** Año: +100000 d.C (dentro de 97978 años). Una tercera opción para estrella polar será Mizar-Alcor ( $\zeta$  UMa).

Además, muchas constelaciones y sus "formas" o asterismos, como puede observarse, cambian con el tiempo, aunque depende claro de la distancia y la constelación, en 100000 años hacia delante ó 99999 años hacia atrás (-99999-2022 años, de facto, en el momento en el que se escribe este artículo) se nota ya el cambio de las formas de muchas de ellas, incluso, cómo algunas constelaciones actuales se funden con otras, mientras que otras "se rompen". Es una muestra también de qué corta es la vida humana actual (unos 100 años) en comparación a los tiempos astronómicos de evolución de estrellas u objetos cósmicos lejanos (los planetas se mueven, como el sol y la luna) más rápido en el fondo de nuestro cielo.

¿Por qué cuento esto? Spoiler: en Caballero Luna/Moon Knight, episodio 1x03, como parte del argumento el dios Khonshu se ve "obligado" a ver el cielo nocturno de hace 2000 años (en Egipto, las imágenes anteriores son de otra ubicación geográfica, en Madrid-Parla). En la serie se ve un cielo que no corresponde al que debería en El Cairo hace 2000 años, que Stellarium dice debería ser:



**Figura 7.** El Cairo, Egipto, hace 2000 años.

Efectivamente, no hay mucha similitud con el cielo mostrado en gran "espectáculo visual" de la serie con Layla, Steven/Mr. Knight y Khonshu (un tipo listo como Steven, ¿no sabe de aplicaciones astronómicas como Stellarium en pleno siglo XXI? Ainssss...Guionistas...).

No obstante, por comparar imágenes...





**Figura 8.** Imágenes del episodio de Moon Knight/Caballero Luna 1x03.

¿Podrían haberse asesorado científicamente mejor en Astronomía? Ciertamente. Pero quizás el presupuesto no daba para ello (una pena).

Sin embargo, es indudable que a todos nos gustaría que nos mirara alguien como Layla a Steven Grant...







**Figura 9.** Layla y Steven Grant. Layla y Mr. Knight.





**Figura 10.** Khonshu, el dios egipcio de la Luna, Moon Knight, Steven Grant y Mark Spektor.

Sin duda, de nuevo estamos ante la diferencia entre la Ciencia-Ficción, la Ficción y los efectos cosméticos frente a la Ciencia. Y hay que saber poner la Ciencia al servicio de la ficción ¿o también dejar que simplemente vuele la imaginación sin razón?

### **Conclusiones:**

- 1) Las estrellas se mueven, no solamente los planetas, en el fondo de la noche, pero es un movimiento generalmente lento que solamente se aprecia tras miles, decenas o cientos de miles (millones o cientos/miles de millones) de años.
- 2) La estrella polar en latitudes circumpolares cambia con el tiempo. Así como la forma de constelaciones y sus asterismos.
- 3) La Ciencia-Ficción y la ficción no se asesoran muchas veces adecuadamente con la Ciencia apropiada (aunque siempre se puede adornar con estética que al parecer funciona bien en las series de Marvel o DC, como mínimo).

Interrogante: ¿te gusta más o menos que una serie sea científicamente realista? Y todo esto, no quita que uno anhele o busque alguien en su vida que le mire como Layla a Steven Grant/Mr. Knight, o Sylvie a Loki, jajajajaja...¿O es eso un ideal imposible de encontrar? Buscan siempre a gente que os haga viajar a otros mundos y haga volar de forma infinita vuestra imaginación y anime el espíritu, alegre el alma. Just imagine an infinite imagination!



## Referencias

[1] La página web de Stellarium (donde incluso puede usarse una versión web en línea de la app): <http://stellarium.org/>

Artículo escrito y editado por Juan F. González.

## 2. Imágenes directas de exoplanetas con lentes gravitacionales.

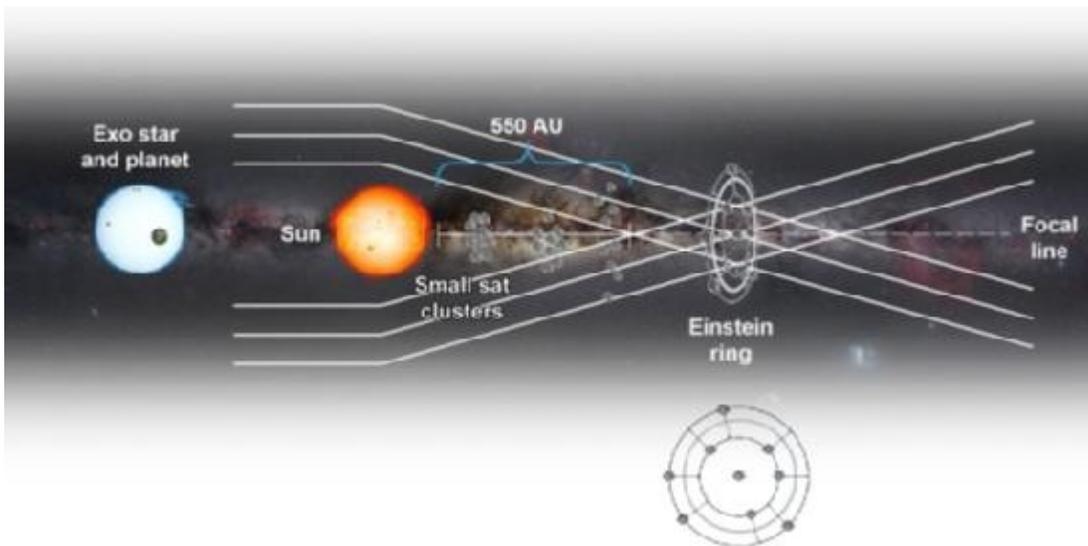
**¿Podríamos ver exoplanetas como vemos hoy a Júpiter y Saturno, Venus o Mercurio, o incluso Plutón? Difícil con los telescopios actuales, e incluso con los nuevos. De momento en principio parecía que estábamos condenados a verlos solamente como efectos o puntos luminosos o en IR con suerte, pero nuevos avances en la tecnología permitirían observar exoplanetas con el uso de las lentes gravitacionales.**

Las lentes gravitacionales son un efecto (comprobado) de la Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein. Su uso para ver objetos se especulaba ya desde hace tiempo, pero como nos cuenta el artículo [1], estamos más cerca de tener una misión en el Sistema Solar que use el efecto lente gravitacional para ver los exoplanetas más cercanos, como por ejemplo Proxima Centauri.

Ahora, el equipo de [2,3] está inmerso en el trabajo de su estudio NIAC de Fase III, con un nuevo artículo disponible en forma de preimpresión. El Dr. Turyshev indica que puede considerarse un resumen, así como una extensión de los resultados anteriores, y hoy quiero analizar la importancia de un aspecto de esta extensión. Existen numerosas razones para llevar una nave espacial a la distancia necesaria para explotar la lente gravitacional del Sol, donde la masa de nuestra estrella desvía la luz de los objetos detrás de ella para producir una lente con propiedades extraordinarias. El documento, titulado "Imágenes resueltas de exoplanetas con la lente gravitacional solar", señala que en longitudes de onda ópticas o casi ópticas, la amplificación de la luz es del orden de  $\sim 2 \cdot 10^{11}$ , con una resolución angular igualmente impresionante. Si podemos llegar a esta región a partir de 550 AU del Sol, podemos realizar imágenes directas de exoplanetas. Estamos hablando de imágenes de varios píxeles, y no solo de enormes gigantes gaseosos. Imágenes de planetas del tamaño de la Tierra alrededor de estrellas cercanas, en la zona habitable y potencialmente albergando vida. Otros métodos de observación dan paso al poder de la lente gravitatoria solar (SGL) cuando consideramos que, según los cálculos de Turyshev y el coautor Viktor Toth, para obtener una imagen de varios píxeles de un planeta de clase Tierra a 30 parsecs con un telescopio de difracción limitada, necesitaríamos una apertura de 90 kilómetros, apenas una propuesta práctica. Los interferómetros ópticos también son problemáticos, ya que incluso requieren líneas de base largas y aperturas de decenas de metros, cada uno equipado con su propio coronógrafo (o posiblemente una pantalla estelar) para bloquear la luz estelar. Como señala el artículo [2]:

"(...)Incluso con estos parámetros, los interferómetros requerirían tiempos de integración de cientos de miles a millones de años para alcanzar una relación señal/ruido (SNR) razonable de  $\geq 7$  para superar el ruido de la luz exozodiacal. Como resultado, la obtención de imágenes resueltas directas de exoplanetas terrestres que se basen en técnicas e instrumentos astronómicos convencionales no es factible(...)"

El tiempo de integración es suficiente el tiempo que lleva recopilar todos los datos que darían como resultado la imagen final. Obviamente, no vamos a enviar una misión a la región de lentes gravitacionales si lleva un millón de años recopilar los datos necesarios.

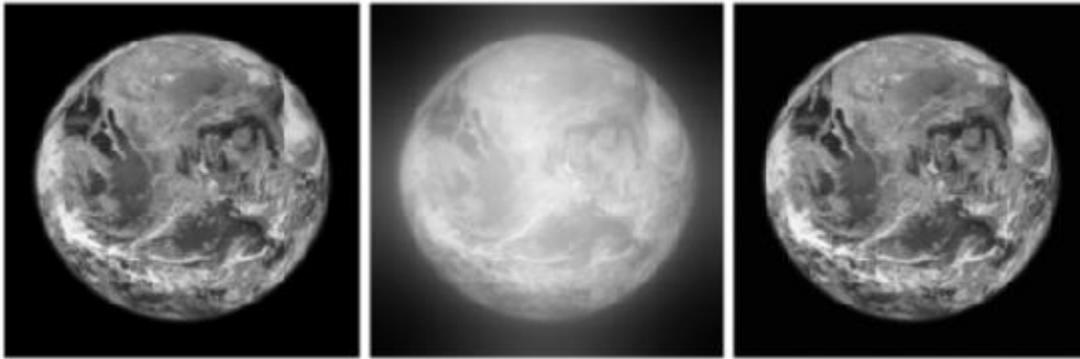


**Figura 1.** Surgirán varios enfoques sobre el tipo de nave espacial que podría volar en una misión al foco gravitatorio del Sol. En esta imagen (no tomada del artículo de Turyshev et al.), se representan enjambres de pequeñas naves espaciales impulsadas por velas solares que podrían volar a un lugar donde la gravedad de nuestro Sol distorsiona y magnifica la luz de un sistema estelar cercano, permitiéndonos capturar una imagen nítida de un exoplaneta similar a la Tierra. Crédito: NASA/La Corporación Aeroespacial.

Pero una vez que alcanzamos la distancia necesaria, ¿cómo recopilamos una imagen? El equipo de Turyshev ha estado estudiando las capacidades de generación de imágenes de la lente gravitacional y analizando sus propiedades ópticas, lo que ha permitido a los científicos modelar la deconvolución de una imagen adquirida por una nave espacial a estas distancias del Sol. Deconvolución significa reducir el ruido y, por lo tanto, agudizar la imagen con un contraste mejorado, como lo hacemos cuando eliminamos los efectos atmosféricos de las imágenes tomadas desde el suelo. Todo esto se vuelve problemático cuando usamos la lente gravitacional del Sol, ya que estamos observando la luz de un exoplaneta en forma de un "anillo de Einstein" alrededor del Sol, donde la luz reflejada del objeto de fondo aparece en forma de círculo. Esto se encuentra con complicaciones de la corona del Sol, que produce un ruido significativo en la señal. El documento examina el trabajo del equipo en coronógrafos solares para bloquear la luz coronal mientras deja pasar la luz del anillo de Einstein. Un coronógrafo anular a bordo de la nave espacial parece una solución viable. Para más información sobre esto, consulte el documento. Un estudio anterior analizó el papel de la corona solar en la reducción de la relación señal-ruido, lo que extendió el tiempo necesario para integrar la

imagen completa. En ese trabajo, el tiempo necesario para recuperar una imagen compleja de varios píxeles de un exoplaneta cercano estaba mucho más allá del alcance de una misión práctica. Pero el nuevo artículo presenta un modelo actualizado para el modelado de la corona solar cuyos resultados han sido validados en simulaciones numéricas bajo varios métodos de desconvolución. Lo que salta a la vista aquí es la cuestión del espaciado de píxeles en el plano de la imagen. Los resultados demuestran que una misión para obtener imágenes de exoplanetas de alta resolución es, en palabras de los autores, "manifiestamente factible". El espacio entre píxeles es un problema debido al tamaño de la imagen que intentamos recuperar. La imagen de un exoplaneta del tamaño de la Tierra a 1,3 parsecs, que es esencialmente la distancia de Próxima Centauri a la Tierra, cuando se proyecta en un plano de imagen a 1200 UA del Sol, tiene casi 60 kilómetros de ancho. Estamos tratando de crear una imagen de megapíxeles y debemos tener en cuenta el hecho de que los píxeles de la imagen individual no son adyacentes. En este caso, están a 60 metros de distancia. Resulta que esto en realidad reduce el tiempo de integración de los datos para producir la imagen que buscamos. Del artículo [pc es pársec, 3.26 años-luz]:

"(...)Estimamos el impacto de los parámetros de la misión en el tiempo de integración resultante. Encontramos que, como se esperaba, el tiempo de integración es proporcional al cuadrado del número total de píxeles que se están fotografiando. Sin embargo, también encontramos que el tiempo de integración se reduce cuando los píxeles no son adyacentes, a una tasa proporcional al cuadrado inverso del espacio entre píxeles(...). En consecuencia, utilizando un planeta ficticio similar a la Tierra en el sistema Próxima Centauri a  $z_0 = 1.3pc$  de la Tierra, descubrimos que un tiempo de integración acumulativo total de menos de 2 meses es suficiente para obtener una imagen desconvolucionada de alta calidad a escala de megapíxeles de ese planeta. planeta. Además, incluso para un planeta a 30 pc de la Tierra, es posible una deconvolución de buena calidad a resoluciones intermedias usando tiempos de integración que son cómodamente consistentes con una misión espacial realista(...)."



**Figura 2.** Esta es la Figura 5 del artículo. En la leyenda, PSF se refiere a la función de dispersión de puntos, que es esencialmente la respuesta del instrumento de recolección de luz al objeto estudiado. Mide cuánto ha sido distorsionada la luz por el instrumento. Aquí, el propio SGL se considera como la fuente de la distorsión. El título completo: Imágenes monocromáticas simuladas de una exo-Tierra en  $z_0 = 1.3pc$  desde  $z = 1200AU$  en  $N = 1024 \times 1024$  píxeles de resolución usando el SGL. Izquierda: la imagen original. Medio: la imagen convolucionada con SGL PSF, con ruido agregado en  $SNRC = 187$ , consistente con un tiempo de integración total de  $\sim 47$  días. Derecha: el resultado de la deconvolución, dando una imagen con  $SNRR = 11.4$ . Crédito: Turyshev et al.

La lente gravitacional solar no se presenta como un único punto focal sino como un cilindro, lo que significa que podemos permanecer dentro del foco a medida que nos alejamos del Sol. Los autores encuentran que a medida que la nave espacial se aleja cada vez más, la relación señal/ruido mejora. Este aumento en la resolución persiste incluso con los tiempos de integración más cortos, lo que nos permite estudiar efectos como la rotación planetaria. Este es, por supuesto, un trabajo en curso, pero estos resultados no pueden sino verse como alentadores para el concepto de una misión al foco de gravedad, brindándonos información invaluable para futuras sondas interestelares.

## Referencias

- [1] *Good News for a Gravitational Focus Mission*, by Paul Gilster on April 19, 2022. Centauri Dreams website, URL: <https://www.centauri-dreams.org/2022/04/19/good-news-for-a-gravitational-focus-mission/>
- [2] Turyshev & Toth., “*Resolved imaging of exoplanets with the solar gravitational lens*”, available for now only as a [preprint](#).

[3] The Phase II NIAC report is Turyshev et al., “*Direct Multipixel Imaging and Spectroscopy of an Exoplanet with a Solar Gravity Lens Mission*”, Final Report NASA Innovative Advanced Concepts Phase II (2020). Read it here: <https://arxiv.org/pdf/2002.11871.pdf>

### Apéndice: La fórmula de la lente gravitacional

En la Teoría de la Relatividad General (otras correcciones podrían considerarse), el efecto de la lente gravitacional de un objeto de masa  $M$  genera un ángulo de deflección

$$\Theta_E = \frac{4GM}{c^2 r} .$$

Un objeto como el Sol, de radio  $r = R_\odot$ ,  $M = M_\odot$  genera una deflección  $\Theta_E(R_\odot) \approx \frac{R_\odot}{D_F}$ , donde  $D_F$  sería la focal. Despejando:

$$D_F = \frac{R_\odot}{4GM_\odot / (R_\odot c^2)} \approx 8.2 \cdot 10^{13} m \approx 550 UA = 76lh$$

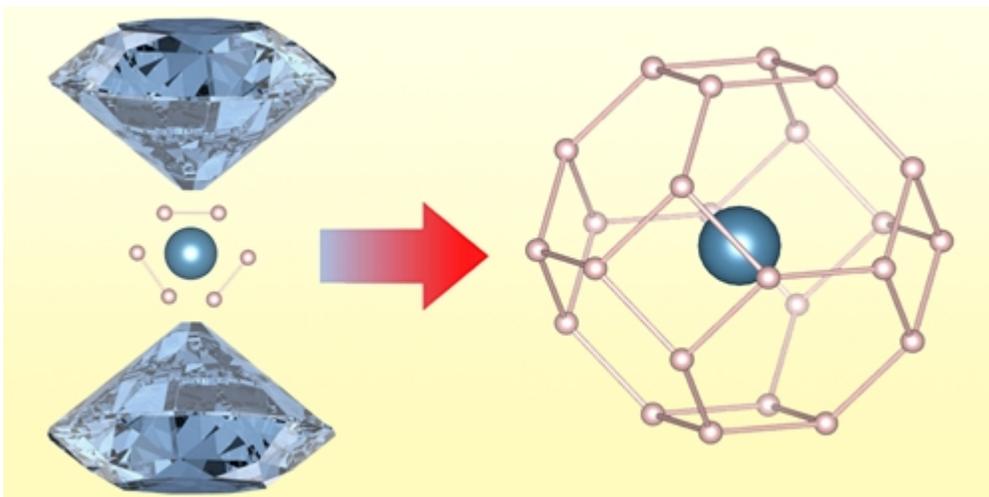
Generalizando este ejemplo, se pueden buscar otros objetos y otras configuraciones, pero son más problemáticas en general. Uno pensaría en usar la Tierra, pero eso no resulta práctico porque no es suficientemente luminosa a la distancia focal requerida.

Artículo traducido, editado y escrito por Juan F. González.

### 3. Nuevo elusivo superhidruro superconductor a alta presión sintetizado.

#### Sintetizado elusivo superhidruro superconductor

20 de abril de 2022. Physics 15, s5.



**Figura 1.** Credits: Hongbo Wang/Jilin University.

Una década después de ser teorizado, científicos en China han sintetizado un nuevo superconductor a alta presión, el superhidruro  $\text{CaH}_6$ .

Entre las diversas rutas que los físicos esperan que puedan conducir a superconductores prácticos a temperatura ambiente, una de las más fructíferas implica compuestos binarios ricos en hidrógeno que contienen tierras raras o elementos actínidos. Ya se ha demostrado que uno de estos compuestos, el superhidruro de lantano, es superconductor a temperaturas de hasta 260 K, pero solo bajo presiones superiores a 170 GPa (ver Punto de vista: Hacia la superconductividad a temperatura ambiente). Ahora, Liang Ma y sus colegas de la Universidad de Jilin en China han ampliado la búsqueda al sintetizar un nuevo tipo de superhidruro que contiene un metal alcalinotérreo en lugar de un metal de tierras raras o un actínido [1]. Los investigadores dicen que la síntesis del nuevo material, hidruro de calcio clatrato ( $\text{CaH}_6$ ), abre la puerta a una clase de superconductores que actualmente está poco explorada. La estructura y propiedades superconductoras de  $\text{CaH}_6$  se predijeron por primera vez en 2012. Sin embargo, los intentos posteriores de sintetizar el compuesto no lograron superar obstáculos como la alta reactividad entre el calcio y el hidrógeno, que, cuando se juntan a bajas presiones, pueden dar como resultado hidruros con bajo contenido de hidrógeno. En su nuevo trabajo, Ma y sus colegas resolvieron este problema utilizando borano de amoníaco ( $\text{BH}_3\text{NH}_3$ ) como fuente de hidrógeno, lo que les permitió sintetizar el compuesto por reacción directa entre el calcio y el hidrógeno a alta temperatura y presión.

En los experimentos del equipo, el  $\text{CaH}_6$  sintetizado exhibió propiedades superconductoras muy cercanas a las predicciones teóricas, alcanzando una temperatura crítica de 215 K a 172 GPa. Aunque esta temperatura está por debajo del récord establecido, bajo una presión igualmente poco práctica, por el superhidruro de lantano, los investigadores esperan que los experimentos con otros superhidruros de metales alcalinotérreos eventualmente conduzcan a la superconductividad a temperatura ambiente en condiciones más fáciles de lograr.

–Sarah Wells, editora del artículo original. Sarah Wells es una periodista científica independiente con sede en Boston.

## Referencias

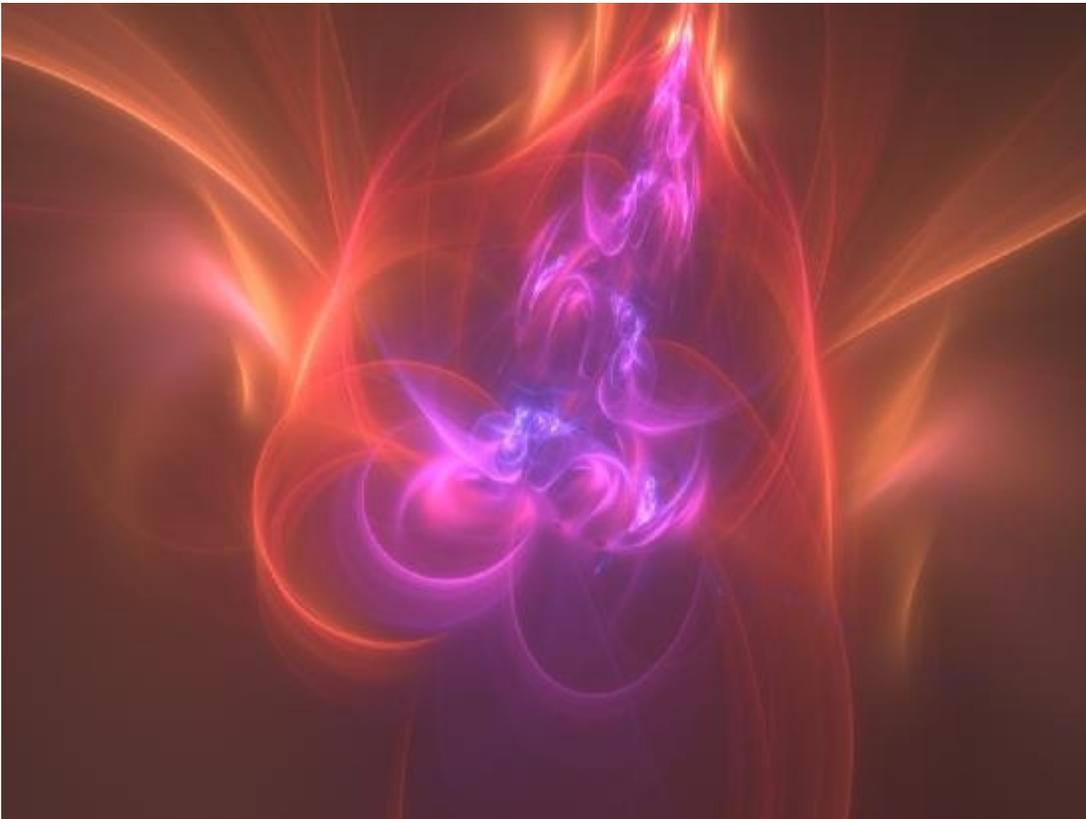
[1] *High-Temperature Superconducting Phase in Clathrate Calcium Hydride  $\text{CaH}_6$  up to 215 K at a Pressure of 172 GPa*, Liang Ma, Kui Wang, Yu Xie, Xin Yang, Yingying

Wang, Mi Zhou, Hanyu Liu, Xiaohui Yu, Yongsheng Zhao, Hongbo Wang, Guangtao Liu, and Yanming Ma. [Phys. Rev. Lett. 128, 167001 \(2022\)](#). Published April 20, 2022. ArXiv: <https://arxiv.org/abs/2103.16282>

[2] *Elusive Superconducting Superhydride Synthesized*, Physics, APS. Sarah Wells. URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/s53>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

#### 4. Sincronización topológica de sistemas caóticos.



**Figura 1.** ¿Orden en el caos? Credit: CC0 Public Domain. Créditos: CC0, dominio público.

¿Podemos encontrar orden en el caos? Los físicos han demostrado, por primera vez, que los sistemas caóticos pueden sincronizarse debido a estructuras estables que emergen de la actividad caótica. Estas estructuras se conocen como fractales, formas con patrones que se repiten una y otra vez en diferentes escalas de la forma. A medida que se acoplan los sistemas caóticos, las estructuras fractales de los diferentes sistemas comenzarán a

asimilarse entre sí, tomando la misma forma, haciendo que los sistemas se sincronicen. Si los sistemas están fuertemente acoplados, las estructuras fractales de los dos sistemas eventualmente se volverán idénticas, provocando una sincronización completa entre los sistemas. Estos hallazgos nos ayudan a comprender cómo la sincronización y la autoorganización pueden surgir de sistemas que, para empezar, no tenían estas propiedades, como los sistemas caóticos y los sistemas biológicos. Uno de los mayores desafíos de la física actual es comprender los sistemas caóticos. Caos, en física, tiene un significado muy específico. Los sistemas caóticos se comportan como sistemas aleatorios. Aunque siguen leyes deterministas, su dinámica aún cambiará erráticamente. Debido al conocido "efecto mariposa", su comportamiento futuro es impredecible (como el sistema meteorológico, por ejemplo). Aunque los sistemas caóticos parecen aleatorios, no lo son, y podemos encontrar orden en el caos. De la actividad caótica surge una nueva estructura o patrón extraño conocido como atractor extraño. Si pasa suficiente tiempo, cada sistema caótico atraerá a su atractor extraño único y permanecerá en este patrón. Lo extraño de estos patrones es que están compuestos de fractales, estructuras con los mismos patrones que se repiten una y otra vez en diferentes escalas del fractal (muy parecido a la estructura ramificada de un árbol, por ejemplo). De hecho, los atractores extraños suelen estar compuestos por múltiples estructuras fractales. Diferentes conjuntos de estados del atractor extraño formarán parte de diferentes fractales y aunque el sistema saltará erráticamente de un estado a otro, estos fractales se mantendrán estables a lo largo de la actividad caótica del sistema.

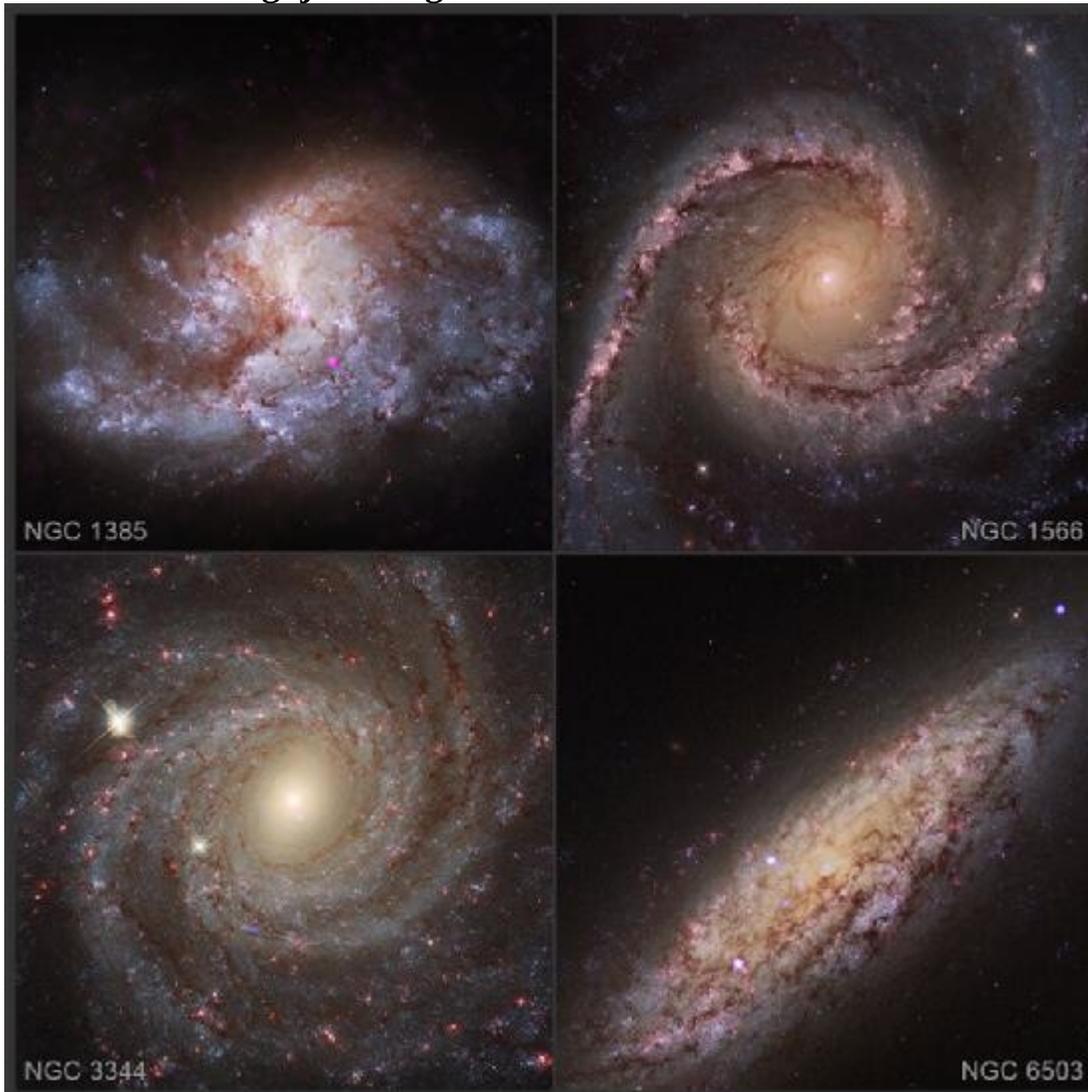
Debido al efecto mariposa, los sistemas caóticos parecen desafiar la sincronía. Su comportamiento errático extremo sugiere que dos sistemas caóticos acoplados no pueden sincronizarse y tener la misma actividad. Sin embargo, los físicos descubrieron en los años 80 que los sistemas caóticos se sincronizan. ¿Pero como puede ser eso? Un estudio realizado por un grupo de físicos de la Universidad Bar-Ilan en Israel, publicado recientemente en la revista *Scientific Reports*, sugiere una nueva respuesta a esta desconcertante pregunta. Según la investigación, dirigida por el Dr. Nir Lahav, la aparición de los fractales estables es el elemento clave que otorga a los sistemas caóticos la capacidad de sincronizarse. Demostraron que a medida que se acoplan los sistemas caóticos, las estructuras fractales comienzan a asimilarse entre sí, lo que hace que los sistemas se sincronicen. Si los sistemas están fuertemente acoplados, las estructuras fractales de los dos sistemas eventualmente se volverán idénticas, provocando una sincronización completa entre los sistemas. Llamaron a este fenómeno sincronización

topológica. En acoplamiento bajo, solo pequeñas cantidades de las estructuras fractales se volverán iguales y, a medida que crezca el acoplamiento entre los sistemas, más estructuras fractales se volverán idénticas. Para su sorpresa, los físicos encontraron que existe un rasgo específico para el proceso de cómo los fractales de un sistema toman una forma similar a los fractales del otro. Descubrieron que en sistemas caóticos completamente diferentes este proceso mantiene la misma forma. Cuando los dos sistemas caóticos están débilmente acoplados, el proceso generalmente comienza con estructuras fractales particulares que se vuelven idénticas. Estos son conjuntos de fractales dispersos que rara vez surgirán de la actividad del sistema caótico. La sincronización comienza cuando estos raros fractales toman una forma similar en ambos sistemas. Para obtener una sincronización completa, debe haber un fuerte acoplamiento entre los sistemas. Solo entonces los fractales dominantes, que emergen la mayor parte del tiempo de la actividad del sistema, también se volverán iguales. Llamaron a este proceso el Efecto Cremallera (Zipper Effect), porque al describirlo matemáticamente, parece que a medida que el acoplamiento entre sistemas caóticos se vuelve más fuerte, gradualmente se "comprimirán" más fractales para que sean iguales. Estos hallazgos nos ayudan a comprender cómo la sincronización y la autoorganización pueden surgir de sistemas que, para empezar, no tenían estas propiedades. Por ejemplo, observar este proceso reveló nuevos conocimientos sobre la sincronización caótica en casos que nunca antes se habían estudiado. Por lo general, los físicos estudian la sincronización entre sistemas caóticos similares con pequeños cambios de parámetros entre ellos. Usando la sincronización topológica, el grupo logró expandir el estudio de la sincronización a casos extremos de sistemas caóticos que tienen una gran diferencia entre sus parámetros. La sincronización topológica podría incluso ayudarnos a arrojar luz sobre cómo las neuronas del cerebro se sincronizan entre sí. Existe alguna evidencia de que la actividad neuronal en el cerebro es caótica. Si es así, la sincronización topológica puede describir cómo surge la sincronización de la vasta actividad neuronal del cerebro utilizando las estructuras fractales estables.

## Referencias

- [1] Nir Lahav et al, *Topological synchronization of chaotic systems*, Scientific Reports (2022). DOI: [10.1038/s41598-022-06262-z](https://doi.org/10.1038/s41598-022-06262-z)
- [2] April 22, 2022, *Topological synchronization of chaotic systems*, by Bar-Ilan University. Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-04-topological-synchronization-chaotic.html>

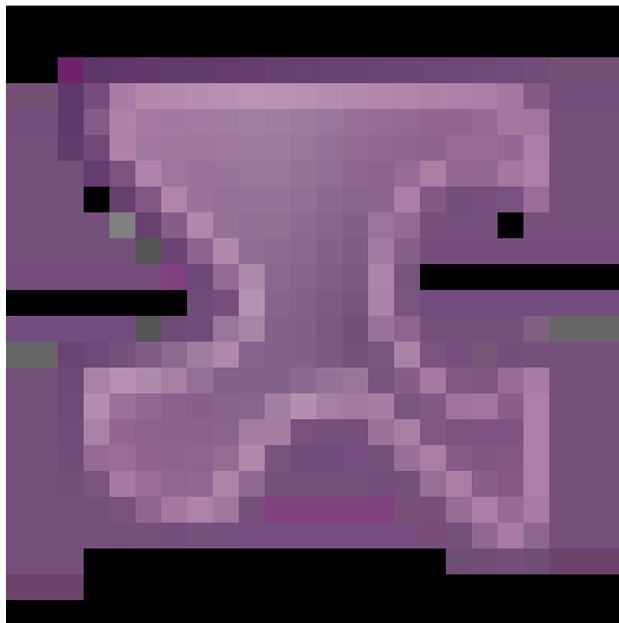
### 5. En busca de agujeros negros de masa intermedia.



**Figura 1.** Credit: X-ray: NASA/CXC/Washington State Univ./V. Baldassare et al.; Optical: NASA/ESA/STScI. Crédito: Rayos X. Universidad de Washington/NASA/CXC./V.Baldassare et al.; Óptica: NASA/ESA/STScI.

En algunas de las partes más pobladas del universo, los agujeros negros pueden estar destrozando miles de estrellas y usando sus restos para acumular peso. Este descubrimiento, realizado con el Observatorio de rayos X Chandra de la NASA, podría ayudar a responder preguntas clave sobre una clase esquivada de agujeros negros. Si bien los astrónomos han encontrado previamente muchos ejemplos de agujeros negros que destruyen estrellas, se ha visto poca evidencia de destrucción a una escala tan grande. Este tipo de demolición estelar podría explicar cómo se forman agujeros negros de

tamaño medio a través del crecimiento descontrolado de un agujero negro mucho más pequeño. Los astrónomos han realizado estudios detallados de dos clases distintas de agujeros negros. La variedad más pequeña son los agujeros negros de "masa estelar" que normalmente pesan entre 5 y 30 veces la masa del Sol. En el otro extremo del espectro están los agujeros negros supermasivos que viven en medio de la mayoría de las galaxias grandes, con un peso de millones o incluso miles de millones de masas solares. En los últimos años, también ha habido evidencia de que existe una clase intermedia llamada agujeros negros de "masa intermedia". El último estudio, utilizando datos de Chandra de densos cúmulos estelares en los centros de 108 galaxias, proporciona evidencia sobre dónde podrían formarse estos agujeros negros de tamaño medio y cómo crecen. "Cuando las estrellas están tan juntas como en estos cúmulos extremadamente densos, proporcionan un caldo de cultivo viable para los agujeros negros de masa intermedia", dijo Vivienne Baldassare de la Universidad Estatal de Washington en Pullman, Washington, quien dirigió el estudio. "Y parece que cuanto más denso es el cúmulo de estrellas, más probable es que contenga un agujero negro en crecimiento".



**Vídeo 1.** Crédito: Centro de rayos X Chandra.

El trabajo teórico del equipo implica que si la densidad de estrellas en un cúmulo, el número empaquetado en un volumen dado, está por encima de un valor umbral, un agujero negro de masa estelar en el centro del cúmulo experimentará un rápido crecimiento a medida que se acerca, tritura e ingiere las estrellas abundantes en las proximidades. De los cúmulos en el nuevo estudio de Chandra, los que tenían una densidad por encima de este umbral tenían aproximadamente el doble de probabilidades de contener un agujero negro en crecimiento que los que estaban por debajo del umbral de densidad. El umbral de densidad depende también de la rapidez con la que se mueven las estrellas en los cúmulos. "Este es uno de los ejemplos más espectaculares que hemos visto de la naturaleza insaciable de los agujeros negros, porque miles o decenas de miles de estrellas pueden consumirse durante su crecimiento", dijo Nicholas C. Stone, coautor de la Universidad Hebrea. Universidad de Jerusalén. "El crecimiento desbocado solo comienza a desacelerarse una vez que el suministro de estrellas comienza a agotarse". Otras formas en que los científicos han considerado que podrían formarse agujeros negros masivos en el centro de las galaxias incluyen el colapso de una nube gigantesca de gas y polvo o el colapso de estrellas de gran tamaño directamente en un agujero negro de tamaño mediano. Ambas ideas requieren condiciones que los científicos creen que solo existieron en los primeros cientos de millones de años después del Big Bang. El proceso sugerido por el último estudio de Chandra puede ocurrir en cualquier momento de la historia del universo, lo que implica que los agujeros negros de masa intermedia pueden formarse miles de millones de años después del Big Bang, hasta el día de hoy.

El crecimiento de agujeros negros en densos cúmulos estelares también podría explicar la detección de ondas gravitacionales por parte del Observatorio de ondas gravitacionales con interferómetro láser (LIGO) de algunos agujeros negros con masas entre 50 y 100 veces la del Sol. Tales agujeros negros no son predichos por la mayoría de los modelos del colapso de estrellas masivas. "Nuestro trabajo no prueba que el crecimiento descontrolado de agujeros negros ocurra en los cúmulos de estrellas", dijo Adi Foord, coautor de la Universidad de Stanford en Palo Alto, California. "Pero con observaciones de rayos X adicionales y modelos teóricos adicionales, podríamos hacer un caso aún más fuerte". Un artículo que describe estos resultados fue aceptado en *The Astrophysical Journal*. Del artículo [3], leemos:

"Una de las mayores preguntas abiertas en la astrofísica de agujeros negros en este momento es cómo se forman los agujeros negros que tienen un tamaño entre un agujero negro de masa estelar y un agujero negro supermasivo", dijo Vivienne Baldassare, autora

principal del estudio y profesora asistente. de física y astronomía en la Universidad Estatal de Washington. "La mayoría de las teorías para su formación se basan en condiciones que se encuentran solo en el universo muy primitivo. Queríamos probar otra teoría que dice que pueden formarse a lo largo del tiempo cósmico en estos cúmulos estelares realmente densos". Durante décadas, los astrónomos han detectado agujeros negros más pequeños con una masa equivalente a unos pocos soles o agujeros negros gigantes con una masa similar a millones de soles, pero el eslabón perdido de los agujeros negros entre esos tamaños ha eludido el descubrimiento. Durante mucho tiempo se ha teorizado sobre la existencia de estos agujeros negros masivos o de tamaño intermedio, pero encontrarlos ha resultado difícil ya que la luz emitida por los objetos que caen en ellos no es fácil de detectar. Para abordar este desafío, el equipo de investigación utilizó el Observatorio de Rayos X Chandra, el telescopio de rayos X más poderoso del mundo, para buscar firmas de rayos X de agujeros negros en cúmulos de estrellas nucleares en 108 galaxias diferentes. "Chandra es básicamente el único instrumento en el mundo que puede hacer este tipo de trabajo", dijo Baldassare. "Es capaz de identificar las ubicaciones de las fuentes de rayos X con mucha precisión, lo cual es importante cuando se buscan firmas de agujeros negros en estos cúmulos de estrellas nucleares muy compactos". Los cúmulos de estrellas nucleares se encuentran en el centro de la mayoría de las galaxias pequeñas o de baja masa y son los entornos estelares más densos conocidos. Investigaciones anteriores han identificado la presencia de agujeros negros en cúmulos de estrellas nucleares, pero se sabe poco sobre las propiedades específicas que hacen que estas regiones sean propicias para la formación de agujeros negros. El análisis de Baldassare y sus colegas mostró que los cúmulos de estrellas nucleares que estaban por encima de un cierto umbral de masa y densidad emitían las firmas de rayos X indicativas de un agujero negro al doble de la velocidad de los que estaban por debajo del umbral. Su trabajo proporciona la primera evidencia observacional que respalda la teoría de que los agujeros negros de tamaño intermedio pueden formarse en cúmulos de estrellas nucleares. "Básicamente, significa que los cúmulos de estrellas que son lo suficientemente masivos y compactos deberían poder formar un agujero negro", dijo Baldassare. "Es emocionante porque esperamos que muchos de estos agujeros negros estén en el régimen de masa intermedio entre los agujeros negros supermasivos y los agujeros negros de masa estelar donde hay muy poca evidencia de su existencia". El trabajo del equipo de investigación no solo sugiere que los agujeros negros de tamaño intermedio pueden formarse en cúmulos de estrellas nucleares, sino que también proporciona un mecanismo por el cual podrían formarse

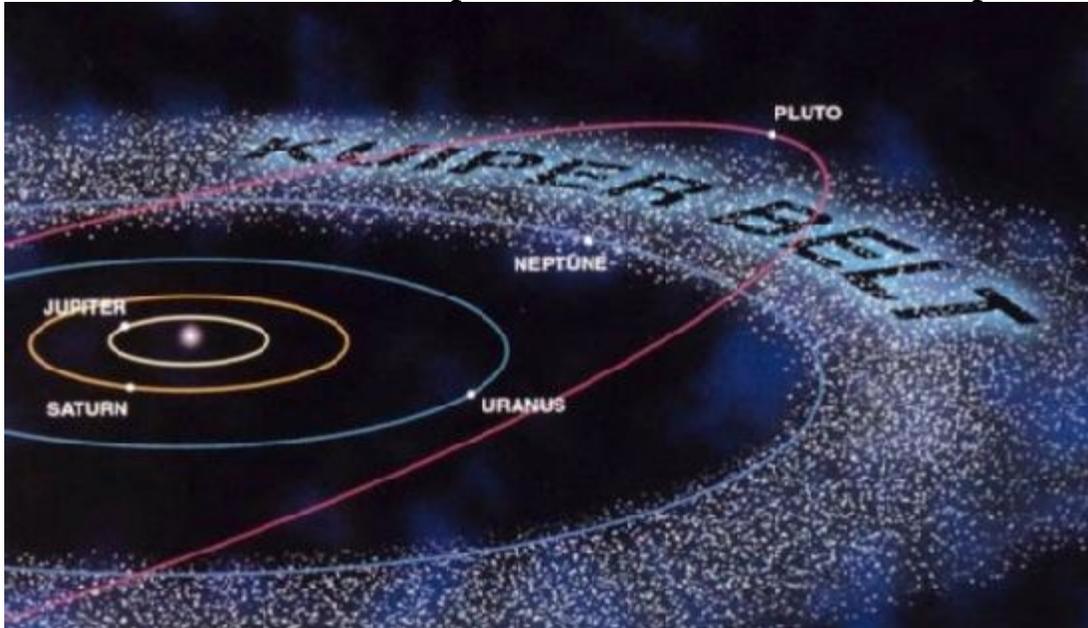
potencialmente a lo largo del tiempo cósmico en lugar de solo durante los primeros miles de millones de años del universo. "Una de las teorías que prevalecen es que los agujeros negros masivos solo podrían haberse formado durante el universo primitivo cuando las cosas eran más densas", dijo Baldassare. "Nuestra investigación es más consistente con la imagen en la que no es necesario que se formen agujeros negros masivos en el universo muy temprano, sino que podrían continuar formándose a lo largo del tiempo cósmico en estos entornos particulares". En el futuro, los investigadores planean continuar usando Chandra para recopilar mediciones de rayos X de cúmulos de estrellas nucleares con el objetivo final de aprender más sobre las condiciones específicas en las que se pueden formar agujeros negros masivos.

## Referencias

- [1] Vivienne F. Baldassare et al, *Massive black hole formation in dense stellar environments: Enhanced X-ray detection rates in high velocity dispersion nuclear star clusters*. arXiv:2203.02517 [astro-ph.HE] [arxiv.org/abs/2203.02517](https://arxiv.org/abs/2203.02517)
- [2] Vivienne F. Baldassare, Nicholas C. Stone, Adi Foord, Elena Gallo, Jeremiah P. Ostriker. Massive Black Hole Formation in Dense Stellar Environments: Enhanced X-Ray Detection Rates in High-velocity Dispersion Nuclear Star Clusters. *The Astrophysical Journal*, 2022; 929 (1): 84 DOI: [10.3847/1538-4357/ac5f51](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac5f51)
- [3] *Astronomers identify likely location of medium-sized black holes*, Date: April 20, 2022  
Source: Washington State University. Science Daily by Will Ferguson. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/04/220420133619.htm>
- [4] April 20, 2022. *Black holes raze thousands of stars to fuel growth*, by Chandra X-ray Center. URL: <https://phys.org/news/2022-04-black-holes-raze-thousands-stars.html>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

## 6. La órbita de Plutón es sorprendentemente inestable en sus proximidades.



**Figura 1.** Plutón y sus cohortes en el el asteroide rico en hilo del Cinturón de Kuiper, más allá de la órbita de Neptuno. Créditos: NASA. Pluto and its cohorts in the icy-asteroid-rich Kuiper Belt beyond the orbit of Neptune. Credit: NASA.

En 1930, el astrónomo Clyde Tombaugh descubrió el legendario "Noveno Planeta" (o "Planeta X") mientras trabajaba en el Observatorio Lowell en Flagstaff, Arizona. La existencia de este cuerpo había sido predicha previamente en base a perturbaciones en la órbita de Urano y Neptuno. Después de recibir más de 1000 sugerencias de todo el mundo y un debate entre el personal del Observatorio, este objeto recién descubierto recibió el nombre de Plutón, que fue propuesto por una joven estudiante de Oxford (Venetia Burney).

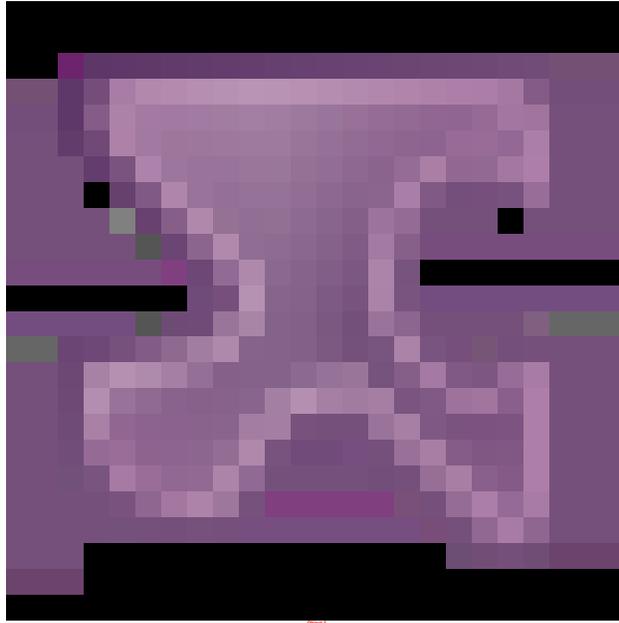
Desde entonces, Plutón ha sido objeto de un estudio considerable, una controversia de nombres y fue visitado por primera vez el 14 de julio de 2015 por la misión New Horizons. Una cosa que ha quedado clara desde el principio es la naturaleza de la órbita de Plutón, que es muy excéntrica e inclinada. Según una nueva investigación, la órbita de Plutón es relativamente estable en escalas de tiempo más largas, pero está sujeta a perturbaciones y cambios caóticos en escalas de tiempo más cortas.

La investigación fue realizada por el Dr. Renu Malhotra, profesor de investigación científica Louise Foucar Marshall en el Laboratorio Lunar y Planetario (LPL) de la Universidad de Arizona; y Takashi Ito, profesor asociado del Centro de Investigación de Exploración Planetaria (PERC) del Instituto Tecnológico de Chiba y del Centro de

Astrofísica Computacional del Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ). El artículo que describe sus hallazgos apareció recientemente en las Actas de la Academia Nacional de Ciencias. Para desglosarlo, la órbita de Plutón es radicalmente diferente a la de los planetas, que siguen órbitas casi circulares alrededor del Sol cerca de su ecuador, proyectado hacia afuera (también conocido como la eclíptica). En contraste, Plutón tarda 248 años en completar una sola órbita alrededor del Sol y sigue una órbita altamente elíptica que está inclinada  $17^\circ$  con respecto al plano de la eclíptica del Sistema Solar. La naturaleza excéntrica de su órbita también significa que Plutón pasa 20 años durante cada período orbitando más cerca del Sol que Neptuno.

La naturaleza de la órbita de Plutón es un misterio perdurable y algo de lo que los astrónomos se dieron cuenta muy poco tiempo después de su descubrimiento. Desde entonces, se han realizado múltiples esfuerzos para simular el pasado y el futuro de su órbita, lo que reveló una sorprendente propiedad que protege a Plutón de colisionar con Neptuno. Como le dijo el Dr. Malhotra a Universe Today por correo electrónico, esta es la condición de resonancia orbital conocida como "resonancia de movimiento medio": "Esta condición asegura que en el momento en que Plutón está a la misma distancia heliocéntrica que Neptuno, su longitud está a casi 90 grados de la de Neptuno. Más tarde, se descubrió otra propiedad peculiar de la órbita de Plutón: Plutón llega al perihelio en un lugar muy por encima del plano de la órbita de Neptuno; este es un tipo diferente de resonancia orbital conocida como la 'oscilación vZLK(von Zeipel-Lidov-Kozai"'.

Esta abreviatura se refiere a von Zeipel, Lidov y Kozai, quienes estudiaron este fenómeno como parte del "problema de los tres cuerpos". Este problema consiste en tomar las posiciones y velocidades iniciales de tres objetos masivos (desde que se extendió para incluir partículas) y resolver su movimiento posterior de acuerdo con las Tres Leyes del Movimiento de Newton y su Teoría de la Gravitación Universal, para las cuales no existe una solución general. Como agregó el Dr. Malhotra:



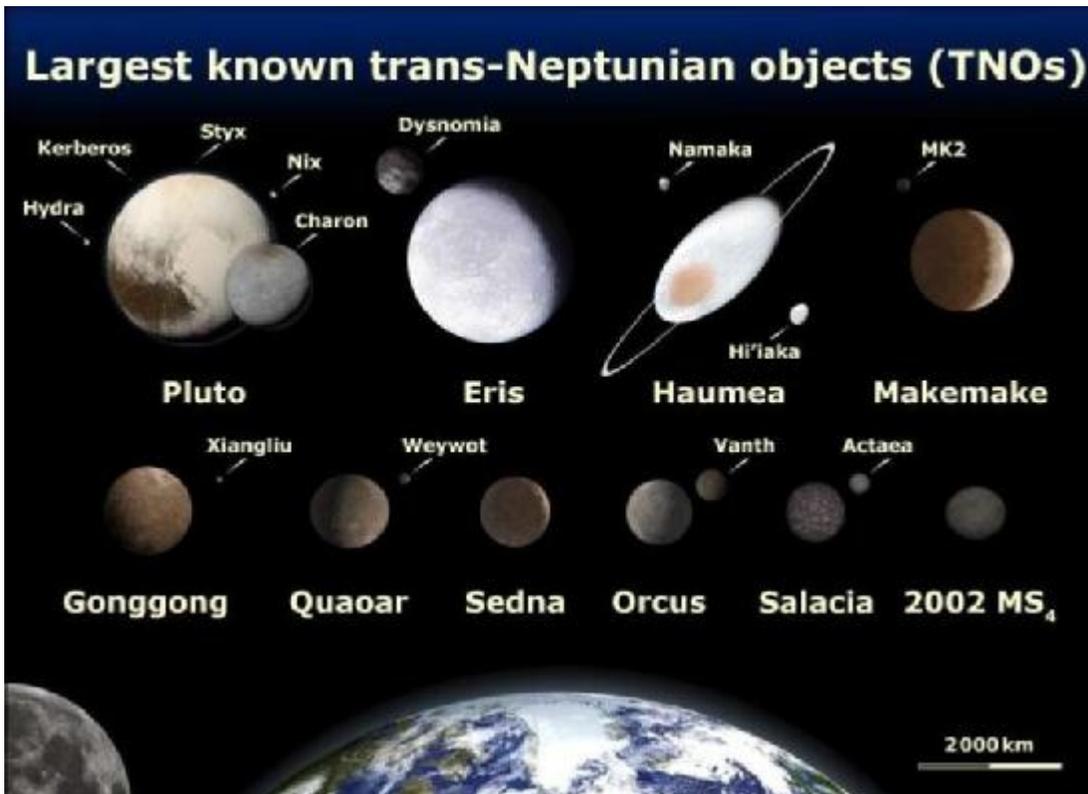
### **Vídeo 1.**

"A fines de la década de 1980, con la disponibilidad de computadoras más poderosas, las simulaciones numéricas revelaron una tercera propiedad peculiar, que la órbita de Plutón es técnicamente caótica, es decir, pequeñas desviaciones de las condiciones iniciales conducen a una divergencia exponencial de las soluciones orbitales en decenas de millones de años. Sin embargo, este caos es limitado. Se ha encontrado en simulaciones numéricas que las dos propiedades especiales de la órbita de Plutón mencionadas anteriormente persisten durante escalas de tiempo de gigaaños, lo que hace que su órbita sea notablemente estable, a pesar de los indicadores de caos". Para su estudio, Malhotra e Ito realizaron simulaciones numéricas de la órbita de Plutón hasta cinco mil millones de años en el futuro del Sistema Solar. En particular, esperaban abordar preguntas no resueltas sobre las órbitas peculiares de Plutón y otros objetos del tamaño de Plutón (también conocidos como Plutinos). Estas preguntas han sido abordadas por investigaciones realizadas durante las últimas décadas, como la "teoría de la migración planetaria", pero solo hasta cierto punto. En particular, esperaban abordar preguntas no resueltas sobre las órbitas peculiares de Plutón y otros objetos del tamaño de Plutón (también conocidos como Plutinos). En las últimas décadas, los astrónomos han intentado abordar estas cuestiones con nuevas teorías (como la "teoría de la migración de planetas"), pero han tenido un éxito limitado.

En esta hipótesis, Plutón fue arrastrado a su resonancia de movimiento medio actual por Neptuno, que emigró durante la historia temprana del Sistema Solar. Una predicción

importante de esta teoría es que otros Objetos Transneptunianos (TNO) compartirían la misma condición de resonancia, lo que desde entonces se ha verificado con el descubrimiento de un gran número de Plutinos. Este descubrimiento también ha llevado a una aceptación más generalizada de la teoría de la migración planetaria. Pero como explicó el Dr. Malhotra: "La inclinación orbital de Plutón está estrechamente relacionada con su oscilación  $\nu$ ZLK. Así que razonamos que si pudiéramos comprender mejor las condiciones de la oscilación  $\nu$ ZLK de Plutón, tal vez podríamos resolver el misterio de su inclinación. Comenzamos investigando el papel individual de los otros planetas gigantes. (Júpiter, Saturno y Urano) en la órbita de Plutón". Para hacer esto, el Dr. Malhotra e Ito realizaron simulaciones por computadora en las que simularon la evolución orbital de Plutón durante hasta 5 mil millones de años que incluían ocho combinaciones diferentes de perturbaciones de planetas gigantes. Estas simulaciones de N-cuerpos incluyeron interacciones con:

- Neptuno (—NP)
- Urano y Neptuno (—UNP)
- Saturno y Neptuno (-S-NP)
- Júpiter y Neptuno (J—NP)
- Saturno, Urano y Neptuno (-SUNP)
- Júpiter, Urano y Neptuno (J-UNP)
- Júpiter, Saturno y Neptuno (JS-NP)
- Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno (JSUNP)



**Figura 2.** Comparación entre los 8 TNOs con la Tierra (a escala). Crédito: NASA/Lexicon. Comparison between the eight largest TNOs with Earth (all to scale). Credit: NASA/Lexicon.

"No encontramos subconjuntos de los tres planetas gigantes internos que pudieran recuperar la oscilación  $\nu$ ZLK de Plutón; los tres (Júpiter, Saturno y Urano) eran necesarios", dijo el Dr. Malhotra. "Pero, ¿qué tienen estos planetas que [son] esenciales para la oscilación  $\nu$ ZLK de Plutón?" agregó el Dr. Malhotra. "Se necesitan 21 parámetros para representar las fuerzas gravitatorias de Júpiter, Saturno y Urano en Plutón. Este es un espacio de parámetros prohibitivamente grande para explorar". Para simplificar estos cálculos, el Dr. Malhotra e Ito los fusionaron en un solo parámetro introduciendo algunas simplificaciones. Esto incluía representar cada planeta con un anillo circular de densidad uniforme, una masa total igual a la del planeta y un radio de anillo igual a la distancia promedio del planeta al Sol (también conocido como semieje mayor). Como indicó el Dr. Malhotra, esto arrojó un solo parámetro que representaba el efecto de Júpiter, Saturno y Urano ( $J_2$ ), que era equivalente al efecto de un "Sol achatado". "[D]escubrimos un arreglo fortuito de las masas y órbitas de los planetas gigantes que delinea un rango estrecho en el parámetro  $J_2$  en el que es posible la oscilación  $\nu$ ZLK de Plutón, una especie de 'zona de Ricitos de Oro'", dijo. "Este

resultado indica que, durante la era de la migración de planetas en la historia [del] Sistema Solar, las condiciones para los objetos transneptunianos cambiaron de tal manera que promovieron a muchos de ellos, incluido Plutón, al estado de oscilación  $vZLK$ . Es probable que la inclinación de Plutón se originó durante esta evolución dinámica".

Es probable que estos resultados tengan implicaciones significativas para futuros estudios del Sistema Solar exterior y su dinámica orbital. Con más estudios, el Dr. Malhotra cree que los astrónomos aprenderán más sobre la historia de la migración de los planetas gigantes y cómo finalmente se establecieron en sus órbitas actuales. También podría conducir al descubrimiento de un mecanismo dinámico novedoso que explicará los orígenes de la órbita de Plutón y otros cuerpos con altas inclinaciones orbitales. Esto será especialmente útil para los astrónomos dedicados al estudio de la dinámica del Sistema Solar. Como señaló el Dr. Malhorta, los investigadores en este campo comenzaban a sospechar que la evidencia que podría arrojar luz sobre la evolución orbital de Plutón podría haber sido borrada por las inestabilidades y la naturaleza caótica de estos mismos mecanismos orbitales. Como resumió el Dr. Malhotra:

"Creo que nuestro trabajo genera nuevas esperanzas para establecer una conexión entre la dinámica del sistema solar actual y la dinámica histórica del sistema solar. El origen de las inclinaciones orbitales de los planetas menores en todo el sistema solar, incluidos los TNO, presenta un problema importante sin resolver; quizás nuestro trabajo estimulará más atención a él. "Otro punto que destaca nuestro estudio es el valor de las aproximaciones simples ( $r$ ) para un problema complicado: es decir, colapsar 21 parámetros en un solo parámetro abrió la puerta para llegar a los mecanismos dinámicos esenciales que afectan el muy interesante pero difícil de entender dinámica orbital de Plutón y Plutinos".

## Referencias

[1] *Pluto near the edge of chaos*, Renu Malhotra and Takashi Ito. March 31, 2022 | 119 (15) e2118692119. PNAS. DOI: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2118692119>

[2] April 21, 2022. *Pluto's orbit is surprisingly unstable*, by Matt Williams, Universe Today. URL: <https://phys.org/news/2022-04-pluto-orbit-surprisingly-unstable.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 7. Estados de la materia: ¿cuántos hay?/ States of matter: how many of them?

**Los tres estados básicos de la materia generalmente en los libros de texto son:**

1. Sólido/Solid. A state of matter that holds a definite shape and has a strong intermolecular force. Estado de la materia que mantiene una forma fija y tiene fuertes fuerzas intermoleculares.
2. Líquido/Liquid. A state of matter that holds no definite shape and has a weak intermolecular force. Estado de la materia que no tiene forma fija y tiene débiles fuerzas intermoleculares.
3. Gas/Gas. A state of matter that holds no definite volume and has a very weak intermolecular force (or null!). Estado de la materia que no tiene volumen fijo y tiene fuerzas intermoleculares muy débiles (o nulas).

El cuarto estado de la materia, se denomina plasma (no confundir con plasma sanguíneo) eléctrico. Plasma is a state of matter which is highly conductive and is dominated by electric and magnetic forces, since it consists of ionized atoms (atoms with unbound electrons). El plasma es un estado de la materia que es altamente conductor y está dominado por fuerzas eléctricas y magnéticas, ya que consiste de átomos ionizados (átomo con electrones no ligados).

Ahora viene una colección de estados "exóticos" o "noveles" de la materia:

1. Supercritical fluid: a state of matter where the distinctions between liquid and gas states are lost. Estado de la materia donde la distinción entre líquido y gas se ha perdido es lo que se denomina fluido supercrítico.
2. Excitonium: a state of matter made up of excitons, unusual particles made up of escaped electrons. Excitonio: estado de la materia hecho de excitones, partículas inusuales consistentes de electrones desligados de los átomos.
3. Degenerate matter: a state of matter that holds a highly dense state of fermionic matter, and particles with kinetic energy. Materia degenerada: estado de la materia que posee un estado altamente denso de materia fermiónica, y partículas con energía cinética.
4. Photonic matter: a state of matter where photons behave as if they have mass and forms molecules. Materia fotónica: estado de la materia donde los fotones se comportan como si tuvieran masa y forma moléculas.

5. String-net liquid: a state of matter where an atom has arrangements like liquid and pattern like solid. Líquido de red de cuerdas (string-net, anglicismo) es un estado de la materia donde un átomo tiene disposiciones como si fuera líquido pero patrones como un sólido.
6. Dropleton: a state of matter where an artificial quality particles behaves like a liquid. Dropleton: estado de la materia donde partículas de propiedades artificiales se comportan como un líquido.
7. Jahn-Teller metal: a state of matter where a solid acts like an insulator but also acts like a conductor. Metal de Jahn-Teller: estado de la materia donde un sólido actúa como un aislante pero también como un conductor.
8. (Space)Time crystals: a state of matter where the crystalline structure repeats in both space and time. Cristales de (espacio)tiempo: estado de la materia donde la estructura cristalina se repite en ambos, espacio y tiempo.
9. Quantum spin-Hall: a state of matter where electrons dissipate less energy and produces less heat. Estado de espín-Hall cuántico: estado de la materia donde los electrones disipan menos energía y producen menos calor.
10. Bose-Einstein condensate (sometimes dubbed 5th state of matter): a state of matter formed when a gas of bosons is cooled close to  $-273^{\circ}\text{C}$ , close to 0 K, and where all the bosons behave collectively as one in the ground state. Condensado de Bose-Einstein (algunas veces llamado el quinto estado de la materia): estado de la materia formado por bosones (partículas de espín entero) enfriadas cerca del cero absoluto, donde se comportan todas las partículas colectivamente en el nivel fundamental.
11. Fermionic matter condensate: a state of matter which is the same as Bose-Einstein condensate but here, fermions act like bosons. Condensado de materia fermiónica: estado de la materia análogo al condensado de Bose-Einstein, pero ahora los fermiones actúan como los bosones.
12. Superconductivity: a state of matter where materials exhibit zero electric resistance and expel the magnetic fields. Superconductividad: estado de la materia donde los materiales exhiben resistencia eléctrica nula y expelen los campos magnéticos.
13. Superfluid: a state of matter where fluids can move against gravity and flows frictionless. Superfluido: estado de la materia en donde los fluidos mueven contra la gravedad y fluyen sin fricción alguna.

14. Supersolid: a state of matter where solids can move without friction but retains a rigid shape. Supersólido: estado de la materia donde los sólidos pueden mover sin fricción pero retienen una forma rígida.
15. Quantum spin-liquid: a state of matter where a system preserves its disorder at a very low temperature. Líquido de espín-cuántico: estado de la materia donde el sistema preserva su desorden a muy baja temperatura.
16. Fermion materials: a state of matter defined by quantum transition and is correlated to fermions. Materiales fermiónicos: estado de la materia definido por transición cuántica y se correlaciona a los fermiones.
17. Rydberg polaron: a state of matter which only exist at ultracool temperature and contains atoms inside atoms. Polarón de Rydberg: estado de la materia que solamente existe a temperaturas ultrafrías y contiene átomos dentro de átomos.
18. Quark-gluon plasma: a state of matter that occurs at a very high temperature where quarks start moving freely, i.e. where hadrons melt. Plasma de quark-gluón: estado de la materia que ocurre a muy alta temperatura donde los quarks empiezan a moverse libremente, es decir, donde los hadrones se funden.
19. Wigner crystal: a crystal or periodic structure made up with electrons only. Cristal de Wigner: un cristal o estructura periódica hecha solamente de electrones.
20. Glass: non crystalline solid matter. Vidrio: materia sólida no cristalina.
21. Liquid crystal: intermediate crystal between solid and liquid. Cristal líquido: cristal con propiedades intermedias entre sólidos y líquidos.
22. Color-glass condensate: a state of matter of very high energy nuclear matter. Condensado de vidrio de color: estado de la materia nuclear existente a muy alta temperatura.
23. Superglass: amorphous superfluid. Supervidrio: superfluido amorfo.
24. Magnetically ordered matter: matter that displays certain magnetic order (ferrimagnetic, antiferromagnetic and ferromagnetic). Materia ordenada magnéticamente: materia que muestra cierto orden magnético (ferrimagnético, antiferrimagnético y ferromagnético/paramagnetismo, diamagnetismo y ferromagnetismo).
25. Programmable matter and computronium: material programable que puede alterar todas sus propiedades físicas y actuar como cualquier estado de la materia, algunas veces llamado computronio.

26. Stringium: state of matter of (super)strings beyond Hagedorn transitions. Stringio: estado de la materia de las (super)cuerdas más allá de las transiciones de Hagedorn.
27. Topological insulators: a state of matter where the substance is conductive in the surface but not in the bulk. Aislantes topológicos: estado de la materia donde la sustancia es conductora en la superficie pero no en el volumen
28. Topological superconductors: a state of matter where the substance is superconductive in the bulk but not in the surface. Estado de la materia de sustancias superconductoras en el volumen pero no en la superficie.

Finalmente, las singularidades espacio-tiempo de los agujeros negros señalan posiblemente que el espacio-tiempo no es fundamental, y el vacío/vacuum/voidium a muy altas energías se comporta como otra sustancia cuyas propiedades nos son vedadas por los horizontes de sucesos y nuestra ignorancia sobre la teoría de la gravedad cuántica y el comportamiento de la materia y energía a muy alta densidad, muy alta temperatura (o energía) y muy pequeña distancia. Los objetos con densidad de Planck (planckeons) serían un tipo de sustancia peculiar que no tiene actualmente ninguna descripción conocida en términos de principios establecidos hasta el momento.

¿Cuántos conocías?

Artículo escrito y editado por Juan F. González.

## Referencias

[1] Wikipedia. La enciclopedia libre, States of Matter, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/State\\_of\\_matter#Glass](https://en.wikipedia.org/wiki/State_of_matter#Glass)

## 8. Los poderes del telescopio JWST

### El JWST y sus poderes entran en acción

**Por El Blog de Física arXiv | Publicado: miércoles, 20 de abril de 2022**

La evidencia de cultivo en exoplanetas debería ser visible para el telescopio espacial James Webb La agricultura a escala industrial ha cambiado la composición de nuestra

atmósfera. Entonces, las "exogranjas" deberían ser visibles en planetas similares a la Tierra que orbitan alrededor de otras estrellas.

Uno de los desarrollos clave que separan a la civilización moderna de las sociedades de cazadores-recolectores del pasado es la invención de la agricultura, que tuvo lugar hace unos 10.000 años. Esto comenzó con el cultivo de plantas silvestres y la domesticación de varios animales para obtener productos lácteos y carne. La gran ventaja de la agricultura es que sustenta una población mucho mayor que la caza y la recolección. Esto condujo al surgimiento de ciudades, el intercambio de recursos naturales y de ideas e innovaciones. También ha tenido un gran impacto en la Tierra misma. Los efectos de la agricultura son visibles en la disposición de los campos en forma de cuadrícula, en la forma en que la luz se refleja en las plantas fotosintéticas y en los productos químicos que libera a la atmósfera, particularmente en la agricultura a escala industrial. Ahora, un grupo de astrónomos y astrobiólogos dicen que esta firma atmosférica debe ser claramente visible desde el espacio y que una granja en otro planeta también podría generar una señal similar. "Vale la pena considerar la firma espectral de tal 'ExoFarm' en la búsqueda de firmas tecnológicas", dicen Jacob Haqq-Misra del Instituto de Ciencias del Espacio Blue Marble en Seattle, y sus colegas. Continúan explorando cómo podría verse esa firma y con qué facilidad podría ser detectada por la generación actual de telescopios espaciales como el James Webb.

### **Fijación de nitrógeno**

Un elemento esencial de la agricultura es la aplicación de fertilizantes para aumentar la productividad. Esto brinda a las plantas un mejor acceso al nitrógeno, un elemento crucial para la vida. El nitrógeno está fácilmente disponible como  $N_2$ , que constituye el 78 por ciento de la atmósfera. Pero fijarlo en una forma utilizable por la planta es complicado porque el  $N_2$  está unido por un triple enlace altamente estable. Este nitrógeno se descompone naturalmente en formas más fáciles de explotar en una variedad de formas que van desde los rayos hasta los microorganismos en el estiércol. Pero a medida que la población ha aumentado, particularmente desde la revolución industrial, la demanda de fertilizantes nitrogenados se ha disparado. Esto ha llevado al desarrollo de fertilizantes artificiales y una industria global dedicada a manipular el ciclo del nitrógeno a través de un enfoque industrial para crear amoníaco llamado proceso Haber-Bosch. Esto produce grandes cantidades de amoníaco, parte del cual se escapa a la atmósfera, aunque por cortos períodos de tiempo, ya que el amoníaco generalmente cae al suelo después de unos días. Por lo tanto, los niveles detectables de amoníaco en la

atmósfera deben ser el resultado de una importante actividad agrícola en curso. Aunque el amoníaco atmosférico tiene una vida corta, su uso como fertilizante produce óxido nitroso ( $N_2O$ ), un gas de efecto invernadero que sobrevive en la atmósfera durante más de cien años.

Los óxidos nitrosos también se producen por combustión. Sin embargo, Haqq-Misra y compañía señalan que otras civilizaciones pueden descubrir, como nosotros, que la combustión no es sostenible y eliminarla gradualmente. Entonces, a largo plazo, es más probable que la firma de óxidos nitrosos indique actividad agrícola. La agricultura es también el principal productor de metano atmosférico en la Tierra. Así que  $CH_4$  es otra firma que vale la pena buscar, dice el equipo. “La firma de tal ExoFarm solo podría ocurrir en un planeta que ya admita la fotosíntesis, por lo que dicho planeta necesariamente ya mostrará características espectrales debido a  $H_2O$ ,  $O_2$  y  $CO_2$ ”, dicen Haqq-Misra y compañía.

### **Firma tecnológica extraterrestre**

“Estos cálculos sugieren la posibilidad de considerar la detección simultánea de  $NH_3$  y  $N_2O$  en una atmósfera que también contiene  $H_2O$ ,  $O_2$  y  $CO_2$  como una firma tecnológica para la agricultura extraterrestre”. Puede ser posible detectar esta firma en otros planetas utilizando los observatorios actuales. Los investigadores señalan que el Telescopio Espacial James Webb, actualmente en servicio, debería ser capaz de detectar amoníaco a un nivel de cinco partes por millón en la atmósfera de un planeta rico en hidrógeno que orbita una enana roja cercana. Los niveles actuales de amoníaco en la Tierra son de unas diez partes por billón. Eso hace que la búsqueda de firmas de nitrógeno sea una actividad interesante para los astrobiólogos. Es probable que la búsqueda de esta señal sea el siguiente paso natural después del descubrimiento de las firmas fotosintéticas. Lo que parece claro es que es poco probable que las firmas tecnológicas sean señales únicas de tipo WOW [3], sino patrones de evidencia más complejos que requieren un trabajo de detective dedicado. Y con el Telescopio James Webb entrando en funcionamiento a finales de este año, ese trabajo de detective podría estar a punto de comenzar.

### **Referencias**

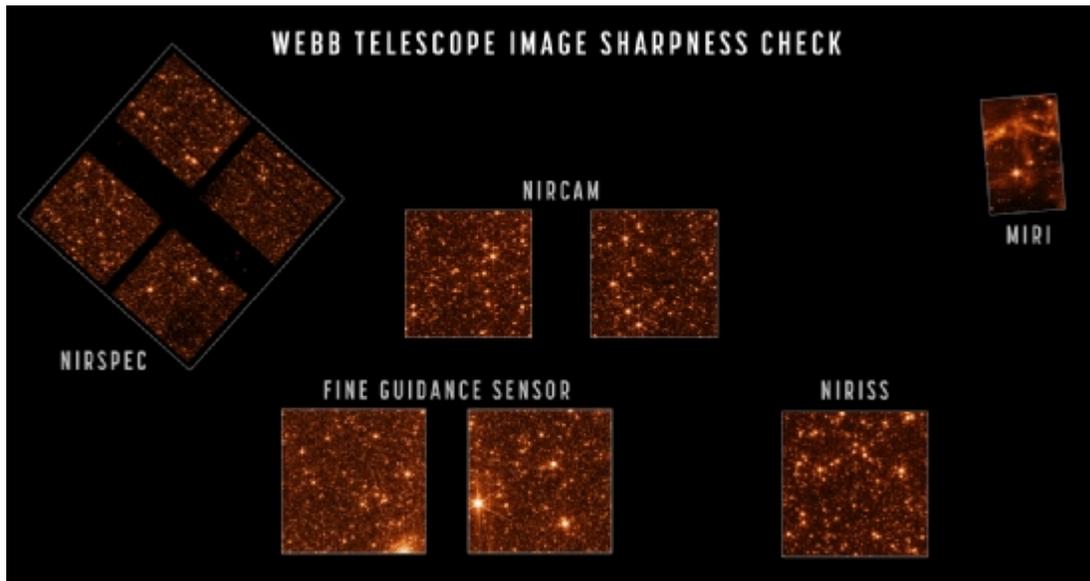
[1] *Evidence of farming on exoplanets should be visible to James Webb Space Telescope*, para Astronomy.com. URL: <https://astronomy.com/news/2022/04/evidence-of-farming-on-exoplanets-should-be-visible-to-james-webb>

[2] *Disruption of a Planetary Nitrogen Cycle as Evidence of Extraterrestrial Agriculture*. Online, ArXiv: [arxiv.org/abs/2204.05360](https://arxiv.org/abs/2204.05360)

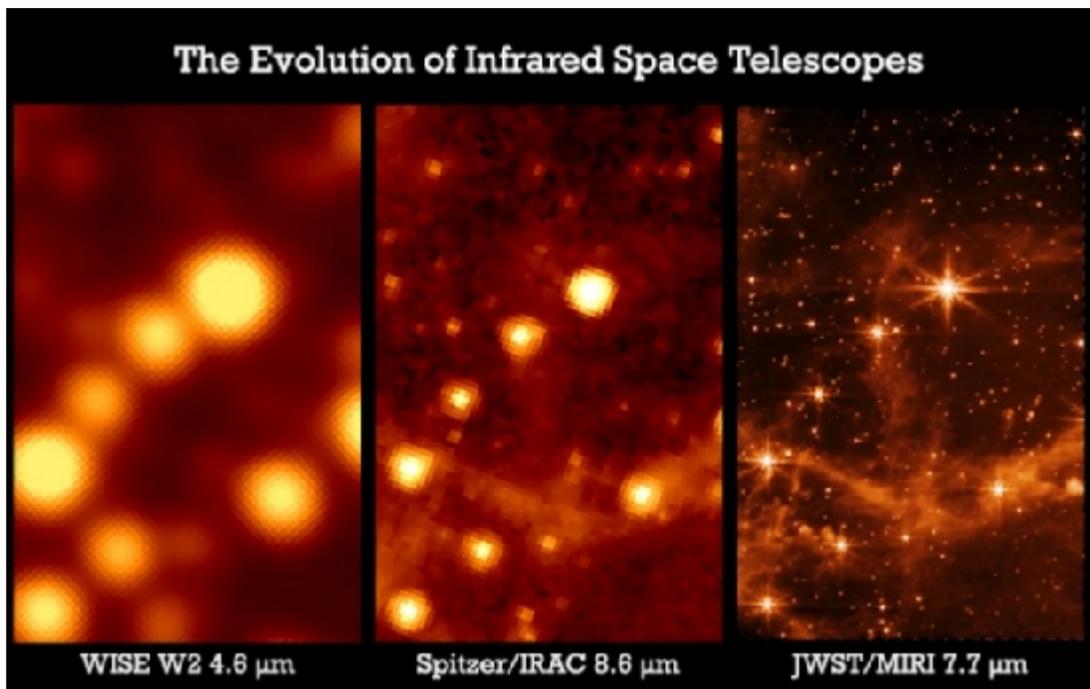
[3] *Sun-like star identified as the potential source of the WOW signal*. Discovery Magazine. URL: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/sun-like-star-identified-as-the-potential-source-of-the-wow-signal>

Artículo editado y traducido del original por: Juan F. González.

**Apéndice:** El JWST alineado y enfocado. Primeras y espectaculares imágenes de su poder en IR.



**Figura 1.** Comparación de instrumentos.



**Figura 2.** WISE vs. Spitzer vs. JWST. Espectacular es decir poco...

## **9. Armas y guerras nucleares.**

### **Armas y guerras nucleares.**

#### **Índice**

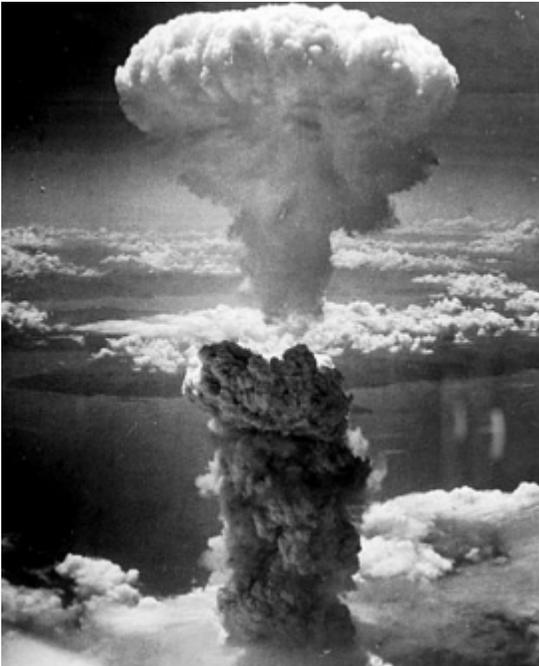
1. Historia de las armas nucleares.
2. Cómo funciona un arma nuclear.
3. Uso en la actualidad.
4. Cómo nos afecta.
5. Qué hacer en caso de guerra nuclear.

#### **1. Historia de las armas nucleares.**

En 1933 tan solo 6 años antes del descubrimiento de la fisión el científico estadounidense Leó Szilárd concluyó que era posible liberar grandes cantidades de energía mediante reacciones neutrónicas en cadena. El 4 de julio de 1934 Leo solicitó la patente de la (bomba atómica) no para construirla sino para todo lo contrario, para que no se investigara.

No hubo muchos más avances hasta la segunda guerra mundial

## Durante la segunda guerra mundial



**Figura 1.** Imagen realizada por un bombardero de largo alcance B29 en Hiroshima despues del lanzamiento.

Un poco antes de la invasión de polonia estados unidos le tenia mucha fe en el proyecto nuclear. En 1941, en Estados Unidos, Philip Abelson construyó un sistema de enriquecimiento practicable (por difusión térmica líquida), y el 26 de febrero Seaborg y Wahl descubrieron el plutonio. A principios de marzo, los científicos anglo-norteamericanos ya sabían de qué orden habría de ser la masa crítica postulada por Szilard. Y en julio, el plutonio se demostró como un material fisible mucho mejor que el uranio, y el comité MAUD completó su informe final, describiendo la ingeniería de una bomba atómica con cierto detalle técnico. El 3 de septiembre de 1941, Churchill y los Jefes de Estado Mayor se pusieron de acuerdo para construir una bomba atómica. En diciembre, después de meses de sufrir una pesadilla burocrática, el proyecto fue transferido a los Estados Unidos donde continuo avanzando .En enero de 1942 el proyecto fue declarado secreto.

El 18 de junio de 1942 se ordenó al coronel James Marshall que organizara un distrito del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, para centralizar todos estos trabajos y consolidar el desarrollo de la bomba. Marshall organizó este distrito con un nombre deliberadamente engañoso: fue el Distrito de Ingenieros de Manhattan (nunca hubo

ninguna unidad de ingenieros ubicada en Manhattan, Nueva York) al proyecto se le denominó proyecto Manhattan. En la continuación del proyecto no hubo problemas hasta que en 1945 con la caída de Berlín solo quedaba Japón y para no prolongar la guerra más. El 6 y 9 de agosto de 1945 Estados Unidos realizó los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki fueron dos ataques nucleares ordenados por Harry S. Truman, presidente de los Estados Unidos, contra el Imperio del Japón. Los ataques se efectuaron el 6 y el 9 de agosto de 1945, respectivamente, lo que contribuyó, junto con la Guerra soviético-japonesa, a la rendición de Japón y el fin de la Segunda Guerra Mundial. Después de seis meses de intenso bombardeo de otras 67 ciudades, el arma nuclear Little Boy fue soltada sobre Hiroshima el lunes 6 de agosto de 1945, la segunda seguida por la detonación de la bomba Fat Man el jueves 9 de agosto sobre Nagasaki. Entre 105 000 y 120 000 personas murieron y 130 000 resultaron heridas.<sup>345</sup> Hasta la fecha, estos bombardeos constituyen los únicos ataques nucleares de la historia.

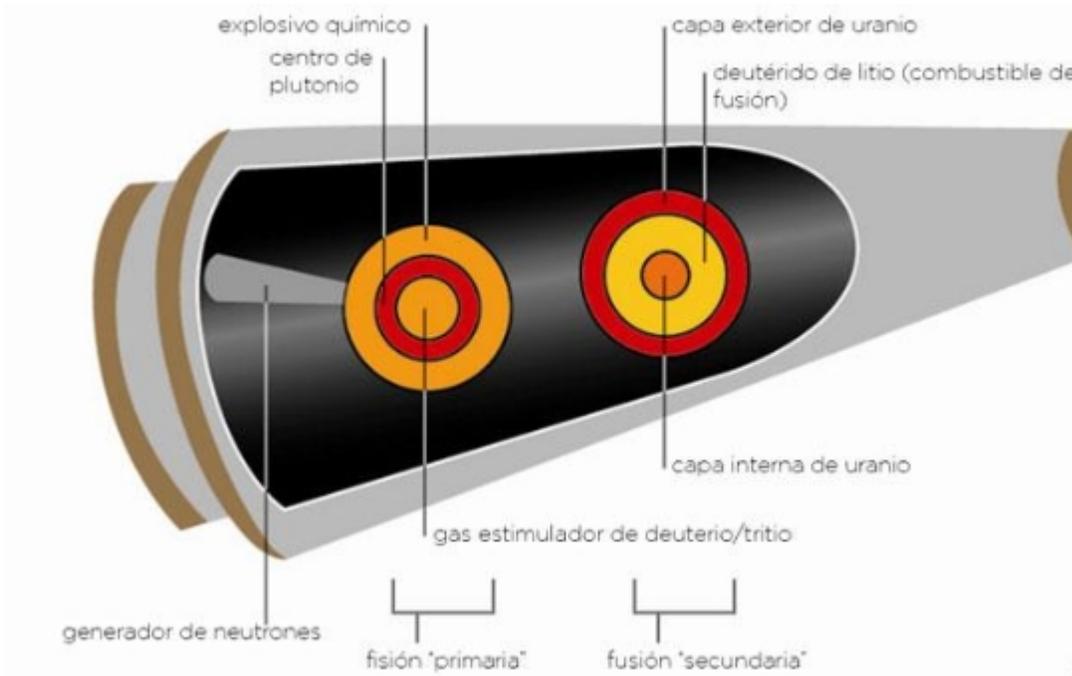
También hubo otro proyecto al mismo tiempo, el alemán pero este no se terminó de realizar por la caída del Tercer Reich en 1945 postsegunda guerra mundial como el soviético por el cual casi hay varias guerras nucleares, el francés, el inglés, el chino y el israelí y a finales del siglo el indio y pakistaní. En el siglo XXI lo desarrolló Corea del Norte.



**Figura 2.** Little Boy.

## **2.¿Cómo funciona un arma nuclear?**

Las armas nucleares modernas funcionan combinando explosivos químicos, fisión nuclear y fusión nuclear. Los explosivos comprimen material nuclear, causando fisión; la fisión libera cantidades masivas de energía en forma de rayos X, que crean la alta temperatura y presión necesarias para encender la fusión. Por así decirlo es una central nuclear portátil, hay que recalcar que también hay armas nucleares de hidrógeno. Es un proceso simple en principios aunque complejo en la práctica realizarlas.



**Figura 3.** Funcionamiento de una arma nuclear en un diagrama.

### 3. Uso en la actualidad.

Actualmente aunque el número de armas nucleares comparada con las de la guerra fría es mucho menor las armas nucleares son mucho más poderosas que las de Hiroshima y suponen un riesgo muy alto en la actualidad y más con lo que está sucediendo en Ucrania. Un arma nuclear es más que una arma de destrucción masiva es una arma que muestra poder, respeto y eso puede relajar conflictos o avivarlos aparte una arma nuclear es la arma política por excelencia pero que a veces no funciona como es el caso actual de Rusia en la guerra que tiene con Ucrania, aunque el número de ojivas se ha reducido en el mundo hay actualmente 13400 armas nucleares, según la ONU. Y aunque lograr el desarme nuclear mundial ha sido uno de los objetivos más antiguos de las Naciones

Unidas, desde 1946, aún hoy hay una "frustración debido a la lentitud del desarme nuclear".



**Figura 4.** Armas nucleares. Camión ruso de las fuerzas de disuasión nuclear desfilando en el día de la victoria.

### **Países con armas nucleares y su número de ellas**

Actualmente hay 9 países que tiene armas nucleares estos son EEUU, Rusia , Pakistán , India, Francia , Reino Unido , Israel , Corea del Norte y China .

Aquí hay un poco de la historia de cada uno a excepción del estadounidense que está explicado anteriormente.

### *Número de armas nucleares por país actualmente*

### **Programa nuclear ruso/soviético**

Actualmente Rusia es el país con mas bombas nucleares activas muchas de ellas soviéticas incluyendo dentro de su arsenal la bomba del zar que es la mas poderosa del mundo con un total desconocido entre las 3700 y 7000 de las cuales 1600 están listas para ser lanzadas en cualquier momento desde submarinos silos y camiones especializados .la UURS no solo le limito a estudiar la fisión y energía nuclear si no que también investigo con el uranio .Después del lanzamiento de la fat man los soviéticos copiaron y recopilaron, información sobre ella y en 4 años consiguieron copiar la bomba y el 29 de agosto de 1949 los soviéticos lanzaron su primera bomba nuclear con 22

kilotones . Desde hay ,con el aumento de las tensiones de la guerra fría los países centraron mucho dinero y esfuerzo en desarrollar mas y mejores armas nucleares dando resultado a las bombas de hidrógeno y los misiles balísticos intercontinentales.

### **Programa nuclear pakistaní**

El proyecto Pakistani fue denominado Chagai- I. Actualmente pakistan tiene 130 armas nucleares activas El programa nuclear pakistaní se inició en enero de 1972, después de que Zulfikar Ali Bhutto llegó al poder político. La Guerra de Liberación de Bangladés y la guerra indo-pakistaní de 1971 fue una guerra y una lección inolvidable al establecimiento político y militar de Pakistán. Destacó la necesidad de contar con un fuerte y muy bien entrenada fuerza militar con una capacidad global para defenderse del enemigo, notablemente de las Fuerzas Armadas de la India. El legado de la guerra de 1971 había dejado cicatrices profundas en la sociedad civil pakistaní, así como la miseria política y militar. Al ver la superioridad india Zulfikar desarrollo armas nucleares . En 1974 después de su construcción y buscar por un largo tiempo una montaña de granito al fin se pudo realizar la prueba nuclear con una fuerza de 40 kilotones dando a conocer su nuevo poderío a la India.

### **Programa nuclear indio**

Actualmente India tiene 120 ojivas nucleares .Al igual que Pakistán la india vio después de la guerra indo-pakistaní una gran decadencia militar y al enterarse del programa nuclear Pakistaní india no se quedo atrás y desarrollo también armas nucleares .Después de desarrollarlas. La primera prueba nuclear de la India se produjo el 18 de mayo de 1974. Desde entonces, la India ha llevado a cabo otra serie de pruebas en el polígono de pruebas de Pokhran en el estado de Rajastán en 1998.

### **Programa nuclear francés**

En la actualidad, se estima que las Fuerzas Armadas de Francia cuentan con alrededor de 300 ojivas nucleares operativas, lo cual convierte a Francia en la tercera potencia nuclear del mundo.

Las armas nucleares son parte de la Force de Frappe nacional, desarrollada a partir de 1958 durante la Guerra Fría, cuando Charles de Gaulle decidió dotar a Francia de un medio de disuasión nuclear que le permitiera distanciarse de la OTAN. Francia no firmó el Tratado de prohibición parcial de ensayos nucleares, lo que le dio la posibilidad de

realizar más pruebas nucleares hasta que firmó y ratificó el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares en 1996 y en 1998, respectivamente.

### **Programa nuclear inglés**

Reino Unido actualmente tiene 215 ojivas nucleares .Fue el tercer país (tras Estados Unidos y la Unión Soviética) en probar y desarrollar armas nucleares de manera independiente a partir de octubre de 1952 esto se debe que el proyecto nuclear americano se desarrollo en conjunto con Reino Unido y después fue trasladado a los estados unidos. Aunque Reino Unido tenga la capacidades de desarrollar armas nucleares y sistemas para el uso de ella sigue utilizando un sistema de lanzamiento desarrollado por la empresa americana Lockheed Martin.

### **Programa nuclear israelí**

Israel, a pesar de no contar con pruebas que lo confirme, es considerado por la organización NTI (iniciativa de amenaza nuclear) lo considera el sexto país en tener armas nucleares se cree que en desarrollo con los estados unidos que su primera arma nuclear fue terminada en 1960 esto confirmado según Mordejái Vanunu, un extécnico nuclear israelí, reveló detalles del programa de armas nucleares a la prensa británica. Al tratarse de Israel es un país muy cerrado y no se puede recoger mucha información y se desconoce el número de armas que posee, se cree que 12.

### *Programa nuclear norcoreano*

Corea del Norte actualmente tiene en servicio 10 armas nucleares . En 2009 confirmo el desarrollo de armas nucleares aunque ya tenia un pequeño numero de armas nucleares simples . El 9 de octubre del 2006, Corea del Norte anunció que había llevado a cabo con éxito su primera prueba nuclear y se detecto que el arma rondaba a un kilotón y en abril de 2009, surgieron informes de que Corea del Norte se había convertido en una potencia nuclear completamente desarrollada.

### *Programa nuclear chino.*

Actualmente china pose unas 300 bombas nucleares según su gobierno las suficientes . El programa nuclear chino comenzó en la década de 1950 por entrar en la guerra de corea y ciertos problemas con la unión soviética y estados unidos .Se cree que su primera prueba nuclear tuvo lugar en 1964. y según muchos medios sigue desarrollando más.



**Figura 5.** Países nucleares.

#### **4. Cómo nos afecta.**

Las armas nucleares causan daños continuos, incluida la contaminación ambiental y la explotación de las comunidades marginadas. Una cosa que debe quedar clara es que en mínimo 100 años nada empezaría a recuperarse , otra cosa es que Europa quedaría destruida totalmente siendo España uno de los países menos afectados según un estudio de una universidad rusa . En caso de guerra nuclear nos olvidaríamos de como es la vida de el siglo XII: no móviles no electricidad no hospitales, sería volver a la prehistoria y la ley del mas fuerte y del que mas conocimientos tenga sobre como sobrevivir también podría suponer la extinción de la humanidad . Aunque se sobreviva a una explosión nuclear hay efectos secundarios sin cura que son la radiación dependa a la exposición de nuestro cuerpo a ella podríamos morirnos en días semanas meses o años , lo mas seguro es que se fallezca por cáncer.

#### **5. Qué hacer en caso de guerra nuclear.**

Primero de todo imaginemos que estamos lejos de la peor zona de explosión pero dentro de la zona de exclusión en ese caso debemos buscar refugio recomendablemente en un lugar subterráneo y en el cual tener víveres para mínimo estar un mes . En la mayoría de la población no tiene ni víveres para un mes ni un refugio entonces que se hace: Pues bien en caso de que nos avisaran por un comunicado de emergencia lo hay que hacer es mantener la calma y coger a nuestros seres queridos que estén con nosotros y coger la mayor cantidad de agua y comida y dirigimos a un sótano o garaje una vez dentro

intentar "sellar" la puerta para que no entre la radiación . Cuando la bomba explote si estas en el exterior no mirar el hongo ya que puede dar ceguera temporal o indefinida. Si estamos en el sótano intentar aguantar un mes pero el sótano debe tener paredes gruesas ya que después de que explote una bomba nuclear la radiación que emite es la gamma la cual es la mas peligrosa y si no estas cubiertos por unos cuantos metros de hormigón o metal tus esperanzas de sobrevivir son casi nulas pero si se logra salir e ir bastante lejos antes de coger la dosis mortal y encontrar una cueva todavía puedes sobrevivir. Una vez pase la radiación gamma llega la beta menos peligrosa y requiere menos protección. Si conseguiste sobrevivir ahora seguramente tu problema serán los víveres para salir a buscar comida hay que salir con la mayor cantidad de prendas posibles y coger comida en latas o en caso de animales extraer de ellos los riñones e hígado ya que son las partes mas contaminadas y el agua cogerla en cuevas o zonas subterráneas ya que el agua con radiación no se puede purificar y solo se podrá descontaminar con máquinas especiales . Si sigues vivo hasta ahora ya habrá mucho menos riesgo pero queda la radiación alfa mas peligrosa que la beta pero tan simple de parar como con una hoja .Lo que se debe hacer ahora es ir a por radios y comunicarte por canales de emergencia con las fuerzas armadas si se encuentran operativas y intentar huir a los lugares mas remotos del mundo como los Andes , Nueva Zelanda ... y ya ahí te tendrás que enfrentar seguramente a un cáncer a la falta de alimentos ya que no se podrá cultivar y a lluvias ácidas radioactivas.

Lo triste sería que pasara, y que REALMENTE, los dirigentes de alguno o algunos países crean que se puede sacar beneficio de un conflicto nuclear.

## **Referencias**

**[1] Arma nuclear - Wikipedia, la enciclopedia libre.**

**[2] Wikipedia (todos los programas nucleares )**

**[3] Historia de las armas nucleares - Wikipedia, la enciclopedia libre**

**[4] ¿Cómo funcionan armas nucleares? | Union of Concerned Scientists (ucsusa.org)**

**Artículo editado por Juan F. González**

**Versión original online en Prezi: Daniel Puig Jiménez (3ºESO, grupo F). URL: <https://prezi.com/i/qsmmrp0nhlq9/armas-nucleares/>**

## 10. Energía oscura como quintaesencia



**Figura 1. El Universo es oscuro, ¿pero tiene quintaesencia? Credit: Unsplash/CC0 Public Domain.**

Un trío de astrofísicos, dos de Princeton y el otro de la Universidad de Nueva York, han calculado estimaciones sobre cuán pronto podría colapsar el universo si las teorías sobre la quintaesencia de la energía oscura son correctas. En su artículo publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Cosmin Andrei, Anna Ijjas y Paul Steinhardt sugieren que podría ser tan pronto como dentro de 100 millones de años. En las últimas décadas, los investigadores han encontrado evidencia de la expansión del universo: los objetos distantes se están separando con el tiempo. Albert Einstein predijo que este sería el caso y sugirió que la fuerza que separa todo en el universo es algo llamado energía oscura. También sugirió que su fuerza era constante, lo que significaría que el universo se expandiría para siempre. Desde entonces, otros han sugerido que tal vez la energía oscura, si es que realmente existe, podría no ser una constante después de todo. Y si ese fuera el caso, tal vez algún día el universo se ralentizaría y tal vez incluso dejaría de expandirse, y/o se invertiría, permitiendo que el universo se contrajera hasta que se comprimiera en una sola entidad. Los defensores de tal teoría describen que la

energía oscura tiene un campo dinámico que llaman quintaesencia, una propiedad que permitiría la expansión o contracción del universo. Y al estudiar la evidencia recopilada sobre el universo conocido, encontraron que la teoría es tan sólida como la que propone la energía oscura como una constante. En este nuevo esfuerzo, el trío de investigadores se preguntó cuánto tardaría el universo en ralentizarse, detenerse, comenzar a contraerse y, finalmente, llegar a un punto único si la energía oscura tiene la quintaesencia. Para visualizar tal idea, construyeron un modelo del universo, uno que usaba datos reales que describían las características del universo conocido. Les mostró que si la idea de la quintaesencia es cierta, entonces el universo ya podría estar desacelerando su aceleración. También mostró que podría ralentizarse hasta detenerse en aproximadamente 65 millones de años, y podría comenzar a contraerse tan pronto como dentro de 100 millones de años. La teoría, como la que sugiere que la energía oscura es una constante, no se puede probar porque no hay forma de probarla. Los astrofísicos tienen que confiar en las señales que provienen de años luz de distancia, lo que sugiere que si el universo se está contrayendo actualmente, no podremos medirlo durante millones de años.

## Referencias

[1] *Predicting how soon the universe could collapse if dark energy has quintessence* by Bob Yirka , Phys.org, URL: <https://phys.org/news/2022-05-universe-collapse-dark-energy-quintessence.html>

[2] *Cosmin Andrei et al, Rapidly descending dark energy and the end of cosmic expansion*, Proceedings of the National Academy of Sciences (2022). DOI: [10.1073/pnas.2200539119](https://doi.org/10.1073/pnas.2200539119)

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 11. Nuevas fuentes de ecos de agujeros negros



**Figura 1.** Un agujero negro extrae material de una estrella vecina y lo deposita en un disco de acreción. Crédito: Aurore Simonnet y el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA.

Dispersos a lo largo de nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay decenas de millones de agujeros negros, pozos gravitatorios inmensamente fuertes del espacio-tiempo, de los cuales la materia que cae, e incluso la luz, nunca pueden escapar. Los agujeros negros son oscuros por definición, excepto en las raras ocasiones en que se alimentan. Cuando un agujero negro atrae gas y polvo de una estrella en órbita, puede emitir espectaculares ráfagas de luz de rayos X que rebotan y hacen eco en el gas inspirador, iluminando brevemente los alrededores extremos de un agujero negro.

Ahora, los astrónomos del MIT están buscando destellos y ecos de sistemas binarios de rayos X de agujeros negros cercanos, sistemas con una estrella en órbita y, en ocasiones, devorada por un agujero negro. Están analizando los ecos de tales sistemas para reconstruir la vecindad extrema e inmediata de un agujero negro.

En un estudio que aparece hoy en *The Astrophysical Journal*, los investigadores informan sobre el uso de una nueva herramienta de búsqueda automatizada, que han acuñado como "Máquina de reverberación", para analizar los datos satelitales en busca de signos de ecos de agujeros negros. En su búsqueda, han descubierto ocho nuevos

binarios de agujeros negros con eco en nuestra galaxia. Anteriormente, solo se sabía que dos de estos sistemas en la Vía Láctea emitían ecos de rayos X. Al comparar los ecos entre sistemas, el equipo ha construido una imagen general de cómo evoluciona un agujero negro durante un estallido. En todos los sistemas, observaron que un agujero negro primero pasa por un estado "duro", generando una corona de fotones de alta energía junto con un chorro de partículas relativistas que se lanzan a una velocidad cercana a la de la luz. Los investigadores descubrieron que, en cierto punto, el agujero negro emite un destello final de alta energía, antes de pasar a un estado "suave" de baja energía.

Este destello final puede ser una señal de que la corona de un agujero negro, la región de plasma de alta energía justo fuera del límite de un agujero negro, se expande brevemente, expulsando un estallido final de partículas de alta energía antes de desaparecer por completo. Estos hallazgos podrían ayudar a explicar cómo los agujeros negros supermasivos más grandes en el centro de una galaxia pueden expulsar partículas a través de vastas escalas cósmicas para dar forma a la formación de una galaxia. "El papel de los agujeros negros en la evolución de las galaxias es una cuestión pendiente en la astrofísica moderna", dice Erin Kara, profesora asistente de física en el MIT. "Curiosamente, estos binarios de agujeros negros parecen ser 'mini' agujeros negros supermasivos, por lo que al comprender los estallidos en estos pequeños sistemas cercanos, podemos entender cómo los estallidos similares en los agujeros negros supermasivos afectan a las galaxias en las que residen".

El primer autor del estudio es el estudiante graduado del MIT Jingyi Wang; otros coautores incluyen a Matteo Lucchini y Ron Remillard en el MIT, junto con colaboradores de Caltech y otras instituciones.

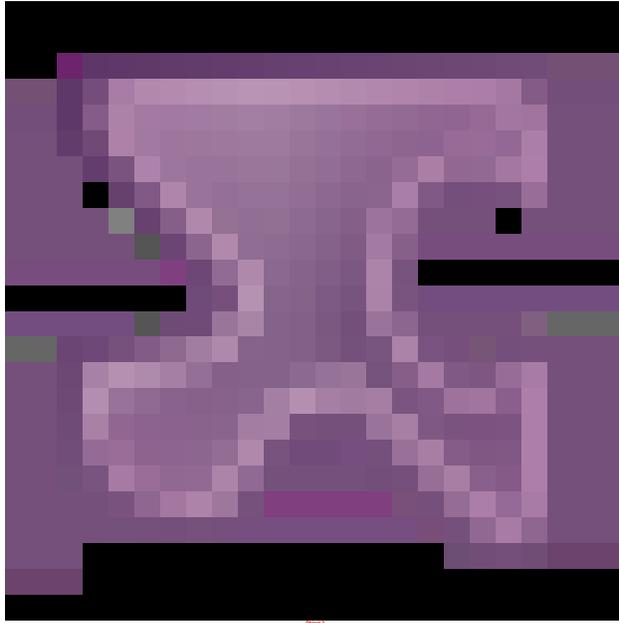
### **Retrasos de rayos X (X-ray delay)**

Kara y sus colegas están usando ecos de rayos X para mapear la vecindad de un agujero negro, de la misma manera que los murciélagos usan ecos de sonido para navegar por su entorno. Cuando un murciélago emite una llamada, el sonido puede rebotar en un obstáculo y regresar al murciélago como un eco. El tiempo que tarda el eco en regresar es relativo a la distancia entre el murciélago y el obstáculo, lo que le da al animal un mapa mental de su entorno. De manera similar, el equipo del MIT busca mapear la vecindad inmediata de un agujero negro utilizando ecos de rayos X. Los ecos representan retrasos de tiempo entre dos tipos de luz de rayos X: la luz emitida

directamente desde la corona y la luz de la corona que rebota en el disco de acreción de gas y polvo inspiradores. El tiempo en que un telescopio recibe luz de la corona, en comparación con cuando recibe los ecos de rayos X, da una estimación de la distancia entre la corona y el disco de acreción. Observar cómo cambian estos retrasos de tiempo puede revelar cómo evolucionan la corona y el disco de un agujero negro a medida que el agujero negro consume material estelar.

### **Evolución del eco (Echo evolution)**

En su nuevo estudio, el equipo desarrolló un algoritmo de búsqueda para analizar los datos tomados por el Explorador de composición interior de la estrella de neutrones de la NASA, o NICER, un telescopio de rayos X de alta resolución en el tiempo a bordo de la Estación Espacial Internacional. El algoritmo seleccionó 26 sistemas binarios de rayos X de agujeros negros que anteriormente se sabía que emitían estallidos de rayos X. De estos 26, el equipo encontró que 10 sistemas estaban lo suficientemente cerca y brillantes como para poder discernir ecos de rayos X en medio de los estallidos. No se sabía previamente que ocho de los 10 emitieran ecos. "Vemos nuevas firmas de reverberación en ocho fuentes", dice Wang. "Los agujeros negros varían en masa de cinco a 15 veces la masa del sol, y todos están en sistemas binarios con estrellas similares al sol, normales y de baja masa". Como proyecto paralelo, Kara está trabajando con los académicos de educación y música del MIT, Kyle Keane e Ian Condry, para convertir la emisión de un típico eco de rayos X en ondas sonoras audibles.



**Vídeo 1.** Ecos de agujeros negros. Crédito: Instituto de Tecnología de Massachusetts.

Luego, los investigadores ejecutaron el algoritmo en los 10 binarios de agujeros negros y dividieron los datos en grupos con "características de tiempo espectral" similares, es decir, retrasos similares entre los rayos X de alta energía y los ecos reprocesados. Esto ayudó a rastrear rápidamente el cambio en los ecos de rayos X en cada etapa durante el estallido de un agujero negro. El equipo identificó una evolución común en todos los sistemas. En el estado "duro" inicial, en el que una corona y un chorro de partículas de alta energía dominan la energía del agujero negro, detectaron retrasos breves y rápidos, del orden de milisegundos. Este estado duro dura varias semanas. Luego, se produce una transición durante varios días, en los que la corona y el chorro chisporrotean y se extinguen, y toma el control un estado blando, dominado por rayos X de menor energía del disco de acreción del agujero negro. Durante este estado de transición de duro a suave, el equipo descubrió que los retrasos de tiempo se hicieron momentáneamente más largos en los 10 sistemas, lo que implica que la distancia entre la corona y el disco también se hizo más grande. Una explicación es que la corona puede expandirse brevemente hacia afuera y hacia arriba, en un último estallido de alta energía antes de que el agujero negro termine la mayor parte de su comida estelar y se quede en silencio. "Estamos en los comienzos de poder usar estos ecos de luz para reconstruir los entornos más cercanos al agujero negro", dice Kara. "Ahora hemos demostrado que estos ecos se observan comúnmente, y podemos probar las conexiones entre el disco, el chorro y la corona de un agujero negro de una nueva manera".

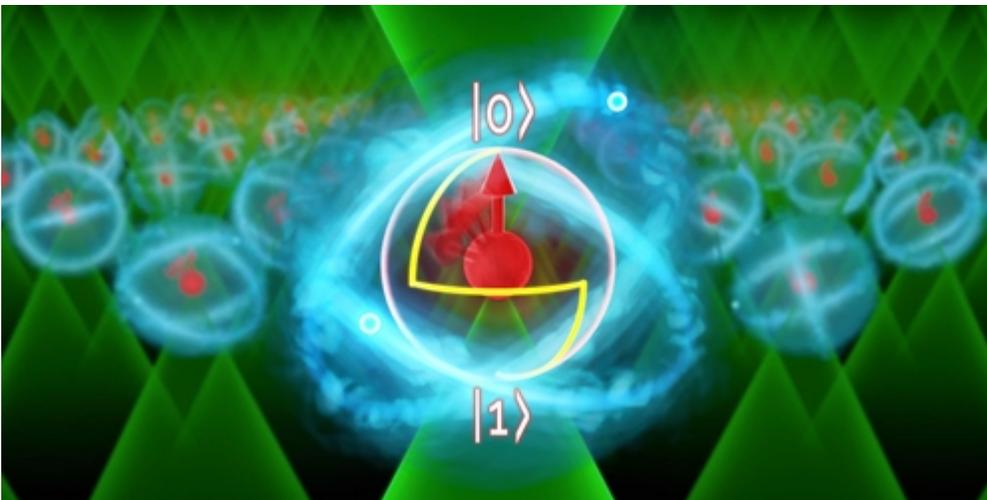
## Referencias

[1] Jingyi Wang et al, *The NICER "Reverberation Machine": A Systematic Study of Time Lags in Black Hole X-Ray Binaries*, The Astrophysical Journal (2022). DOI: [10.3847/1538-4357/ac6262](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac6262)

[2] *Search reveals eight new sources of black hole echoes* by Jennifer Chu, Massachusetts Institute of Technology Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-reveals-sources-black-hole-echoes.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 12. Nueva alternativa para computación cuántica con átomos neutros.



**Figura 1.** Qubit de un átomo de itrio. Crédito: Kaufman Group/S. Burrows/JILA.

Según Jeff Thompson, físico de la Universidad de Princeton, ahora es un momento emocionante para la computación cuántica, ya que muchas plataformas de computación cuántica diferentes han alcanzado sistemas de gran tamaño y pueden realizar operaciones de alta fidelidad. La afirmación de Thompson está respaldada por la diversidad de sistemas que recientemente han logrado hitos significativos, como las computadoras cuánticas basadas en circuitos superconductores, interferómetros ópticos, iones atrapados y átomos neutros (consulte Viewpoint: [Quantum Leap for Quantum Primacy, Synopsis: The Smallest Quantum Computer Yet](#), y [Synopsis: Neutral-Atom Quantum Computers Are Back in the Race](#)). Ahora, Thompson y sus colegas, y Adam

Kaufman en JILA en Colorado y sus colegas, han demostrado un nuevo tipo de qubit para computadoras cuánticas de átomos neutros. Las propiedades del qubit le permiten almacenar y manipular de forma robusta la información cuántica [1, 2]. Los qubits de átomos neutros almacenan información en sus estados de espín. Hasta ahora, la mayoría de los experimentos con átomos neutros han utilizado metales alcalinos, para los cuales las técnicas necesarias de atrapamiento y enfriamiento están muy avanzadas. Sin embargo, los átomos de metales alcalinos tienen un inconveniente: los estados de espín electrónico utilizados para almacenar información cuántica pueden corromperse por el campo de luz utilizado para atrapar los átomos. Como alternativa, los físicos han experimentado con átomos alcalinotérreos, que pueden almacenar información de forma más sólida en sus estados de espín nuclear. Esta posibilidad ha sido demostrada en el estroncio-87 ( $^{87}\text{Sr}$ ), pero los múltiples estados de espín del gran espín nuclear de este isótopo dificultan su uso para implementar un qubit simple de dos niveles. En sus demostraciones, Thompson, Kaufman y sus respectivos equipos utilizaron iterbio-171 ( $^{171}\text{Yb}$ ) átomos. Al igual que los átomos de  $^{87}\text{Sr}$ , los estados de espín de los átomos de  $^{171}\text{Yb}$  son robustos a la perturbación de la trampa óptica. Pero a diferencia de los átomos de  $^{87}\text{Sr}$ , los átomos de  $^{171}\text{Yb}$  tienen un giro nuclear de 1/2, lo que facilita la manipulación de los qubits de estado de giro hechos de este isótopo. Ambos equipos muestran que los átomos de  $^{171}\text{Yb}$  pueden enfriarse y atraparse usando pinzas ópticas y que los espines nucleares de los átomos de  $^{171}\text{Yb}$  pueden inicializarse, manipularse usando campos ópticos o de radiofrecuencia y medirse. Además, el grupo de Kaufman demuestra que una red atómica de diez por diez puede cargarse rápidamente con átomos de  $^{171}\text{Yb}$ , con pocos defectos, y luego enfriarse hasta casi el cero absoluto para manipulaciones de cúbits de alta fidelidad. Mientras tanto, el equipo de Thompson demuestra una operación de puerta de dos qubits utilizando pares de  $^{171}\text{Yb}$  adyacentes. Aunque las computadoras cuánticas de átomos neutros aún no se han explorado tan a fondo como otras plataformas, los avances recientes en las técnicas de manipulación de átomos significan que se están poniendo al día. Kaufman cree que, eventualmente, los físicos podrán explotar las variadas estructuras energéticas de diferentes átomos para implementar computadoras cuánticas que sean escalables y que puedan usarse en diversas aplicaciones, como la metrología. Thompson dice que los subniveles de espín nuclear de  $^{171}\text{Yb}$ .

Se ha predicho que los átomos ofrecen un método especialmente efectivo de corrección de errores cuánticos.

-Marric Stephens.

## Referencias

[1] S. Ma et al., “Universal gate operations on nuclear spin qubits in an optical tweezer array of 171Ybatoms,” [Phys. Rev. X 12, 021028 \(2022\)](#).

[2] A. Jenkins et al., “Ytterbium nuclear-spin qubits in an optical tweezer array,” [Phys. Rev. X 12, 021027 \(2022\)](#).

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 13. Red cuántica para macrotelescopio óptico



**Figura 1.** Compuesto por cuatro telescopios de 8,2 metros que pueden actuar como uno solo, el Very Large Telescope del Observatorio Europeo Austral en el norte de Chile es la principal instalación astronómica del mundo para la interferometría óptica. Sin embargo, los nuevos enfoques del mundo cuántico podrían permitir a los astrónomos fabricar interferómetros ópticos mucho más grandes y capaces. Crédito: Juan Carlos Muñoz-Mateos/ESO.

Hace unos años, los investigadores que utilizaron el Event Horizon Telescope (EHT) basado en radio realizaron una observación extraordinaria, como la que sigue siendo un sueño para la mayoría de los otros astrónomos. El equipo del EHT anunció en abril de

2019 que había captado con éxito la sombra de un agujero negro supermasivo en una galaxia cercana al combinar observaciones de ocho radiotelescopios diferentes repartidos por nuestro planeta. Esta técnica, llamada interferometría, efectivamente le dio al EHT la resolución, o la capacidad de distinguir fuentes en el cielo, de un telescopio del tamaño de la Tierra. En las longitudes de onda ópticas que sustentan las magníficas imágenes del telescopio espacial Hubble y muchas otras instalaciones famosas, los interferómetros de hoy solo pueden combinar la luz de instrumentos que están separados por unos pocos cientos de metros como máximo. Eso puede cambiar a medida que los astrónomos recurran a los físicos cuánticos en busca de ayuda para comenzar a conectar telescopios ópticos que están a decenas, incluso cientos, de kilómetros de distancia entre sí. Dichos interferómetros ópticos se basarían en los avances que se están logrando en el campo de las comunicaciones cuánticas, particularmente el desarrollo de dispositivos que almacenan los delicados estados cuánticos de los fotones recolectados en cada telescopio. Estos dispositivos, llamados discos duros cuánticos (QHD), se transportarían físicamente a una ubicación centralizada donde se recuperarían los datos de cada telescopio y se combinarían con los demás para revelar colectivamente detalles sobre algún objeto celeste distante. Esta técnica recuerda al icónico experimento de la doble rendija, realizado por primera vez por el físico Thomas Young en 1801, en el que la luz incide sobre una barrera opaca que tiene dos rendijas por las que puede pasar. La luz se recombina al otro lado de la barrera, creando un patrón de interferencia de rayas brillantes y oscuras, también conocido como interferograma. Esto funciona incluso si los fotones individuales se filtran a través de las rendijas uno por uno: con el tiempo, el patrón de interferencia seguirá emergiendo. "Si tenemos dos telescopios que se pueden hacer para que se comporten como las rendijas de Young y podemos obtener un interferograma en una fuente de luz, como una estrella en el cielo, el interferograma te dice muchas cosas sobre la fuente". dice el astrónomo Jonathan Bland-Hawthorn de la Universidad de Sydney, cuyo equipo propone el uso de discos duros cuánticos para construir interferómetros ópticos. Dichos instrumentos algún día podrían ayudar a los astrónomos a medir los tamaños y movimientos intrínsecos de estrellas y galaxias con mayor precisión, un ingrediente crucial en nuestra comprensión de la evolución del cosmos. Aunque los radioastrónomos ya han construido interferómetros impresionantes como el EHT, eso se debe principalmente a que la interferometría es más fácil de lograr en radio que en frecuencias ópticas de tres maneras importantes: Primero, las antenas de radio son más baratas de construir que los telescopios ópticos, por lo que se pueden construir grandes números de ellos (para

aumentar el área de recolección de la señal y, por lo tanto, la sensibilidad) y separarlos (para aumentar la resolución). En segundo lugar, los objetos astronómicos emiten potentes ondas de radio, lo que simplifica el registro de estas señales en antenas individuales para su posterior correlación. Las fuentes ópticas, sin embargo, suelen ser mucho, mucho más débiles, tan débiles, de hecho, que los telescopios a menudo deben acumular la luz de un objetivo celeste, literalmente, un fotón a la vez, convirtiendo la interferencia en un fenómeno mecánico cuántico. En tercer lugar, la atmósfera de la Tierra distorsiona la luz óptica, lo que deja poco tiempo a los telescopios para recoger los fotones antes de que las capas superiores de aire turbulento interrumpen su fase o coherencia. Tales restricciones han limitado las líneas de base de los interferómetros ópticos, es decir, las separaciones más largas entre los telescopios vinculados. Por ejemplo, el Centro de Astronomía de Alta Resolución Angular (CHARA) es un conjunto de seis telescopios ópticos de un metro que operan en el Observatorio Mount Wilson en California, y cuenta con una línea de base máxima de 330 metros. Y el interferómetro GRAVITY del Observatorio Europeo Austral, que conecta cuatro telescopios de 8,2 metros en el Observatorio Paranal en Chile, tiene una línea de base máxima de 130 metros. “El interferómetro más impresionante de cualquier tipo en el mundo es el instrumento ESO Gravity”, dice Bland-Hawthorn. “Ahora imagine ESO Gravity [con una línea base de] más de un kilómetro, tres kilómetros o 10 kilómetros”.

Con la tecnología óptica convencional, tales conceptos seguirían siendo esquivos. Los fotones recolectados por cada telescopio deben enviarse a través de fibras ópticas a algún lugar donde puedan combinarse. Además, es posible que los fotones de algunos telescopios deban mantenerse en suspenso en "líneas de retardo", que a menudo involucran fibras ópticas, para garantizar que la luz de todos los telescopios haya viajado la misma distancia. Si las líneas de transmisión o retardo son demasiado largas, lo que ocurre muy por debajo de las escalas de kilómetros, los fotones finalmente se absorben o dispersan, lo que hace que la interferencia sea imposible. Es imposible, al menos, sin la ayuda de la física cuántica. En 2011, Daniel Gottesman del Perimeter Institute for Theoretical Physics en Ontario y sus colegas sugirieron colocar una fuente de fotones entrelazados a mitad de camino entre dos telescopios distantes. La fuente envía uno de un par de fotones entrelazados a cada telescopio, donde se hacen que las partículas interfieran con otro fotón recibido de un objetivo celeste. Las mediciones de interferencia en cada telescopio se pueden registrar y luego usar para reconstruir un interferograma. Aunque esto puede parecer simple en principio, las líneas de base más

largas para la interferometría óptica requerirían repetidores cuánticos, dispositivos costosos y complejos hechos a medida para distribuir el entrelazamiento a grandes distancias que son la antítesis de la tecnología comercial. Ahora Bland-Hawthorn se ha asociado con el tecnólogo cuántico John Bartholomew de la Universidad de Sydney y Matthew Sellars de la Universidad Nacional de Australia en Canberra para diseñar interferómetros ópticos que evitan el uso de fotones entrelazados y repetidores cuánticos. La idea básica es simple: considere dos telescopios de ocho metros separados por decenas de kilómetros. Los estados cuánticos de los fotones recogidos por cada telescopio, es decir, la amplitud y la fase de la luz en función del tiempo, se almacenan en discos duros cuánticos. Los astrónomos transportarían físicamente estos QHD, por carretera, ferrocarril o aire, a un lugar, donde los estados cuánticos se leerían y se harían interferir, generando un interferograma. Bartholomew y sus colegas han estado trabajando juntos en QHD que algún día podrían usarse para construir un interferómetro de este tipo. En 2015, el grupo argumentó que los estados fotónicos podrían almacenarse en los estados de espín nuclear de ciertos iones en un cristal de ortosilicato de itrio dopado con europio (o, más simplemente, Eu:YSO). En teoría, en un cristal mantenido a una temperatura helada de dos grados Kelvin, los estados de espín deberían permanecer coherentes hasta por un mes y medio, dice Bartholomew. En una demostración de laboratorio, su equipo logró un resultado más modesto pero igualmente impresionante, demostrando que podía mantener los estados de giro coherentes durante seis horas. “Solíamos bromear sobre poner el sistema de memoria en la parte trasera de un Toyota Corolla y conducir por la autopista”, dice. “Serías capaz de recorrer una gran distancia”. Pero el experimento de 2015 no almacenó estados fotónicos en los estados de giro y los recuperó más tarde. Simplemente demostró que los estados de espín permanecieron coherentes durante horas. En un estudio de preimpresión de diciembre de 2020, Chuan-Feng Li de la Universidad de Ciencia y Tecnología de China y sus colegas informaron sobre el uso de cristales Eu:YSO para almacenar los estados coherentes de los fotones y recuperarlos después de una hora, verificando su fidelidad a través de experimentos de interferencia. “Es una gran idea conectar telescopios ópticos distantes a través de QHD”, dice Li. “Debería ser factible hacerlo utilizando las memorias cuánticas basadas en Eu:YSO en las que estamos trabajando. El QHD se puede transportar en camiones y helicópteros”.

Nora Tischler, física cuántica de la Universidad Libre de Berlín, que no participó en ninguno de estos trabajos, también está impresionada con la idea de usar QHD para

construir interferómetros ópticos. “Aunque la propuesta es técnicamente muy exigente, vale la pena señalar que esto puede aprovechar los desarrollos y esfuerzos ya existentes (e independientemente)”, dice. “La comunidad cuántica está trabajando arduamente para optimizar las memorias cuánticas como parte del esfuerzo por construir futuras redes cuánticas”. Estos recuerdos podrían formar la base de los discos duros cuánticos. Bartholomew dice que el siguiente paso es garantizar que los QHD sean resistentes a las vibraciones y aceleraciones que experimentarían durante el transporte. “Es necesario caracterizar el impacto de esas fuerzas en el almacenamiento cuántico”, dice. “Pero el motivo del optimismo es que estos estados de espín nuclear son muy insensibles a ese tipo de perturbaciones”. Aun así, no hay garantía de que la técnica sea un éxito práctico. Y tiene un competidor. En 2019, Johannes Borregaard, ahora en la Universidad Tecnológica de Delft en los Países Bajos, y sus colegas mejoraron la solución de Gottesman de 2011 al diseñar un método para comprimir la información que reciben los telescopios, conservando solo los fotones relevantes y descartando el resto. Entonces, esto requeriría interacciones con muchos menos pares de fotones entrelazados, que son difíciles de producir a las velocidades necesarias para la interferometría si la información entrante en los telescopios no se comprime primero. E incluso con la compresión, las líneas de base más largas aún garantizarían repetidores cuánticos. Borregaard dice que aún no está claro si los QHD o una combinación de fotones entrelazados y repetidores cuánticos serán los primeros en resolver el problema de la interferometría óptica. “Ambos son desafiantes”, dice. Incluso si se puede resolver el lado cuántico de la ecuación, el astrónomo John Monnier, experto en interferometría óptica e infrarroja de la Universidad de Michigan, es circunspecto. Los interferómetros ópticos con líneas de base cada vez más largas observarán objetos más pequeños y más débiles, lo que significa menos fotones por unidad de tiempo. Para contrarrestar los efectos nocivos de la atmósfera, los astrónomos siempre tienen la muy costosa opción de hacer telescopios más grandes, o la extraordinariamente costosa de colocarlos en el espacio, donde no hay atmósfera en absoluto. Alternativamente, pueden usar la óptica adaptativa, que implica el uso de la luz de un objeto de referencia brillante que está cerca en el cielo de la estrella o galaxia que se observa para corregir los efectos de desenfoque de la atmósfera. Pero a diferencia de la radioastronomía, donde las fuentes luminosas son relativamente abundantes, en longitudes de onda ópticas, "es muy raro encontrar un objeto brillante [cerca de] lo que sea que quieras estudiar", dice Monnier.

Es posible que en el futuro, los interferómetros ópticos con grandes líneas de base

también empleen el tipo de óptica adaptativa que utilizan los telescopios individuales hoy en día, que consiste en disparar potentes láseres para crear estrellas de referencia artificiales, o estrellas guía, en el cielo. Pero las estrellas guía láser actuales no son adecuadas para interferómetros con líneas de base de decenas de kilómetros. Dadas tales restricciones, construir interferómetros ópticos requerirá más que QHD, dice Monnier. "[Los QHD] podrían ser una pieza muy interesante de un futuro que también involucra algún tipo de nueva estrella guía láser para interferómetros o grandes telescopios". Si ese futuro llega a suceder, Bland-Hawthorn dice que se abrirá una era completamente nueva de astronomía óptica, particularmente con interferómetros que utilizan telescopios de 30 y 39 metros que se están construyendo en Hawai y Chile, respectivamente. Bland-Hawthorn también prevé poder descomponer las enanas blancas como Sirius B y los sistemas binarios en sus estrellas componentes, medir el tamaño de las estrellas y su velocidad intrínseca en el cielo (también llamado movimiento propio) con mayor precisión y resolver, con mayor detalle, las estrellas moviéndose alrededor del agujero negro en nuestro centro galáctico. "El seguimiento de las estrellas alrededor del agujero negro nos permitirá probar la teoría general de la relatividad de una nueva manera", dice Bland-Hawthorn. Fuera de la Vía Láctea, cree que los telescopios de clase de 40 metros conectados por QHD resolverán las estrellas en las galaxias hasta el cúmulo de Virgo y también medirán los movimientos propios de estas galaxias. "Este último experimento tiene implicaciones clave para el estudio de cómo evoluciona la estructura a gran escala con el tiempo cósmico debido a la materia oscura subyacente y la aparición de energía oscura", dice Bland-Hawthorn.

Ideas relacionadas con este concepto, pero de un carácter diferente, son las que proponen construir telescopios cuánticos basados en el concepto de entrelazamiento cuántico [2,3]. Está claro que la física cuántica ha venido para quedarse y revolucionar campos que creíamos ya establecidos y perennes.

## Referencias

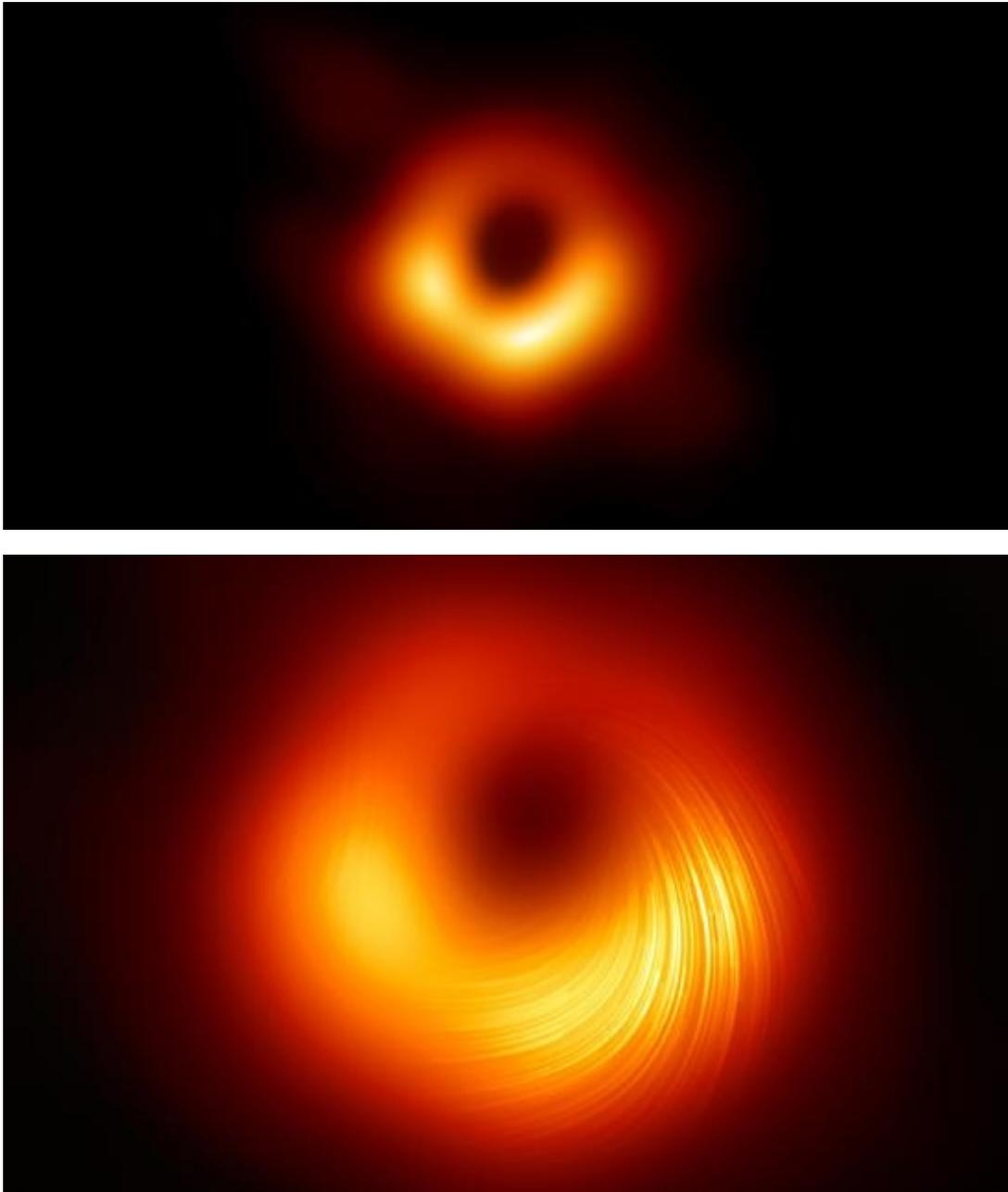
[1] *Quantum Astronomy Could Create Telescopes Hundreds of Kilometers Wide*. Astronomers hope to use innovations from the subatomic world to construct breathtakingly large arrays of optical observatories. By Anil Ananthaswamy on April 19, 2021. Scientific American. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/quantum-astronomy-could-create-telescopes-hundreds-of-kilometers-wide/>

[2] *Quantum telescopes*. Aglae Kellerer. ArXiv: <https://arxiv.org/abs/1403.6681>

[3] *Quantum telescopes: feasibility and constrains*, A. R. Kurek, T. Pięta, Tomasz Stebel, A. Pollo, A. Popowicz <https://arxiv.org/abs/1508.04275>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

**14. 12 de Mayo de 2022: el día de SgA\***



**Figura 1.** El agujero negro de M87 (imagen superior) y su imagen con polarización (figura inferior), mediante interferometría a escala planetaria con el Event Horizon

Telescope (EHT). Créditos: EHT collaboration. NASA/ESA y otras agencias espaciales.  
Un appetizer...

**Anuncio a los medios.** Publicado originalmente el 2 de mayo de 2022 por Matt Williams.

Sagitario A\* (denotado en general como SgA\*) está a punto de ser mostrado al mundo. ¿Estáis preparados/as para verlo? Ya hay fecha oficial...

12 de Mayo de 2022: ¡Será el GRAN DÍA para SgA\*!: veremos (por fin) el agujero negro central de la Vía Láctea mediante interferometría VLBI (Very Large Baseline Interferometry) a escala planetaria.

La fecha es para apuntarse en los calendarios (y la recordarán los libros de texto): El 12 de mayo de 2022, no es un sueño de verano. Entonces veremos la imagen del Event Horizon Telescope del agujero negro supermasivo de la Vía Láctea (que tiene aproximadamente 4 millones de masas solares). Hemos esperado mucho para esto (dada la complejidad del análisis de los datos de interferometría de radio, su integración y procesado).

En abril de 2019, el consorcio astronómico internacional conocido como Event Horizon Telescope (EHT) fue noticia en todo el mundo cuando anunció la primera imagen de un agujero negro. Específicamente, la imagen mostró el disco brillante que rodea el agujero negro supermasivo (SMBH) en el centro de la galaxia M87. En 2021, siguieron con esto adquiriendo una imagen de la región central de la galaxia Centaurus A y el chorro de radio que emana de ella. Pero en lo que seguramente será el anuncio más emocionante hasta el momento, el Observatorio Europeo Austral (ESO) e investigadores del EHT anunciarán los resultados de su estudio que examinó el SMBH en el centro de nuestra propia Vía Láctea: ¡Sagitario A\* ! Los resultados se compartirán como parte de una conferencia de prensa el jueves 12 de mayo a partir de las 15:00 CEST (08:00 EDT; 05:00 PDT).

El evento tendrá lugar en la sede central de ESO en Múnich, Alemania, y se transmitirá en vivo a través de un webcast de ESO. La conferencia de prensa incluirá al Director General de ESO, Xavier Barcons, abriendo las cosas, seguido por el Director del Proyecto EHT, Huib Jan van Langevelde, y el Presidente Fundador de la Junta de Colaboración de EHT, Anton Zensus, pronunciando comentarios. Luego, un panel de investigadores del grupo de trabajo Event Horizon Telescope Consortium (EHTC)

explicará los resultados y responderá las preguntas de los medios de comunicación (en el lugar y en línea). Este panel estará compuesto por:

-Thomas Krichbaum, investigador del Grupo VLBI en el Instituto Max Planck de Radioastronomía (MPIfR) en Alemania.

-Sara Issaoun, astrónoma y becaria Einstein de la NASA en el Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica (CfA) y la Universidad de Radboud, Países Bajos.

-José L. Gómez, investigador del Grupo VLBI del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), España.

-Christian Fromm, Catedrático de Astronomía de la Universidad de Würzburg, Alemania.

-Mariafelicia de Laurentis, profesora de la Universidad de Nápoles “Federico II” y del Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN) de Italia.

Se emitirá un comunicado de prensa de ESO sobre los resultados y un amplio material audiovisual de apoyo a las 03:07 p. También habrá conferencias de prensa simultáneas en todo el mundo, incluso en Washington D.C., Santiago de Chile, Ciudad de México, Tokio y Taipei (sobre las que puede obtener más información aquí). Un evento en línea para el público seguirá a la conferencia de prensa a las 04:30 p. m. CEST (10:30 a. m. EDT; 07:30 a. m. PDT), que durará aproximadamente una hora y se transmitirá en vivo en el canal de Youtube de ESO. Esto consistirá en una sesión de preguntas y respuestas, donde los miembros del público tendrán la oportunidad de dirigirse a otro panel de expertos en EHT que estará compuesto por:

-Sera Markoff, profesora del Instituto de Astronomía Anton Pannekoek de la Universidad de Ámsterdam, Países Bajos.

-Michael Janssen, académico visitante del MPIfR.

-Rocco Lico, investigador del IAA-CSIS, miembro del Grupo VLBI en MPIfR y ganador del premio Event Horizon Telescope Early Career Award 2021.

-Roman Gold, profesor asistente en la Universidad del Sur de Dinamarca.

-Violette Impellizzeri, profesora y Paul Harris Fellow en la Universidad de Leiden (Países Bajos) y ganadora del prestigioso Premio Breakthrough 2020.

-Ziri Younsi, becaria Stephen Hawking de UKRI en el University College London, Reino Unido.

Deseo: espero que hayan mejorado los narradores (la divulgación de la imagen de M87 por la ESA fue deprimente, la de la NASA fue espectacular; en Europa no se sabe vender las noticias científicas). Si no, creo que tendré que cambiarme al canal de la NASA...

La NASA tendrá su propio comité de la NSF(National Science Foundation) y conferencia de prensa, con los siguientes participantes:

-Katherine (Katie) L. Bouman, Assistant Professor of Computing and Mathematical Sciences, Electrical Engineering and Astronomy at Caltech.

-Vincent Fish, Research Scientist at MIT Haystack Observatory.

-Feryal Özel, Professor, Departments of Astronomy and Physics at University of Arizona.

-Michael Johnson, Astrophysicist at Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian.

## Referencias

[1] **Universetoday.com** URL: <https://www.universetoday.com/155696/this-is-it-on-may-12th-well-see-the-event-horizon-telescopes-image-of-the-milky-ways-supermassive-black-hole/>

[2] **Evento en el canal de la ESA en Youtube.com:** <https://www.youtube.com/watch?v=rIQLA6lo6R0&feature=youtu.be>

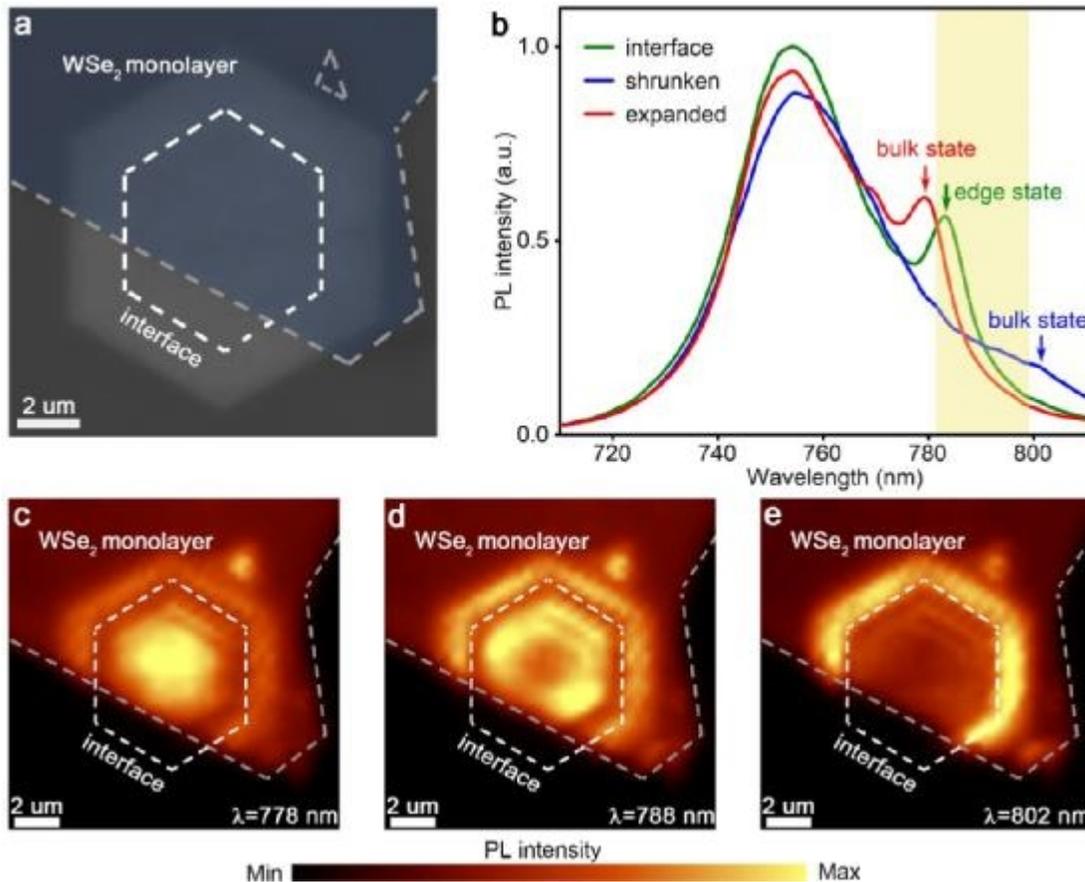
[3] **Evento en el canal de la NASA y la NSF: TBA.**

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 15. Cristales de fotones.

### Cristales fotónicos

Investigación sobre el estado topológico del cristal fotónico más allá del límite de difracción óptica.



**Figura 1.** Caracterización del estado frontera (superficie/límite/borde) topológica  $\mathbb{Z}_2$  y su línea oscura. Crédito: Compuscript Ltd. Characterization of the  $\mathbb{Z}_2$  topological edge state and its dark line. Credit: Compuscript Ltd.

Una nueva publicación de *Opto-Electronic Advances* considera la investigación sobre estados topológicos de cristales fotónicos más allá del límite de difracción óptica. La luz omnipresente muestra diferentes características en diferentes materiales. Si el material se dispone periódicamente de forma selectiva al nivel de longitud de onda de la luz, provocando regiones repetidas regularmente de constante dieléctrica alta y baja, se puede controlar el comportamiento de propagación de la luz. Estas estructuras periódicas se denominan cristales fotónicos y las longitudes de onda que se propagan se denominan

modos. Basado en cristal fotónico, hay muchas aplicaciones, como recubrimientos de baja y alta reflexión en lentes y espejos, fibras de cristal fotónico, sensores ópticos, etc.

Una de las mayores dificultades en el proceso de fabricación de cristales fotónicos es el defecto, que puede provocar la dispersión de la luz que se propaga en los cristales fotónicos. Estos defectos son difíciles de evitar, ya que siempre hay algunas imperfecciones en el proceso de fabricación. Para superar este problema, la topología como un concepto matemático que se ocupa de las propiedades invariantes bajo deformación continua se introdujo en la fotónica para describir la propiedad global de los cristales fotónicos. Los cristales fotónicos topológicos se centran en las características generales y no son sensibles a los defectos locales. Y si el cristal fotónico es topológico no trivial, admite estados ópticos en su límite o frontera/borde/superficie, que tampoco son sensibles a los defectos locales. Estos sólidos estados límite pueden permitir excelentes aplicaciones para la comunicación óptica y las emisiones cuánticas, como la guía de ondas unidireccional y el láser monomodo.

Sin embargo, debido al límite de difracción de la luz, es difícil obtener detalles de los estados ópticos con una longitud característica de alrededor de 300 nm o menos. Algunos fenómenos físicos novedosos no se han estudiado completamente mediante el uso de microscopía óptica tradicional, como una línea oscura que existe con el estado de borde topológico protegido por simetría cristalina. Recientemente, el grupo de investigación del profesor Zheyu Fang de la Universidad de Pekín mostró una investigación sobre el estado del borde topológico del cristal fotónico. En esta investigación, el límite de difracción óptica se rompe mediante el uso de la nanoscopia de catodoluminiscencia (CL). La línea oscura se refleja con una resolución de sublongitud de onda profunda y el mecanismo de la línea oscura se aclara con la distribución del campo electromagnético que se calcula mediante simulación numérica. Su investigación proporciona una comprensión más profunda de los estados de borde topológicos y puede tener una gran importancia para el diseño de futuros dispositivos topológicos en chip.

El grupo de investigación del profesor Zheyu Fang de la Universidad de Pekín se dio cuenta del estado del borde topológico  $\mathbb{Z}_2$  en el rango visible y caracterizó su línea oscura con la nanoscopia de catodoluminiscencia (CL). Su estructura se compone de una región de cristal fotónico trivial topológica externa y una región de cristal fotónico no trivial topológica interna. El estado de borde topológico está confinado en la interfaz entre estos dos tipos de cristales fotónicos. El estado del borde topológico se refleja

directamente desde la estructura de cristal fotónico diseñada con la fotoluminiscencia mejorada (PL) de la monocapa  $WSe_2$  que cubría la parte superior. La densidad local óptica radiativa de los estados del estado de borde se caracteriza aún más mediante el uso de nanoscopía CL con una resolución de alrededor de 10 nm, rompiendo el límite de difracción óptica. Se encuentra que la línea oscura del estado de borde está exactamente localizada en la región vecina de la celda unitaria no trivial cerca de la interfaz. Y la línea oscura se interpreta con la distribución del campo orbital p-d artificial analizando en detalle los estados de borde topológicos simulados. Descubrieron que la energía del estado de borde topológico  $\mathbb{Z}_2$  se localiza en la interfaz y decae gradualmente en el área vecina, mientras que las proporciones de los orbitales p y d son diferentes según las distancias a la interfaz. Esto conduce a diferentes características de radiación de los estados de borde topológicos  $\mathbb{Z}_2$  en diferentes posiciones. Las líneas oscuras en la región de celda unitaria no trivial vecina cerca de la interfaz están compuestas principalmente de componentes orbitales d, por lo que la radiación del estado de borde topológico  $\mathbb{Z}_2$  es débil en esta región. Esto se puede usar directamente para mejorar la eficiencia cuántica del láser de estado de borde topológico (componente orbital p) o inhibir la emisión cuántica (componente orbital d). Además, esta caracterización CL resuelta en sublongitud de onda profunda se puede adaptar a cualquier otro análisis de modo topológico fotónico. Este trabajo fortalece la comprensión detallada de los estados de borde topológicos  $\mathbb{Z}_2$  y constituye una instrucción vital para la exploración y el diseño de dispositivos topológicos en chip, lo que beneficia el desarrollo de la futura comunicación óptica y la óptica cuántica.

En el campo de la fotónica micro-nano, el grupo de investigación del Prof. Zheyu Fang de la Universidad de Pekín se centra en las teorías, materiales, aplicaciones, diseños de IA y métodos de caracterización de catodoluminiscencia. Estudiaron la preparación y caracterización de nanoestructuras plasmónicas, el enfoque óptico a nanoescala y el diseño de guías de ondas, el dopaje y la detección de interfaces de electrones calientes, el comportamiento de excitones de materiales bidimensionales y las características de luminiscencia, etc. Se han logrado muchos resultados de investigación innovadores en cuestiones científicas clave. como la miniaturización de fotodetectores de alta eficiencia y la modulación de las características fotoeléctricas de las estructuras plasmónicas bajo el campo externo.

## Referencias

[1] *Research on the photonic crystal topological state beyond the optical diffraction limit*

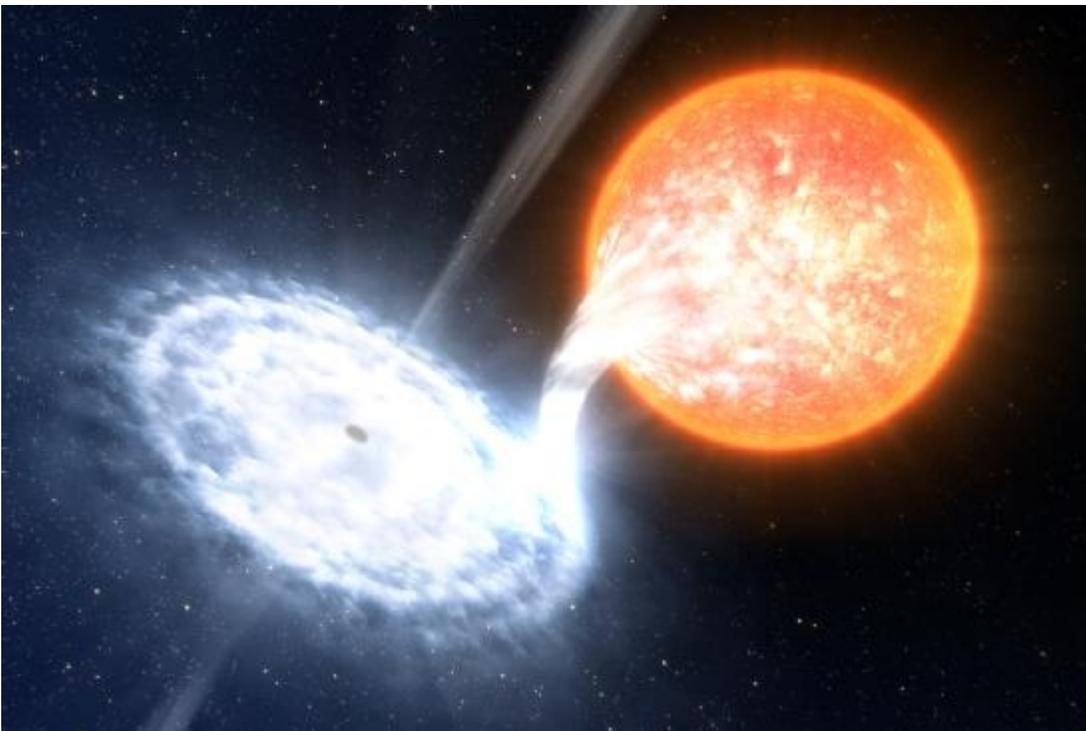
by Compuscript Ltd. Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-photonic-crystal-topological-state-optical.html>

[2] Xiao He et al, *Field distribution of the  $\mathbb{Z}_2$  topological edge state revealed by cathodoluminescence nanoscopy*, Opto-Electronic Advances (2022). DOI: [10.29026/oea.2022.210015](https://doi.org/10.29026/oea.2022.210015)

[3] *Field distribution of the  $\mathbb{Z}_2$  topological edge state revealed by cathodoluminescence nanoscopy*. URL: <https://www.ojournal.org/article/doi/10.29026/oea.2022.210015>

**Artículo traducido y editado por: Juan F. González**

## 16. Agujeros negros estelares en sistemas binarios: la lista de la NASA



**Figura 1.** Representación artística de un agujero negro estelar en un sistema binario, algunas veces también denominado microcuásar (microquasar) cuando desarrolla estructura de jets y rayos X.

La NASA lanza una simulación de 22 sistemas binarios de agujeros negros conocidos. ¿Quiere echar un vistazo a algunos sistemas binarios de agujeros negros? Bueno,

entonces la NASA te respalda con esta impresionante imagen que muestra 22 sistemas confirmados. Bailando en la oscuridad Cada sistema en la visualización de la NASA consiste en una estrella que orbita alrededor de un agujero negro. Puedes ver que la mayoría de las estrellas introducen su material en el horizonte de eventos del agujero negro. A veces, esa alimentación es apenas visible, con solo un delgado disco de material que rodea el agujero negro. Otras veces es más prominente, con la propia estrella estirándose. En otros, la estrella produce un flujo de salida llamado viento estelar, que el agujero negro aspira. El video, producido por el Centro de Vuelo Espacial Goddard y el Estudio de Visualización Científica de la NASA, muestra todos los sistemas de agujeros negros a escala. El binario de agujeros negros más grande, GRS 1915, domina el centro. En ese sistema, el disco de acreción es más grande que la órbita de Mercurio en nuestro propio sistema solar.

00:00

01:36

**Vídeo 1.** Simulación de 22 agujeros negros en sistemas binarios conocidos. Obtenga más información sobre los sistemas de agujeros negros más conocidos de nuestra galaxia y su vecina, la Gran Nube de Magallanes. Esta visualización presenta 22 sistemas binarios de rayos X que albergan agujeros negros confirmados a la misma escala, con sus órbitas aceleradas unas 22000 veces. La vista de cada sistema refleja cómo lo vemos desde la Tierra. Los colores de las estrellas que van desde el blanco azulado hasta el rojizo representan temperaturas desde 5 veces más calientes hasta un 45% más frías que nuestro Sol. En la mayoría de estos sistemas, una corriente de materia procedente de la estrella forma un disco de acreción alrededor del agujero negro. En otros, como el famoso sistema llamado Cygnus X-1, la estrella produce un fuerte flujo de salida que es parcialmente arrastrado por la gravedad del agujero negro para formar el disco. Los discos de acreción usan un esquema de color diferente porque tienen temperaturas aún más altas que las estrellas. El disco más grande que se muestra, perteneciente a un binario llamado GRS 1915, abarca una distancia mayor que la que separa a Mercurio de nuestro Sol. Los propios agujeros negros se muestran más grandes que en la realidad usando esferas escaladas para reflejar sus masas. Crédito: Centro de Vuelo Espacial

Goddard de la NASA y Estudio de Visualización Científica Música: "Event Horizon" de Gravity. Escrita y producida por Lars Leonhard Mire este video en el canal de YouTube Goddard de la NASA. URL alternativa: <https://youtu.be/NqOhCBRnrnA>

00:00

01:28

**Vídeo 2.** El mismo vídeo que el anterior, sin las trazas de las órbitas.

Para guiarse por el video, aquí hay algunos consejos:

-Los 22 sistemas confirmados en la imagen viven en la galaxia de la Vía Láctea o en nuestro vecino más cercano, la Gran Nube de Magallanes.

-El visual acelera las tasas de rotación de todos los sistemas en 22000 veces.

-Los colores de las estrellas son precisos. Por ejemplo, las estrellas más calientes, que son de color blanco azulado, son cinco veces más calientes que el Sol. Las estrellas más frías, que son rojas, son un 45% más frías.

-Los discos de acreción son tan brillantes que eclipsan a las estrellas, por lo que su coloración está en una escala diferente.

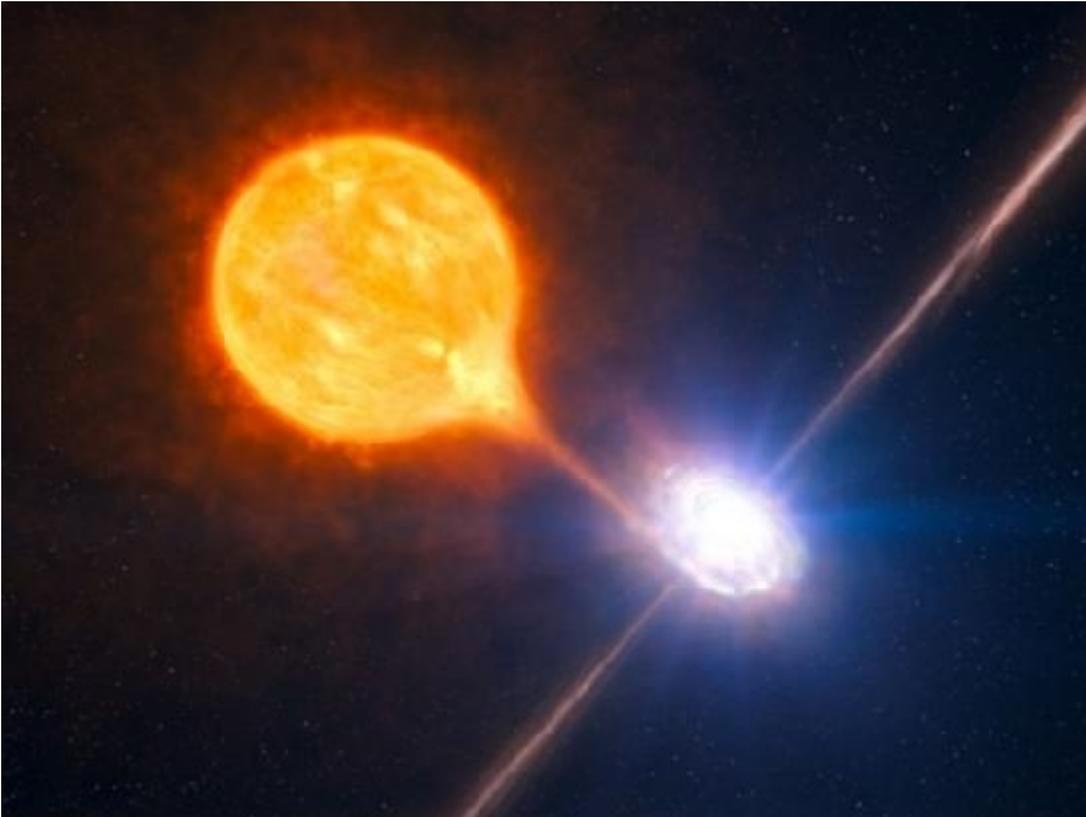
-Los diferentes ángulos en los que vemos los sistemas binarios de agujeros negros representan cómo los vemos desde nuestra perspectiva en la Tierra.

La visualización incluye algunos famosos sistemas binarios de agujeros negros. Por ejemplo, está Cygnus X-1, el primer agujero negro conocido, que se encuentra a 7200 años luz de nosotros. En ese sistema, el agujero negro tiene una masa de 21 masas solares y la estrella compañera es 40 veces más grande que el sol. La visualización también incluye MAXI J1659, el sistema con la órbita más rápida conocida. En ese sistema, que está a 29000 años luz de nosotros, la estrella compañera orbita el agujero negro cada 2,4 horas.

### **Conceptos básicos binarios de agujeros negros**

Los astrónomos conocen estos sistemas a través de las copiosas cantidades de radiación de rayos X que producen. Cuando las estrellas compañeras se acercan demasiado al

agujero negro, la intensa gravedad del agujero negro atrae sus atmósferas. Todo ese gas y material fluye hacia el agujero negro, que es relativamente pequeño. Por ejemplo, el agujero negro Cygnus X-1 tiene solo 77 millas de ancho. Esto obliga al gas a comprimirse, y toda esa fricción hace que se caliente. Los discos de acreción en los sistemas binarios de agujeros negros alcanzan temperaturas tan altas que emiten radiación de rayos X.



**Figura 2.** Un ejemplo de sistema binario de agujero negro.

Combinando observaciones realizadas con el Very Large Telescope de ESO y el telescopio de rayos X Chandra de la NASA, los astrónomos han descubierto el par de chorros más poderosos jamás vistos desde un agujero negro estelar. Al estudiar el sistema orbital, los astrónomos pueden descubrir las propiedades del agujero negro. La emisión de rayos X da una idea del tamaño total, mientras que la órbita del compañero revela la masa. Ponerlos juntos da la densidad, y si está por encima de cierto umbral, los astrónomos saben que es un agujero negro. Puede encontrar más información sobre la visualización visitando el sitio web de la NASA.

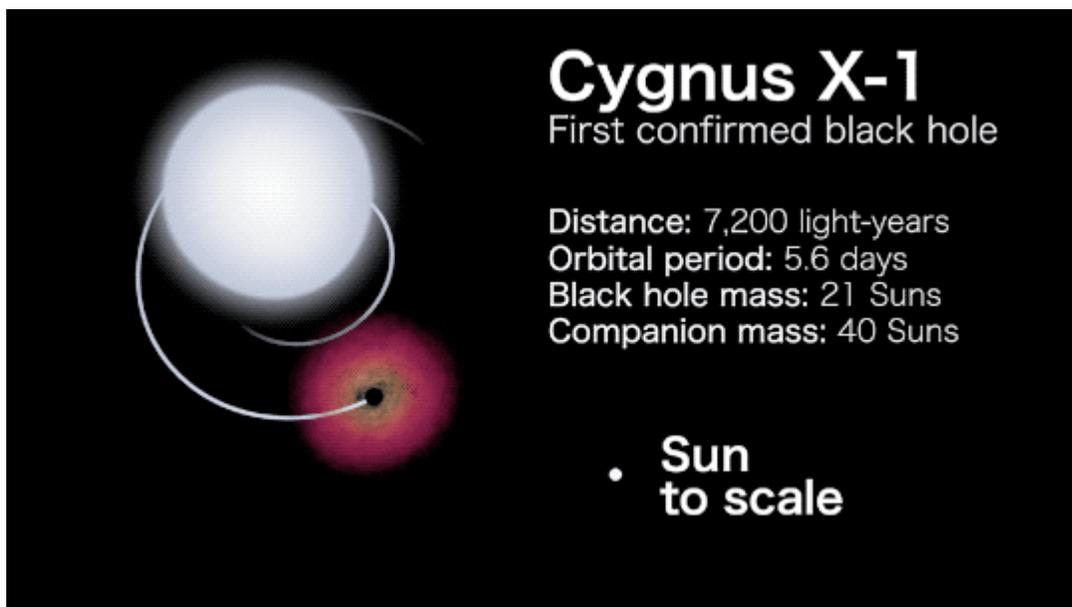
## Referencias

[1] *NASA Releases a Simulation of 22 Known Black Hole Binary Systems*. Posted on May 5, 2022 by Paul M. Sutter at UniverseToday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155743/nasa-releases-a-simulation-of-22-known-black-hole-binary-systems/>

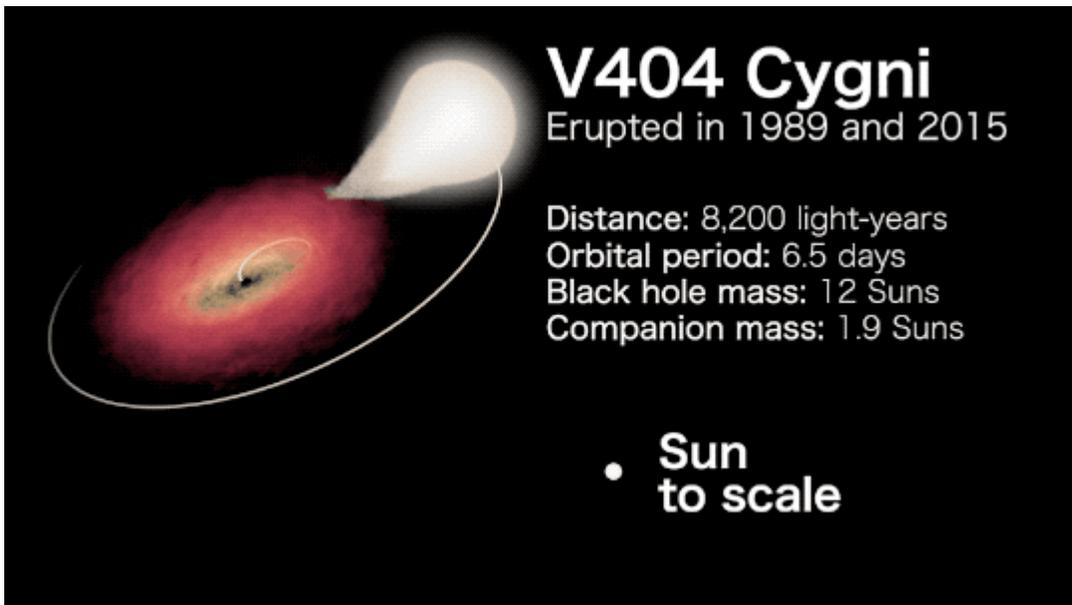
[2] *NASA's Black Hole Orrery*, Released on May 2, 2022 URL: <https://svs.gsfc.nasa.gov/14149>

*Artículo editado y traducido por: Juan F. González*

**Apéndice: GIFs animados y vídeos adicionales.**

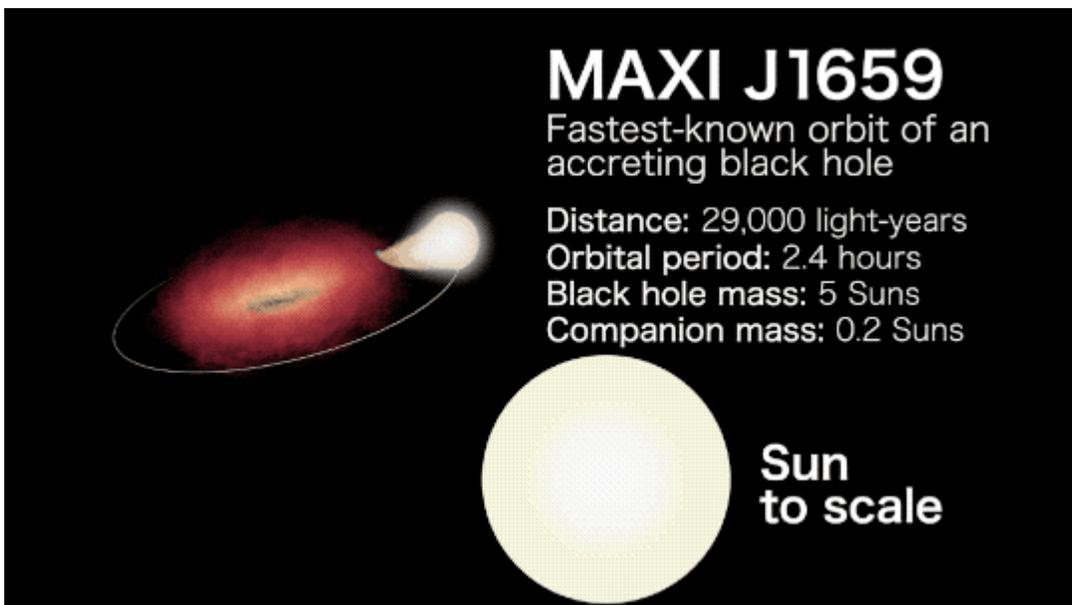


1. GIF highlighting Cygnus X-1. Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio.



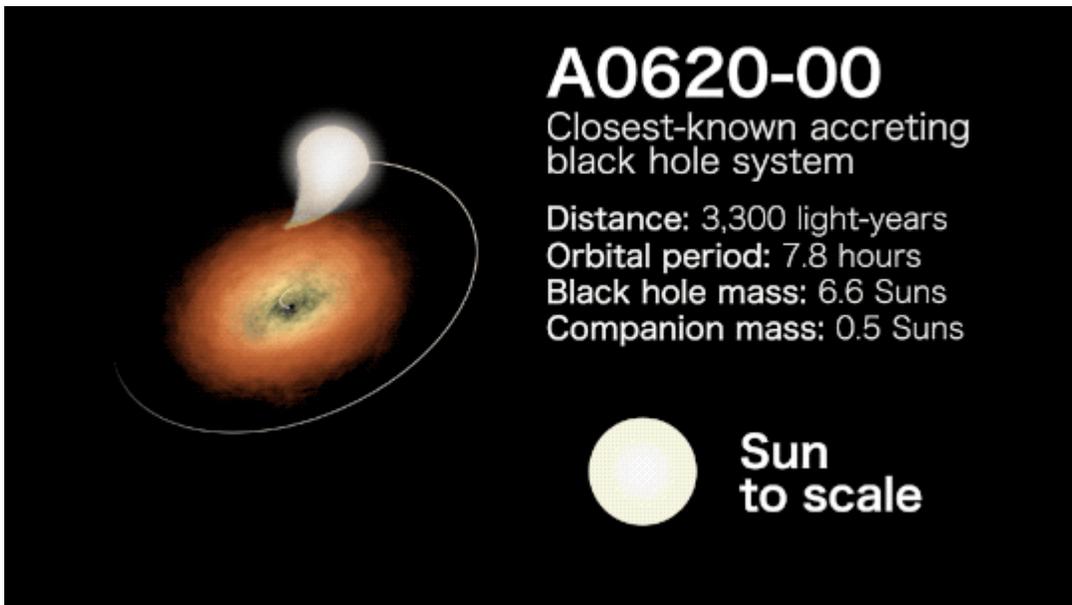
2. GIF highlighting V404 Cygni. See these stories for more about the 2015 eruption: [NASA Missions Monitor a Waking Black Hole](#). [NASA's Swift Reveals a Black Hole Bull's-eye](#).

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio.



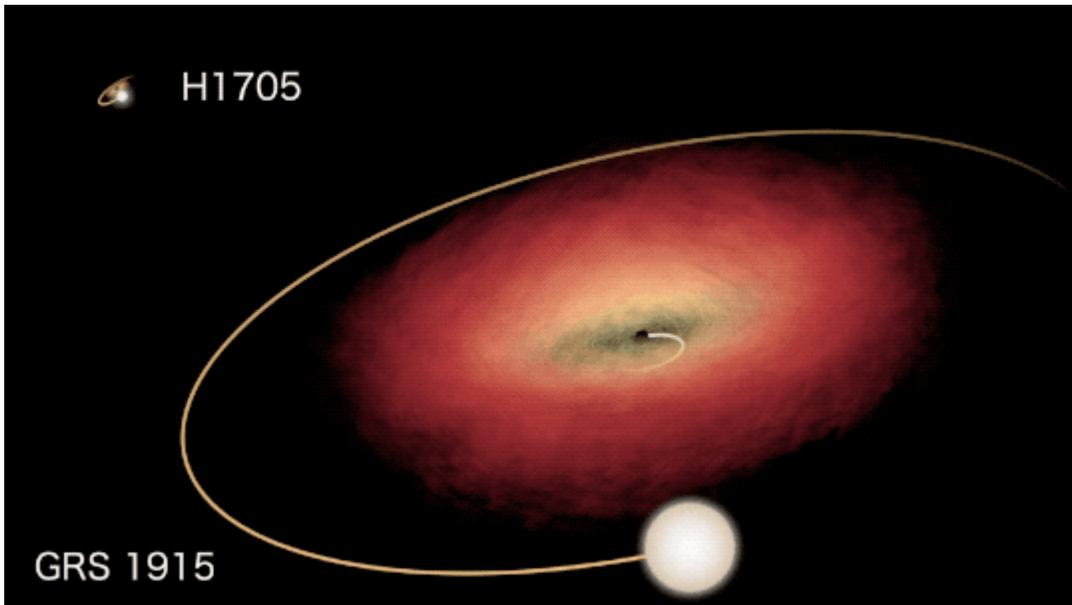
3. GIF highlighting MAXI J1659-152.

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio



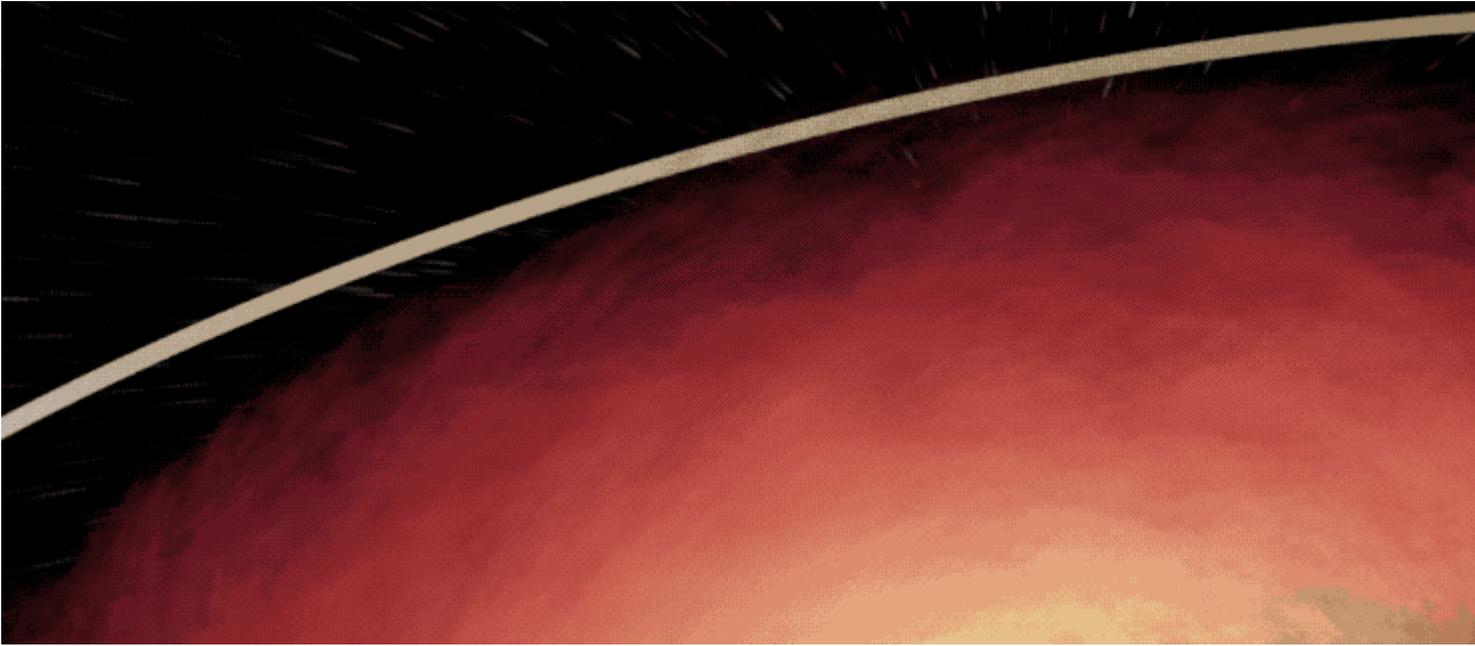
4. GIF highlighting A0620-00.

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio



5. This animation compares the largest system, GRS 1915+105, discovered in 1992, with its diminutive cousin H1705-25, discovered in 1977 when it erupted as an X-ray nova. Their black holes are thought to weigh, respectively, 15 and 7 solar masses. The accretion disk of GRS 1915 may extend more than 50 million miles (80 million kilometers), greater than the distance separating Mercury from the Sun.

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio



6. This animation depicts a fanciful flight past several of the visualized black hole systems, including Cygnus X-1 and GRS 1915.

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center and Scientific Visualization Studio

**Apéndice B.** Vídeos completos de los 22 sistemas binarios con agujero negro simulados por la NASA (hay más).

00:00

05:35

Simulación 1. Close up view of GRS 1915. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

Simulación 2. Close up view of Cygnus X-1. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:19

Simulación 3. Close up view of LMC X-1. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

Simulación 4. Close up view of V404 Cygni. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:14

Simulación 5. Close up view of V4641 Sagittarii. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:12

Simulación 6. Close up view of GS 1354. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:13

Simulación 7. Close up view of GRO J1655. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:08

Simulación 8. Close up view of GX 339-4. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:08

Simulación 9. Close up view of LMC X-3. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:07

Simulación 10. Close up view of XTE J1550. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:05

Simulación 11. Close up view of 4U 1543. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:03

Simulación 12. Close up view of MAXI J1820. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:02

Simulación 13. Close up view of H1705. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:02

Simulación 14. Close up view of GRS 1124. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 15. Close up view of GS 2000. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 16. Close up view of GRS 1009. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 17. Close up view of A0620-00 in Monoceros. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 18. Close up view of XTE J1859. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 19. Close up view of XTE J1650. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:02

Simulación 20. Close up view of XTE J1118. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:02

Simulación 21. Close up view of GRO J0422. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

00:00

00:01

Simulación 22. Close up view of MAXI J1659. Credit: NASA's Scientific Visualization Studio.

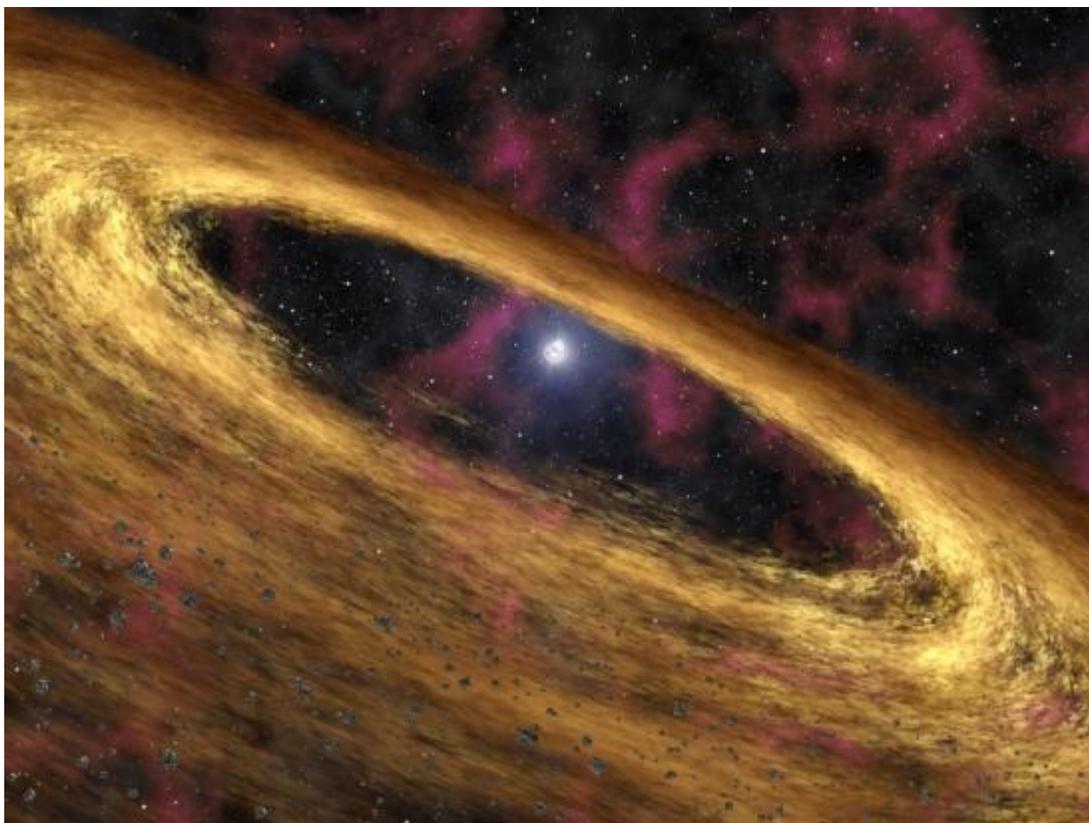
00:00

00:30

Simulación adicional extra. Artist's interpretation of Swift J1745-26, a newly discovered black hole with a flaring accretion disk. Interpretación artística de Swift J1745-26, un agujero negro recientemente descubierto con un disco de acreción llameante.

Artículo editado y traducido por Juan F. González

### 17. Nuevos sistema binario viuda negra.



**Figura 1.** Representación artística de un pulsar binario acreta de otra estrella. Credit: Pixabay/CC0 Public Domain.

**Los astrónomos descubren un binario raro de 'viuda negra', con la órbita más corta hasta ahora** por Jennifer Chu, Instituto de Tecnología de Massachusetts.

El destello de una estrella cercana ha llevado a los astrónomos del MIT a un nuevo y misterioso sistema a 3000 años luz de la Tierra. La rareza estelar parece ser una nueva "viuda negra binaria": una estrella de neutrones, o púlsar, que gira rápidamente y que está dando vueltas y consumiendo lentamente una estrella compañera más pequeña, como lo hace su homónimo arácnido con su pareja.

Los astrónomos conocen unas dos docenas de viudas negras binarias en la Vía Láctea. Este candidato más nuevo, llamado ZTF J1406+1222, tiene el período orbital más corto identificado hasta ahora, con el púlsar y la estrella compañera dando vueltas cada 62 minutos. El sistema es único en el sentido de que parece albergar una tercera estrella lejana que orbita alrededor de las dos estrellas internas cada 10000 años.

Esta probable viuda negra triple está planteando preguntas sobre cómo se podría haber formado un sistema así. Con base en sus observaciones, el equipo del MIT propone una historia de origen: como ocurre con la mayoría de los binarios de la viuda negra, el sistema triple probablemente surgió de una densa constelación de viejas estrellas conocida como cúmulo globular. Este cúmulo en particular puede haberse desplazado hacia el centro de la Vía Láctea, donde la gravedad del agujero negro central fue suficiente para separar el cúmulo y dejar intacta la triple viuda negra. "Es un escenario de nacimiento complicado", dice Kevin Burdge, becario postdoctoral de Pappalardo en el Departamento de Física del MIT. "Este sistema probablemente ha estado flotando en la Vía Láctea durante más tiempo que el sol".

Burdge es el autor de un estudio que aparece en Nature que detalla el descubrimiento del equipo. Los investigadores utilizaron un nuevo enfoque para detectar el sistema triple. Si bien la mayoría de los binarios de la viuda negra se encuentran a través de la radiación gamma y de rayos X emitida por el púlsar central, el equipo utilizó luz visible, y específicamente el parpadeo de la estrella compañera del binario, para detectar ZTF J1406+1222. "Este sistema es realmente único en lo que respecta a las viudas negras, porque lo encontramos con luz visible, y por su amplio compañero, y el hecho de que vino del centro galáctico", dice Burdge. "Todavía hay mucho que no entendemos al respecto. Pero tenemos una nueva forma de buscar estos sistemas en el cielo".

Los coautores del estudio son colaboradores de múltiples instituciones, incluidas la Universidad de Warwick, Caltech, la Universidad de Washington, la Universidad McGill y la Universidad de Maryland.

**Día y noche**

Los binarios de la viuda negra funcionan con púlsares, estrellas de neutrones que giran rápidamente y que son los núcleos colapsados de estrellas masivas. Los púlsares tienen un período de rotación vertiginoso, giran cada pocos milisegundos y emiten destellos de rayos X y gamma de alta energía en el proceso. Normalmente, los púlsares giran y mueren rápidamente a medida que queman una gran cantidad de energía. Pero de vez en cuando, una estrella que pasa puede dar nueva vida a un púlsar. A medida que se acerca una estrella, la gravedad del púlsar extrae material de la estrella, lo que proporciona nueva energía para hacer girar el púlsar hacia arriba. El púlsar "reciclado" luego comienza a volver a irradiar energía que despoja aún más a la estrella y finalmente la destruye.

"Estos sistemas se denominan viudas negras debido a la forma en que el púlsar consume lo que lo recicló, al igual que la araña se come a su pareja", dice Burdge. Todos los binarios de la viuda negra hasta la fecha han sido detectados a través de destellos de rayos X y gamma del púlsar. Por primera vez, Burdge se encontró con ZTF J1406+1222 a través del parpadeo óptico de la estrella compañera. Resulta que el lado diurno de la estrella compañera, el lado que mira perpetuamente al púlsar, puede ser muchas veces más caliente que el lado nocturno, debido a la constante radiación de alta energía que recibe del púlsar.

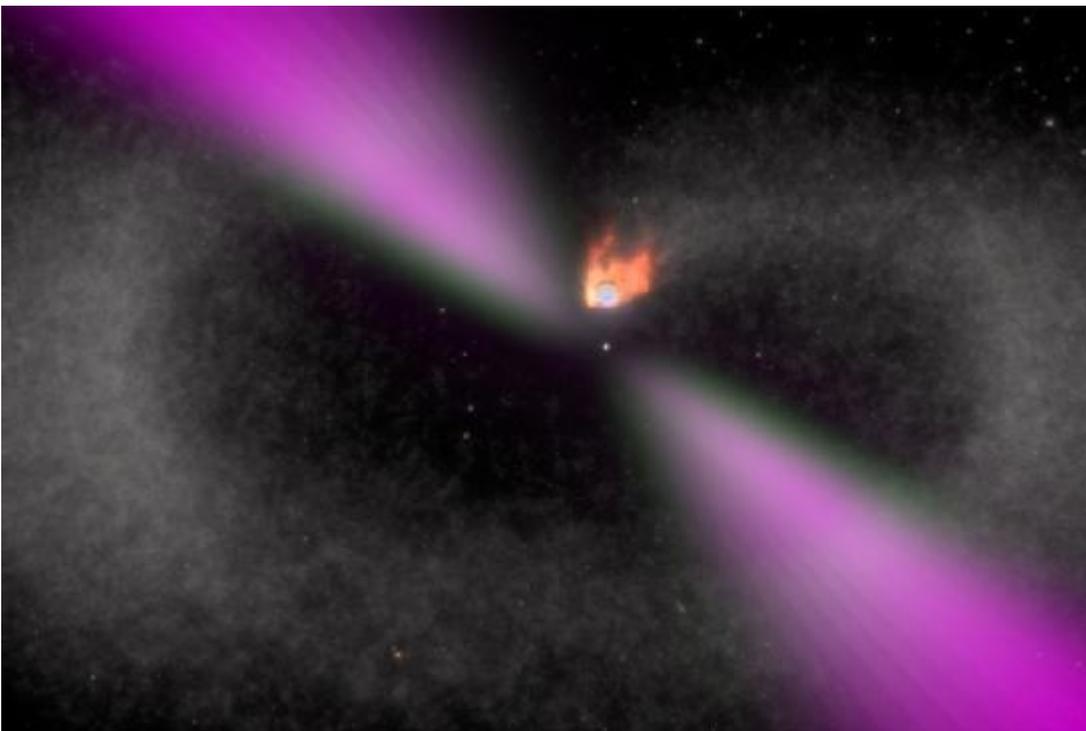
Razonó que si los astrónomos observaban una estrella cuyo brillo cambiaba periódicamente en gran medida, sería una fuerte señal de que estaba en un sistema binario con un púlsar.

### **Movimiento estelar**

Para probar esta teoría, Burdge y sus colegas analizaron los datos ópticos tomados por el Zwicky Transient Facility, un observatorio con sede en California que toma imágenes de campo amplio del cielo nocturno. El equipo estudió el brillo de las estrellas para ver si alguna estaba cambiando drásticamente por un factor de 10 o más, en una escala de tiempo de aproximadamente una hora o menos, signos que indican la presencia de una estrella compañera que orbita estrechamente alrededor de un púlsar. El equipo pudo seleccionar la docena de binarios de viuda negra conocidos, lo que validó la precisión del nuevo método. Luego vieron una estrella cuyo brillo cambiaba por un factor de 13, cada 62 minutos, lo que indica que probablemente era parte de un nuevo binario viuda negra, que etiquetaron como ZTF J1406+1222.

Buscaron la estrella en las observaciones realizadas por Gaia, un telescopio espacial operado por la Agencia Espacial Europea que mantiene mediciones precisas de la posición y el movimiento de las estrellas en el cielo. Mirando hacia atrás a través de décadas de mediciones de la estrella del Sloan Digital Sky Survey, el equipo descubrió que el binario estaba siendo seguido por otra estrella distante. A juzgar por sus cálculos, esta tercera estrella parecía estar orbitando la binaria interna cada 10000 años. Curiosamente, los astrónomos no han detectado directamente emisiones gamma o de rayos X del púlsar en el binario, que es la forma típica en la que se confirman las viudas negras. ZTF J1406+1222, por lo tanto, se considera un binario viuda negra candidato, que el equipo espera confirmar con futuras observaciones.

"Lo único que sabemos con certeza es que vemos una estrella con un lado diurno que es mucho más caliente que el lado nocturno, orbitando alrededor de algo cada 62 minutos", dice Burdge. "Todo parece apuntar a que es un binario de viuda negra. Pero hay algunas cosas extrañas al respecto, por lo que es posible que sea algo completamente nuevo". El equipo planea continuar observando el nuevo sistema, así como aplicar la técnica óptica para iluminar más estrellas de neutrones y viudas negras en el cielo.



**Figura 2.** Imagen artística de un púlsar en configuración viuda negra. Una vista ilustrada de un púlsar viuda negra y su compañera estelar. Las emisiones de rayos gamma del púlsar (magenta) calientan fuertemente el lado opuesto de la estrella (naranja). El púlsar está evaporando gradualmente a su compañero. Créditos: Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/Cruz deWilde.

## Referencias

[1] Kevin Burdge et al., *A 62-minute orbital period black widow binary in a wide hierarchical triple*, Nature (2022). DOI: [10.1038/s41586-022-04551-1](https://doi.org/10.1038/s41586-022-04551-1). ArXiv: <https://arxiv.org/abs/2205.02278> También en la URL: [www.nature.com/articles/s41586-022-04551-1](https://www.nature.com/articles/s41586-022-04551-1)

[2] Astronomers discover a rare 'black widow' binary, with the shortest orbit yet by Jennifer Chu, Massachusetts Institute of Technology. May 4, 2022. Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-astronomers-rare-black-widow-binary.html>

[3] *Astronomers discover a rare 'black widow' binary, with the shortest orbit yet: The system is orbited by third stellar companion and may have originated near the center of the Milky Way.* Science Daily news, URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/05/220504110446.htm>

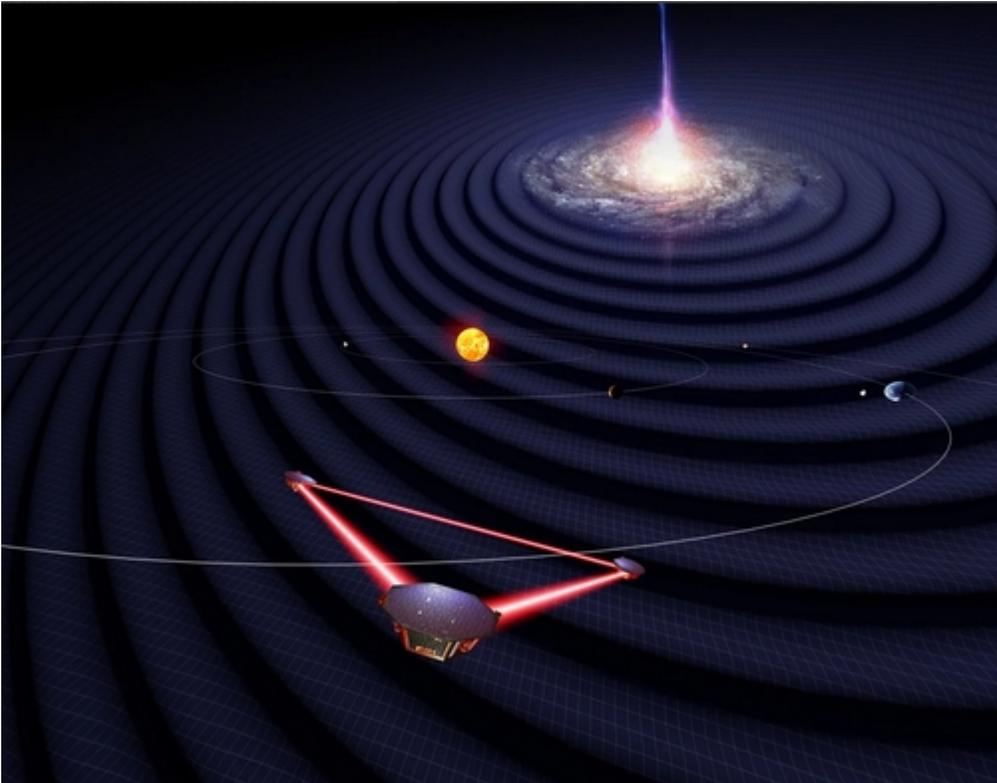
[4] *Astronomers discover a rare “black widow” binary, with the shortest orbit yet, MIT news.* URL: <https://news.mit.edu/2022/black-widow-binary-orbit-0504>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González.

## 18. Hacia la misión LISA.

**LISA alcanza un hito crucial: El futuro observatorio de ondas gravitacionales en el espacio completa una revisión rigurosa.**

**04 de mayo de 2022.**



**Figura 1.** Impresión artística de los satélites de la misión LISA en el sistema solar observando ondas gravitacionales de una galaxia distante. Universidad de Florida / Simon Barke (CC BY 4.0).

LISA, la antena espacial de interferómetro láser, ha alcanzado un hito importante: ha superado la "Revisión de formulación de misión" (MFR) integral y ahora ingresa a la siguiente fase de desarrollo. El equipo de revisión, compuesto por expertos de la ESA, la NASA, la comunidad científica y la industria, no identificó obstáculos y confirmó que LISA ha alcanzado con éxito una madurez suficiente para pasar a la siguiente etapa de desarrollo. El MFR confirma la viabilidad de la misión LISA e identifica un camino claro de desarrollo tecnológico necesario para alcanzar el siguiente hito importante: la adopción de la misión. El MFR es un punto de control para garantizar que la tecnología y la planificación de LISA estén suficientemente maduras; este es un requisito previo para que continúe el desarrollo de la misión. En el ciclo de vida de una misión de la ESA, el MFR es el final formal de la Fase A (factibilidad de la misión). LISA entra ahora en la Fase B1 que se centra en la definición preliminar de la misión. Impresión artística de los satélites de la misión LISA en el sistema solar observando ondas gravitacionales de una galaxia distante. Impresión artística de los satélites de la misión LISA en el sistema solar observando ondas gravitacionales de una galaxia distante. Universidad de Florida / Simon Barke (CC BY 4.0) "LISA está en marcha. Ahora

estamos entrando en la fase B1 durante la cual realizamos un trabajo de diseño más detallado para establecer el conjunto completo de requisitos de la misión y el enfoque de verificación”, dice el profesor Karsten Danzmann, líder del consorcio LISA. Martin Gehler, Gerente del Estudio LISA en la Agencia Espacial Europea, agrega: “La revisión fue un gran éxito para todas las partes interesadas y el fruto de un trabajo vigoroso por parte del Consorcio, la NASA y la ESA durante los últimos años”. AEI Hannover es líder en el desarrollo de LISA y en el consorcio LISA. Karsten Danzmann, director de AEI Hannover, es el líder del consorcio LISA. En colaboración con el Instituto Espacial Nacional de la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU), AEI Hannover está desarrollando y construyendo el medidor de fase, uno de los componentes de hardware centrales de la misión. Además, el instituto lidera numerosos subproyectos y paquetes de trabajo LISA de gran tamaño en meteorología óptica e interferometría. El instituto cuenta con los laboratorios más grandes del mundo para la interferometría de la misión LISA.

### **Información de contexto**

LISA: A través de las observaciones de ondas gravitacionales, LISA ofrecerá una visión única y sin precedentes del Universo, muy diferente de cualquier otro telescopio espacial y cualquier detector de ondas gravitacionales en tierra.

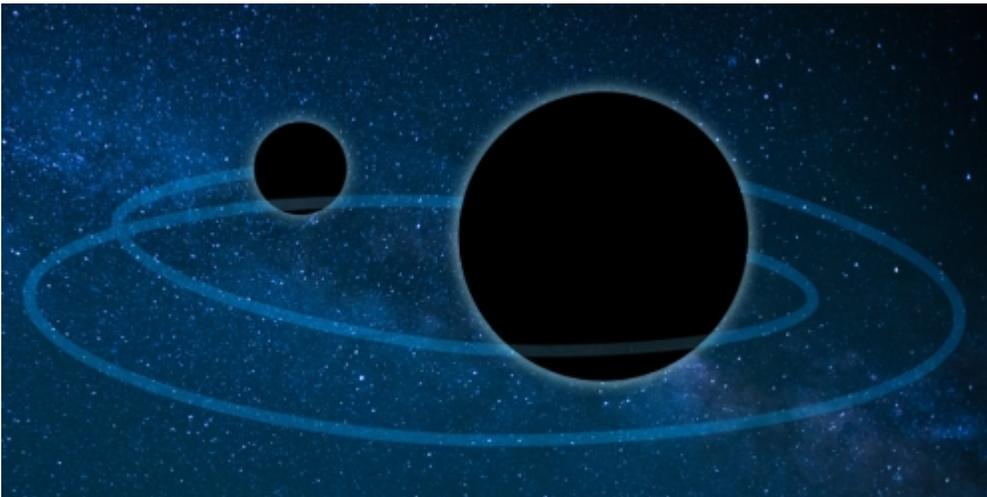
LISA entregará resultados científicos pioneros que permitirán conocimientos que no están disponibles a través de observaciones electromagnéticas. La combinación de las observaciones de LISA con las de otras instalaciones terrestres y espaciales también permitirá a los científicos hacer enormes avances en la astronomía de múltiples mensajes.

El instrumento LISA consistirá en tres naves espaciales en una configuración triangular con brazos de 2,5 millones de kilómetros, moviéndose en una órbita similar a la de la Tierra alrededor del Sol. Las ondas gravitacionales de fuentes en todo el Universo producirán ligeras oscilaciones en las longitudes de los brazos (más pequeñas que el diámetro de un átomo). LISA capturará estos movimientos y, por lo tanto, medirá las ondas gravitacionales mediante el uso de enlaces láser para monitorear los desplazamientos de las masas de prueba que caen libremente dentro de la nave espacial. Los satélites LISA están siendo construidos por la ESA, los países miembros de la ESA y la NASA.

El hardware de LISA consiguió su primera y muy exitosa prueba en el espacio con la misión LISA Pathfinder (LPF), liderada por la ESA con la participación de la NASA. Esto incluyó una prueba exhaustiva de los componentes cruciales de la tecnología de LISA. LPF demostró que es posible colocar y mantener masas de prueba en caída libre con un asombroso nivel de precisión, y que la exquisita metrología necesaria para LISA cumple con los requisitos.

LISA observará ondas gravitacionales en una banda de frecuencia más baja que las detectables por LIGO y Virgo, lo que nos permitirá observar sistemas mucho más grandes en épocas anteriores de la historia del Universo. Colateralmente, se espera detectar otros conjuntos de fuentes, como binarias enanas blancas, el fondo estocástico de ondas gravitacional, o incluso detectar exoplanetas.

El Consorcio LISA es una gran colaboración internacional que combina los recursos y la experiencia de científicos en muchos países de todo el mundo. Junto con la ESA como agencia líder y la NASA como socio internacional, el Consorcio LISA está trabajando para llevar a cabo la misión LISA.



**Figura 2.** Sistema binario de 2 agujeros negros. Si son supermasivos, serán una fuente de ondas gravitacionales que LISA podrá detectar.

## Referencias

[1] *LISA reaches a crucial milestone: The future gravitational-wave observatory in space completes a rigorous review.* May 4th, 2022. Max Planck Institute news. URL: <https://www.aei.mpg.de/919602/lisa-erreicht-entscheidenden-meilenstein>

[2] *The Laser Interferometer Space Antenna reaches a crucial milestone* by LISA Consortium and the Max Planck Institute for Gravitational Physics. Phys.org news: <https://phys.org/news/2022-05-laser-interferometer-space-antenna-crucial.html>

[3] Enlaces a la misión LISA:

-Albert Einstein Institute, Hannover. <https://www.aei.mpg.de/lisa>

-LISA Consortium homepage: <https://www.lisamission.org/>

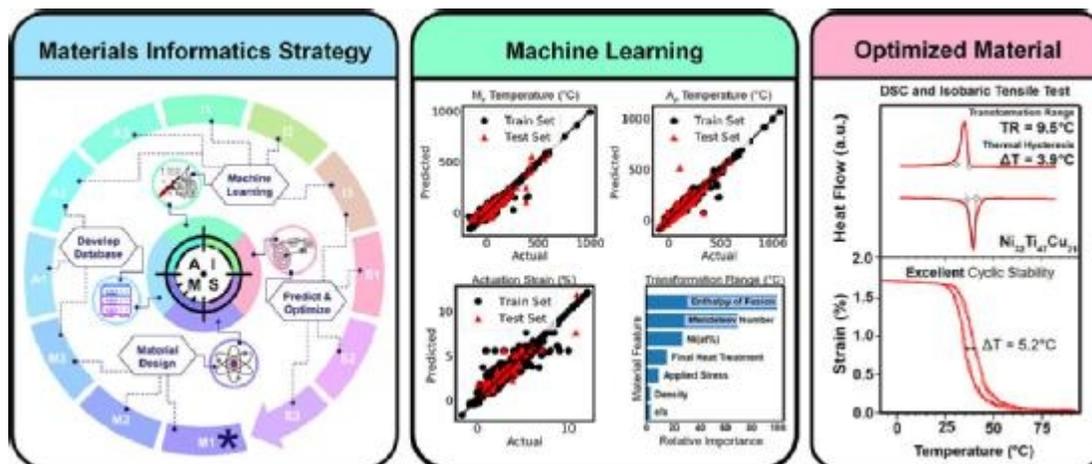
-LISA ESA homepage: <https://sci.esa.int/web/lisa/>

-LISA NASA homepage: <https://lisa.nasa.gov/>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González.

## 19. Nueva aleación con memoria creada con IA.

**Nueva aleación con memoria de forma descubierta a través de inteligencia artificial por Michelle Revels, Universidad Texas A&M**



**Figura 1.** Resumen gráfico. Crédito: Acta Materialia (2022). Graphical abstract. Credit: Acta Materialia (2022). [DOI: 10.1016/j.actamat.2022.117751](https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117751)

Investigadores del Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Texas A&M han utilizado un marco de selección de materiales de inteligencia artificial (AIMS) para descubrir una nueva aleación con memoria de forma. La aleación con memoria de forma mostró la mayor eficiencia durante la operación lograda hasta ahora para materiales a base de níquel-titanio. Además, su marco basado en datos ofrece una prueba de concepto para el desarrollo de futuros materiales.

Este estudio fue publicado recientemente en la revista *Acta Materialia*. Las aleaciones con memoria de forma se utilizan en varios campos donde se necesitan actuadores compactos, livianos y de estado sólido, reemplazando a los actuadores hidráulicos o neumáticos porque pueden deformarse cuando están fríos y luego volver a su forma original cuando se calientan. Esta propiedad única es crítica para aplicaciones, como alas de aviones, motores a reacción y componentes automotrices, que deben soportar cambios de formas grandes repetidos y recuperables.

Ha habido muchos avances en las aleaciones con memoria de forma desde sus inicios a mediados de la década de 1960, pero a un costo. Comprender y descubrir nuevas aleaciones con memoria de forma ha requerido una extensa investigación a través de la experimentación y el ensayo y error ad-hoc. A pesar de que se han documentado muchos para ayudar a mejorar las aplicaciones de aleaciones con memoria de forma, se han producido nuevos descubrimientos de aleaciones cada década. Aproximadamente cada 10 años, se ha descubierto una composición o sistema significativo de aleación con memoria de forma. Además, incluso con los avances en aleaciones con memoria de forma, se ven obstaculizados por su baja eficiencia energética, causada por incompatibilidades en su microestructura durante el gran cambio de forma. Además, son notoriamente difíciles de diseñar desde cero.

Para abordar estas deficiencias, los investigadores de Texas A&M combinaron datos experimentales para crear un marco computacional AIMS capaz de determinar composiciones óptimas de materiales y procesar estos materiales, lo que condujo al descubrimiento de una nueva composición de aleación con memoria de forma. "Al diseñar materiales, a veces hay múltiples objetivos o restricciones que entran en conflicto, lo cual es muy difícil de resolver", dijo el Dr. Ibrahim Karaman, profesor I de Chevron y jefe del departamento de ciencia e ingeniería de materiales. "Usando nuestro marco de aprendizaje automático, podemos usar datos experimentales para encontrar correlaciones ocultas entre las características de diferentes materiales para ver si podemos diseñar nuevos materiales".



**Figura 2.** El estudiante de doctorado William Trehern operando un fundidor de arco al vacío, un método de síntesis comúnmente utilizado para crear aleaciones de alta pureza de varias composiciones. Trehern y su equipo utilizaron un marco de selección de materiales de inteligencia artificial para descubrir una nueva aleación con memoria de forma. Crédito: Ingeniería de Texas A&M.

Se pronosticó y probó que la aleación con memoria de forma encontrada durante el estudio con AIMS logró la histéresis más estrecha jamás registrada. En otras palabras, el material mostró la menor pérdida de energía al convertir energía térmica en trabajo mecánico. El material mostró una alta eficiencia cuando se sometió a ciclos térmicos debido a su ventana de temperatura de transformación extremadamente pequeña. El material también exhibió una excelente estabilidad cíclica bajo actuación repetida. Una composición de níquel-titanio-cobre es típica para las aleaciones con memoria de forma. Las aleaciones de níquel-titanio-cobre suelen tener titanio igual al 50% y forman un material monofásico. Utilizando el aprendizaje automático, los investigadores predijeron una composición diferente con titanio igual al 47 % y cobre igual al 21 %. Si bien esta composición se encuentra en la región de dos fases y forma partículas, ayudan a mejorar las propiedades del material, explicó William Trehern, estudiante de doctorado y asistente de investigación graduado en el departamento de ciencia e ingeniería de materiales, y el primer autor de la publicación. En particular, esta aleación con memoria de forma de alta eficiencia se presta para la recolección de energía térmica, que requiere

materiales que puedan capturar la energía residual producida por las máquinas y ponerla en uso, y el almacenamiento de energía térmica, que se utiliza para enfriar dispositivos electrónicos. Más notablemente, el marco AIMS ofrece la oportunidad de utilizar técnicas de aprendizaje automático en la ciencia de los materiales. Los investigadores ven potencial para descubrir más químicas de aleaciones con memoria de forma con las características deseadas para otras aplicaciones. "Es una revelación usar el aprendizaje automático para encontrar conexiones que nuestro cerebro o los principios físicos conocidos tal vez no puedan explicar", dijo Karaman. "Podemos usar la ciencia de datos y el aprendizaje automático para acelerar la tasa de descubrimiento de materiales. También creo que potencialmente podemos descubrir nueva física o mecanismos detrás del comportamiento de los materiales que no conocíamos antes si prestamos atención a las conexiones que puede encontrar el aprendizaje automático. " Otros colaboradores incluyen al Dr. Raymundo Arróyave y la Dra. Kadri Can Atli, profesores en el departamento de ciencia e ingeniería de materiales, y el estudiante de pregrado en ciencia e ingeniería de materiales Risheil Ortiz-Ayala. "Si bien el aprendizaje automático ahora se usa ampliamente en la ciencia de los materiales, la mayoría de los enfoques hasta la fecha se centran en predecir las propiedades de un material sin explicar necesariamente cómo procesarlo para lograr las propiedades deseadas", dijo Arróyave. "Aquí, el marco analizó no solo la composición química de los materiales candidatos, sino también el procesamiento necesario para lograr las propiedades de interés".

## Referencias

- [1] *New shape memory alloy discovered through artificial intelligence framework* by Michelle Revels, Texas A&M University. URL: <https://phys.org/news/2022-05-memory-alloy-artificial-intelligence-framework.html> DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117751>
- [2] W. Trehern et al., *Data-driven shape memory alloy discovery using Artificial Intelligence Materials Selection (AIMS) framework*, Acta Materialia (2022). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359645422001379> <https://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117751>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

## 20. Un (radio)telescopio en la Luna.

**Un telescopio en la luna podría iluminar las edades oscuras del universo:**

**Un radiotelescopio planeado para el lado oscuro de la luna podría tapar un agujero de 500 millones de años en la historia cósmica. Por Eric Betz. 15 de mayo de 2021.**



**Figura 1.** Un enorme cúmulo de galaxias está entrelazado con hilos de materia oscura (azul) y gas (naranja). Se cree que la formación de estructuras a gran escala que se ven hoy en día se originó durante las misteriosas "edades oscuras" del universo. (Crédito: Colaboración Illustris).

Tenemos conocimiento del Universo gracias a los fotones en diversas longitudes de onda, aunque las observaciones más habituales usan el espectro óptico electromagnético, fotones, hoy día vemos ondas en otras regiones del espectro electromagnético. Verbigracia: rayos X, infrarrojos (IR), ultravioleta (UV), rayos gamma, microondas, o radio. En el futuro también mejoraremos la Astronomía multimensajero, que no solamente marcará fotones, sino rayos cósmicos, neutrinos, y ondas gravitacionales (o incluso podríamos observar partículas de materia oscura y mapear el cielo de, por ejemplo, WIMPs o axiones).

Hace unos 13800 millones de años, nuestro universo estalló en existencia. En una fracción de segundo, se disparó de subatómico al tamaño de una toronja. Y a medida que el cosmos creció y creció, también se enfrió, hasta que se pudieron formar los componentes básicos de la materia, partículas subatómicas llamadas quarks y gluones. Eventualmente, esta sopa de quarks se agregó en átomos. Los átomos se fusionaron en moléculas más grandes. El gas llenó el universo. Sin embargo, el cosmos permanecería así, oscuro, durante cientos de millones de años antes de que la luz brillara desde las primeras estrellas y galaxias. Entendemos partes de lo que sucedió en el universo primitivo. Pero un gran espacio en blanco todavía persigue a los astrónomos. Lo llaman la "edad oscura" porque, sin la luz de las estrellas para estudiar, se quedan adivinando de dónde provienen todas las cosas familiares. ¿Cómo pasamos de un universo lleno de gas al que ahora vemos en el cielo nocturno?

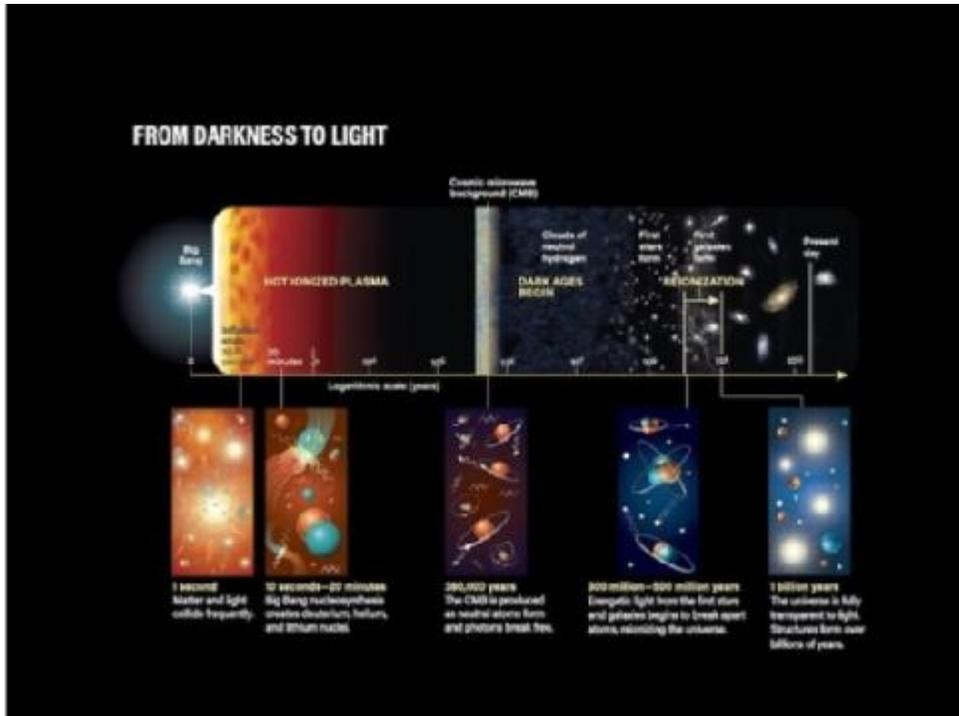
“El universo primitivo no tenía galaxias, solo cosas calientes. A medida que las cosas se enfriaban, algo tenía que suceder antes de que se formaran las galaxias”, dice el astrofísico ganador del Premio Nobel John Mather del Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA. “Honestamente, tenemos muchas historias y muchas predicciones, pero ninguna medida”. Desentrañar este misterio es “uno de los grandes objetivos de la astronomía moderna”, añade. Para resolverlo, los científicos e ingenieros han identificado una ubicación poco probable para su trabajo, una que podría ayudar a dar forma a la próxima generación de investigación astronómica: el lado oculto de la luna. Antes de las primeras estrellas, el universo no emitía luz visible, pero la materia primordial que impregnaba el universo probablemente emitía señales de radio. Los astrónomos nunca han visto estas longitudes de onda porque están tan extendidas que no pueden detectarse por la charla de radio que rebota alrededor de la Tierra.

La cara oculta de la luna es el único lugar del sistema solar interior donde los radioastrónomos pueden encontrar algo de paz y tranquilidad. Su superficie siempre está alejada de la Tierra, por lo que si los astrónomos pudieran construir un radiotelescopio allí, tendrían una barrera natural contra el ruido.

### **Telescopios en la Luna**

En 1986, casi 100 de los principales astrónomos del mundo se reunieron en un hotel en Houston para presentar docenas de ideas audaces para construir telescopios en nuestro satélite natural. Incluso antes del programa Apolo, los científicos habían argumentado que los telescopios lunares eran una de las mejores justificaciones científicas para ir a la

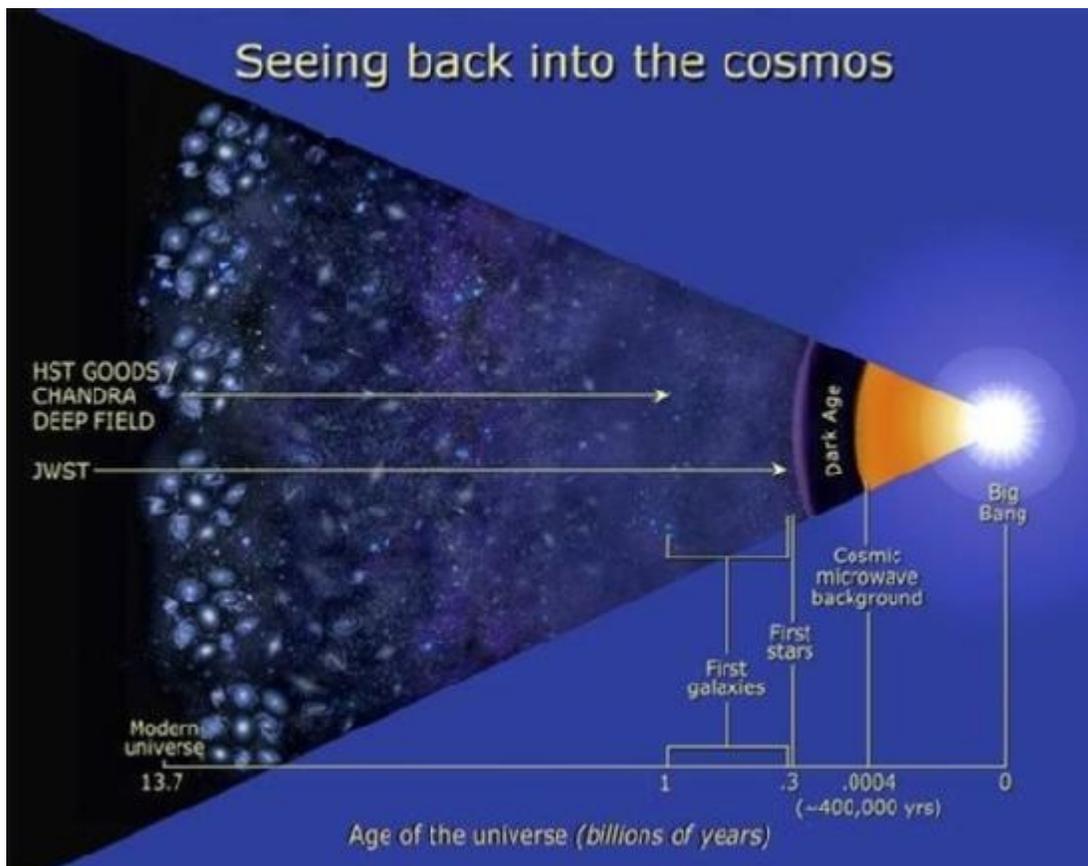
luna. Ese impulso ayudó a aterrizar un pequeño telescopio en el Apolo 16. Y a mediados de la década de 1980, la idea finalmente parecía madura. El programa de transbordadores espaciales de la NASA estaba prosperando y los planes para una estación espacial estaban tomando forma. El regreso a la luna no parecía lejano.



**Figura 2.** Los astrónomos entienden partes del universo primitivo, pero aún quedan grandes espacios en blanco. (Crédito: Roen Kelly/Discover).



**Figura 3.** El telescopio James Webb (JWST) podría llegar hasta la era de la reionización donde se formaron las primeras estrellas y galaxias.



**Figura 4.** Diferentes eras cósmicas.

Luego, menos de tres semanas después de la reunión de Houston, el transbordador espacial Challenger se estrelló. El programa lunar revivido de Estados Unidos también colapsaría en los próximos años. Aún así, no todos abandonaron la idea. Desde esa reunión hace 35 años, Jack O. Burns ha sido el evangelista líder en la construcción de telescopios en la luna. Ha impulsado los telescopios lunares a través de tres iniciativas separadas de regreso a la luna. “Mi trabajo desde la década de 1980 ha sido liderar la ciencia que podríamos hacer en términos de astronomía una vez que llegemos a la luna”, dice Burns, quien dirige la Red para la Exploración y la Ciencia Espacial financiada por la NASA. Por primera vez, Burns piensa que esta loca idea podría convertirse en realidad. Después de que Donald Trump fuera elegido presidente en 2016, Burns se desempeñó como el único científico en el equipo de transición de la NASA de la nueva administración. Las ideas que se le ocurrieron al equipo se convirtieron más tarde en el programa Artemis, que tiene como objetivo aterrizar astronautas en la luna para 2024. Burns también presentó sus ideas sobre el uso de telescopios lunares para desentrañar las edades oscuras cósmicas. Él ve esto como la "aplicación asesina", el caso científico que finalmente hace que los telescopios lunares sean indispensables. Durante

la cena, también convenció la idea al entonces administrador de la NASA, Jim Bridenstine. Burns ahora ha completado un estudio de ingeniería financiado por la NASA en un proyecto que él llama FARSIDE, o Farside Array for Radio Science Investigations of the Dark Ages and Exoplanets. Todo el radiotelescopio se empaquetaría en un módulo de aterrizaje lunar robótico que aterrizaría en el otro lado de la luna. Luego, cuatro pequeños rovers desenrollarían lentamente casi 30 millas de cable y 128 antenas en un patrón en espiral que cubriría unas 6 millas.



**Figura 5.** En 1972, el Apolo 16 colocó el primer observatorio basado en la Luna.

### **La tecnología se pone al día**

En el pasado, las propuestas de telescopios lunares de los astrónomos se basaban en colonias lunares y programas espaciales multimillonarios. “La única forma en que podíamos concebir poner instrumentos científicos en la luna era con astronautas”, dice Burns. Pero gracias a la robótica moderna y al surgimiento de compañías privadas de vuelos espaciales, el precio de FARSIDE es menor que el costo de un vehículo explorador de Marte. Durante más de un año, el equipo de FARSIDE ha estado trabajando con la compañía espacial de Jeff Bezos, Blue Origin. Mientras que Elon Musk sueña con Marte, el objetivo final de Bezos es que los humanos trabajen y vivan en la luna, incluida la ciencia. Para lograr ese objetivo, invirtió miles de millones de dólares en cohetes reutilizables y un módulo de aterrizaje de carga llamado Blue Moon

que puede transportar varias toneladas métricas de peso a la superficie lunar. Con esta nave espacial, Blue Origin pretende abrir la puerta a las colonias lunares. Para la NASA, también es una forma de que los astronautas estadounidenses vuelvan a la luna. Pero ese tipo de capacidad de carga es más que suficiente para desplegar un telescopio, además de los rovers para construirlo, en un solo viaje. Burns no es el único que lo persigue. El potencial científico de la cara oculta de la Luna ha atraído el interés de otros investigadores y de otros países. Los astrónomos nunca antes habían observado en esta parte del espectro de radio, y los investigadores están ansiosos por ser los primeros en ver qué se esconde allí. Podría ofrecer una nueva prueba para la cosmología estándar. Y las mediciones son tan sensibles que incluso podrían detectar campos electromagnéticos alrededor de los exoplanetas, lo que ayudaría a identificar planetas habitables. “Tienes este entorno de silencio de radio al otro lado de la luna que permite mediciones muy sensibles que simplemente no puedes obtener de otra manera”, dice Steve Squyres, científico jefe de Blue Origin. “Ese entorno es muy, muy propicio para hacer ciencia innovadora”.

### **La fiebre de la luna**

Incluso la NASA financió recientemente otro estudio de telescopio lunar. La propuesta sugiere usar pequeños robots para escalar acantilados y suspender un observatorio de radio dentro de un cráter lunar en el lado opuesto. China persigue objetivos similares. El país ya ha desplegado un pequeño telescopio en la cara oculta de la luna con su módulo de aterrizaje Chang'e 4. Ahora, está avanzando con planes para misiones sorprendentemente similares a las que Burns ha estado impulsando durante décadas.



**Figura 6.** El telescopio FARSIDE y sus rovers auxiliares llegarían a la luna utilizando el módulo de aterrizaje Blue Moon de Blue Origin. (Crédito: cortesía de Caltech/JPL).

Mientras tanto, Burns recibió fondos de la NASA para completar un estudio conceptual y desarrollar instrumentos para un proyecto llamado Dark Ages Polarimetry Pathfinder, o DAPPER. Este pequeño satélite se desplegará desde un "autobús" de nave espacial que la agencia planea lanzar tan pronto como en 2022. Y en lugar de sentarse en la superficie de la luna, hará observaciones iniciales de las edades oscuras y el amanecer cósmico durante la breve parte de su órbita donde está detrás de la luna.

Pero con la NASA y las empresas privadas compitiendo para poner las botas en la luna lo más rápido posible, los astrónomos se han puesto nerviosos de que los problemas de contaminación por ruido de radio los sigan fuera de la Tierra. “Es imperativo hacerlo pronto”, dice Squyres. “Si bien el entorno de radio en el otro lado de la luna está tranquilo ahora, no es probable que siga así”. Si los científicos pueden comenzar a construir estaciones de investigación en la cara oculta de la Luna, pueden crear un precedente duradero de que esta región está protegida del desarrollo, como la Antártida. Pero espera demasiado, y perderán la ventana.

Estamos listos para empezar ahora”, dice Burns. “No hay duda de que podemos hacer esto. Y alguien lo hará, ya sea la NASA o los chinos o Jeff Bezos. Estoy convencido de

que se hará”. Eric Betz es un escritor de ciencia y tecnología para Discover, Astronomy y otros.

## **Referencias**

[1] *A Telescope on the Moon Could Illuminate the Dark Ages of the Universe*. Eric Betz, May 15, 2021 11:00 PM. Discover magazine, URL: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/a-telescope-on-the-moon-could-illuminate-the-dark-ages-of-the-universe>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## **21. Calculando la radiación Hawking.**

**Cálculo de la radiación de Hawking en el horizonte de sucesos de un agujero negro,**  
por la Universidad RUDN.



$$\frac{dE}{dt} = \sum_l N_l |A_l|^2 \frac{\omega}{\exp(\omega/T_H) - 1} \frac{d\omega}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{(1+2\ell)(1-0.065p) - i(2n+1)(1-0.094p)}{3\sqrt{3}r_0}$$

$$L = \frac{1}{2} R - \frac{1}{4} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi + \frac{\alpha'}{8g^2} e^\phi (R^{\mu\nu\rho\sigma} - 4R_{\mu\nu} R^{\mu\nu} + R^2)$$

**Figura 1.** Espectro de la radiación de Hawking con factores de cuerpo gris en teoría de gravedad modificada. Crédito: Universidad de RUDN.

Un físico de la Universidad RUDN ha desarrollado una fórmula para calcular la radiación de Hawking en el horizonte de eventos de un agujero negro, lo que permite a los físicos determinar cómo cambiaría esta radiación con correcciones cuánticas a la teoría de la gravedad de Einstein. Esta fórmula permitirá a los investigadores probar la precisión de diferentes versiones de la teoría de la gravedad cuántica mediante la observación de los agujeros negros, y constituye un paso hacia la "teoría de la gran unificación" largamente buscada que conectaría la mecánica cuántica y la relatividad. El artículo se publica en la revista *Physical Review D*.

Aunque la teoría de la gravitación de Einstein se corresponde con el reciente descubrimiento de las ondas de gravitación, aún deja abiertas algunas preguntas,

incluida la naturaleza de la singularidad, la materia oscura, la energía oscura y la cuestión de la gravedad cuántica. Además, incluso las observaciones de las ondas de gravedad no excluyen que las teorías alternativas de la gravitación puedan ser precisas, y pueden usarse para describir los agujeros negros. Tales teorías, que incluyen componentes cuánticos adicionales, no contradicen la imagen observada de fusiones de agujeros negros.

Los cálculos realizados siguiendo estas teorías predicen el mismo comportamiento de los agujeros negros a una gran distancia entre sí, pero al mismo tiempo demuestran características importantes cerca del horizonte de sucesos, el "borde" del agujero negro más allá del cual no hay retorno. Se cree que es imposible mirar más allá del horizonte de eventos de un agujero negro porque nada puede escapar, incluidas las partículas y la radiación. Sin embargo, Stephen Hawking demostró que los agujeros negros pueden "evaporarse" emitiendo varias partículas elementales. Esto significa que, con el tiempo, toda la información absorbida por un agujero negro puede desaparecer, lo que es contrario a las ideas fundamentales sobre la información: se cree que la información no puede desaparecer sin dejar rastro. Por lo tanto, las teorías alternativas de la gravitación, destinadas a eliminar esta paradoja, se han vuelto más populares ya que podrían contribuir a una teoría cuántica de la gravitación.

Uno de los enfoques más prometedores es la teoría de Einstein-dilaton-Gauss-Bonnet con dilaton: aplica componentes cuánticos como una corrección de la Teoría de la Relatividad General. "La teoría alternativa que hemos considerado está inspirada en el límite de baja energía de la teoría de cuerdas, la llamada teoría de Einstein-dilaton-Gauss-Bonnet con dilaton. Además de la parte de Einstein, contiene términos de curvatura cuadrática y un campo escalar ", dice Roman Konoplya, investigador del Instituto de Educación e Investigación de Gravitación y Cosmología de la Universidad RUDN.

Para describir cómo responde un agujero negro a las perturbaciones gravitacionales externas, los cosmólogos utilizan el concepto de modos cuasinormales. Los modos son oscilaciones que ocurren cuando una acción externa sobre un agujero negro, cuyas características dependen de la fuerza del impacto y los parámetros del propio agujero negro. Se llaman cuasinormales porque se desvanecen con el tiempo y su amplitud se puede medir solo durante un período pequeño. Tales oscilaciones generalmente se describen utilizando la frecuencia como un número complejo, cuya parte real son las oscilaciones periódicas y la parte imaginaria, la tasa de disminución.

El físico de la Universidad RUDN, junto con los científicos de la República Checa Antonina Zinhailo y Zdeněk Stuchlík, estudiaron la radiación clásica (cuasinormal) y cuántica (de Hawking) de campos de prueba en el fondo de un agujero negro de cuatro dimensiones, esféricamente simétrico y asintóticamente plano en el Einstein- Teoría de dilaton-Gauss-Bonnet con dilaton. Obtuvieron una fórmula analítica para el estado eikonal de los modos cuasinormales y la usaron para calcular los modos cuasinormales del escalar de prueba y los campos de Maxwell y estimaron la intensidad de la radiación de Hawking para el agujero negro Einstein-dilatón-Gauss-Bonnet.

Los campos de texto son todos los campos en las proximidades de un agujero negro porque se propagan en su fondo (por ejemplo, un campo de Dirac o un campo electromagnético). La intensidad de la radiación electromagnética de Hawking y el campo de Dirac demostraron ser una característica significativamente más sensible que su espectro casi normal, mostrando un aumento en la tasa de emisión de energía en un 57 por ciento y un 48 por ciento respectivamente a los campos. "Obtuvimos una estimación de la intensidad de la evaporación de Hawking de los agujeros negros teniendo en cuenta las correcciones cuánticas de la geometría del agujero negro", concluye Roman Konoplya.

"La radiación clásica (por ejemplo, ondas electromagnéticas u otras) difiere de la de Einstein solo en un pequeño porcentaje, es decir, la radiación de Hawking es un mecanismo mucho más sensible. Los modos cuasinormales son las frecuencias de la radiación clásica que, a diferencia de los modos cuánticos, difieren poco de la Caso de Einstein. En el futuro, tal vez al observar los agujeros negros primarios que aparecieron en el universo primitivo, esto puede aclarar nuestras ideas sobre las correcciones cuánticas de la gravedad".

## Referencias

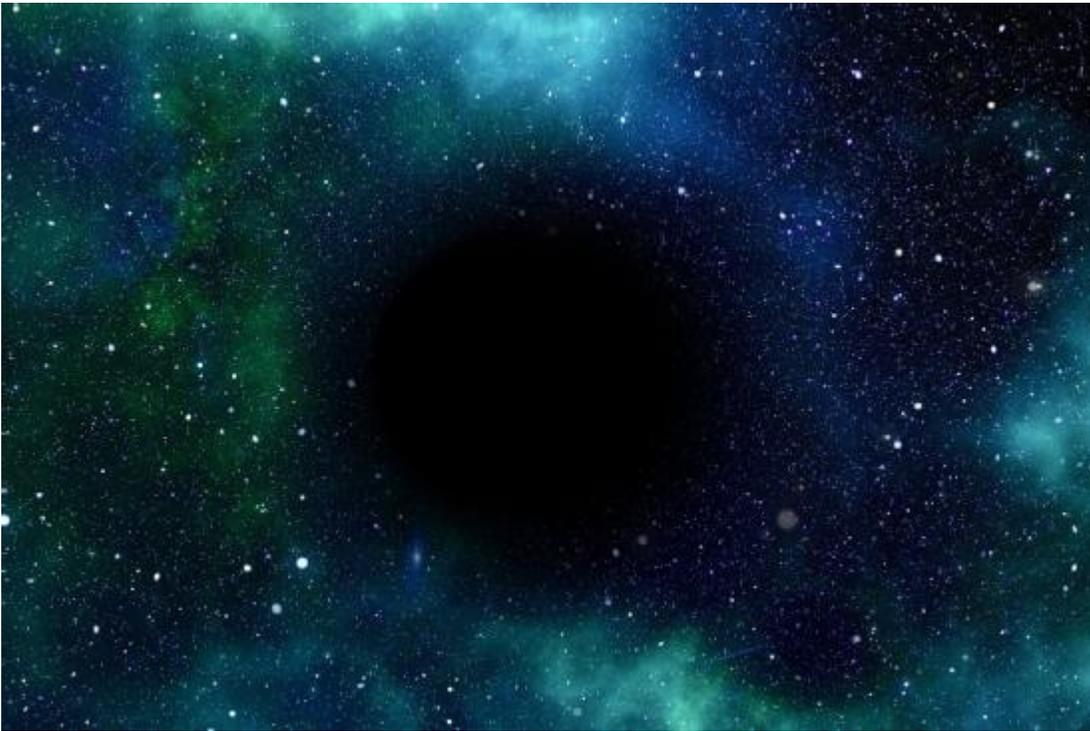
[1] *Calculating Hawking radiation at the event horizon of a black hole by RUDN University*. URL: <https://phys.org/news/2020-01-hawking-event-horizon-black-hole.html>

[2] R. A. Konoplya et al. *Quasinormal modes, scattering, and Hawking radiation in the vicinity of an Einstein-dilaton-Gauss-Bonnet black hole*, [Physical Review D \(2019\)](#). ArXiv: <https://arxiv.org/abs/1903.03483>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 22. Agujeros negros simétricos y sus aproximaciones.

Los astrofísicos construyen aproximaciones para la métrica de los agujeros negros esféricamente simétricos por la Universidad RUDN.



**Figura 1.** Agujero negro en el cielo. Imagen artística. Crédito: CC0 Public Domain.

Los astrofísicos de la RUDN han propuesto un nuevo método para el cálculo aproximado de los parámetros de los agujeros negros esféricamente simétricos en la teoría de Einstein-Maxwell. Al comparar los radios de sombra de los agujeros negros obtenidos a través de este método con soluciones numéricas exactas, los astrofísicos han revelado que la aproximación que sugirieron muestra una precisión razonable en el segundo orden. Esto significa que es posible estudiar los propios agujeros negros y los fenómenos en su vecindad, por ejemplo, el movimiento de partículas. El artículo se publica en la revista *Physical Review D*.

El problema de obtener una aproximación analítica para la métrica del agujero negro en la teoría escalar de Einstein-Maxwell no se ha resuelto en el caso general cuando ninguno de los parámetros es fijo. Pero es posible construir una aproximación analítica de la métrica con precisión controlada para obtener resultados que coincidan con las soluciones numéricas. Existe un enfoque general de aproximación, cuya mejora continúa dentro de varios modelos.

El astrofísico de la RUDN, Roman Konoplya, analizó el caso de un agujero negro con simetría esférica en la teoría de Einstein-Maxwell. Suponiendo una interacción no mínima entre los campos escalares y electromagnéticos, se levantan las prohibiciones sobre la existencia de "pelos" escalares en los agujeros negros, y la llamada escalarización espontánea de los agujeros negros ocurre con una carga suficientemente grande del agujero negro. Los físicos suelen decir que un agujero negro "no tiene cabello", lo que significa que sus únicos parámetros distintivos son su masa, giro y carga eléctrica. Pero en este caso, el agujero negro tiene un parámetro adicional: un "cabello" escalar. Las aproximaciones analíticas obtenidas por el astrofísico de RUDN se utilizaron para calcular las "sombras" proyectadas por los agujeros negros con un campo escalar. Resultó que la inclusión de un campo escalar aumenta el radio de la sombra.

Los resultados del estudio de los astrofísicos permiten encontrar formas analíticas de funciones métricas aproximadas para cualquier valor de parámetro deseado, así como calcular el radio de las sombras para cada agujero negro específico. Según los autores del artículo, las aproximaciones obtenidas están listas para ser utilizadas para el estudio posterior de los agujeros negros escalarizados de Einstein-Maxwell y los fenómenos en sus proximidades, como el movimiento de partículas, el anillo cuasinormal y la estabilidad. Cuando el telescopio LISA entra en funcionamiento, el "cabello" escalar se puede ver en ondas gravitacionales si el agujero negro tiene "cabello" debido a algunos campos de materia (escalares u otros) que no interactúan mínimamente. Sin embargo, según el astrofísico, no se trata del futuro cercano, ya que en todas las mediciones de ondas gravitacionales, la lucha por la relación señal-ruido aún no permite notar cambios relativamente pequeños en la geometría de los objetos compactos.

## Referencias

[1] *Astrophysicists construct approximations for the metric of spherically symmetric black holes* by RUDN University. URL: <https://phys.org/news/2020-01-astrophysicists-approximations-metric-spherically-symmetric.html>

[2] R. A. Konoplya et al. [Analytical representation for metrics of scalarized Einstein-Maxwell black holes and their shadows](#), Physical Review D (2019). DOI: [10.1103/PhysRevD.100.044015](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.100.044015)

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 23. Agujero negro a la carrera.

### Agujero negro fusionado a la fuga

12 mayo 2022 • Physics 15, s62.

El análisis de las ondas gravitacionales de la fusión de un agujero negro sugiere que el último agujero negro recibió una patada que lo expulsará de su galaxia.

Cuando dos agujeros negros entran en espiral, podemos imaginar que toda la energía es absorbida por la fusión. Sorprendentemente, las fusiones a veces pueden expulsar el agujero negro final a una velocidad lo suficientemente alta como para expulsarlo de su galaxia anfitriona. Los astrónomos han visto indicios de agujeros negros que se mueven rápidamente, pero no era obvio que las fusiones fueran la causa. Un nuevo análisis de las ondas gravitacionales de una fusión proporciona la primera evidencia directa de una fuerte patada [1].

Se prevé que ocurran patadas cuando las ondas gravitacionales de una fusión se emiten predominantemente en una dirección; para conservar el impulso, el agujero negro remanente retrocede en la dirección opuesta. Esta asimetría puede surgir cuando los agujeros negros que se fusionan tienen masas o espines desiguales. Se esperan grandes impulsos cuando el plano orbital de la fusión precede, lo que se observa como una modificación de amplitud en la señal de onda gravitacional. Vijay Varma del Instituto Max Planck de Física Gravitacional en Alemania y sus colegas analizaron la fusión GW200129, que es el primer evento que exhibe una firma fuerte e inequívoca de precesión en sus datos de ondas gravitacionales. El equipo comparó la señal observada con las predicciones basadas en simulaciones de relatividad numérica y descubrió que el último agujero negro de 60 masas solares recibió una patada de alrededor de 1500 km/s, que probablemente lo sacaría de su galaxia (la velocidad de escape de la Vía Láctea es de 550 km/s).

00:00

00:20

**Vídeo 1.** Instituto V. Varma/Max Planck de Física Gravitacional Una simulación de la fusión de agujeros negros GW200129, que muestra la precesión del plano orbital y la señal gravitacional esperada.

Después de fusionarse, el agujero negro final es expulsado en dirección hacia abajo. Los resultados tienen implicaciones para la existencia de agujeros negros pesados, que los físicos han explicado a través de escenarios de fusión múltiple (ver [3]). Para que esta explicación funcione, las patadas no deben ser demasiado comunes, ya que esto enviaría agujeros negros fuera de la galaxia donde es poco probable que se produzcan fusiones posteriores.

–Michael Schirber.

Michael Schirber es editor corresponsal de Physics con sede en Lyon, Francia.

## Referencias

[1] V. Varma et al., “Evidence of large recoil velocity from a black hole merger signal”. Phys. Rev. Lett. 128, 191102 (2022).

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.191102>

[2] *Merged Black Hole on the Run*, May 12, 2022. Physics 15, s62. Phys.org news.

URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/s62>

[3] *A Heavyweight Merger*, Rosalba Perna, Department of Physics and Astronomy, Stony Brook University, Stony Brook, NY, USA September 2, 2020• Physics 13, 111URL:

<https://physics.aps.org/articles/v13/111>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

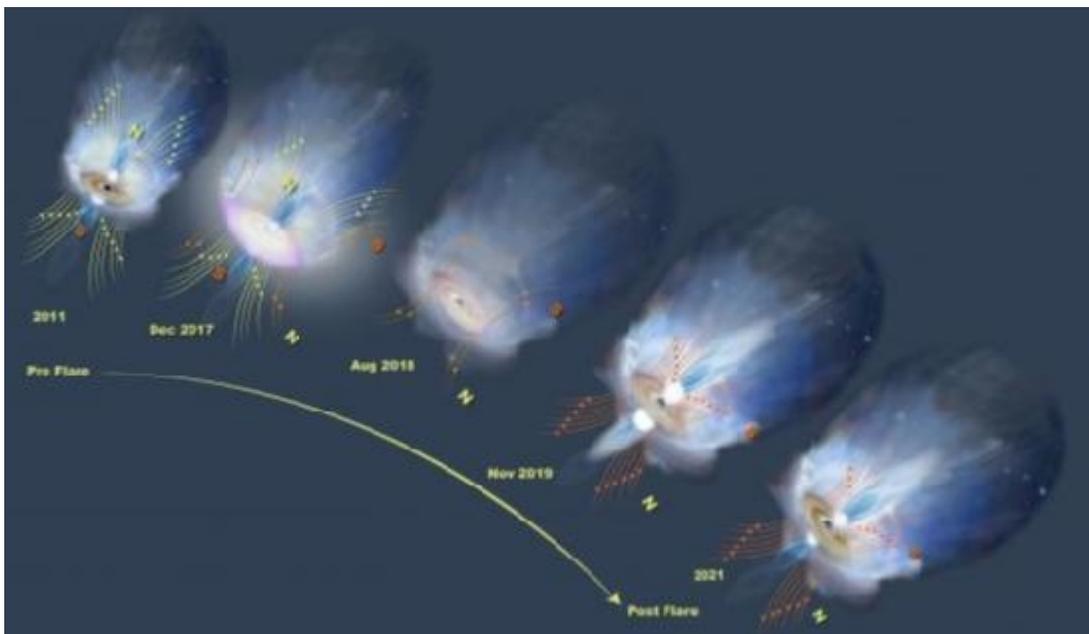
## 24. Agujero negro supermasivo invirtió su campo magnético.

### Un agujero negro supermasivo acaba de invertir todo su campo magnético

Los agujeros negros son poderosos motores cósmicos. Proporcionan la energía detrás de los cuásares y otros núcleos galácticos activos (AGN). Esto se debe a la interacción de la materia con sus poderosos campos gravitatorios y magnéticos. Técnicamente, un agujero negro no tiene un campo magnético por sí solo, sino el plasma denso que rodea el agujero negro como un disco de acreción. A medida que el plasma gira alrededor del agujero negro, las partículas cargadas dentro de él generan una corriente eléctrica y un campo magnético. La dirección del flujo de plasma no cambia espontáneamente, por lo que uno podría imaginar que el campo magnético es muy estable. Así que imagine la

sorpresa de los astrónomos cuando vieron evidencia de que el campo magnético de un agujero negro había sufrido una inversión magnética. En términos básicos, un campo magnético puede representarse como el de un imán simple, con polos norte y sur. Una inversión magnética es donde la orientación de ese polo imaginario cambia y la orientación del campo magnético cambia. Este efecto es común entre las estrellas. Nuestro Sol invierte su campo magnético cada 11 años, lo que impulsa el ciclo de 11 años de manchas solares que los astrónomos han observado desde el siglo XVII. Incluso la Tierra sufre inversiones magnéticas cada pocos cientos de miles de años. Pero no se pensaba que las inversiones magnéticas fueran probables para los agujeros negros supermasivos.

En 2018, un estudio del cielo automatizado encontró un cambio repentino en una galaxia a 239 millones de años luz de distancia. Conocida como 1ES 1927+654, la galaxia se iluminó en un factor de 100 en luz visible. Poco después de su descubrimiento, el Observatorio Swift capturó su resplandor en rayos X y ultravioleta. Una búsqueda de observaciones de archivo de la región mostró que la galaxia en realidad comenzó a brillar hacia fines de 2017. En ese momento se pensó que este rápido aumento de brillo era causado por una estrella que pasaba cerca del agujero negro supermasivo de la galaxia. Un encuentro tan cercano provocaría un evento de interrupción de marea, que destrozaría la estrella e interrumpiría el flujo de gas en el disco de acreción del agujero negro. Pero este nuevo estudio arroja una sombra sobre esa idea.



**Figura 1.** Cómo un agujero negro podría sufrir una inversión magnética. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/Jay Friedlander.

El equipo analizó las observaciones de la llamarada galáctica en todo el espectro de luz, desde la radio hasta los rayos X. Una de las cosas que notaron fue que la intensidad de los rayos X disminuyó muy rápidamente. Los rayos X a menudo son producidos por partículas cargadas que giran en espiral dentro de campos magnéticos intensos, por lo que esto sugiere un cambio repentino en el campo magnético cerca del agujero negro. Al mismo tiempo, la intensidad de la luz visible y ultravioleta aumentó, lo que sugirió que partes del disco de acreción del agujero negro se estaban calentando. Ninguno de estos efectos es lo que esperaría con un evento de interrupción de las mareas.

En cambio, una inversión magnética se ajusta mejor a los datos. Como mostró el equipo, cuando un disco de acreción de un agujero negro sufre una inversión magnética, los campos se debilitan primero en los bordes exteriores del disco de acreción. Como resultado, el disco puede calentarse de manera más eficiente. Al mismo tiempo, el campo magnético más débil significa que las partículas cargadas producen menos rayos X. Una vez que el campo magnético completa su inversión, el disco vuelve a su estado original. Esta es solo la primera observación de la inversión magnética de un agujero negro galáctico. Ahora sabemos que pueden ocurrir, pero no sabemos qué tan comunes son estas reversiones. Se necesitarán más observaciones para determinar cuántas veces el agujero negro de una galaxia puede convertirse en un bateador ambidiestro.

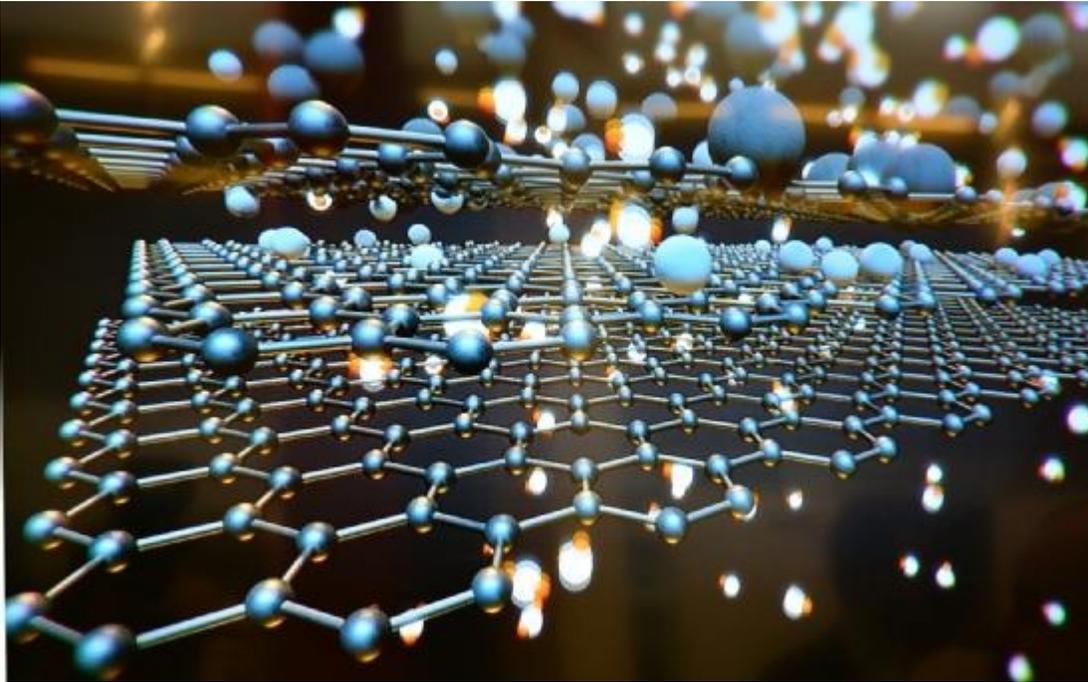
## Referencias

[1] Laha, Sibasish, et al. “A radio, optical, UV and X-ray view of the enigmatic changing look Active Galactic Nucleus 1ES~1927+ 654 from its pre-to post-flare states.” arXiv preprint [arXiv:2203.07446 \(2022\)](https://arxiv.org/abs/2203.07446).

[2] *A Supermassive Black Hole Just Flipped its Entire Magnetic Field*. Posted on May 8, 2022 by Brian Koberlein. URL: <https://www.universetoday.com/155813/a-supermassive-black-hole-just-flipped-its-entire-magnetic-field/>

**Artículo editado y traducido por Juan F. González.**

**25. Estudio del pseudogap en cupratos.**



**Figura 1.** Material 2d. Credit: CC0 Public Domain.

Más de tres décadas desde el descubrimiento de la superconductividad a alta temperatura en los materiales de cuprato cerámico, la investigación de los estados electrónicos en los materiales de cuprato para avanzar en la comprensión de la fase superconductora y los fenómenos relacionados ha adquirido una importancia increíble.

En un nuevo artículo publicado en *The European Physical Journal B*, Ernesto Raposo de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil, y sus coautores, analizan una de las propiedades físicas esenciales de los compuestos superconductores de cuprato, el llamado pseudogap, que describe un estado en el que la superficie de Fermi de un material posee un salto o gap de energía parcial.

A pesar del impresionante progreso en el estudio de los compuestos superconductores de cuprato, los autores señalan que los investigadores aún tienen que llegar a un consenso sobre el origen físico de la fase pseudogap en estos compuestos. Para abordar este problema, el equipo emplea el hamiltoniano de Hubbard de una banda de electrones vecinos que interactúan en los planos de  $\text{CuO}_2$  de los sistemas de cuprato para examinar la aparición de la fase de pseudogap. Además de considerar la energía de repulsión de Coulomb habitual en el sitio y el salto de electrones a los sitios vecinos más cercanos, los investigadores también consideraron un mecanismo competitivo de saltos a los sitios vecinos más cercanos.

Para llevar a cabo su estudio, el equipo dopó el sistema con electrones o con huecos para aproximarse a las concentraciones críticas de dopaje en las que se cierra la pseudogap, además de estimar el rango de concentración en el que se mantiene. Usando un modelo creado para reflejar los parámetros del compuesto de cuprato  $La_2CuO_4$ , el equipo encontró las concentraciones críticas de dopaje de electrones y huecos y también obtuvo el gap de transferencia de carga y las energías máximas de pseudogap. Los autores dicen que la pseudobrecha no se abre cuando la siguiente energía cinética vecina más cercana se anula, y describen este hallazgo como notable.

Los cálculos de los investigadores indican que la energía de salto al vecino más cercano coincide con el valor de el pseudogap observado en la medida experimental en los sistemas de cuprato. Esto sugiere que el salto de electrones en competencia a lo largo de las direcciones nodales de la zona de Brillouin de la subred podría desempeñar un papel en la aparición de la fase de pseudogap en los materiales de cuprato.

## Referencias

[1] Y. Vielza et al, *Pseudogap Mott-phase in cuprate superconductors: a Hartree–Fock study with limited next-nearest-neighbor hopping*, The European Physical Journal B (2022). DOI: [10.1140/epjb/s10051-022-00298-w](https://doi.org/10.1140/epjb/s10051-022-00298-w)

[2] *Studying the pseudogap in superconducting cuprate materials* by Springer. Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-pseudogap-superconducting-cuprate-materials.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 26. Detección del efecto Unruh: un nuevo avance.

**El avance de la investigación en la detección de la aceleración 'efecto Unruh': finalmente se puede probar en entornos de laboratorio**

Fecha: 9 de mayo de 2022.

Fuente: Universidad de Waterloo.

Resumen: Un obstáculo importante para trabajar en la vanguardia de la física fundamental es la incapacidad de probar teorías de vanguardia en un entorno de laboratorio. Pero un descubrimiento reciente abre la puerta para que los científicos vean

en acción ideas que antes solo se entendían en teoría o se representaban en la ciencia ficción.

Una de esas teorías es sobre el efecto Unruh. Cuando los astronautas en una nave espacial experimentan una aceleración súper fuerte y ven pasar la luz de las estrellas, entonces el efecto Unruh es un brillo cálido adicional sobre la luz que fluye. Predicho por primera vez por el físico canadiense Bill Unruh, este efecto está estrechamente relacionado con el brillo de los agujeros negros predichos por Stephen Hawking, y está también relacionado con el principio de equivalencia. Todo objeto acelerado detectará una radiación térmica cuya temperatura es igual a:

$$T_U = \frac{\hbar a}{2\pi k_B c}$$



## 1. Unruh effect



In the Minkowski vacuum  
inertial observers: nothing  
accelerating observers:  
a thermal bath of Rindler  
particles at the Unruh  
temperature  $a/2\pi$



S.A. Fulling, PRD 7, 2850 (1973).  
P.C.W. Davies, JPA 8, 609 (1975).  
W.G. Unruh, PRD 14, 870 (1976).

## Unruh effect and Unruh radiation

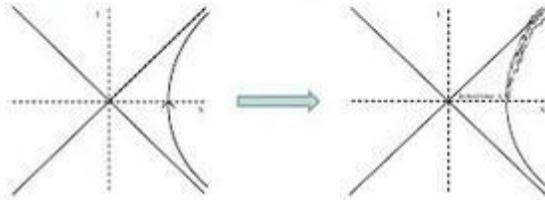
Unruh Effect: **Vacuum** for inertial observer  $\longleftrightarrow$  **thermal state** for accelerating observer

Unruh Temperature:

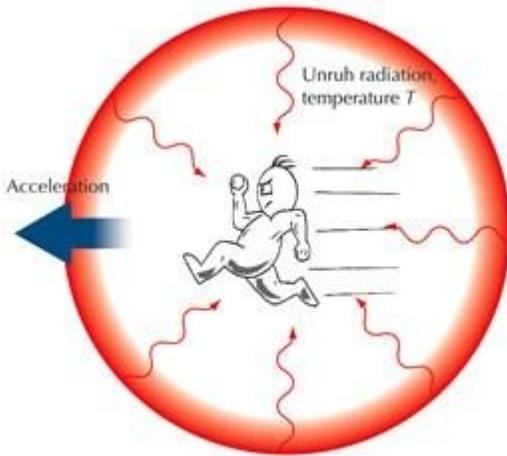
$$T_{\text{Unruh}} = \frac{\hbar a}{2\pi c k} = 4 \cdot 10^{-21} \text{ K} \left( \frac{a}{1 \text{ m/s}^2} \right) \rightarrow 1 \text{ keV} (10^7 \text{ K})$$

### How to See?

Unruh Radiation: radiation due to fluctuation of electron



Chen, Tajima '99  
Schutzhold, Schaller, Habs '06



**Figura 1.** El efecto Unruh, efecto de vacío consistente en la inequivalencia de partículas observadas en reposo y en un movimiento uniformemente acelerado.

El efecto Unruh es de hecho el análogo del efecto Hawking para observadores acelerados, que ven un vacío diferente a los observadores en reposo. Esto se debe a que los agujeros negros aceleran fuertemente todo hacia ellos y que la teoría cuántica de campos hace burbujear pares partícula-antipartícula del vacío. Esto es también consecuencia del efecto Hawking. "Se cree que los agujeros negros no son del todo negros", dice Barbara Šoda, estudiante de doctorado en física en la Universidad de Waterloo. "En cambio, como descubrió Stephen Hawking, los agujeros negros deberían emitir radiación. Esto se debe a que, si bien nada más puede escapar de un agujero negro, las fluctuaciones cuánticas de radiación sí pueden". De manera similar a cómo el efecto Hawking necesita un agujero negro, el efecto Unruh requiere enormes aceleraciones para producir un brillo significativo. Por lo tanto, se pensó que el efecto Unruh era tan débil que sería imposible medirlo con las aceleraciones que se pueden lograr en los experimentos con la tecnología actual.

El equipo de investigación encontró una forma innovadora de experimentar con el efecto Unruh mediante un uso novedoso de láseres de alta intensidad. Descubrieron que hacer brillar un láser de alta intensidad sobre una partícula acelerada puede amplificar tanto el efecto Unruh que en realidad se vuelve medible. En un giro inesperado, el equipo también descubrió que al equilibrar delicadamente la aceleración y la desaceleración, uno debería incluso poder hacer transparente la materia acelerada. La capacidad de experimentar con el efecto Unruh, así como con el nuevo fenómeno de la transparencia inducida por la aceleración, brinda un gran impulso a los físicos, que llevan mucho tiempo buscando formas de unificar la teoría general de la relatividad de Einstein con la mecánica cuántica. "La teoría de la relatividad general y la teoría de la mecánica cuántica todavía están algo en desacuerdo, pero tiene que haber una teoría unificadora que describa cómo funcionan las cosas en el universo", dice el coautor Achim Kempf, profesor de matemáticas aplicadas y miembro del Instituto de Computación Cuántica de Waterloo. "Hemos estado buscando una manera de unir estas dos grandes teorías, y este trabajo nos está ayudando a acercarnos al abrir oportunidades para probar nuevas teorías contra experimentos".

El equipo ahora dispone para realizar más experimentos de laboratorio. También están emocionados por los impactos de la investigación sobre algunas de las preguntas fundamentales sobre la física y la naturaleza del universo. "Durante más de 40 años, los experimentos se han visto obstaculizados por la incapacidad de explorar la interfaz de la

mecánica cuántica y la gravedad", dice el coautor Vivishek Sudhir, profesor asistente de ingeniería mecánica en el Instituto de Tecnología de Massachusetts y afiliado del Interferómetro Láser Observatorio de Ondas Gravitacionales (LIGO). "Aquí tenemos una opción viable para explorar esta interfaz en un entorno de laboratorio. Si podemos resolver algunas de estas grandes preguntas, podría cambiarlo todo".

## Referencias

[1] Barbara Šoda, Vivishek Sudhir, Achim Kempf. *Acceleration-Induced Effects in Stimulated Light-Matter Interactions*. Physical Review Letters, 2022; 128 (16). DOI: [10.1103/PhysRevLett.128.163603](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.163603) Journal URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.163603>

[2] *Research breakthrough means warp speed 'Unruh effect' can finally be tested in lab settings*. Science Daily news, <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/05/220509100938.htm>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 27. Planetas errantes como arcas interestelares.

### Planetas errantes como arcas interestelares de civilizaciones tecnológicas

No hemos encontrado ninguna firma tecnológica entre las estrellas, pero el campo es joven y nuestras herramientas de observación están mejorando constantemente. Vale la pena preguntarse qué tan probable será que una civilización avanzada produzca el tipo de firma tecnológica que solemos discutir. Un enjambre de Dyson debería producir evidencia de su existencia en el infrarrojo, pero no todas las tecnologías avanzadas involucran megaestructuras. Incluso hoy podemos ver el movimiento de la atención humana en el ciberespacio. ¿Una civilización que vive principalmente dentro de mundos virtuales produciría una firma detectable, o más o menos desaparecería de la observabilidad?

En 2020, Valentin Ivanov (ESO Paranal) y sus colegas propusieron una modificación a la escala de Kardashev basada en cómo una civilización se integra con su entorno ([3]). Los autores ofrecieron un conjunto de clases. La Clase 0 es una civilización que usa el medio ambiente sin cambiarlo sustancialmente. La clase 1 modifica su entorno para adaptarse a sus necesidades, mientras que la clase 2 se modifica a sí misma para

adaptarse a su entorno. Una civilización de Clase 3 bajo este esquema sería enloquecedoramente difícil de encontrar porque es indistinguible de su entorno. De hecho, esto se vuelve especulativo, como lo ilustra el artículo de Ivanov:

"(...) El nuevo esquema de clasificación permite la existencia de civilizaciones avanzadas tranquilas que pueden coexistir con nosotros, pero permanecen invisibles para nuestras búsquedas por radio, térmicas o de tránsito. La suposición subyacente implícita de Hart (1975) es que la hipotética ETC [Civilización Extraterrestre] está interactuando con la materia en un nivel similar al nuestro. Ni siquiera podemos especular si es posible detectar una fuga de calor o una estructura en tránsito construida por un ETC capaz de interactuar con la materia a nivel de subquark, pero la respuesta es probablemente negativa y no porque ese ETC funcione de acuerdo con algunos especulativos. leyes de la física, sino porque tal ETC probablemente sería mucho más eficiente que nosotros controlando su desperdicio de energía y minimizando sus proyectos de construcción. ¿Un ETC tan avanzado necesitaría megaestructuras y grandes proyectos de astroingeniería?(...)"

### **Planetas 'pícaros' y sus usos**

Aparte de la reconsideración de los supuestos de Kardashev sobre la energía disponible como medida del progreso de la civilización, siempre es útil recordar que debemos cuestionar nuestras inclinaciones antropocéntricas. Necesitamos considerar el rango de posibilidades que las civilizaciones avanzadas pueden tener ante ellas, razón por la cual me llama la atención un nuevo artículo de Irina Romanovskaya. El autor, profesor de física y astronomía en el Houston Community College System, aboga por la migración planetaria e interestelar como impulsores del tipo de firma que podríamos detectar. Una estrella en transición a gigante roja es un buen ejemplo: aquí encontraríamos una zona habitable que se está alejando más de la estrella, y posiblemente evidencia de la migración de una cultura a los planetas y lunas más distantes de su sistema de origen.

La evidencia de una civilización que se expande para ocupar los confines de su sistema podría venir en forma de firmas tecnológicas atmosféricas o exceso de infrarrojos, entre otras posibilidades. Pero es al moverse a otras estrellas que Romanovskaya ve la posibilidad más probable de una firma detectable, señalando que los países estelares cercanos podrían ser momentos para esperar un movimiento a gran escala entre estrellas. También vienen a la mente otros mecanismos. Hemos discutido motores estelares en estas páginas antes (propulsores Shkadov, por ejemplo), que pueden mover estrellas

enteras. Romanovskaya presenta la idea de que los planetas que flotan libremente podrían ser una forma más fácil y eficiente de migrar.

"(...)Los planetas que flotan libremente pueden proporcionar una gravedad superficial constante, grandes cantidades de espacio y recursos. Los planetas que flotan libremente con océanos superficiales y subterráneos pueden proporcionar agua como recurso consumible y para la protección contra la radiación espacial. Las tecnologías se pueden utilizar para modificar el movimiento de los planetas que flotan libremente. Si la fusión nuclear controlada tiene el potencial de convertirse en una importante fuente de energía para la humanidad (Ongena y Ogawa, 2016; Prager, 2019), entonces también puede convertirse en una fuente de energía para los viajeros interestelares que viajan en planetas que flotan libremente(...)."

Lo que ofrece un planeta de flotación libre o 'pícaro' es una gran cantidad de bienes raíces, lo que significa que una cultura que se enfrenta a una amenaza existencial puede encontrar útil enviar grandes cantidades de poblaciones biológicas o posbiológicas a sistemas planetarios cercanos. Se desconoce el número de planetas que flotan libremente, pero estudios recientes han sugerido que puede haber miles de millones de estos mundos, arrojados a las profundidades interestelares por interacciones gravitatorias en sus sistemas originales. Esperaríamos que algunos se movieran a través de las nubes cometarias de los sistemas planetarios, tal como lo hicieron estrellas como la estrella de Scholz (W0720) en nuestro sistema hace 70000 años, permaneciendo dentro de las 100000 AU del Sol durante un período de aproximadamente 10000 años.

"(...)Las civilizaciones extraterrestres pueden montar objetos de nubes de Oort de sus sistemas planetarios, que se convierten en planetas flotantes libres después de ser expulsados por sus estrellas anfitrionas durante la evolución de la rama gigante roja (RGB) y la evolución de la rama gigante asintótica (AGB). Por ejemplo, si una estrella anfitriona es una estrella similar al Sol y el eje semimayor crítico está a  $\approx 1000$  AU, entonces los extraterrestres pueden usar naves espaciales para viajar desde su planeta de origen a un objeto similar a 2015 TG387, cuando está cerca de su periastron  $\sim 60-80$  UA. Montarían en ese objeto y dejarían el objeto cuando llegara a su apastron  $\sim 2100$  AU. Luego, usarían su nave espacial para transferirse a otro objeto de la nube de Oort que luego sería expulsado por su estrella posterior a la secuencia principal(...)."

Un estudio reciente encuentra que las simulaciones de formación de planetas terrestres alrededor de estrellas como el Sol producen alrededor de 2,5 planetas de masa terrestre

por estrella que son expulsados durante el proceso de formación de planetas, muchos de estos muy probablemente cerca de Marte en tamaño. Louis Strigari (Universidad de Stanford) calculó en 2012 que por cada estrella de la secuencia principal puede haber hasta 105 objetos sueltos, un número enorme que justificaría el paso frecuente de esos mundos cerca de otros sistemas estelares. Seamos más conservadores y digamos que los planetas que flotan libremente probablemente superen en número a las estrellas en la galaxia. Algunos de estos mundos pueden ser expulsados por interacciones de dispersión posteriores en sistemas multiplanetarios o por evolución estelar. Estos planetas son objetivos de observación engañosos, como nos recuerda el reciente descubrimiento de 70 de ellos en la asociación Upper Scorpius OB (a 420 años luz de la Tierra). Pueden existir en sus innumerables miles de millones, pero confiamos en el azar y las alineaciones momentáneas con una estrella de fondo para detectar su paso a través de microlentes gravitacionales.



**Figura 1.** Esta imagen muestra las ubicaciones de 115 posibles planetas rebeldes, resaltados con círculos rojos, descubiertos recientemente por un equipo de astrónomos en una región del cielo ocupada por Upper Scorpius y Ophiucus. Los planetas rebeldes tienen masas comparables a las de los planetas de nuestro Sistema Solar, pero no orbitan una estrella y, en cambio, vagan libremente por su cuenta. El número exacto de planetas rebeldes encontrados por el equipo está entre 70 y 170, dependiendo de la edad asumida para la región de estudio. Esta imagen se creó asumiendo una edad intermedia, lo que resultó en una serie de candidatos a planetas entre los dos extremos del estudio. Crédito: ESO/N. Risinger (skysurvey.org).

Si encontramos un planeta que flota libremente en nuestros datos, ¿se convierte en un objetivo SETI? Romanovskaya cree que la idea tiene mérito y sugiere varias estrategias

para examinar esos mundos en busca de firmas tecnológicas. Una cosa que podríamos hacer es concentrarnos en estrellas posteriores a la secuencia principal con zonas habitables previamente estables, buscando señales de tecnología cerca de ellas, bajo el supuesto de que una civilización local bajo presión podría necesitar una salida, ya sea a través de la transferencia a una zona libre que pasa. -planeta flotante o por otros medios. Por lo tanto, los vecindarios estelares de gigantes rojas y enanas blancas que se formaron a partir de estrellas de clase G y K merecen estudio. Una llamada 'honda Dyson' (una asistencia gravitatoria binaria enana blanca) podría acelerar un planeta que flota libremente y, como ha demostrado David Kipping, los binarios con estrellas de neutrones y agujeros negros también son candidatos para tal maniobra. Por lo tanto, abrimos el espacio de firma tecnológica a las enanas blancas binarias y sus contrapartes de estrellas de neutrones que las civilizaciones utilizan como aceleradores de planetas.

### **A una estrella pasajera**

Los pases cercanos por otras estrellas también merecen estudio. Ya se han hecho algunos intentos de este tipo. En un estudio reciente, Bradley Hansen (UCLA) analizó los encuentros estelares cercanos al Sol, utilizando la base de datos Gaia dentro de 100 parsecs e identificando 132 pares de estrellas que pasan dentro de 10,000 AU entre sí. No apareció ningún exceso infrarrojo del tipo que podría señalar los esfuerzos migratorios en los datos alrededor de estrellas similares al Sol. Dos años antes, Hansen trabajó con su colega de la UCLA, Ben Zuckerman, sobre la supervivencia de las civilizaciones tecnológicas dada la evolución estelar problemática; ambos artículos aparecieron en el *Astronomical Journal* (no citaré todos estos artículos a continuación, ya que se citan en el artículo de Romanovskaya, que es disponible en texto completo en línea). En un sistema que ha experimentado una migración interestelar, esperaríamos ver firmas tecnológicas atmosféricas y posibles evidencias de terraformación en planetas colonizados. Un clip de su artículo de 2020:

"(...) ... asociamos la migración con un evento astrofísico particular que es, en principio, observable, a saber, un paso cercano de dos estrellas. Se podría reducir el vasto espacio de parámetros de una búsqueda de evidencia de tecnología con un enfoque en una muestra de estrellas de este tipo en una búsqueda de señales de comunicación o signos de actividad como excesos infrarrojos o absorciones transitorias de fotosferas estelares. Sin embargo, nuestras estimaciones sugieren que la densidad de tales sistemas es baja en

comparación con el confuso primer plano de las estrellas verdaderamente unidas, y se requeriría un programa sustancial de investigación de falsos positivos.(...)"

De hecho, la lista de firmas tecnológicas mencionadas en el artículo de Romanovskaya, en su mayoría extraídas de la literatura, nos aleja del paradigma SETI original de escuchar las comunicaciones por radio. Introduce el potencial SETI de los planetas que flotan libremente, pero luego incluye la detección infrarroja de sondas autorreproductoras, motores estelares (las estrellas de hipervelocidad se convierten en candidatas SETI), comunicaciones de naves espaciales interestelares o radiación de ciclotrón emitida por velas magnéticas y otras tecnologías, y el buscar artefactos potenciales de otras civilizaciones aquí en el Sistema Solar, según lo examinado por Robert Freitas y otros y recientemente revigorizado por el trabajo de Jim Benford. Todo el cielo parece abrirse a la búsqueda si aceptamos estas premisas; las firmas tecnológicas llueven como confeti, especialmente dada la hipótesis del planeta que flota libremente. Por lo tanto:

"(...) Las emisiones inexplicables de radiación electromagnética observadas solo una o varias veces a lo largo de las líneas de observación de sistemas planetarios, grupos de estrellas, galaxias y regiones aparentemente vacías del espacio pueden ser firmas tecnológicas producidas en planetas que flotan libremente ubicados a lo largo de las líneas de observación; Se recomienda la búsqueda de planetas que floten libremente en regiones donde ocurren emisiones inexplicables o fenómenos astronómicos.(...)"

¿Cómo construimos un programa de observación coherente a partir de la enorme lista de posibilidades? El autor no intenta producir tal, pero la lluvia de ideas sobre las posibilidades tiene sus propias virtudes que pueden resultar útiles cuando tratamos de dar sentido a futuros datos enigmáticos para preguntarnos si lo que vemos es de origen natural o tecnológico. El artículo es Romanovskaya, "Migración de civilizaciones extraterrestres y colonización interestelar: implicaciones para SETI y SETA", publicado en línea por Cambridge University Press (28 de abril de 2022). Texto completo. El Ivanov et al. El artículo citado al principio es "Una clasificación cualitativa de civilizaciones extraterrestres", *Astronomy & Astrophysics* vol. 639, A94 (14 de julio de 2020). Resumen.

## **Referencias**

[1] *Free-Floating Planets as Interstellar Arks*, by Paul Gilster on May 6, 2022. Centauri dreams, URL: <https://www.centauri-dreams.org/2022/05/06/free-floating-planets-as-interstellar-arks/>

[2] Romanovskaya, “*Migrating extraterrestrial civilizations and interstellar colonization: implications for SETI and SETA*”, published online by Cambridge University Press (28 April 2022). Disponible en la URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-astrobiology/article/migrating-extraterrestrial-civilizations-and-interstellar-colonization-implications-for-seti-and-seta/BFFC1BB63FED869C85172BB3CC88DBBB>

[3] Ivanov et al. “*A qualitative classification of extraterrestrial civilizations*”, *Astronomy & Astrophysics* Vol. 639, A94 (14 July 2020). URL: <https://www.aanda.org/articles/aa/abs/2020/07/aa37597-20/aa37597-20.html>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

## **28. Estrella con “estándar de oro”.**

### **Astrónomos encuentran estrella 'estándar de oro' en la Vía Láctea**

Fecha: 10 de mayo de 2022.

Fuente: Universidad de Michigan.

Resumen: En el vecindario de nuestro sol de la galaxia de la Vía Láctea hay una estrella relativamente brillante, y en ella, los astrónomos han podido identificar la gama más amplia de elementos en una estrella más allá de nuestro sistema solar hasta el momento.

En el vecindario de nuestro sol de la galaxia de la Vía Láctea hay una estrella relativamente brillante, y en ella, los astrónomos han podido identificar la gama más amplia de elementos en una estrella más allá de nuestro sistema solar hasta el momento. El estudio, dirigido por el astrónomo de la Universidad de Michigan Ian Roederer, identificó 65 elementos en la estrella HD 222925. Cuarenta y dos de los elementos identificados son elementos pesados que se enumeran en la parte inferior de la tabla periódica de elementos. Identificar estos elementos en una sola estrella ayudará a los astrónomos a comprender lo que se llama el "proceso de captura rápida de neutrones", o una de las principales formas en que se crearon los elementos pesados en el universo.

Sus resultados se publican en arXiv y han sido aceptados para su publicación en la serie de suplementos de *Astrophysical Journal*.

"Hasta donde yo sé, ese es un récord para cualquier objeto más allá de nuestro sistema solar. Y lo que hace que esta estrella sea tan única es que tiene una proporción relativa muy alta de los elementos enumerados a lo largo de los dos tercios inferiores de la tabla periódica. Incluso detectamos oro", dijo Roederer. "Estos elementos fueron hechos por el proceso de captura rápida de neutrones. Eso es realmente lo que estamos tratando de estudiar: la física para comprender cómo, dónde y cuándo se hicieron esos elementos". El proceso, también llamado "proceso r", comienza con la presencia de elementos más ligeros como el hierro. Luego, rápidamente, del orden de un segundo, se agregan neutrones a los núcleos de los elementos más livianos. Esto crea elementos más pesados como el selenio, la plata, el telurio, el platino, el oro y el torio, del tipo que se encuentra en HD 222925, y que rara vez se detectan en las estrellas, según los astrónomos. "Se necesitan muchos neutrones libres y un conjunto de condiciones de muy alta energía para liberarlos y agregarlos a los núcleos de los átomos", dijo Roederer. "No hay muchos entornos en los que eso pueda suceder, dos, tal vez".

Uno de estos entornos ha sido confirmado: la fusión de estrellas de neutrones. Las estrellas de neutrones son los núcleos colapsados de estrellas supergigantes y son los objetos celestes más pequeños y densos que se conocen. La colisión de pares de estrellas de neutrones provoca ondas gravitacionales y, en 2017, los astrónomos detectaron por primera vez ondas gravitacionales de estrellas de neutrones fusionadas. Otra forma en que podría ocurrir el proceso r es después de la muerte explosiva de estrellas masivas. "Ese es un importante paso adelante: reconocer dónde puede ocurrir el proceso r. Pero es un paso mucho más grande decir: '¿Qué hizo realmente ese evento? ¿Qué se produjo allí?'" dijo Roederer. "Ahí es donde entra nuestro estudio". Los elementos que Roederer y su equipo identificaron en HD 222925 se produjeron en una supernova masiva o en una fusión de estrellas de neutrones muy temprano en el universo. El material fue expulsado y devuelto al espacio, donde más tarde se transformó en la estrella que Roederer está estudiando hoy. Esta estrella se puede usar como un representante de lo que habría producido uno de esos eventos. Cualquier modelo desarrollado en el futuro que demuestre cómo el proceso r o la naturaleza produce elementos en los dos tercios inferiores de la tabla periódica debe tener la misma firma que HD 222925, dice Roederer.

Crucialmente, los astrónomos usaron un instrumento en el Telescopio Espacial Hubble que puede recolectar espectros ultravioleta. Este instrumento fue clave para permitir a los astrónomos recolectar luz en la parte ultravioleta del espectro de luz, luz que es débil y proviene de una estrella fría como HD 222925. Los astrónomos también utilizaron uno de los telescopios Magellan, un consorcio del cual la UM es socio, en el Observatorio Las Campanas en Chile para recolectar luz de HD 222925 en la parte óptica del espectro de luz. Estos espectros codifican la "huella digital química" de los elementos dentro de las estrellas, y la lectura de estos espectros permite a los astrónomos no solo identificar los elementos contenidos en la estrella, sino también cuánto de un elemento contiene la estrella. Anna Frebel es coautora del estudio y profesora de física en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Ella ayudó con la interpretación general del patrón de abundancia de elementos de HD 222925 y cómo informa nuestra comprensión del origen de los elementos en el cosmos.

"Ahora conocemos la salida detallada elemento por elemento de algún evento de proceso r que ocurrió temprano en el universo", dijo Frebel. "Cualquier modelo que intente entender qué está pasando con el proceso r tiene que ser capaz de reproducir eso". Muchos de los coautores del estudio son parte de un grupo llamado R-Process Alliance, un grupo de astrofísicos dedicados a resolver las grandes preguntas del proceso r. Este proyecto marca uno de los objetivos clave del equipo: identificar qué elementos y en qué cantidades se produjeron en el proceso r con un nivel de detalle sin precedentes.

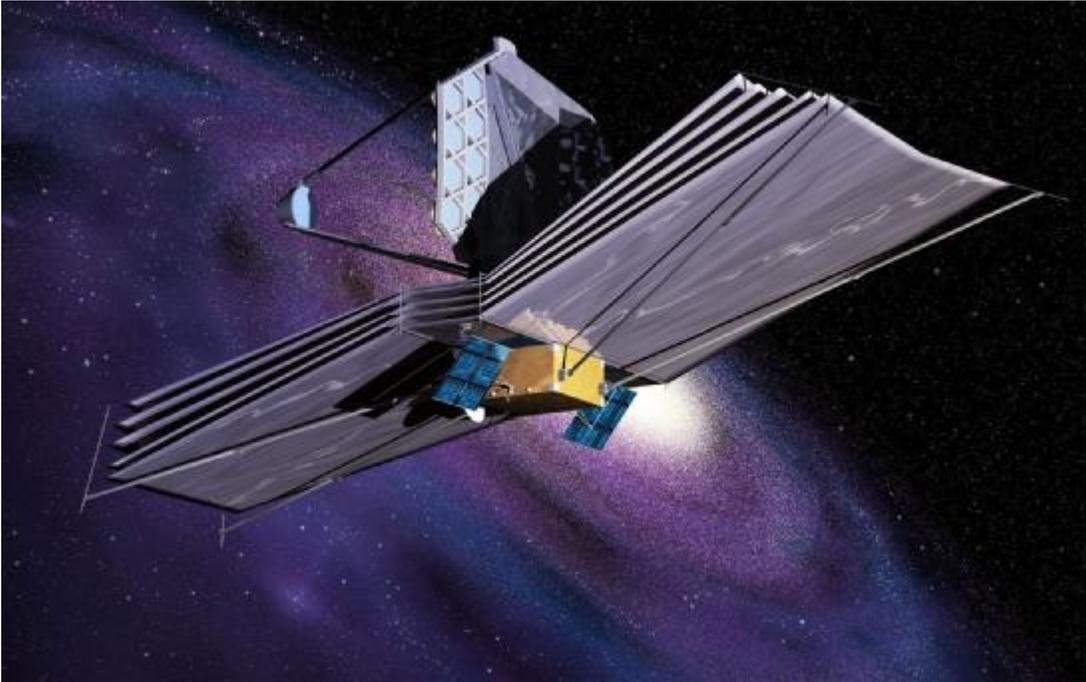
## Referencias

[1] Ian U. Roederer, James E. Lawler, Elizabeth A. Den Hartog, Vinicius M. Placco, Rebecca Surman, Timothy C. Beers, Rana Ezzeddine, Anna Frebel, Terese T. Hansen, Kohei Hattori, Erika M. Holmbeck, Charli M. Sakari. *The R-Process Alliance: A Nearly Complete R-Process Abundance Template Derived from Ultraviolet Spectroscopy of the R-Process-Enhanced Metal-Poor Star HD 222925*, submitted to arXiv, 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2205.03426>

[2] *Astronomers find 'gold standard' star in Milky Way*. Science daily news. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/05/220510151450.htm>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 29. El telescopio James Webb está casi listo para la acción.

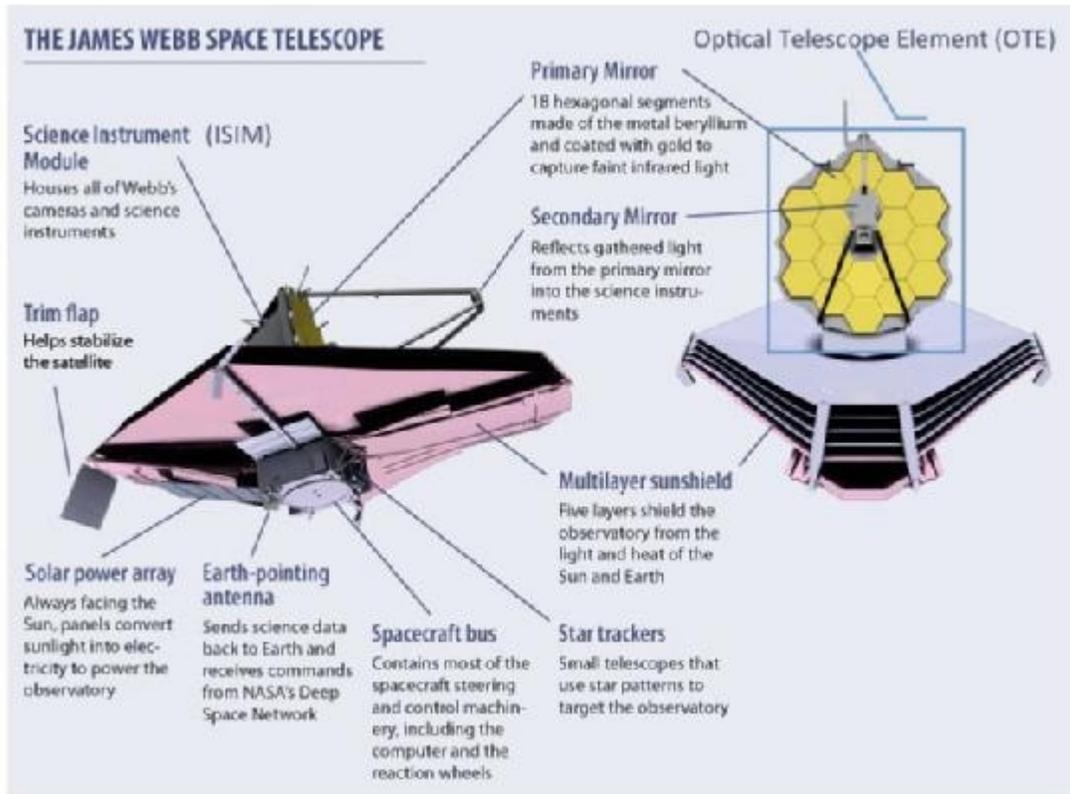


**Figura 1.** James Webb ST: visión artística.

### **Webb está casi listo. Hay una última cosa que hacer**

El telescopio espacial James Webb se encuentra ahora en la fase final de puesta en marcha, ya que se prepara para las observaciones científicas. De los más de 1,000 hitos que el observatorio ha tenido que alcanzar desde su lanzamiento para volverse completamente operativo, el equipo dijo hoy que solo quedan unas doscientas actividades por realizar. Pero esos 200 son parte de la fase final de puesta en servicio de los instrumentos. “Lo llamo la recta final”, dijo Michael McElwain, científico del proyecto del observatorio Webb en una conferencia de prensa el 9 de mayo. “Hay 17 modos científicos que debemos poner en línea en los próximos dos meses, y necesitamos demostrar el funcionamiento operativo del telescopio. capacidades antes de que estemos listos para soltar los instrumentos científicos en el Universo”. Actualmente, el equipo dijo que están investigando los detalles de los instrumentos científicos para completar la puesta en servicio de cada uno. En los próximos dos meses, realizarán mediciones detalladas del rendimiento de los instrumentos científicos antes de que comiencen las operaciones científicas de rutina en el verano.

Klaus Pontoppidan, científico del proyecto Webb del Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial, dijo que anticipa que las primeras imágenes oficiales, llamadas observaciones de liberación anticipada (ERO, por sus siglas en inglés) se harán públicas a mediados de julio, con una fecha más precisa próximamente.

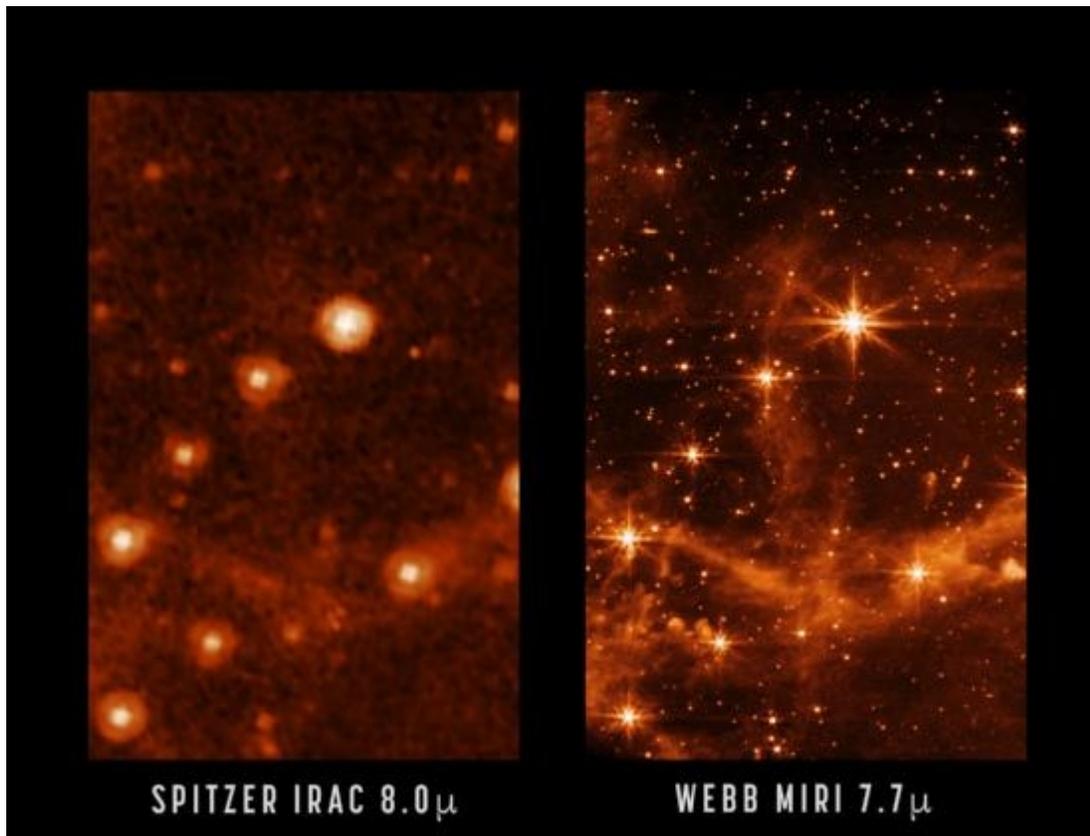


**Figura 2.** Partes de JWST. Crédito: NASA.

“Las observaciones de lanzamiento anticipado serán un paquete de espectaculares imágenes en color y espectros para demostrar que Webb está en pleno funcionamiento”, dijo Pontoppidan. “Será una oportunidad para celebrar el comienzo de la ciencia de Webb y mostrar todas las capacidades de Webb”. Pontoppidan agregó que aunque JWST es un observatorio infrarrojo, las imágenes ERO serán imágenes en color, donde los colores infrarrojos se traducirán en colores visibles que los humanos pueden ver.

Los espejos ahora están completamente alineados y el observatorio está cerca de sus temperaturas criogénicas finales. Los cuatro instrumentos científicos se han encendido e incluyen la cámara de infrarrojo cercano (NIRCam), el espectrómetro de infrarrojo cercano (NIRSpec), el generador de imágenes de infrarrojo cercano y el espectrómetro sin ranura (NIRISS) y el instrumento de infrarrojo medio (MIRI), como así como el sensor de orientación fina (FGS), que proporciona información de orientación de alta

precisión como entrada a los sistemas de control de actitud del telescopio. El último conjunto de actividades de puesta en servicio incluye elementos para cada instrumento, así como para los mecanismos de todo el observatorio, escribió Scott Friedman, científico principal encargado de la puesta en marcha de Webb, en una publicación de blog. "Hemos operado los mecanismos y detectores [de cada instrumento], incluidas las ruedas de filtro, las ruedas de rejilla y el conjunto de microobturador NIRSpec", dijo Friedman. "El equipo de óptica de Webb usó imágenes de estrellas aisladas tomadas con cada uno de los instrumentos para alinear los espejos primario y secundario del observatorio. Pero tenemos más trabajo por hacer antes de que Webb esté completamente listo para embarcarse en las ambiciosas observaciones científicas que revelarán los secretos del universo". Esto incluye un amplio conjunto de calibraciones y caracterizaciones de los instrumentos utilizando una amplia variedad de fuentes astronómicas para probar las capacidades y fortalezas de cada instrumento. "Mediremos el rendimiento de los instrumentos: la cantidad de luz que ingresa al telescopio llega a los detectores y se registra", dijo Friedman. "Siempre hay alguna pérdida con cada reflejo de los espejos del telescopio y dentro de cada instrumento, y ningún detector registra cada fotón que llega. Mediremos este rendimiento en múltiples longitudes de onda de luz observando estrellas estándar cuya emisión de luz se conoce a partir de datos obtenidos con otros observatorios combinados con cálculos teóricos".

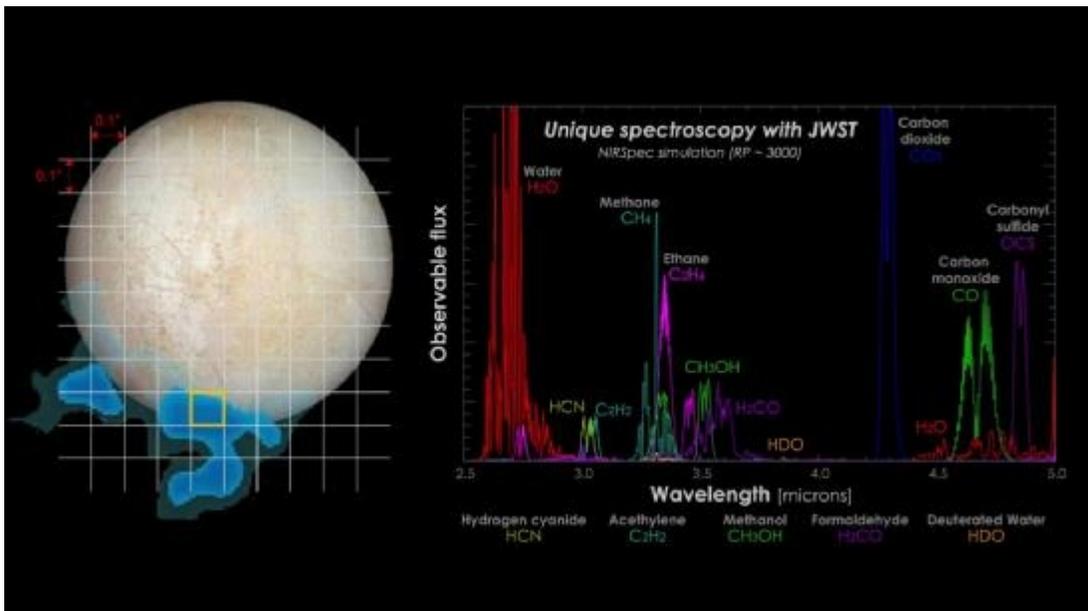


**Figura 3.** Esta combinación de imágenes proporcionadas por la NASA el lunes 9 de mayo de 2022 muestra parte de la Gran Nube de Magallanes, una pequeña galaxia satélite de la Vía Láctea, vista por el Telescopio Espacial Spitzer retirado, a la izquierda, y el nuevo Telescopio Espacial James Webb. El nuevo telescopio está en la recta final de las pruebas, y se espera que las observaciones científicas comiencen en julio, dijeron los astrónomos el lunes. Crédito: NASA/JPL-Caltech, NASA/ESA/CSA/STScI.

También realizarán la calibración astrométrica de cada instrumento mediante la observación de una pequeña porción de cielo en una galaxia cercana, la Gran Nube de Magallanes, y compararán las imágenes con observaciones anteriores de otros observatorios, incluido el Telescopio Espacial Hubble.

El equipo también probará las habilidades de Webb para hacer 'observaciones de series de tiempo', "donde uno toma una serie muy larga de exposiciones para rastrear lo que sucede durante el tránsito de un exoplaneta", dijo Marcia Rieke, investigadora principal de la cámara de infrarrojo cercano de Webb en la sesión informativa del 9 de mayo. Aquí es donde un exoplaneta pasa por delante de su estrella anfitriona, y JWST puede medir la atenuación de la luz de la estrella cuando el planeta pasa por delante. "Ya hemos demostrado que podemos cargar el comando y la secuencia de tiempo correctos para

capturar esos tránsitos”, dijo Reike. También necesitan probar el seguimiento de objetivos en movimiento de JWST. Esto es para observar objetos en nuestro propio sistema solar, como lunas alrededor de otros planetas, asteroides y objetos del cinturón de Kuiper cubiertos de hielo. “Dado que estos objetos siempre se están moviendo, tenemos que ajustar la orientación de JWST para mantener el objeto centrado en el campo de visión”, explicó Reike. “Esto requiere coordinación entre el instrumento, el sistema de guía fina y los controles que apuntan el telescopio. Más por venir, pero estamos aprendiendo cómo hacer todas estas técnicas exquisitamente útiles y complicadas de tomar datos. Estamos descubriendo lo que el telescopio puede hacer”. Y hasta ahora, el telescopio supera incluso las predicciones más optimistas de lo que JWST podrá ver y hacer. Los científicos dijeron que las vistas más nítidas que ahora están viendo sugieren aún más posibilidades para los tipos de ciencia que el nuevo observatorio podrá realizar.



**Figura 4.** Resultados de espectroscopia simulada de las columnas de Europa. Este es un ejemplo de los datos que podría devolver el telescopio Webb que podrían identificar la composición del océano subterráneo de esta luna. Crédito: NASA-GSFC/SVS, Telescopio Espacial Hubble, Stefanie Milam, Geronimo Villanueva.

Hoy, le pedimos a Heidi Hammel, científica interdisciplinaria de Webb para observaciones del sistema solar, que nos cuente sobre sus planes para estudiar a los vecinos más cercanos de la Tierra: "Estoy realmente entusiasmado con el próximo primer año de operaciones científicas de Webb. Dirijo un equipo de astrónomos igualmente entusiasmados ansiosos por comenzar a descargar datos. Webb puede

detectar la tenue luz de las primeras galaxias, pero mi equipo observará mucho más cerca de casa. Usarán a Webb para desentrañar algunos de los misterios que abundan en nuestro propio sistema solar. "Una de las preguntas que me hacen con frecuencia es por qué necesitamos un telescopio poderoso como Webb para estudiar nuestro sistema solar cercano. Los científicos planetarios usamos telescopios para complementar nuestras misiones in situ (misiones que enviamos para volar, orbitar o aterrizar en Un ejemplo de esto es cómo se usó el Hubble para encontrar el objetivo posterior a Plutón para la misión New Horizons, Arrokoth. También usamos telescopios cuando no tenemos planeadas misiones in situ, como para los distantes gigantes de hielo Urano y Neptuno o para realizar mediciones de grandes poblaciones de objetos, como cientos de asteroides o Kuiper Belt Objects (pequeños mundos de hielo más allá de las órbitas de Neptuno, incluido Plutón), ya que solo podemos enviar misiones a unos pocos de estos.

"El equipo de Webb ya ha utilizado un asteroide dentro de nuestro sistema solar para realizar pruebas de ingeniería de la capacidad de 'objetivo móvil' (MT). El equipo de ingeniería probó esta capacidad en un pequeño asteroide en el cinturón principal: 6481 Tenzing , llamado así por Tenzing Norgay , el famoso guía de montaña tibetano que fue una de las primeras personas en llegar a la cima del monte Everest. Bryan Holler, del Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial, tuvo la opción de elegir entre unos 40 posibles asteroides para probar el seguimiento del MT, pero, como nuestro equipo, "Dado que todos los objetos eran similares dijo que tenía un nombre relacionado con el éxito parecía una obviedad". Nos gusta ese tipo de cosas. "Mi papel con Webb como 'científico interdisciplinario' significa que mi programa utiliza todas las capacidades de este telescopio de vanguardia. Las necesitamos todas para comprender verdaderamente el sistema solar (y el universo).

"Nuestro sistema solar tiene muchos más misterios de los que mi equipo tuvo tiempo de resolver. Nuestros programas observarán objetos en todo el sistema solar: tomaremos imágenes de los planetas gigantes y los anillos de Saturno; exploraremos muchos objetos del cinturón de Kuiper; analizaremos la atmósfera de Marte; ejecutaremos estudios de Titán y mucho más. También hay otros equipos que planean observaciones; en su primer año, el 7% del tiempo de Webb se centrará en objetos dentro de nuestro sistema solar. "Un programa emocionante y desafiante que planeamos hacer es observar mundos oceánicos. Hay evidencia del Telescopio Espacial Hubble de que la luna Europa de Júpiter tiene columnas esporádicas de material rico en agua. Planeamos tomar imágenes

de alta resolución de Europa para estudiar su superficie y buscar la actividad del penacho y los procesos geológicos activos. Si localizamos un penacho, utilizaremos la espectroscopia de Webb para analizar la composición del penacho. "Tengo una debilidad en mi corazón por Urano y Neptuno. De hecho, fue la falta de una misión a estos mundos tan distantes lo que me involucró en Webb hace tantas décadas. El equipo de Urano espera vincular definitivamente la química y la dinámica de la atmósfera superior (detectable con Webb) a la atmósfera más profunda que hemos estado estudiando con otras instalaciones durante muchas décadas. Pasé los últimos 30 años usando los telescopios más grandes y mejores que la humanidad haya construido para estudiar estos gigantes de hielo, y ahora agregaremos Webb a esa lista. "Hemos estado planeando las observaciones de Webb durante más de veinte años, y eso se ha acelerado ahora que estamos lanzados, desplegados y enfocados. Señalaré que casi todos los datos del sistema solar de mi equipo estarán disponibles gratuitamente para el amplio comunidad científica planetaria de inmediato. Tomé esa decisión para permitir más descubrimientos científicos con Webb en futuras propuestas.

"Me complace haber podido trabajar con el equipo durante todo este tiempo, y quiero agradecer especialmente a las miles de personas que colectivamente han habilitado esta increíble instalación para la astrofísica y las comunidades planetarias. Gracias; ad astra".

El equipo de Webb ya ha publicado una serie de imágenes de campos estelares tomadas con fines de calibración, pero las nuevas fotografías serán de objetivos astrofísicos, clave para profundizar la comprensión humana del universo, dijo Pontoppidan. Estas imágenes se tomarán en infrarrojo y luego se colorearán para el consumo público. La luz visible y ultravioleta emitida por los primeros objetos luminosos ha sido estirada por la expansión del universo y llega hoy en forma de infrarrojos, que Webb está equipado para detectar con una claridad sin precedentes, lo que le brinda una vista sin precedentes de las primeras estrellas y galaxias que se formaron hace 13500 millones de años. Webb, que se espera que le costó a la NASA y otras agencias casi 10 mil millones de dólares, se encuentra entre las plataformas científicas más caras jamás construidas, comparable al Gran Colisionador de Hadrones en el CERN y su telescopio predecesor, el Hubble. Su misión también incluye el estudio de planetas distantes, conocidos como exoplanetas, para determinar su origen, evolución y habitabilidad.

## **Referencias**

[1] Universe Today. URL: <https://www.universetoday.com/155822/webb-is-almost-ready-theres-one-last-thing-to-do/>

[2] Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-webb-telescope-explore-solar.html>

[3] Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-webb-telescope-full-scientific-images.html>

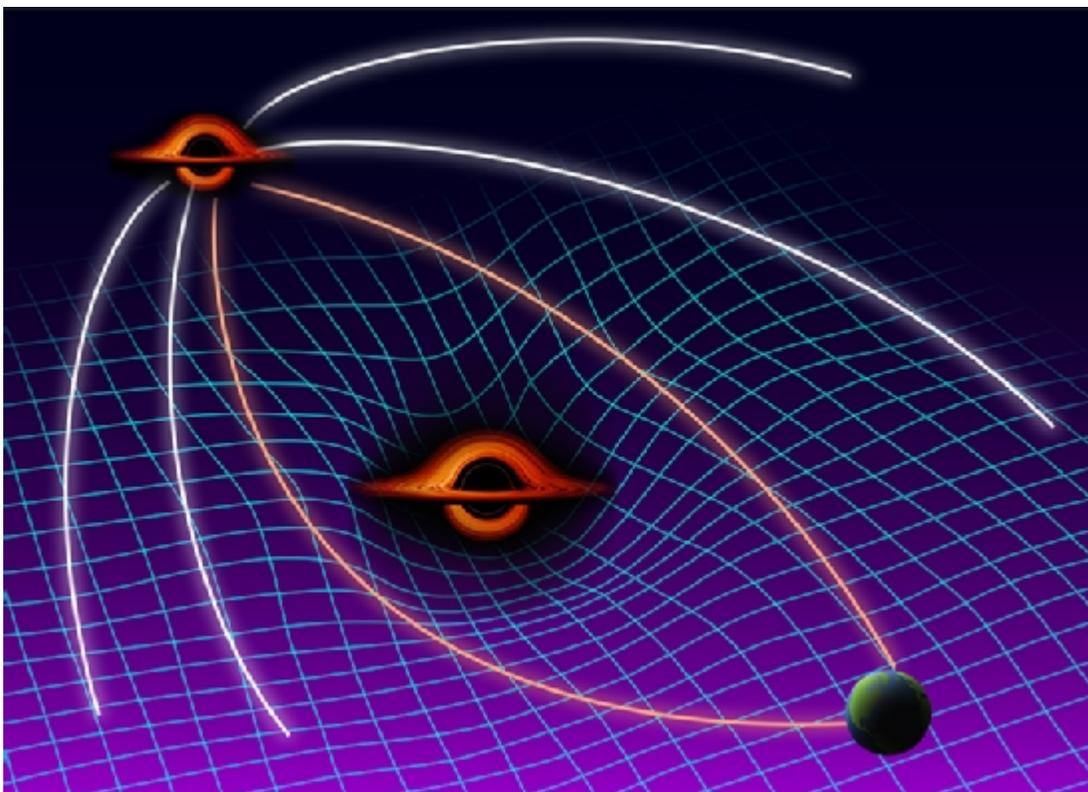
Artículo editado y traducido por Juan F. González.

### **30. Midiendo la sombra de agujeros negros.**

#### **Midiendo la sombra de un agujero negro**

Jorge N. Wong Facultad de Ciencias Naturales del Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, NJ, EE. UU. 9 mayo 2022• Física 15, 68

**Una nueva técnica para medir las sombras proyectadas por un agujero negro binario podría permitir a los astrónomos obtener detalles sobre estos sistemas masivos.**

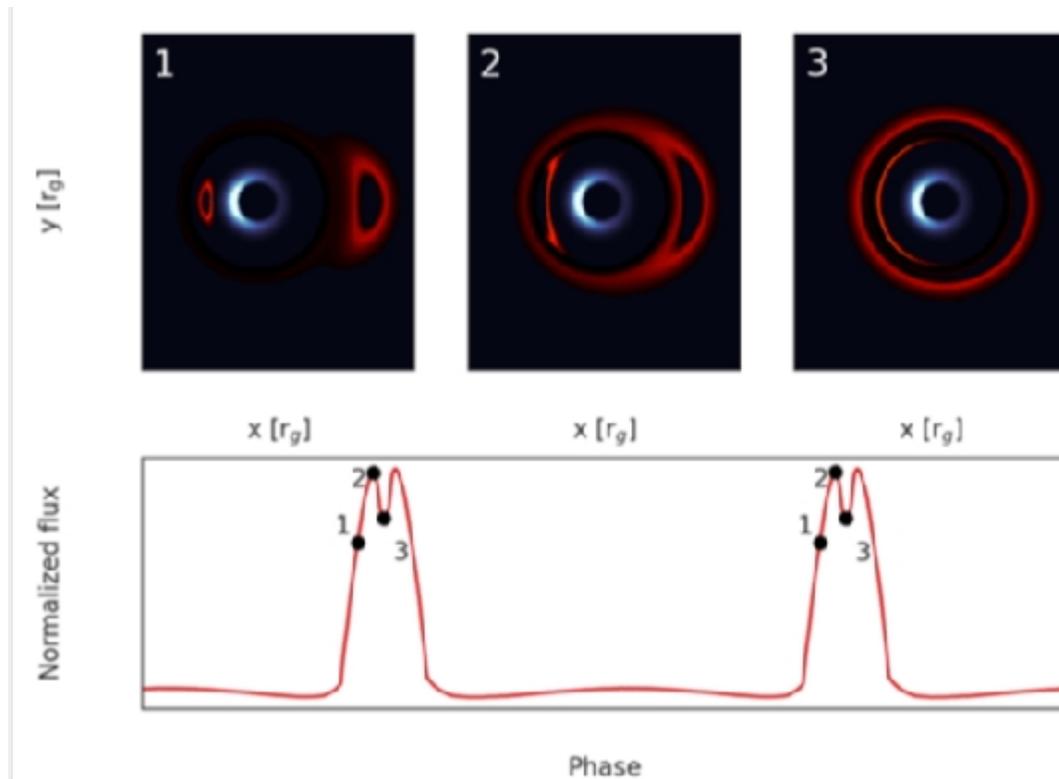


**Figura 1.** Una caricatura que muestra la "autolente" de la luz por un sistema binario de agujero negro supermasivo. Jordy Davelaar y Zoltán Haiman de la Universidad de Columbia predicen que este efecto podría usarse para estudiar binarios de agujeros negros que están demasiado lejos de la Tierra para investigar con otras técnicas.

Cuando las galaxias chocan, los agujeros negros supermasivos centrales que contienen comienzan a orbitar entre sí. Este binario de agujeros negros supermasivos atrae gas, que fluye a través del sistema para formar dos estructuras en forma de disco, una alrededor de cada uno de los agujeros negros supermasivos. El gas de estos "minidiscos" se calienta a medida que cae hacia los agujeros y comienza a irradiar luz. Los astrónomos han detectado alrededor de 150 galaxias con candidatos binarios de agujeros negros supermasivos. Y, a medida que las observaciones se vuelven más detalladas, esperan que la luz de los minidiscos en esos sistemas lleve firmas reconocibles y dependientes del tiempo de las distorsiones de los agujeros negros [1]. Ahora, Jordy Davelaar y Zoltán Haiman de la Universidad de Columbia han probado teóricamente cómo una de esas distorsiones, la "sombra" del agujero negro, afecta esta firma de luz y descubrieron que provoca una caída en la señal que debería ser observable en aproximadamente el 1% de sistemas candidatos [2, 3]. La técnica podría permitir a los astrónomos estudiar agujeros negros que actualmente están más allá del alcance de los métodos de imagen convencionales (Fig. 1). Desde mediciones de ondas gravitacionales de agujeros negros fusionados hasta imágenes directas del plasma que rodea un agujero negro, la última década ha visto una explosión de evidencia observacional de agujeros negros (ver Punto de vista: Los primeros sonidos de los agujeros negros fusionados y Artículo de noticias: Agujero negro Pruebas de imagen de los límites de Einstein) [4–6]. Sin embargo, a pesar de estos logros, quedan muchas preguntas sobre los agujeros negros, incluida una crítica: ¿cómo crecen los agujeros negros a escalas supermasivas, de millones a miles de millones de veces la masa del Sol? Un agujero negro es un objeto simple, descrito por su masa, momento angular y carga eléctrica. Los agujeros negros supermasivos suelen ser eléctricamente neutros, por lo que sus parámetros de masa y momento angular determinan sus campos gravitatorios. El campo gravitacional determina cómo los agujeros negros desvían la luz y, por lo tanto, cómo aparecen ante un observador en la Tierra. La luz que pasa cerca del agujero negro es desviada por el campo gravitacional, produciendo una sombra de agujero negro, una región oscura que a menudo está rodeada por un anillo de luz brillante, cuyo tamaño y forma provienen directamente de la masa y el momento angular del agujero negro. Desafortunadamente para un observador

terrestre, recuperar una imagen de la sombra de un agujero negro es prácticamente imposible para todos los agujeros negros supermasivos, excepto para los más cercanos. Esto se debe a que la mayoría de los agujeros negros supermasivos son demasiado pequeños para resolverse en el cielo nocturno. Este problema es particularmente problemático para los científicos que desean comprender cómo crecen los agujeros negros, ya que los primeros agujeros negros son los más alejados de la Tierra y, por lo tanto, los más pequeños en el cielo. Davelaar y Haiman predicen que su método podría capturar las sombras de estos objetos que de otro modo no se podrían resolver.

En su estudio, Davelaar y Haiman simularon numéricamente binarios de agujeros negros en una variedad de configuraciones diferentes. Utilizaron el modelo clásico de Novikov-Thorne para la acumulación de gas en los discos, eligiendo parámetros que se ajustaron para que su modelo reprodujera comportamientos vistos en simulaciones hidrodinámicas de minidiscos calentados por choque [7]. Luego, el dúo usó un código de trazado de rayos adaptativo para rastrear la luz que viaja entre los minidiscos y un observador de la Tierra. Esta implementación numérica permitió a Davelaar y Haiman variar fácilmente los parámetros que determinan el tamaño y la estructura de los minidiscos, así como las propiedades físicas de los agujeros negros y sus trayectorias orbitales.



**Figura 2.** Instantáneas pronosticadas (arriba) y curvas de luz (abajo) de una llamarada de autolente (roja) de un agujero negro binario.

Al analizar sus datos de simulación, Davelaar y Haiman buscaron sistemas binarios con caídas notables en las erupciones de autolente que se producen cuando un agujero negro en el binario pasa directamente detrás del otro (Fig. 2). Cuando uno de los agujeros negros en el binario pasa detrás del otro, la luz del minidisco alrededor del agujero negro que está más lejos es "lenteada" por el campo gravitacional del agujero negro más cercano. Esta lente produce un destello. Sin embargo, la intensidad de este destello disminuirá cuando la lente se asiente directamente sobre el agujero negro más lejano y la sombra de ese agujero negro sea reflejada. Usando estimaciones de la variabilidad de fondo y el ruido de los instrumentos, Davelaar y Haiman estiman que esta caída debería ser detectable en aproximadamente el 1% de los 150 candidatos binarios de agujeros negros supermasivos encontrados hasta ahora. Los astrofísicos ahora necesitan probar esta predicción con extensiones de modelo. Por ejemplo, ¿cómo afectan la predicción las suposiciones sobre la termodinámica del gas en los minidiscos? ¿Qué pasa si el flujo es transitorio o si los minidiscos chocan cuando los agujeros negros entran en espiral? ¿Y si el gas en los minidiscos es radiativamente ineficiente y los discos son geoméricamente gruesos? Responder a tales preguntas es vital para diseñar estrategias de observación. Sin una comprensión completa de las incertidumbres del modelo, será imposible optimizar el uso de nuestros limitados y valiosos observatorios. Pero si podemos encontrar estos huecos en las sombras de los agujeros negros y luego usarlos para restringir las propiedades de las sombras (y, por lo tanto, la masa y el giro de los agujeros negros), mejorará significativamente nuestra comprensión de la demografía de los agujeros negros. Y eso ayudaría a revelar cómo ha evolucionado la naturaleza de los agujeros negros supermasivos a lo largo de la historia del Universo.

## Referencias

- [1] D. J. D'Orazio and R. Di Stefano, "Periodic self-lensing from accreting massive black hole binaries," *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 474, 2975 (2017).
- [2] J. Davelaar and Z. Haiman, "Self-lensing flares from black hole binaries: Observing black hole shadows via light curve tomography," *Phys. Rev. Lett.* 128, 191101 (2022).
- [3] J. Davelaar and Z. Haiman, "Self-lensing flares from black hole binaries: General-relativistic ray tracing of black hole binaries," *Phys. Rev. D* 105, 103010 (2022).
- [4] B.P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), "Observation of gravitational waves from a binary black hole merger," *Phys. Rev. Lett.* 116, 061102 (2016).

[5] R. Abuter et al. (GRAVITY Collaboration), "Detection of orbital motions near the last stable circular orbit of the massive black hole SgrA\*," *Astron. Astrophys.* 618, L10 (2018).

[6] K. Akiyama et al. (The Event Horizon Telescope Collaboration), "First M87 Event Horizon Telescope results. I. The shadow of the supermassive black hole," *Astrophys. J. Lett.* 875, L1 (2019).

[7] I. D. Novikov and K. S. Thorne, "Astrophysics and black holes," in *Proceedings of the Les Houches Summer School*, edited by C. DeWitt and B. S. DeWitt (Gordon and Breach, New York, 1973), Vol. 23, p. 343-550.

[8] *Measuring a Black Hole Shadow*, George N. Wong. *Physics.aps news*, URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/68>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

### **31. Nuevos métodos para ver agujeros negros.**

Hace tres años, la primera imagen de un agujero negro sorprendió al mundo. Un pozo negro de la nada encerrado por un anillo de luz ardiente. Esa imagen icónica del agujero negro en el centro de la galaxia Messier 87 se enfocó gracias al Event Horizon Telescope, una red global de antenas de radio sincronizadas que actúan como un telescopio gigante. Ahora, un par de investigadores de Columbia han ideado una forma potencialmente más fácil de mirar hacia el abismo. Descrito en estudios complementarios en *Physical Review Letters* y *Physical Review D*, su técnica de imagen podría permitir a los astrónomos estudiar agujeros negros más pequeños que el de M87, un monstruo con una masa de 6500 millones de soles, albergado en galaxias más distantes que M87, que a 55 millones de luz -años de distancia, todavía está relativamente cerca de nuestra propia Vía Láctea. La técnica tiene sólo dos requisitos. Primero, necesitas un par de agujeros negros supermasivos en proceso de fusión. En segundo lugar, debe mirar a la pareja en un ángulo casi lateral. Desde este punto de vista lateral, cuando un agujero negro pasa frente al otro, debería poder ver un destello de luz brillante a medida que el anillo brillante del agujero negro más lejano se magnifica por el agujero negro más cercano a usted, un fenómeno conocida como lente gravitacional. El efecto de lente es bien conocido, pero lo que los investigadores descubrieron aquí fue una señal oculta: una disminución distintiva en el brillo correspondiente a la "sombra" del agujero negro en la parte posterior. Esta atenuación sutil puede durar desde unas

pocas horas hasta unos pocos días, dependiendo de cuán masivos sean los agujeros negros y cuán estrechamente entrelazadas estén sus órbitas. Si mide cuánto dura la inmersión, dicen los investigadores, puede estimar el tamaño y la forma de la sombra proyectada por el horizonte de eventos del agujero negro, el punto sin salida, donde nada escapa, ni siquiera la luz. "Tomó años y un gran esfuerzo por parte de docenas de científicos hacer esa imagen de alta resolución de los agujeros negros M87", dijo el primer autor del estudio, Jordy Davelaar, un postdoctorado en Columbia y el Centro de Astrofísica Computacional del Instituto Flatiron. "Ese enfoque solo funciona para los agujeros negros más grandes y cercanos: el par en el corazón de M87 y potencialmente nuestra propia Vía Láctea". Agregó: "Con nuestra técnica, mides el brillo de los agujeros negros a lo largo del tiempo, no necesitas resolver cada objeto espacialmente. Debería ser posible encontrar esta señal en muchas galaxias". La sombra de un agujero negro es su característica más misteriosa e informativa. "Ese punto oscuro nos informa sobre el tamaño del agujero negro, la forma del espacio-tiempo que lo rodea y cómo la materia cae en el agujero negro cerca de su horizonte", dijo el coautor Zoltan Haiman, profesor de física en Columbia. Las sombras de los agujeros negros también pueden contener el secreto de la verdadera naturaleza de la gravedad, una de las fuerzas fundamentales de nuestro universo. La teoría de la gravedad de Einstein, conocida como relatividad general, predice el tamaño de los agujeros negros. Los físicos, por lo tanto, los han buscado para probar teorías alternativas de la gravedad en un esfuerzo por reconciliar dos ideas contrapuestas sobre cómo funciona la naturaleza: la relatividad general de Einstein, que explica fenómenos a gran escala como la órbita de planetas y el universo en expansión, y la física cuántica, que explica cómo pequeñas partículas como electrones y fotones pueden ocupar múltiples estados a la vez. Los investigadores se interesaron en la erupción de agujeros negros supermasivos después de detectar un par de agujeros negros supermasivos en el centro de una galaxia lejana en el universo primitivo. El telescopio espacial Kepler de búsqueda de planetas de la NASA estaba buscando las pequeñas caídas en el brillo correspondientes a un planeta que pasa frente a su estrella anfitriona. En cambio, Kepler terminó detectando las llamaradas de lo que Haiman y sus colegas afirman que son un par de agujeros negros que se fusionan. Llamaron a la galaxia distante "Spikey" por los picos de brillo provocados por sus supuestos agujeros negros que se magnifican entre sí en cada rotación completa a través del efecto de lente. Para obtener más información sobre la llamarada, Haiman construyó un modelo con su postdoctorado, Davelaar. Sin embargo, se sintieron confundidos cuando su par de agujeros negros simulados produjo una caída inesperada, pero

periódica, en el brillo cada vez que uno orbitaba frente al otro. Al principio, pensaron que era un error de codificación. Pero una verificación adicional los llevó a confiar en la señal. Mientras buscaban un mecanismo físico para explicarlo, se dieron cuenta de que cada caída en el brillo coincidía con el tiempo que le tomaba al agujero negro más cercano al espectador pasar frente a la sombra del agujero negro en la parte posterior. Los investigadores actualmente están buscando otros datos del telescopio para tratar de confirmar la caída que vieron en los datos de Kepler para verificar que Spikey, de hecho, alberga un par de agujeros negros que se fusionan. Si todo sale bien, la técnica podría aplicarse a un puñado de otros pares sospechosos de fusionar agujeros negros supermasivos entre los 150 que se han detectado hasta ahora y están esperando confirmación.

A medida que se pongan en marcha telescopios más potentes en los próximos años, pueden surgir otras oportunidades. El Observatorio Vera Rubin, que se inaugurará este año, tiene la vista puesta en más de 100 millones de agujeros negros supermasivos. Será posible seguir explorando agujeros negros cuando el detector de ondas gravitacionales de la NASA, LISA, se lance al espacio en 2030. "Incluso si solo una pequeña fracción de estos binarios de agujeros negros tiene las condiciones adecuadas para medir nuestro efecto propuesto, podríamos encontrar muchas de estas fusiones de agujeros negros", dijo Davelaar.

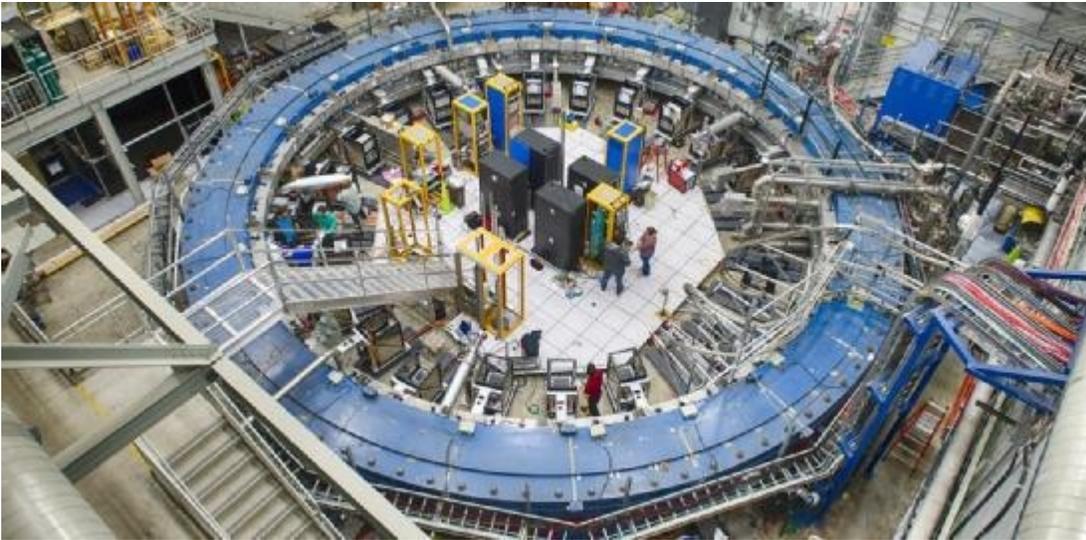
## Referencias

- [1] Jordy Davelaar, Zoltán Haiman. Self-Lensing Flares from Black Hole Binaries: Observing Black Hole Shadows via Light Curve Tomography. *Physical Review Letters*, 2022; 128 (19) [DOI: 10.1103/PhysRevLett.128.191101](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.191101)
- [2] Jordy Davelaar, Zoltán Haiman. Self-lensing flares from black hole binaries: General-relativistic ray tracing of black hole binaries. *Physical Review D*, 2022; 105 (10) [DOI: 10.1103/PhysRevD.105.103010](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.103010)
- [3] *In a pair of merging supermassive black holes, a new method for measuring the void*. Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-pair-merging-supermassive-black-holes.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 32. ¿Hemos roto el Modelo Estándar de partículas?

**The standard model of particle physics may be broken, expert says**  
by Roger Jones, *The Conversation*



**Figura 1.** El imán de anillo de almacenamiento para el experimento Muon G-2 en Fermilab. Crédito: Reidar Hahn/wikipedia, CC BY-SA.

Como físico que trabaja en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en el Cern, una de las preguntas más frecuentes que me hacen es "¿Cuándo vas a encontrar algo?" Resistiendo la tentación de responder sarcásticamente "¿Aparte del bosón de Higgs, que ganó el Premio Nobel, y un montón de nuevas partículas compuestas?" Me doy cuenta de que la razón por la que la pregunta se plantea con tanta frecuencia se debe a cómo hemos presentado el progreso en la física de partículas al resto del mundo.

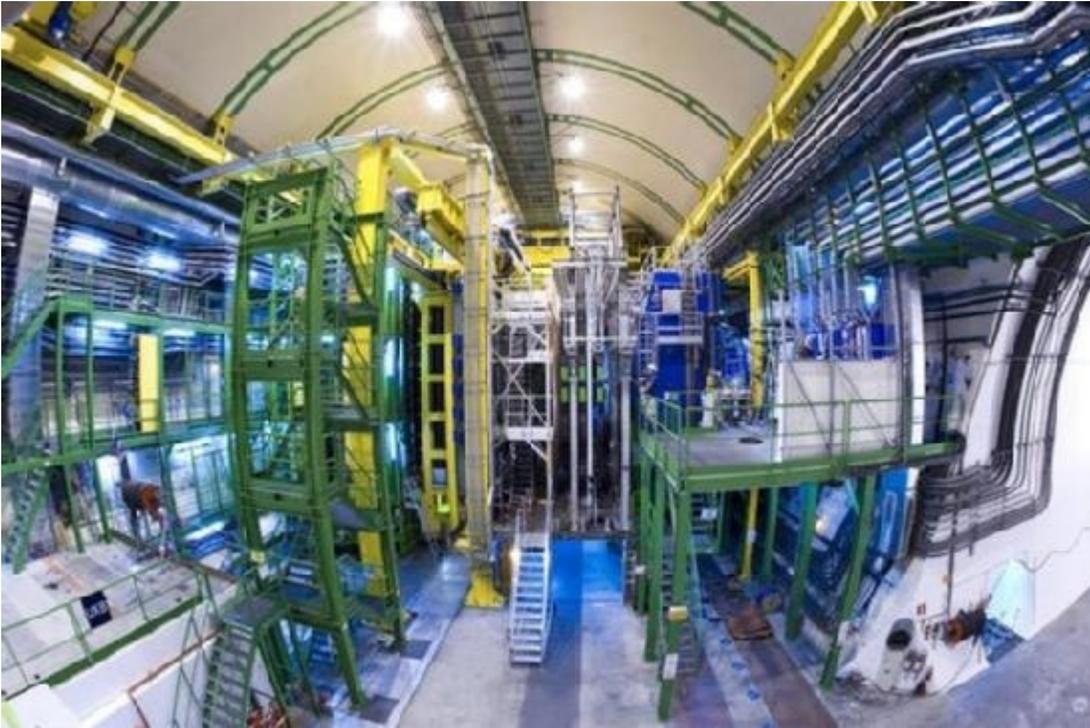
A menudo hablamos de progreso en términos de descubrir nuevas partículas, y con frecuencia lo es. Estudiar una nueva partícula muy pesada nos ayuda a ver los procesos físicos subyacentes, a menudo sin el molesto ruido de fondo. Eso facilita la explicación del valor del descubrimiento al público y a los políticos.

Recientemente, sin embargo, una serie de mediciones precisas de partículas y procesos estándar de pantano ya conocidos han amenazado con sacudir la física. Y con el LHC preparándose para funcionar con mayor energía e intensidad que nunca, es hora de comenzar a discutir ampliamente las implicaciones. En verdad, la física de partículas siempre ha procedido de dos maneras, de las cuales las nuevas partículas son una. La otra es haciendo mediciones muy precisas que prueben las predicciones de las teorías y busquen desviaciones de lo esperado. La evidencia temprana de la teoría de la

relatividad general de Einstein, por ejemplo, provino del descubrimiento de pequeñas desviaciones en las posiciones aparentes de las estrellas y del movimiento de Mercurio en su órbita.

Tres claves Las partículas obedecen a una teoría contraria a la intuición pero fueron exitosas llamada mecánica cuántica. Esta teoría muestra que las partículas demasiado masivas para ser creadas directamente en una colisión de laboratorio aún pueden influir en lo que hacen otras partículas (a través de algo llamado "fluctuaciones cuánticas"). Sin embargo, las mediciones de tales efectos son muy complejas y mucho más difíciles de explicar al público. Pero los resultados recientes que insinúan una nueva física inexplicable más allá del modelo estándar son de este segundo tipo. Los estudios detallados del experimento LHCb encontraron que una partícula conocida como quark de belleza (los quarks forman los protones y neutrones en el núcleo atómico) "decae" (se desmorona) en un electrón con mucha más frecuencia que en un muón: el electrón es más pesado, pero por lo demás idénticos, hermano. De acuerdo con el modelo estándar, esto no debería suceder, lo que sugiere que nuevas partículas o incluso fuerzas de la naturaleza pueden influir en el proceso.

Curiosamente, sin embargo, las mediciones de procesos similares que involucran a los "quarks superiores" del experimento ATLAS en el LHC muestran que esta descomposición ocurre a la misma velocidad para los electrones y los muones. Mientras tanto, el experimento Muon g-2 en Fermilab en los EE. UU. ha realizado recientemente estudios muy precisos de cómo los muones "se tambalean" cuando su "giro" (una propiedad cuántica) interactúa con los campos magnéticos circundantes. Encontró una desviación pequeña pero significativa de algunas predicciones teóricas, lo que nuevamente sugiere que pueden estar trabajando fuerzas o partículas desconocidas.



**Figura 2.** Experimento LHCb. Crédito: CERN.

El último resultado sorprendente es una medida de la masa de una partícula fundamental llamada bosón W, que lleva la fuerza nuclear débil que gobierna la desintegración radiactiva. Después de muchos años de toma y análisis de datos, el experimento, también en Fermilab, sugiere que es significativamente más pesado de lo que predice la teoría, desviándose en una cantidad que no ocurriría por casualidad en más de un millón de millones de experimentos. Una vez más, puede ser que partículas aún no descubiertas se sumen a su masa. Curiosamente, sin embargo, esto también está en desacuerdo con algunas mediciones de menor precisión del LHC.

### **El veredicto**

Si bien no estamos absolutamente seguros de que estos efectos requieran una explicación novedosa, parece estar aumentando la evidencia de que se necesita algo de física nueva. Por supuesto, habrá casi tantos nuevos mecanismos propuestos para explicar estas observaciones como teóricos. Muchos buscarán varias formas de "supersimetría". Esta es la idea de que hay el doble de partículas fundamentales en el modelo estándar de lo que pensábamos, y cada partícula tiene un "súper compañero". Estos pueden involucrar bosones de Higgs adicionales (asociados con el campo que da su masa a las partículas fundamentales). Otros irán más allá, invocando ideas de moda menos recientes como "tecnicolor", lo que implicaría que existen fuerzas adicionales de

la naturaleza (además de la gravedad, el electromagnetismo y las fuerzas nucleares débil y fuerte), y podría significar que el bosón de Higgs es de hecho un objeto compuesto hecho de otras partículas. Solo los experimentos revelarán la verdad del asunto, lo cual es una buena noticia para los experimentadores. Todos los equipos experimentales detrás de los nuevos hallazgos son muy respetados y han trabajado en los problemas durante mucho tiempo. Dicho esto, no es una falta de respeto hacia ellos señalar que estas mediciones son extremadamente difíciles de realizar. Además, las predicciones del modelo estándar generalmente requieren cálculos en los que se deben realizar aproximaciones. Esto significa que diferentes teóricos pueden predecir masas y tasas de descomposición ligeramente diferentes según las suposiciones y el nivel de aproximación realizado. Entonces, puede ser que cuando hagamos cálculos más precisos, algunos de los nuevos hallazgos encajen con el modelo estándar.

Del mismo modo, puede ser que los investigadores estén utilizando interpretaciones sutilmente diferentes y, por lo tanto, encuentren resultados inconsistentes. La comparación de dos resultados experimentales requiere una verificación cuidadosa de que se haya utilizado el mismo nivel de aproximación en ambos casos. Ambos son ejemplos de fuentes de "incertidumbre sistemática" y, si bien todos los involucrados hacen todo lo posible para cuantificarlas, pueden surgir complicaciones imprevistas que las subestimen o las sobreestimen. Nada de esto hace que los resultados actuales sean menos interesantes o importantes. Lo que ilustran los resultados es que existen múltiples caminos hacia una comprensión más profunda de la nueva física, y todos deben explorarse. Con el reinicio del LHC, todavía hay perspectivas de que se produzcan nuevas partículas a través de procesos más raros o que se encuentren ocultas bajo fondos que aún tenemos que desenterrar.

## **Referencias**

[1] *The standard model of particle physics may be broken*, expert says by Roger Jones, The ConversationPhys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-standard-particle-physics-broken-expert.html>

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

### 33. Esferas de Dyson y enanas blancas.

Publicado el 9 de mayo de 2022 por Andy Tomaswick

**Si hay esferas de Dyson alrededor de las enanas blancas, deberíamos poder detectarlas**



**Figura 1.** Esfera/enjambre de Dyson. Artist depiction of a Dyson sphere. Credit: Kevin McGill.

La búsqueda de esferas, anillos o enjambres de Dyson sigue siendo una preocupación para muchos astrónomos. Si hay alguno por ahí, eventualmente será encontrado, y la persona o el equipo de investigación que lo haga pasará a la historia por hacer uno de los descubrimientos más trascendentales en la historia de la humanidad. Si está interesado en reclamar ese galardón para usted, un excelente lugar para buscar puede ser alrededor de las enanas blancas. Al menos, esa es la teoría presentada en un nuevo artículo de Benjamin Zuckerman, profesor de astrofísica ahora retirado en UCLA. Las esferas de Dyson son materia de civilizaciones muy avanzadas. Comúnmente considerado como esferas artificiales que rodean una estrella completa. Sin embargo, si alguna vez se construyen, es más probable que aparezcan como una esfera parcialmente completa, o incluso como un anillo o "enjambre" de pequeños hábitats que rodean a su estrella anfitriona. Llamadas colectivamente DSR por el Dr. Zuckerman, cualquiera de estas

configuraciones tendría un signo revelador único: cambiarían la firma infrarroja de esa estrella.

Ese es el enfoque del trabajo del Dr. Zuckerman. Su teoría se centra en escanear diferentes enanas blancas en busca de firmas infrarrojas anómalas que podrían indicar que una construcción artificial las rodea. Pero, ¿por qué enanas blancas? Aparte de ser razonablemente omnipresentes, tienen la distinción de ser el estado final de estrellas como la nuestra.

El ciclo de vida de un objeto de masa solar pasaría por la "secuencia principal", como en la que nos encontramos actualmente, y luego se expandiría a una fase de gigante roja, que potencialmente engulliría muchos de los planetas que el sistema ha acumulado mientras tanto. Luego colapsaría la base en una enana blanca, donde existe durante miles de millones de años antes de degenerar potencialmente en una enana negra de baja potencia. Mientras las enanas blancas todavía están vivas, emiten radiación térmica de hasta unos pocos miles de grados Kelvin, que podrían absorberse y reapropiarse para alimentar un DSR. Sin embargo, como señala el Dr. Zuckerman, lo más probable es que esa estrella haya desarrollado una civilización tecnológica antes de que se construya un objeto de este tipo a su alrededor, ya que cualquier civilización capaz de crear un DSR probablemente no esté interesada en construir una alrededor de un blanco en particular. enano, a excepción del que crecieron orbitando. El trabajo anterior de Zuckerman apunta a la posibilidad de que, si de hecho hay civilizaciones tecnológicamente avanzadas en la Vía Láctea, al menos algunas de ellas habrían experimentado que su estrella anfitriona se convirtió en una enana blanca. Si su respuesta a este evento potencialmente cataclísmico es construir un DSR alrededor de su estrella ahora más estable, entonces deberíamos poder verlos usando nuestros nuevos telescopios infrarrojos.

De hecho, ha habido campañas de observación tanto en WISE como en Spitzer. Ambos observaron enanas blancas con masas alrededor de lo que esperaríamos que se convirtiera nuestro propio Sol. Incluso notaron algunas incidencias de firmas infrarrojas anómalas. Sin embargo, los investigadores pensaron que el polvo era la causa más probable de esas anomalías y no hubo evidencia de DSR. Nunca ha habido ninguna evidencia de un DSR en ninguna parte de los datos astronómicos, para el disgusto de los cazadores de extraterrestres. Pero la ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia, solo ayuda a limitar la probabilidad. Según el Dr. Zuckerman, con las observaciones que ya hemos hecho, podemos hacer un cálculo estadístico de que menos del 3% de los planetas habitables que orbitan estrellas que eventualmente se convierten en enanas

blancas construyen una DSR a su alrededor. De acuerdo, las estimaciones actuales sitúan la cantidad de planetas habitables alrededor de estrellas de tipo G que podrían finalmente evolucionar a enanas blancas en 300 millones, por lo que aún podría haber más de 9 millones de civilizaciones que han construido una DSR alrededor de su estrella de origen enana blanca. Pero por ahora, la paradoja de Fermi aún se mantiene, y la ciencia continúa recopilando datos que limitarán aún más las estimaciones del número de civilizaciones tecnológicas avanzadas en nuestra galaxia o demostrarán que no estamos solos de una vez por todas. De cualquier manera, los telescopios infrarrojos más avanzados, como JWST, que se está poniendo en línea lentamente, son una de nuestras mejores oportunidades para encontrarlos. Y siempre habrá gente por ahí que quiera seguir buscando.

## Referencias

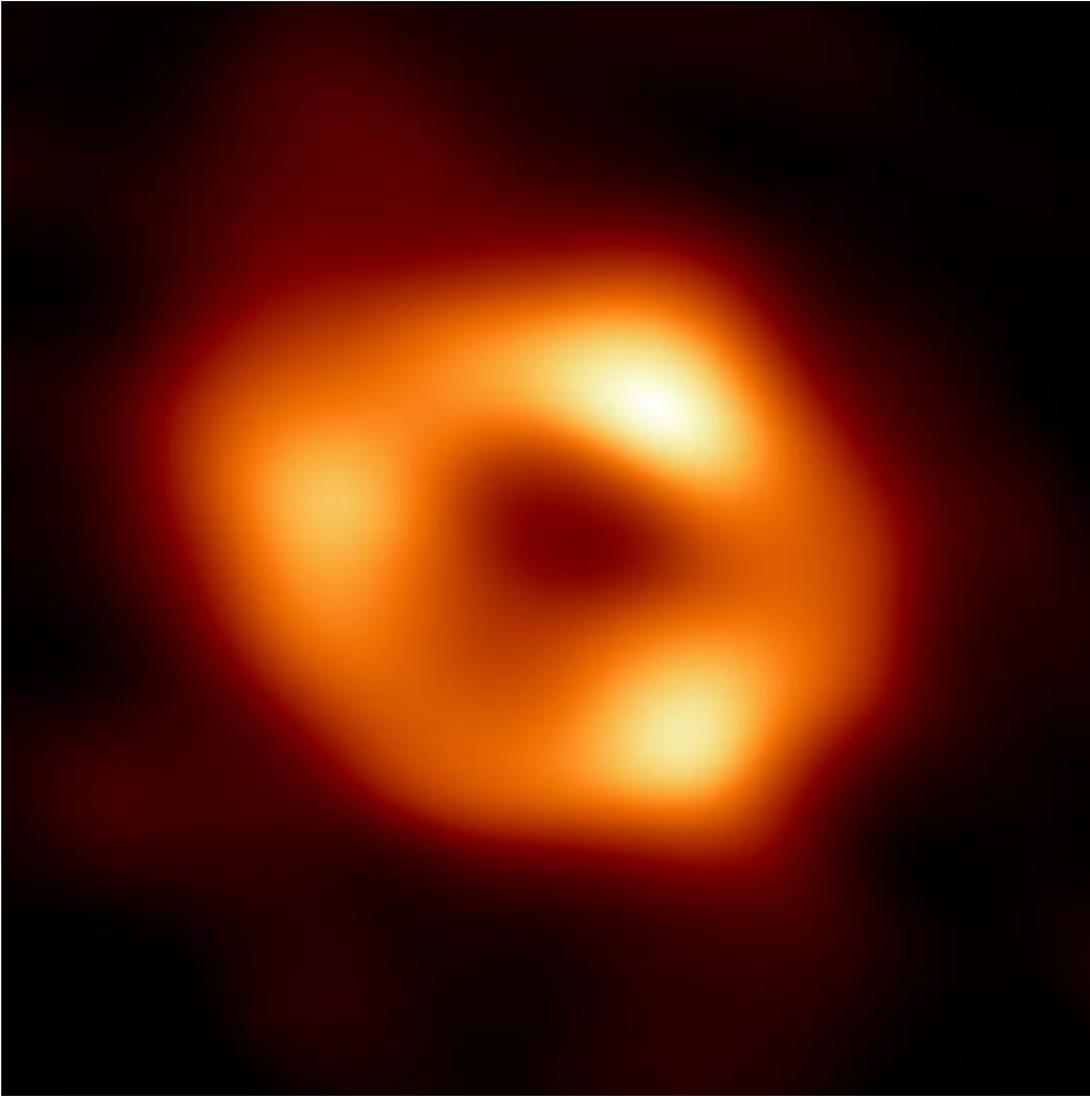
[1] *Dyson Spheres: The White Dwarf Factor* by Paul Gilster on May 13, 2022. Centauridreams, URL: <https://www.centauri-dreams.org/2022/05/13/dyson-spheres-the-white-dwarf-factor/>

[2] *If There are Dyson Spheres Around White Dwarfs, We Should be Able to Detect Them* Universe Today: <https://www.universetoday.com/155830/if-there-are-dyson-spheres-around-white-dwarfs-we-should-be-able-to-detect-them/>

[3] *If there are Dyson spheres around white dwarfs, we should be able to detect them.* Phys.org news. URL: <https://phys.org/news/2022-05-dyson-spheres-white-dwarfs.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

## 34. El agujero negro de SgA\* visto por el EHT.



**Figura 1.** Imagen del agujero negro en el centro de nuestra galaxia, capturada por el Event Horizon Telescope (EHT).

**First Image of the Milky Way's Black Hole/Primera imagen del agujero negro de la Vía Láctea**

May 12, 2022 • Physics 15, 74.

*Scientists have directly imaged Sagittarius A\*, the black hole at the center of our Galaxy. Los científicos han fotografiado directamente Sagittarius A\*, el agujero negro del centro de nuestra Galaxia.*

Hace tres años, los investigadores revelaron la primera imagen de un agujero negro, que mostraba un agujero negro supermasivo a más de 50 millones de años luz de la Tierra, en una galaxia llamada M87. Esos mismos científicos ahora han revelado la segunda imagen de un agujero negro, que muestra un objeto oscuro mucho más cerca de casa.

“Hoy, la [colaboración] del Event Horizon Telescope se complace en compartir con ustedes la primera imagen directa del gentil gigante en el centro de nuestra galaxia, Sagitario A\*”, dijo Feryal Özel, astrofísico de la Universidad de Arizona en Tucson. Esa imagen, revelada hoy en varias conferencias de prensa en todo el mundo, muestra un orbe brillante con una mancha negra distintiva en el centro. Sagitario A\* (Sag A\* para abreviar) se encuentra a 26.000 años luz de la Tierra y tiene una masa de aproximadamente 4 millones de veces la del Sol. Los científicos han sospechado durante mucho tiempo que este objeto es un agujero negro debido a la forma en que las estrellas orbitan a su alrededor, dijo Michael Johnson, astrofísico del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian, que trabajó en la creación de esta imagen. “Las estrellas nos dieron una predicción precisa de algo que no se había visto en absoluto”, dice. Pero, sin evidencia visual, los científicos no pudieron confirmar esa idea. Para obtener imágenes de Sag A\*, los científicos utilizaron el Event Horizon Telescope (EHT), una red global de ocho antenas de radio que recopilan datos simultáneamente. El telescopio recoge la luz emitida por el gas brillante que orbita alrededor de un objeto objetivo, lo que permite a los científicos “ver” cómo la gravedad del objeto desvía la luz. Si la flexión es sustancial, el objeto puede confirmarse como un agujero negro. Los datos de esta imagen, al igual que los datos utilizados para la imagen de M87\*, se recopilaron en 2017. Pero el equipo tardó mucho más en armar la imagen de Sag A\*, un proceso que requería el uso de diferentes “instantáneas” de los platos de radio EHT. Los platos funcionan en pares y la resolución de la imagen depende de las separaciones y orientaciones de los pares en relación con el objeto de interés. Hacer una imagen perfecta requeriría tener pares de platos con todas las separaciones y orientaciones posibles, que el EHT no tiene. La rotación de la Tierra ayuda a llenar algunos vacíos, pero no es suficiente, dijo Katie Bouman, ingeniera de Caltech que codirige el grupo de imágenes de EHT. Bouman comparó el proceso de creación de imágenes con el de tratar de adivinar una canción tocada en un piano al que le faltan las teclas. “Dado que no sabemos cuándo se deben presionar las teclas que faltan, hay un sinnúmero de posibles melodías que podrían estar sonando”, dijo. “Sin embargo, con suficientes teclas en funcionamiento, nuestros cerebros a menudo pueden llenar los espacios para reconocer la canción correctamente”, y lo mismo ocurre con la recreación de una imagen de agujero negro. Eso funcionó para M87\*, pero para Sag A\* había otro factor que complicaba las cosas: el gas de rápido movimiento que orbita alrededor del gigante negro. El gas alrededor de Sag A\* completa una órbita completa alrededor del agujero negro en minutos, una fracción del tiempo que tarda el gas en orbitar M87\*. De hecho,

el gas Sag A\* orbita tan rápido que ejecuta múltiples rotaciones del agujero negro en el tiempo que le toma al EHT recopilar un conjunto de datos, creando un desenfoque de movimiento de la misma manera que el flujo de agua sobre una cascada nubla un fotografía de larga exposición. “El material se arremolinaba alrededor de Sag A\* tan rápido que la apariencia de Sag A\* podía cambiar de un minuto a otro”, dijo Bouman. “Esto es un poco como cambiar la tonalidad de la canción mientras la tocamos en nuestro piano roto”.

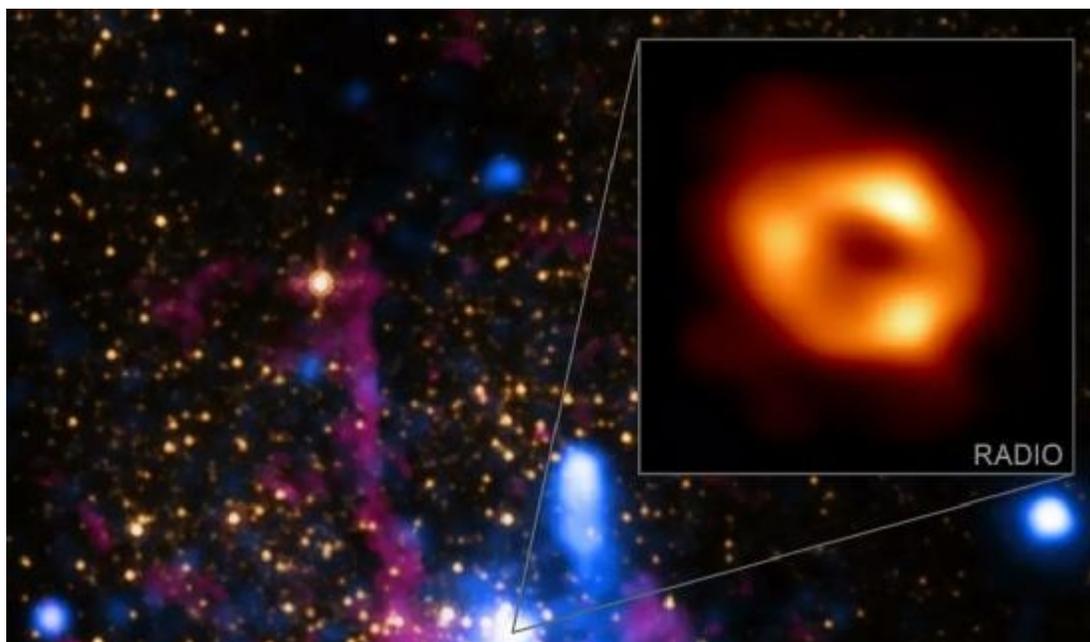
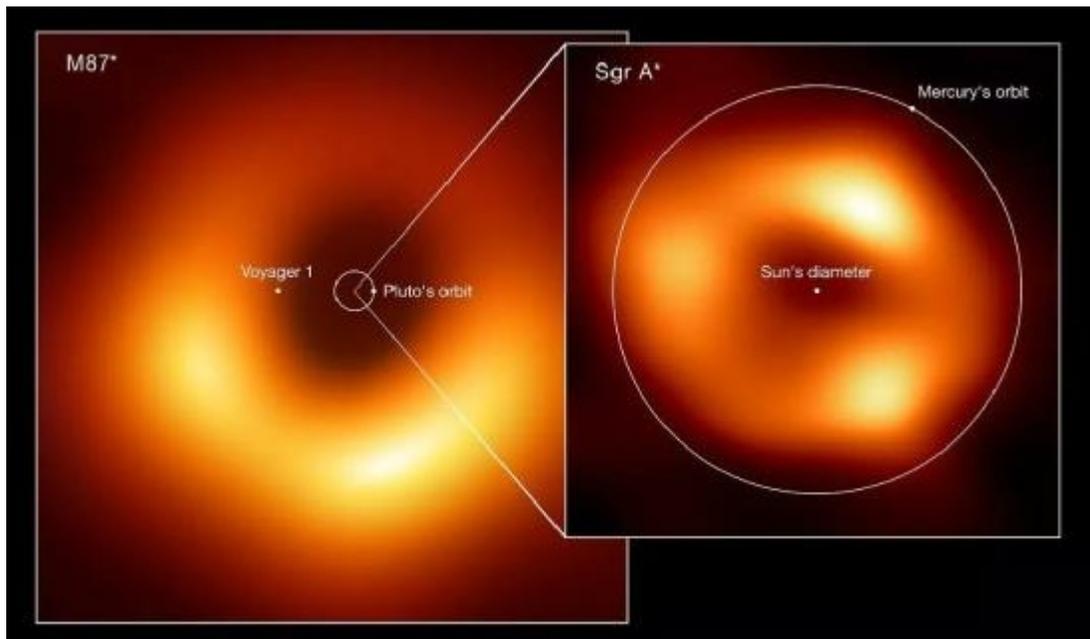
00:00

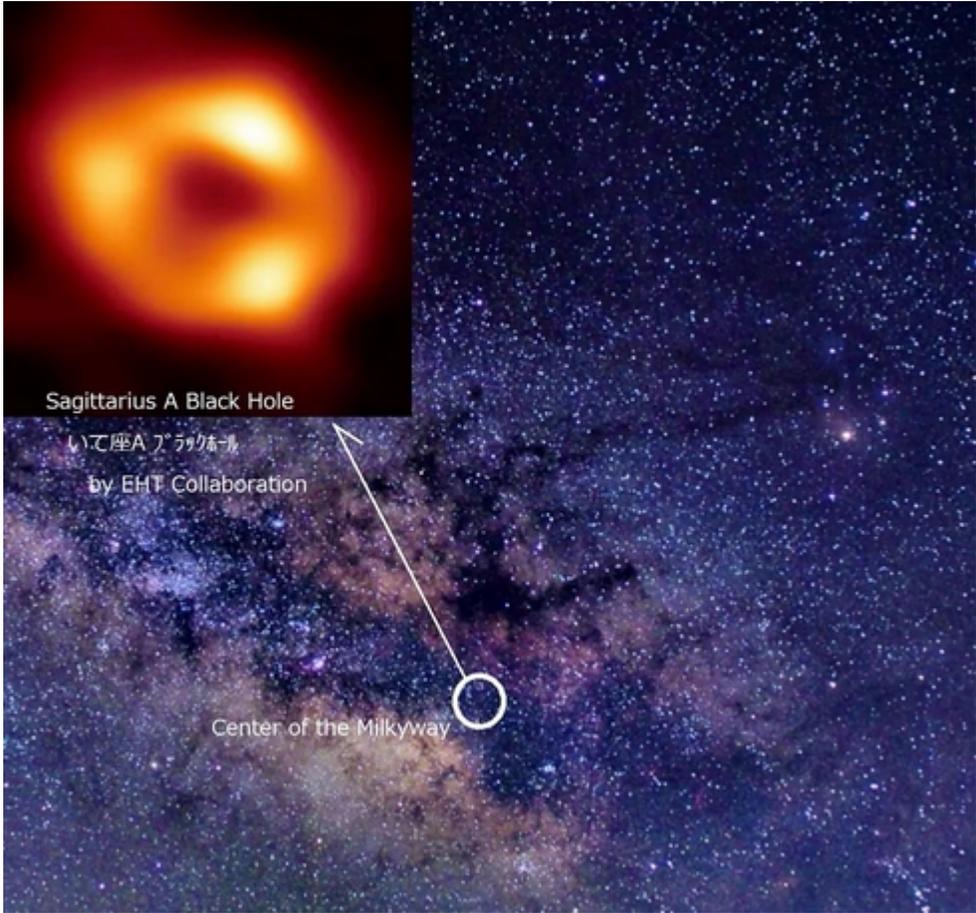
01:25

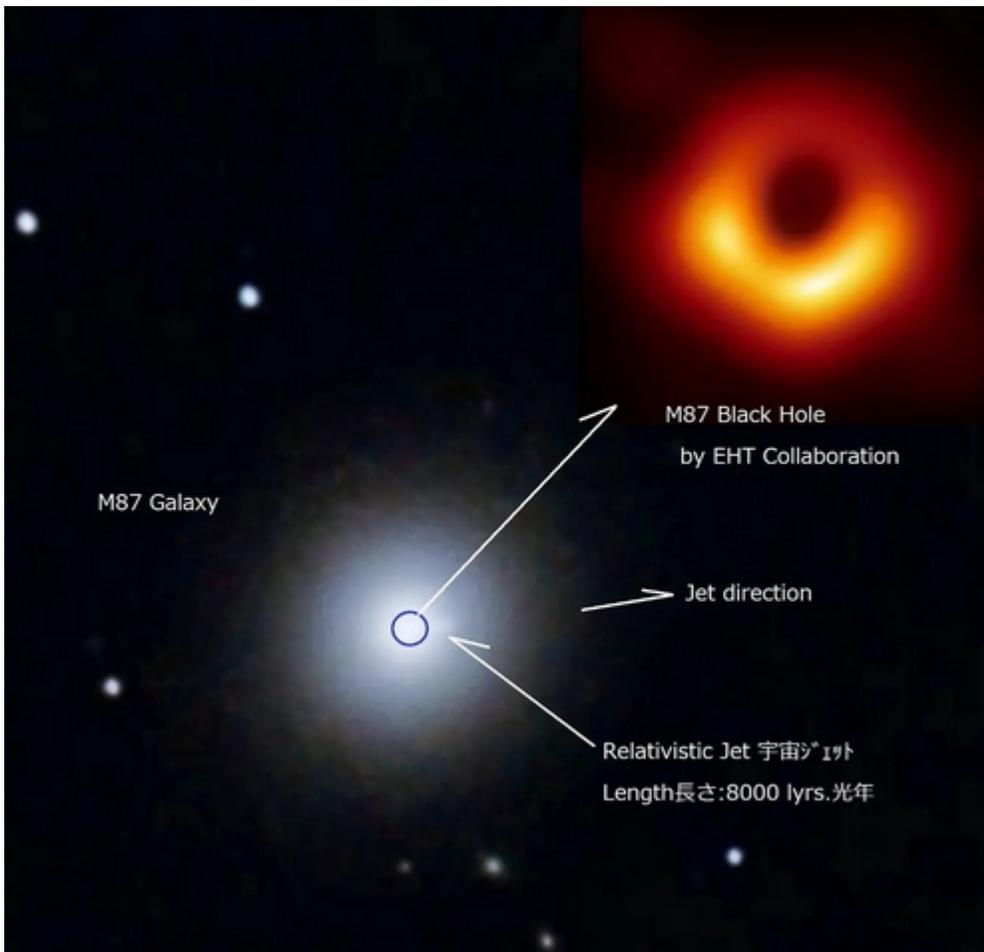
**Figura 2.** El corto tiempo de órbita del gas emisor de luz alrededor de Sag A\* afectó la resolución de la imagen EHT. Este vídeo explica cómo.

Para mitigar estos problemas, el equipo de EHT dedicó los últimos años a desarrollar algoritmos que ayuden a recuperar una imagen a partir de datos incompletos. Para Sag A\*, el método involucró la producción de decenas de miles de imágenes, cada una de las cuales es consistente con las observaciones del EHT pero contiene diferentes conjeturas para los datos faltantes. Luego, el equipo pudo reducir esas conjeturas y recuperar la estructura subyacente más probable de Sag A\*. “Llegar a esta conclusión tomó años, pero nunca retrocedimos ante el desafío”, dijo Bouman. Es un “tremendo placer” ver finalmente una imagen de Sag A\*, dice Alex Lupsasca, un teórico de agujeros negros de la Universidad de Princeton, que no participó en el proyecto. Él comenta que la rosquilla brillante que vemos no es una sola imagen de Sag A\*, sino una distribución de probabilidad sobre muchas imágenes posibles compatibles con los datos. Pero, para él, eso no resta valor al resultado. “Este avance traspasa los límites de nuestra tecnología actual y abre la puerta a futuras observaciones con una precisión aún más exquisita, tanto desde tierra como, eventualmente, desde el espacio”. Ese sentimiento es compartido por Eliot Quataert, astrofísico de la Universidad de Princeton. “Este es un resultado increíblemente emocionante, y estoy asombrado por el increíble trabajo realizado por el equipo de EHT”, dice. Quataert agrega que para él el resultado clave es que la imagen sea consistente con el conocimiento previo de este agujero negro. “Este

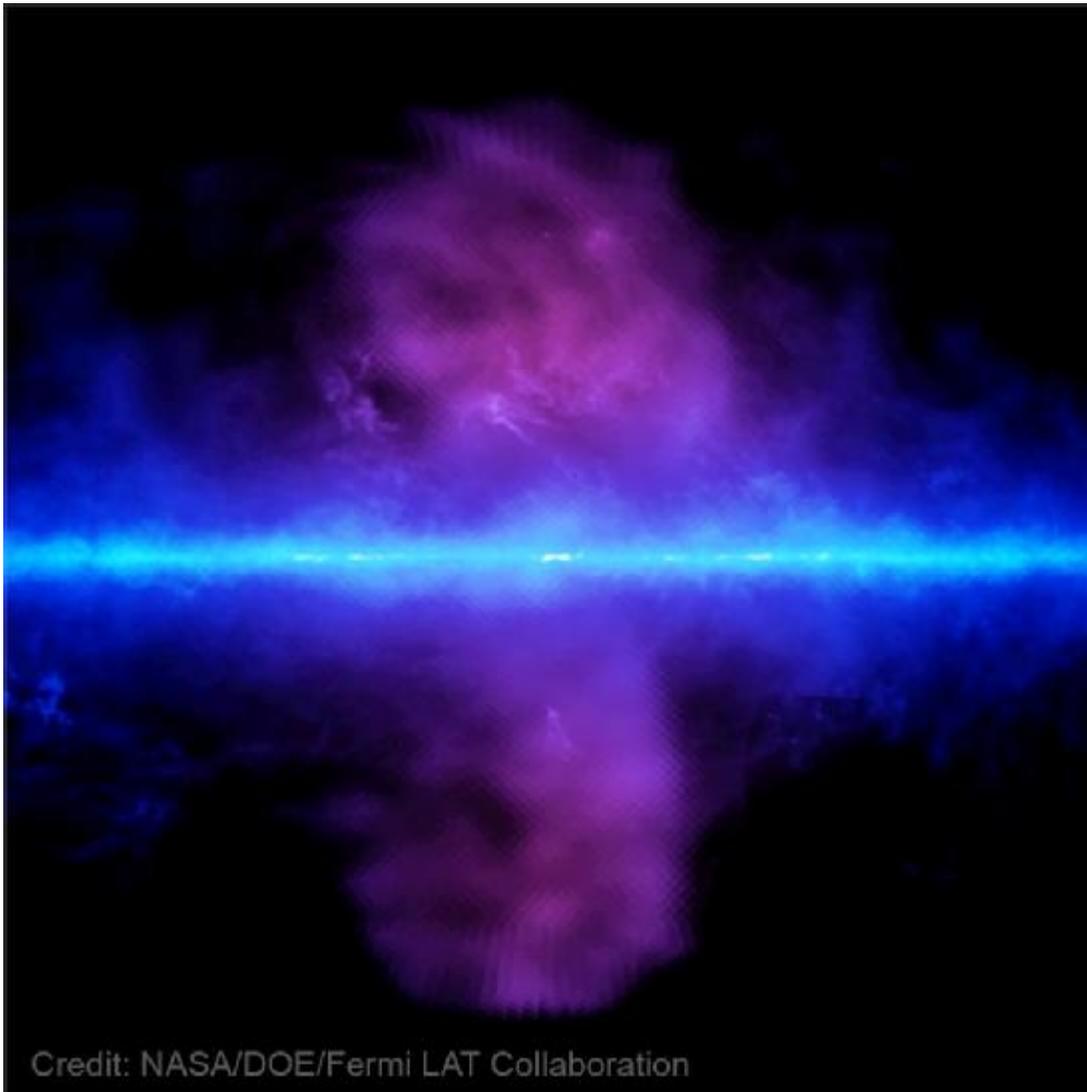
no tenía por qué ser el caso”, dice. "Es notable". –Katherine Wright Katherine Wright es la editora adjunta de Física.







**Figura 2.** Otras imágenes de SgA\* y M87. También incluyo las burbujas de Fermi que se sospecha puedan ser residuos de un vómito de SgA\* (aunque pueden tener otros orígenes).



Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

## Referencias

[1] *First Image of the Milky Way's Black Hole, May 12th, 2022*• *Physics* 15, 74. Physics APS news. URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/74>

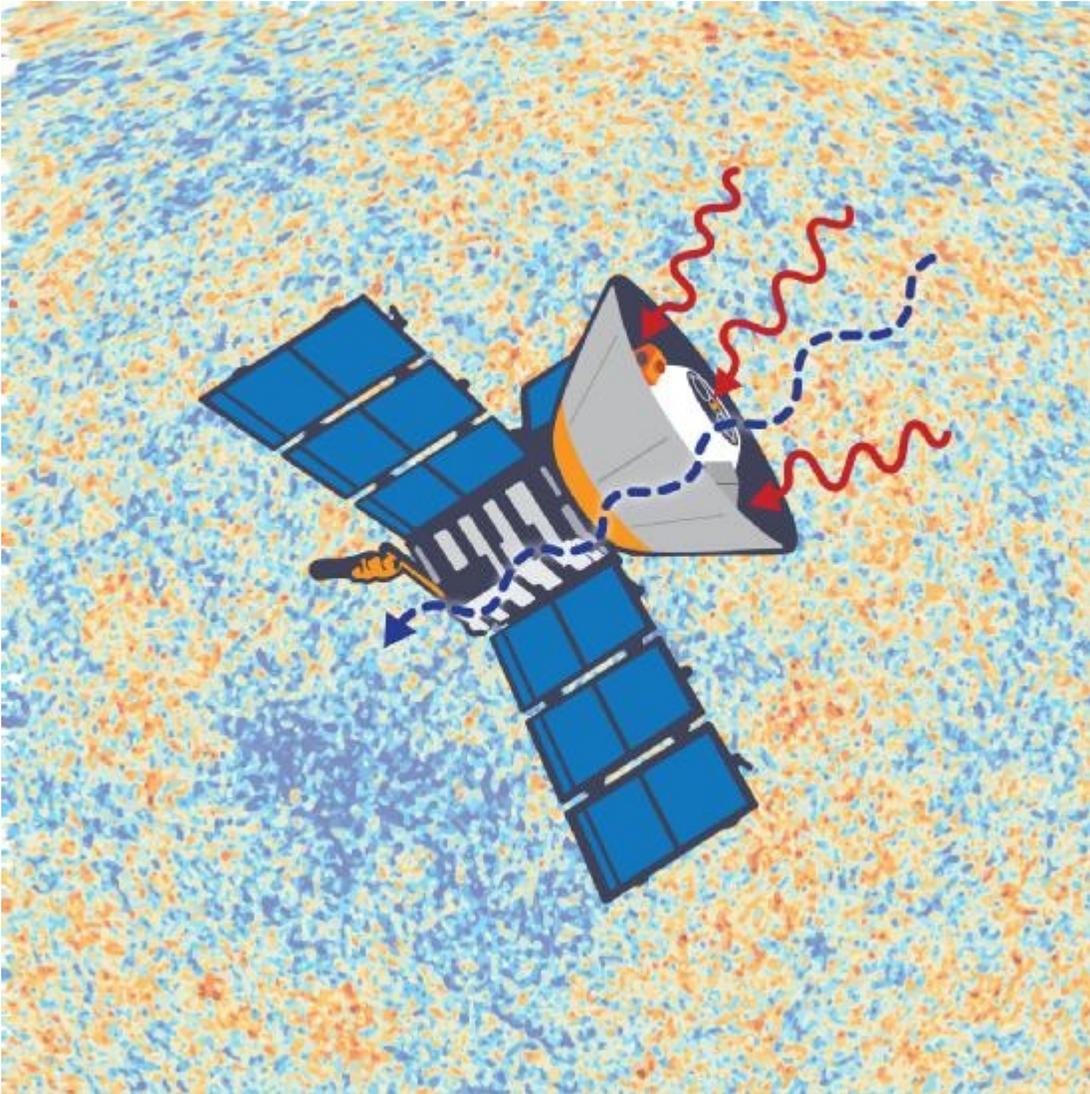
[2] Event Horizon Telescope, página oficial del EHT: <https://eventhorizontelescope.org>

**Artículo editado y traducido por Juan F. González**

**35. Un Universo “espejo” (oscuro) como origen de la discrepancia de Hubble.**

**El “mundo espejo” fantasmal podría ser causa de controversia cósmica**

por Steve Carr, Universidad de Nuevo México.



**Figura 1.** La interpretación de un artista del satélite COBE. Crédito: Matthew Verdolivo, UC, Davis. An artist's rendition of the COBE Satellite. Credit: Matthew Verdolivo, UC, Davis.

Una nueva investigación sugiere un "mundo espejo" invisible de partículas que interactúa con nuestro mundo solo a través de la gravedad que podría ser la clave para resolver un gran rompecabezas en la cosmología actual: el problema de la constante de Hubble.

La constante de Hubble es la tasa de expansión del universo en la actualidad. Las predicciones para esta tasa, del modelo estándar de la cosmología, son significativamente más lentas que la tasa encontrada por nuestras mediciones locales más precisas. Muchos cosmólogos han estado tratando de resolver esta discrepancia cambiando nuestro modelo cosmológico actual. El desafío es hacerlo sin arruinar el

acuerdo entre las predicciones del modelo estándar y muchos otros fenómenos cosmológicos, como el fondo cósmico de microondas. Determinar si existe tal escenario cosmológico es la pregunta que los investigadores, incluido Francis-Yan Cyr-Racine, profesor asistente en el Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Nuevo México, Fei Ge y Lloyd Knox en la Universidad de California, Davis tienen estado tratando de responder.

Según la NASA, la cosmología es el estudio científico de las propiedades a gran escala del universo como un todo. Los cosmólogos estudian conceptos como la materia oscura y la energía oscura y si hay un universo o muchos, a veces llamado multiverso. La cosmología implica todo el universo desde el nacimiento hasta la muerte con misterios e intrigas en todo momento. Ahora, Cyr-Racine, Ge y Knox han descubierto una propiedad matemática previamente desapercibida de los modelos cosmológicos que podrían, en principio, permitir una tasa de expansión más rápida sin cambiar apenas las otras predicciones probadas con mayor precisión del modelo cosmológico estándar. Descubrieron que una escala uniforme de las tasas de caída libre gravitacional y la tasa de dispersión de fotones y electrones deja a la mayoría de los observables cosmológicos adimensionales casi invariantes.

"Básicamente, señalamos que muchas de las observaciones que hacemos en cosmología tienen una simetría inherente al volver a escalar el universo como un todo. Esto podría proporcionar una forma de comprender por qué parece haber una discrepancia entre las diferentes mediciones de la tasa de expansión del universo". La investigación, titulada "Simetría de observables cosmológicos, un sector oscuro del mundo espejo y la constante de Hubble", se publicó recientemente en *Physical Review Letters*. Este resultado abre un nuevo enfoque para reconciliar el fondo cósmico de microondas y las observaciones de estructuras a gran escala con valores altos de la constante de Hubble  $H_0$ : encuentre un modelo cosmológico en el que la transformación de escala se pueda realizar sin violar ninguna medida de cantidades no protegidas por la simetría. Este trabajo ha abierto un nuevo camino hacia la resolución de lo que ha resultado ser un problema desafiante. La construcción de modelos adicionales podría aportar coherencia con las dos restricciones aún no satisfechas: las abundancias primordiales inferidas de deuterio y helio.

Si el universo está explotando de alguna manera esta simetría, los investigadores llegan a una conclusión extremadamente interesante: que existe un universo espejo muy similar

al nuestro pero invisible para nosotros, excepto a través del impacto gravitatorio en nuestro mundo. Tal sector oscuro del "mundo espejo" permitiría una escala efectiva de las tasas de caída libre gravitacional respetando la densidad de fotones media medida con precisión en la actualidad. "En la práctica, esta simetría de escala solo podría realizarse al incluir un mundo espejo en el modelo, un universo paralelo con nuevas partículas que son todas copias de partículas conocidas", dijo Cyr-Racine. "La idea del mundo espejo surgió por primera vez en la década de 1990, pero no había sido reconocida previamente como una solución potencial al problema de la constante de Hubble.

"Esto puede parecer una locura a primera vista, pero tales mundos espejo tienen una gran literatura de física en un contexto completamente diferente, ya que pueden ayudar a resolver un problema importante en la física de partículas", explica Cyr-Racine. "Nuestro trabajo nos permite vincular, por primera vez, esta gran literatura con un problema importante en cosmología". Además de buscar los ingredientes que faltan en nuestro modelo cosmológico actual, los investigadores también se preguntan si esta discrepancia constante de Hubble podría deberse en parte a errores de medición. Si bien sigue siendo una posibilidad, es importante tener en cuenta que la discrepancia se ha vuelto cada vez más significativa a medida que se han incluido datos de mayor calidad en los análisis, lo que sugiere que los datos podrían no tener la culpa. "Pasó de dos y medio Sigma a tres, y de tres y medio a cuatro Sigma. Por ahora, estamos prácticamente en el nivel de cinco Sigma", dijo Cyr-Racine. "Ese es el número clave que hace que esto sea un problema real porque tienes dos medidas de lo mismo, que si tienes una imagen consistente del universo deberían ser completamente consistentes entre sí, pero difieren en una cantidad estadísticamente significativa. "

"Esa es la premisa aquí y hemos estado pensando en qué podría estar causando eso y por qué estas medidas son discrepantes. Así que ese es un gran problema para la cosmología. Simplemente no parecemos entender lo que está haciendo el universo hoy".



**Figura 2.** La dimensión espejo, en la película *Doctor Strange* (2016). ¿Podría nuestro Universo albergar secretamente dimensiones espejo o un completo Universo espejo desconocido? Parece improbable, pero no se puede descartar dicha hipótesis a la luz de nuestras grandes incógnitas cósmicas y cosmológicas. ¿Vivimos en un Universo de muchos? ¿Es el Multiverso real después de todo?

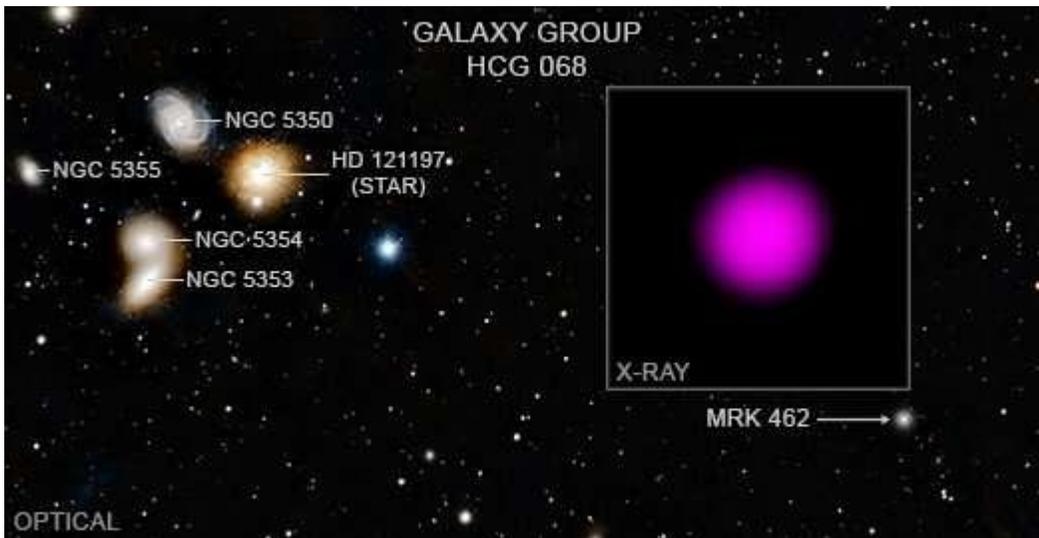
## Referencias

[1] *Ghostly 'mirror world' might be cause of cosmic controversy* by Steve Carr, University of New Mexico. URL: <https://phys.org/news/2022-05-ghostly-mirror-world-cosmic-controversy.html>

[2] Francis-Yan Cyr-Racine et al, *Symmetry of Cosmological Observables, a Mirror World Dark Sector, and the Hubble Constant*, Physical Review Letters (2022). <https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.201301>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

**36. Mrk 462.**



**Figura 1.** Créditos: NASA/CXC/Dartmouth Coll./ J. Parker & R. Hickox. Credit: X-ray: NASA/CXC/Dartmouth Coll./J. Parker & R. Hickox; Optical/IR: Pan-STARRS.

***Galaxia enana Mrk 462: 'Mini' monstruo agujero negro podría contener pistas sobre el crecimiento de los gigantes supermasivos.***

El descubrimiento de un agujero negro supermasivo en una galaxia relativamente pequeña podría ayudar a los astrónomos a desentrañar el misterio que rodea a cómo crecen los agujeros negros más grandes. Los investigadores utilizaron el Observatorio de rayos X Chandra de la NASA para identificar un agujero negro que contenía unas 200000 veces la masa del Sol enterrado en gas y polvo en la galaxia Mrk 462.

Mrk 462 contiene solo varios cientos de millones de estrellas, lo que la convierte en una galaxia enana. Por el contrario, nuestra Vía Láctea alberga unos cientos de miles de millones de estrellas. Esta es una de las primeras veces que se encuentra un agujero negro supermasivo muy enterrado u "oscurecido" en una galaxia enana. "Este agujero negro en Mrk 462 se encuentra entre los agujeros negros supermasivos o monstruosos más pequeños", dijo Jack Parker de Dartmouth College en New Hampshire, quien dirigió el estudio con su colega Ryan Hickox, también de Dartmouth. "Los agujeros negros como este son notoriamente difíciles de encontrar".

En las galaxias más grandes, los astrónomos a menudo encuentran agujeros negros al observar los rápidos movimientos de las estrellas en los centros de las galaxias. Sin embargo, las galaxias enanas son demasiado pequeñas y tenues para que la mayoría de los instrumentos actuales las detecten. Otra técnica es buscar las firmas de los agujeros

negros en crecimiento, como el gas que se calienta a millones de grados y brilla en rayos X a medida que cae hacia un agujero negro.



### **Vídeo 1. Mrk 462.**

Los investigadores de este estudio utilizaron Chandra para observar ocho galaxias enanas que previamente habían mostrado indicios de crecimiento de agujeros negros a partir de datos ópticos recopilados por Sloan Digital Sky Survey. De esos ocho, solo Mrk 462 mostró la firma de rayos X de un agujero negro en crecimiento. La intensidad inusualmente grande de los rayos X de alta energía en comparación con los rayos X de baja energía, junto con las comparaciones con los datos en otras longitudes de onda, indica que el agujero negro Mrk 462 está muy oscurecido por el gas. "Debido a que los agujeros negros enterrados son incluso más difíciles de detectar que los expuestos, encontrar este ejemplo podría significar que hay muchas más galaxias enanas con agujeros negros similares", dijo Hickox. "Esto es importante porque podría ayudar a abordar una pregunta importante en astrofísica: ¿Cómo se hicieron tan grandes los agujeros negros tan temprano en el universo?"

Investigaciones anteriores han demostrado que los agujeros negros pueden crecer hasta mil millones de masas solares cuando el universo tenga menos de mil millones de años, una pequeña fracción de su edad actual. Una idea es que estos enormes objetos se crearon cuando estrellas masivas colapsaron para formar agujeros negros que pesaban

solo unas 100 veces la masa del Sol. El trabajo teórico, sin embargo, se esfuerza por explicar cómo podrían aumentar de peso lo suficientemente rápido como para alcanzar los tamaños observados en el universo primitivo. Una explicación alternativa es que el universo primitivo fue sembrado con agujeros negros que contenían decenas de miles de masas solares cuando se crearon, tal vez por el colapso de gigantescas nubes de gas y polvo. Una gran fracción de las galaxias enanas con agujeros negros supermasivos favorece la idea de que las semillas de los agujeros negros pequeños de la primera generación de estrellas crecieron asombrosamente rápido para formar los mil millones de objetos de masa solar en el universo primitivo. Una fracción más pequeña inclinaría la balanza a favor de la idea de que los agujeros negros comenzaron su vida pesando decenas de miles de soles. Estas expectativas se aplican porque las condiciones necesarias para el colapso directo de una nube gigante a un agujero negro de tamaño mediano deberían ser raras, por lo que no se espera que una gran fracción de las galaxias enanas contengan agujeros negros supermasivos. Los agujeros negros de masa estelar, por otro lado, se esperan en todas las galaxias. "No podemos sacar conclusiones sólidas de un ejemplo, pero este resultado debería alentar búsquedas mucho más extensas de agujeros negros enterrados en galaxias enanas", dijo Parker. "Estamos entusiasmados con lo que podríamos aprender".

Estos resultados estaban programados para presentarse en la reunión 239 de la Sociedad Astronómica Estadounidense en Salt Lake City, y fueron parte de una conferencia de prensa virtual celebrada el lunes 10 de enero.

## **Referencias**

[1] *Dwarf galaxy Mrk 462: 'Mini' monster black hole could hold clues to giant's growth by Chandra X-ray Center*. URL: <https://phys.org/news/2022-01-dwarf-galaxy-mrk-mini-monster.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## **37. Bellotas y óxido.**

**Cómo teñir algodón con bellotas y óxido.**

Tie-dye es una actividad divertida que puede darle vida a la ropa con patrones coloridos. La naturaleza proporciona tintes que se pueden extraer de los artículos que se encuentran en el jardín, por ejemplo, bellotas y óxido. En el Journal of Chemical Education de ACS, los investigadores presentan un proceso "verde" para teñir algodón con recursos renovables y desechos que los estudiantes universitarios pueden hacer fácilmente con una supervisión mínima.

Los materiales que se encuentran en la naturaleza se han utilizado como tintes y mordientes, sustancias que ayudan a fijar los compuestos a las fibras. Los taninos de color marrón de las bellotas pueden unirse al mordiente de hierro de color naranja, generando un color azul oscuro o casi negro en las telas.

Julian Silverman y sus colegas querían mostrar cómo se pueden usar estos tintes naturales en el teñido anudado para producir diseños de colores blanco, marrón, naranja y negro azulado. Los patrones resultantes dependían de cómo se envolvieran las servilletas con bandas elásticas y el orden en que se empaparon en un baño de tinte de bellota y se sumergieron en una solución de óxido y vinagre. Aunque todas las soluciones de teñido son seguras para tirar por el desagüe, es recomendable usar guantes, batas de laboratorio y gafas protectoras evitarán que los tintes manchen la piel u otra ropa.



**Figura 1. Teñido de bellotas.**

## Referencias

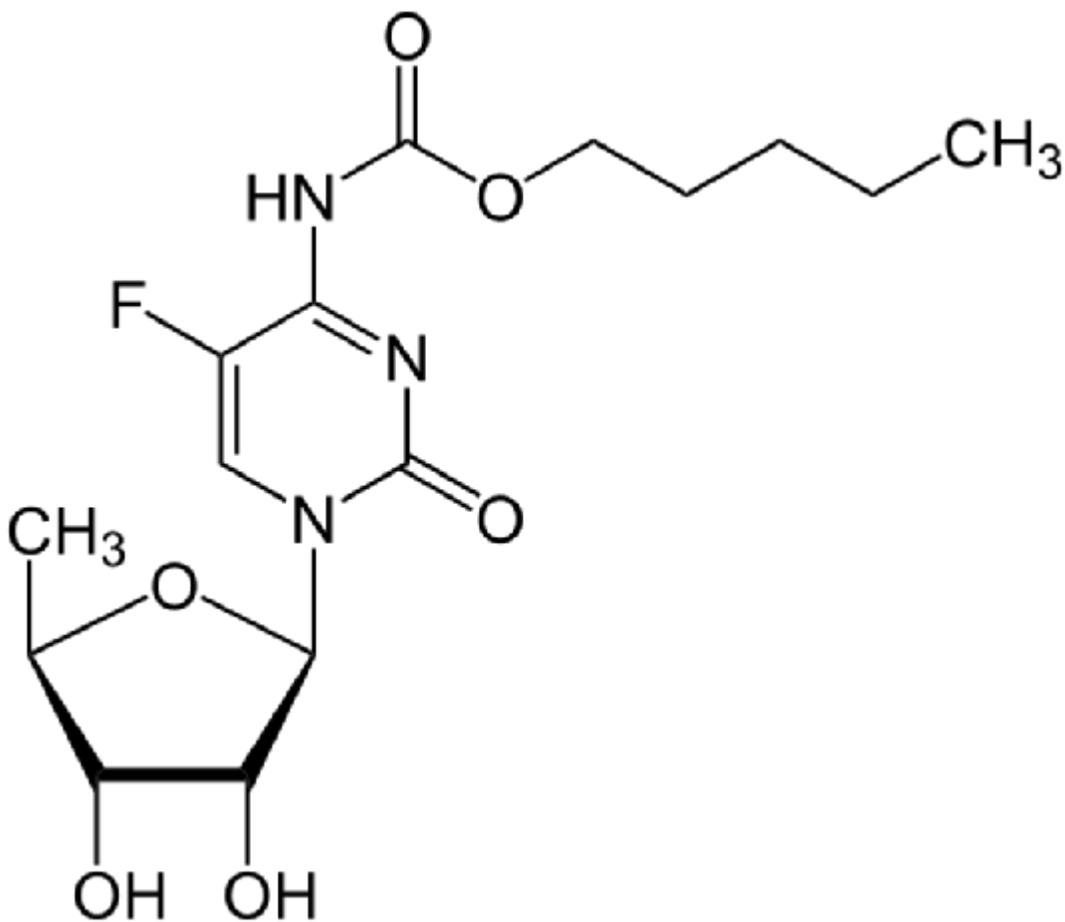
[1] *How to tie-dye cotton with acorns and rust* by American Chemical Society. URL: <https://phys.org/news/2022-05-tie-dye-cotton-acorns-rust.html>

Artículo de Izan Juárez García-Heras. 3ºESO Grupo F.

Editado y revisado por Juan F. González.

## 38. Capecitabina.

¿Qué pasa en nuestro cuerpo cuando tomamos un medicamento? El ejemplo de la capecitabina y similares medicamentos...

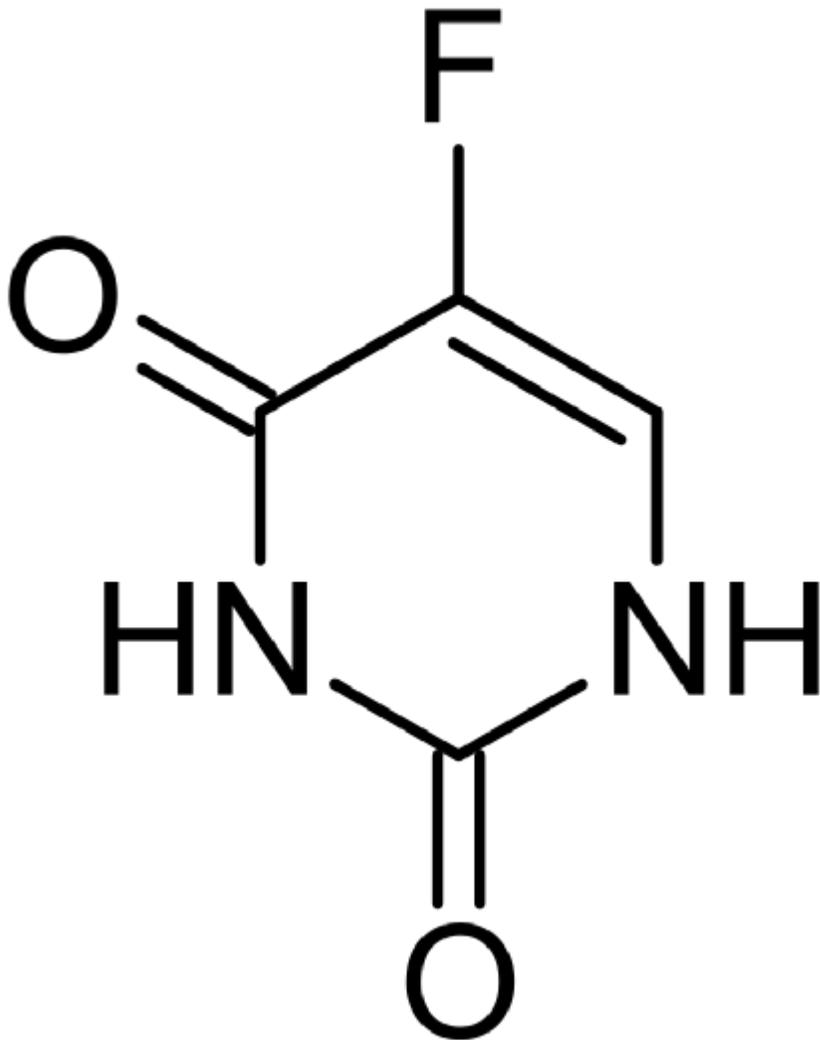


**Figura 1. Estructura química de la Capecitabina.**

Este fluorouracilo es el compuesto activo del fármaco, es decir, el que tiene la acción como tratamiento para el cáncer. Es muy parecido a otro compuesto del presente en el

cuerpo humano llamado pirimidina. Este compuesto está presente en nuestro ADN y ARN.

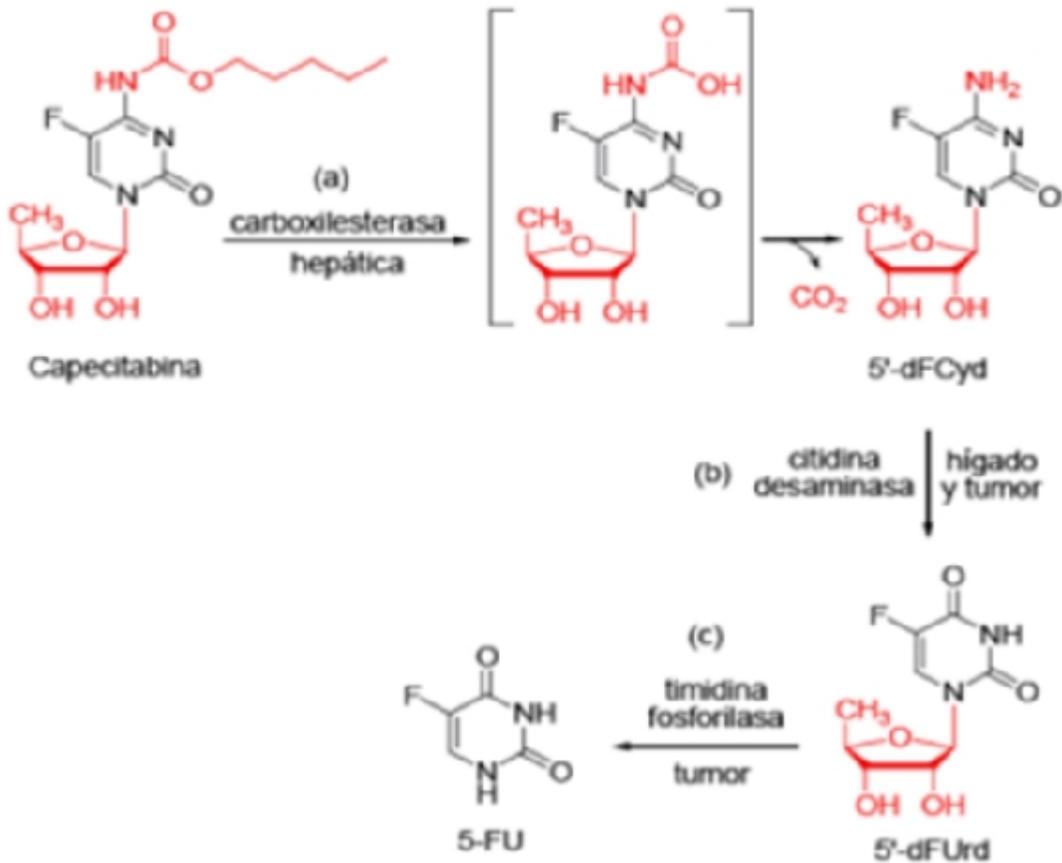
En el organismo, el fluorouracilo provoca una interferencia en la elaboración de nuevo ADN impidiendo el crecimiento de células tumorales, y matándolas.



**Figura 2. Estructura química del Fluorouracilo.**

**¿Cómo se transforma la capecitabina en fluorouracilo?**

El primer paso (a) ocurre en el hígado. La segunda reacción (b) ocurre en el hígado y en las células tumorales. La tercera reacción (c) ocurre mayoritariamente en las células tumorales.



**Figura 3. Metabolismo de la Capecitabina.**

### Referencias

- [1] Capecitabina. [https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/76108/76108\\_ft.pdf](https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/76108/76108_ft.pdf)
- [2] Prospecto capecitabina. [https://cima.aemps.es/cima/dohtml/p/76109/Prospecto\\_76109.html](https://cima.aemps.es/cima/dohtml/p/76109/Prospecto_76109.html)
- [3] Xeloda. [https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/xeloda-epar-product-information\\_es.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/xeloda-epar-product-information_es.pdf)
- [4] Capecitabina. <https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/capecitabina>
- [5] Capecitabina y cánceres. <https://cancer.es/info/?farmaco=capecitabina>
- [6] ANTITUMORALES INHIBIDORES DE LA TIMIDILATO SINTASA. URL: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Poster/MIGUEL%20QUIRALTE%20PULIDO.pdf>

**Artículo escrito por Chada Drif. 2ºESO. Grupo B.**

**Artículo editado y revisado por Juan F. González.**

### **39. 2 exoplanetas ardientes para el JWST.**

**Los astrónomos entrenarán los espectrógrafos de alta precisión del Telescopio James Webb en dos intrigantes exoplanetas rocosos por el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial**



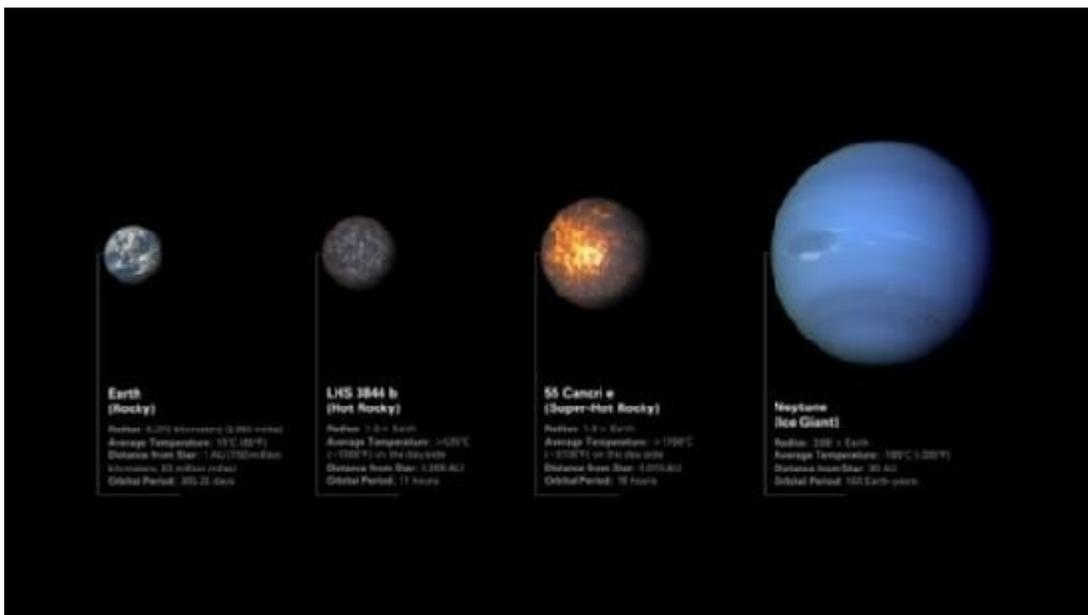
**Figura 1.** Ilustración del exoplaneta 55 Cancri e, un planeta rocoso con un diámetro de casi el doble del de la Tierra que orbita a solo 0,015 unidades astronómicas de su estrella similar al Sol. Debido a su estrecha órbita, el planeta es extremadamente caliente, con temperaturas diurnas que alcanzan los 4400 grados Fahrenheit (alrededor de 2400 grados Celsius). Crédito: NASA, ESA, CSA, Dani Player (STScI).

Con sus segmentos de espejo bellamente alineados y sus instrumentos científicos en proceso de calibración, el Telescopio Espacial James Webb de la NASA está a solo unas semanas de estar en pleno funcionamiento. Poco después de que se revelen las primeras observaciones este verano, comenzará la ciencia en profundidad de Webb. Entre las investigaciones previstas para el primer año se encuentran los estudios de dos exoplanetas calientes clasificados como "súper-Tierras" por su tamaño y composición rocosa: el 55 Cancri e cubierto de lava y el LHS 3844 b sin aire. Los investigadores entrenarán los espectrógrafos de alta precisión de Webb en estos planetas con miras a comprender la diversidad geológica de los planetas en toda la galaxia y la evolución de los planetas rocosos como la Tierra.

## Super-tierra super-caliente 55 Cancri e

55 Cancri e orbita a menos de 1,5 millones de millas de su estrella similar al Sol (una veinticinco parte de la distancia entre Mercurio y el Sol), completando un circuito en menos de 18 horas. Con temperaturas superficiales muy por encima del punto de fusión de los típicos minerales formadores de rocas, se cree que el lado diurno del planeta está cubierto de océanos de lava. Se supone que los planetas que orbitan tan cerca de su estrella están bloqueados por mareas, con un lado mirando hacia la estrella en todo momento. Como resultado, el punto más caliente del planeta debería ser el que esté más directamente frente a la estrella, y la cantidad de calor procedente del lado diurno no debería cambiar mucho con el tiempo.

Pero este no parece ser el caso. Las observaciones de 55 Cancri e del telescopio espacial Spitzer de la NASA sugieren que la región más caliente está desplazada de la parte que mira a la estrella más directamente, mientras que la cantidad total de calor detectada en el lado diurno varía.



**Figura 2.** Ilustración que compara los exoplanetas rocosos LHS 3844 b y 55 Cancri e con la Tierra y Neptuno. Crédito: NASA, ESA, CSA, Dani Player (STScI)

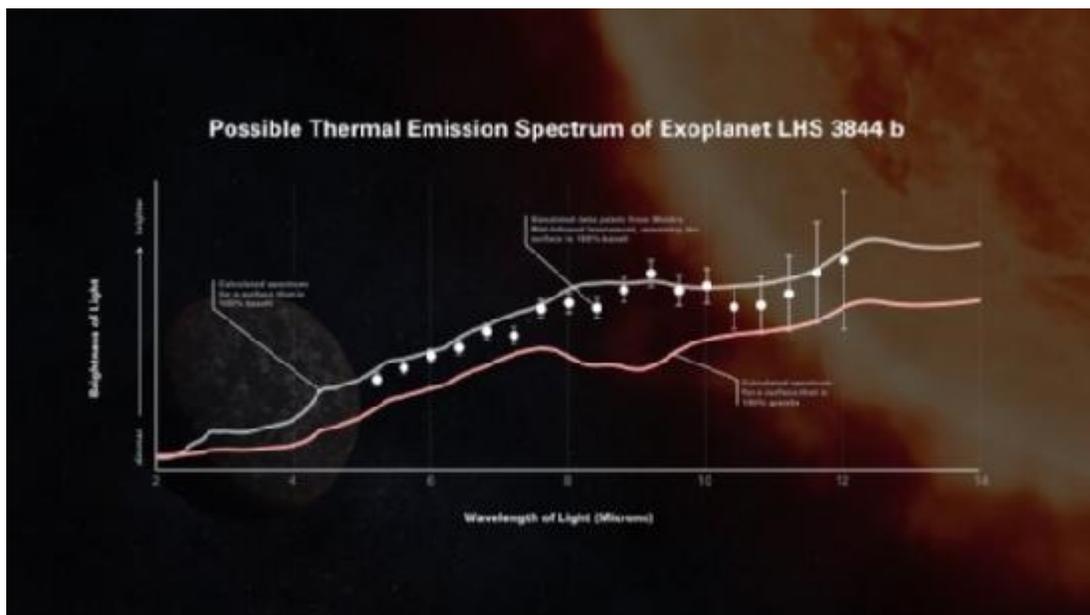
### ¿55 Cancri e tiene una atmósfera espesa?

Una explicación para estas observaciones es que el planeta tiene una atmósfera dinámica que mueve el calor. "55 Cancri e podría tener una atmósfera espesa dominada por

oxígeno o nitrógeno", explicó Renyu Hu del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA en el sur de California, quien lidera un equipo que utilizará la cámara de infrarrojo cercano (NIRCam) de Webb y el instrumento de infrarrojo medio (MIRI). ) para capturar el espectro de emisión térmica del lado diurno del planeta. "Si tiene una atmósfera, [Webb] tiene la sensibilidad y el rango de longitud de onda para detectarlo y determinar de qué está hecho", agregó Hu.

### ¿O está lloviendo lava por la tarde en 55 Cancri e?

Sin embargo, otra posibilidad intrigante es que 55 Cancri e no esté bloqueado por mareas. En cambio, puede ser como Mercurio, girando tres veces por cada dos órbitas (lo que se conoce como resonancia 3:2). Como resultado, el planeta tendría un ciclo día-noche. "Eso podría explicar por qué se desplaza la parte más caliente del planeta", explicó Alexis Brandeker, investigador de la Universidad de Estocolmo que dirige otro equipo que estudia el planeta. "Al igual que en la Tierra, la superficie tardaría un tiempo en calentarse. El momento más caluroso del día sería por la tarde, no justo al mediodía". El equipo de Brandeker planea probar esta hipótesis utilizando NIRCam para medir el calor emitido por el lado iluminado de 55 Cancri e durante cuatro órbitas diferentes. Si el planeta tiene una resonancia de 3:2, observarán cada hemisferio dos veces y deberían poder detectar cualquier diferencia entre los hemisferios. En este escenario, la superficie se calentaría, se derretiría e incluso se vaporizaría durante el día, formando una atmósfera muy delgada que Webb podría detectar. Por la noche, el vapor se enfriaría y se condensaría para formar gotas de lava que lloverían de regreso a la superficie, volviendo a solidificarse al caer la noche.



**Figura 3.** Posible espectro de emisión térmica del exoplaneta súper-Tierra caliente LHS 3844 b, medido por el instrumento de infrarrojo medio de Webb. Un espectro de emisión térmica muestra la cantidad de luz de diferentes longitudes de onda infrarrojas (colores) que emite el planeta. Los investigadores utilizan modelos informáticos para predecir cómo se verá el espectro de emisión térmica de un planeta asumiendo ciertas condiciones, como si hay o no una atmósfera y de qué está hecha la superficie del planeta. Crédito: NASA, ESA, CSA, Dani Player (STScI).

### **Una upertierra algo más fría: LHS 3844 b**

Mientras que 55 Cancri e proporcionará información sobre la geología exótica de un mundo cubierto de lava, LHS 3844 b brinda una oportunidad única para analizar la roca sólida en la superficie de un exoplaneta. Al igual que 55 Cancri e, LHS 3844 b orbita extremadamente cerca de su estrella, completando una revolución en 11 horas. Sin embargo, debido a que su estrella es relativamente pequeña y fría, el planeta no está lo suficientemente caliente como para que la superficie se derrita. Además, las observaciones de Spitzer indican que es muy poco probable que el planeta tenga una atmósfera sustancial.

### **¿De qué está hecha la superficie de LHS 3844 b?**

Si bien no podremos obtener imágenes de la superficie de LHS 3844 b directamente con Webb, la falta de una atmósfera de oscurecimiento hace posible estudiar la superficie con espectroscopia. "Resulta que diferentes tipos de roca tienen espectros diferentes", explicó Laura Kreidberg del Instituto Max Planck de Astronomía. "Puedes ver con tus ojos que el granito es de color más claro que el basalto. Hay diferencias similares en la luz infrarroja que emiten las rocas".



**Figura 4.** Ilustración del exoplaneta LHS 3844 b, un planeta rocoso con un diámetro 1,3 veces mayor que el de la Tierra que orbita a 0,006 unidades astronómicas de su fría estrella enana roja. El planeta está caliente, con temperaturas diurnas calculadas en más de 1000 grados Fahrenheit (más de unos 525 grados Celsius). Crédito: NASA, ESA, CSA, Dani Player (STScI).

El equipo de Kreidberg utilizará MIRI para capturar el espectro de emisión térmica del lado diurno de LHS 3844 b y luego lo comparará con espectros de rocas conocidas, como basalto y granito, para determinar su composición. Si el planeta es volcánicamente activo, el espectro también podría revelar la presencia de trazas de gases volcánicos. La importancia de estas observaciones va mucho más allá de solo dos de los más de 5000 exoplanetas confirmados en la galaxia. "Nos darán nuevas perspectivas fantásticas sobre los planetas similares a la Tierra en general, ayudándonos a aprender cómo podría haber sido la Tierra primitiva cuando hacía calor como lo son estos planetas hoy", dijo Kreidberg. Estas observaciones de 55 Cancri e y LHS 3844 b se realizarán como parte del programa de Observadores Generales del Ciclo 1 de Webb. Los programas de Observadores Generales se seleccionaron de forma competitiva mediante un sistema de revisión anónimo dual, el mismo sistema utilizado para asignar tiempo en Hubble.

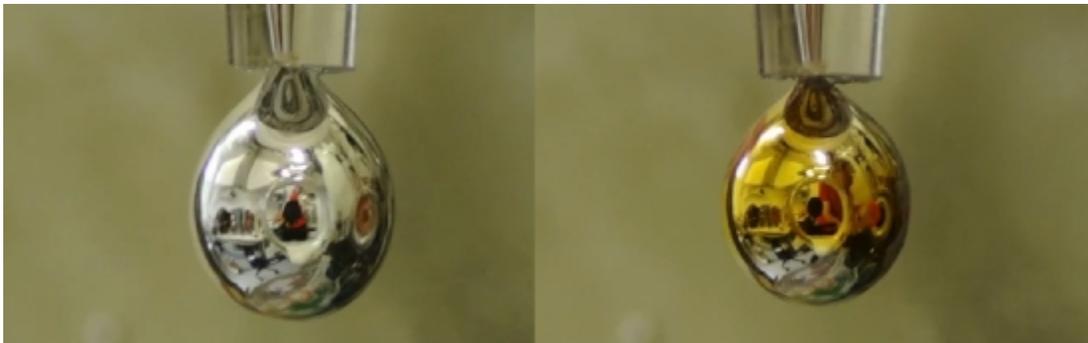
## Referencias

[1] *Astronomers will train James Webb Telescope's high-precision spectrographs on two intriguing rocky exoplanets* by Space Telescope Science Institute, Phys.org news, URL: <https://phys.org/news/2022-05-astronomers-james-webb-telescope-high-precision.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

#### **40. Agua metálica.**

##### TRANSFORMAN EL AGUA EN METAL



**Figura 1.** Los investigadores expusieron gotas de sodio y potasio (izquierda) a vapor de agua en una cámara de vacío. Eso hizo que se formara una fina capa de agua sobre la gota. Los electrones de la gota se difundieron en el agua, confiriéndole propiedades metálicas y un brillo dorado (derecha) durante unos instantes. [Phil Mason/IOCB de Praga]

Unos investigadores expusieron gotas de sodio y potasio a vapor de agua en una cámara de vacío. Eso hizo que se formara una fina capa de agua sobre la gota. Los electrones de la gota se difundieron en el agua, confiriéndole propiedades metálicas y un brillo dorado unos instantes.

El agua permaneció en estado metálico unos segundos, pero el experimento no requirió las altas presiones que suelen hacer falta para convertir materiales no metálicos en metales conductores de la electricidad.

PAVEL JUNGWIRTH, es un químico-físico de la Academia Checa de Ciencias y coautor del estudio...Jungwirth, explica: “Convertir el agua en un metal de esta manera requeriría una presión de unos 15 millones de atmósferas, fuera del alcance de las técnicas de laboratorio actuales”. El científico sospechaba que el agua

podría volverse conductora de una forma alternativa: tomando prestados los electrones de los metales alcalinos.

El grupo científico quería probar ese mismo enfoque con agua en vez de amoníaco, pero se enfrentaban a un reto: los metales alcalinos tienden a reaccionar de forma explosiva al mezclarlos con agua. El hecho de que el amoníaco puede volverse brillante en esas condiciones es algo que ya sabía el químico británico Humphry Davy a principios del siglo XIX.

## **Referencias**

[1] *Transforman el agua en metal*, Investigación y Ciencia. Disponible en la URL: <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/transforman-el-agua-en-metal-20158>

Artículo original escrito por Douaa Khayat Gamraoui, 2ºESO, grupo B. (versión original como documento adjunto).

Artículo revisado y editado por Juan F. González

## **41. El sorprendente Saturno.**

### **Saturno y sus sorprendentes propiedades físicas y químicas**



**Figura 1.** Saturno. Esta imagen del Hubble es una composición de observaciones hechas de Saturno en 2018, en el espectro electromagnético óptico y de las auroras del polo Norte de Saturno, en 2017. Crédito: NASA/ESA/Hubble/A. Simon, Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/OPAL Team/J. DePasquale, STScI/L. Lamy, Observatorio de París. This Hubble image is a composite of observations made of Saturn in early 2018 in the optical and of the auroras on Saturn's north pole region, made in 2017. Image credit: NASA / ESA / Hubble / A. Simon, NASA's Goddard Space Flight Center / OPAL Team / J. DePasquale, STScI / L. Lamy, Observatoire de Paris.

### **¿QUÉ ES Y QUÉ HAY EN SATURNO?**

Saturno es uno de los planetas más llamativos que existen y que sabemos se encuentra en nuestro Sistema Solar. Pero, realmente, ¿cuánto sabemos de este planeta que es el segundo más grande del Sistema Solar en cuanto a masa?

Saturno es el sexto planeta que encontramos en el Sistema Solar desde el Sol. Se trata del único planeta que cuenta con unos anillos gigantes visibles desde la propia Tierra, que fueron descubiertos cuando Galileo mejoró el telescopio.

La composición del aire del planeta hacen que las condiciones de vida, a priori, sean imposibles. La atmósfera de Saturno está compuesta por un 96% de hidrógeno

molecular, 3% de helio y 1% de otras sustancias como amoníaco y etano. Su atmósfera también se considera muy inestable.

## **¿CUÁL ES LA TEMPERATURA E IMPORTANCIA DE SATURNO?**

Para los científicos es considerado como uno de los planetas más interesantes de conocer de todo el sistema solar. Destaca que posee una densidad mucho menor que la del agua y está compuesto enteramente de hidrógeno, con un poco de helio y metano.

La temperatura promedio en Saturno ronda los 143 K, es decir, -130,15 °C y alcanzando los -180,15 °C en la región de sus nubes. Aunque el interior del planeta es difícil de conocer, se estima que posee un núcleo rocoso, como Júpiter, rodeado de una capa de hidrógeno líquido y luego una gigantesca atmósfera gaseosa.

## **CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE SATURNO**

Es una gran bola de gas con una masa casi 95.1 veces la de la Tierra y un volumen 755 veces mayor, famosa por sus numerosos anillos. También Saturno no es el único planeta que tiene anillos, pero definitivamente tiene los más bellos. Los anillos que vemos están compuestos por grupos de pequeños aros que rodean a Saturno. Están hechos de pedazos de hielo y roca. Como Júpiter, Saturno es una pelota de hidrógeno y helio, en gran parte.

## **¿PORQUÉ NO SE PUEDE VIVIR EN SATURNO?**

El interior de Saturno posee un medio ambiente con una presión tres millones de veces mayor a la presión existente en el nivel del mar de la Tierra, y temperaturas que ascienden hasta 10000 grados celsius. En general este medio ambiente parece ser muy poco amigable para que pueda existir vida tal la conocemos en la Tierra.

## **¿POR QUÉ SATURNO TIENE ANILLOS?**

Sin embargo, a diferencia de lo que puede suceder con la Luna y la Tierra, Saturno no cuenta con un satélite en forma de cuerpo rocoso único. En realidad, los anillos de Saturno son un montón de rocas y partículas de polvo que no se llegaron a unir para formar un satélite, lo que explica por qué Saturno tiene anillos.

## **¿DE QUÉ ESTAN COMPUESTOS LOS ANILLOS DE SATURNO Y DE QUÉ ESTAN HECHOS?**

Están compuestos por partículas demasiado pequeñas para verlas a simple vista, hasta "partículas" del tamaño de un autobús. Los científicos creen que son bolas de hielo o

pedras cubiertas con hielo.  
En realidad hay muchos anillos, quizás entre 500 y 1000. También hay espacios entre los anillos.

### **¿DE QUÉ COLOR SON LOS ANILLOS DE SATURNO?**

"Muchos no saben que los anillos no son blancos, sino que tienen un tenue color salmón", explicó Jeff Cuzzi, de la NASA. "Esto indica que un porcentaje mínimo de moléculas orgánicas están mezcladas con el agua helada de la que están hechos los anillos principalmente", afirmó Cuzzi.

### **¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE LOS ANILLOS?**

La capacidad de los anillos para reflejar o absorber luz de diferentes longitudes de onda permite deducir información sobre la composición de las partículas de los anillos de Saturno. Por ejemplo, los anillos A, B y C son malos reflectores de la luz del Sol para ciertas longitudes de onda del infrarrojo próximo.

### **¿CUÁNTAS LUNAS TIENE SATURNO EN TOTAL?**

Si se confirman todas, Saturno tendría 82 lunas, en total. ¡Y no debemos olvidarnos de sus preciosos anillos! Sus lunas tienen nombres fantásticos como Mimas, Encélado y Tetis. Una de esas lunas, llamada Titán, tiene incluso su propia atmósfera, lo que es muy poco común para una luna.

### **¿POR QUÉ SATURNO ES ESPECIAL?**

Es el planeta más plano (menos esférico) de todos. Esto se debe a su baja densidad y rápida rotación. Saturno gira sobre su eje una vez cada 10 horas y 34 minutos, lo que redundaría en que tiene el segundo día más corto de todos los planetas del sistema solar.

¿Sabíais todo esto sobre Saturno? Si no, ya lo sabéis.

### **Referencias**

[1] Saturno, en la revista Meteorología en red. URL: <https://www.meteorologiaenred.com/planeta-saturno.html>

[2] Saturn, en la página SpacePlace de la NASA. URL: <https://spaceplace.nasa.gov/>

[3] Saturn, en Windows to Universe, URL: [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

Artículo en formato PowerPoint escrito por Dina El Idrissi, 2ºESO, grupo B. (Se adjunta el powerpoint).

Artículo revisado y editado por Juan F. González.

## 42. El curioso planeta Neptuno.

### Curiosidades sobre el planeta Neptuno



**Figura 1. Neptuno y la Tierra.**

#### **Datos generales de Neptuno**

Diámetro ecuatorial: 49200 km.

Período de rotación: 15 horas 5 minutos.

Distancia media al sol: 4494000000 km.

Período de revolución de Neptuno alrededor del sol: 164 años 288 días 13 horas (60190 días).

Densidad: 1.638 g/cm<sup>3</sup>.

Temperatura superficial: -220°C.

Gravedad superficial:  $11.15 \text{ m/s}^2$ , 1.14 veces la de la Tierra.

Masa: 17 veces la de la Tierra,  $1.024 \times 10^{26} \text{ kg}$ .

Número de satélites confirmados: 14.

### **¿Cómo es Neptuno?**

Neptuno es oscuro, frío y muy ventoso. Es el último de los planetas de nuestro sistema solar. Está más de 30 veces más lejos del Sol que la Tierra. Neptuno es muy parecido a Urano. Está compuesto de una espesa mezcla de agua, amoníaco y metano sobre un centro sólido del tamaño de la Tierra. Su atmósfera se compone de hidrógeno, helio y metano. El metano le da a Neptuno el mismo color azul de Urano. Neptuno tiene seis anillos que no se ven fácilmente.

### **¿Cómo es Neptuno por dentro?**

Está rodeado por seis anillos, aunque solamente 3 son principales y más distinguibles. Como Urano, es un gigante de hielo. Es parecido a un gigante de gas. Está hecho de una espesa mezcla de agua, amoníaco y metano sobre un centro sólido del tamaño de la Tierra. Tiene una atmósfera densa y ventosa.

### **¿Cómo es el tiempo y la temperatura de Neptuno?**

Un día dura 16 horas. Su recorrido alrededor del Sol es tan largo que tarda 165 años terrestres en completarlo. Al orbitar tan lejos del Sol, Neptuno recibe muy poco calor. Su temperatura en la superficie es de  $-218 \text{ }^\circ\text{C}$  (55 K). Sin embargo, el planeta parece tener una fuente interna de calor.

### **¿Cuándo se formó Neptuno y más características sobre él?**

Los científicos creen que Neptuno se formó hace unos 4,5 mil millones de años, y comenzó a alejarse del sol hace unos 4 mil millones de años. La Luz de Neptuno nos llega en unas 4 horas. En el interior de las regiones inferiores de Neptuno, hay un fluido caliente y denso a veces llamado océano de agua y amoníaco.

### **La historia sobre Neptuno**

Neptuno es el octavo planeta en distancia respecto al Sol y el más lejano del sistema solar. Forma parte de los denominados planetas exteriores, y dentro de estos, es uno de los gigantes helados, y es el primero que fue descubierto gracias a predicciones matemáticas. Su nombre fue puesto en honor al dios romano del mar —Neptuno—, y

es el cuarto planeta en diámetro y el tercero más grande en masa . Tras el descubrimiento de Urano , se observó que las órbitas de Urano, Saturno y Júpiter no se comportaban tal como predecían las leyes de Kepler y de Newton , Adams y Le Verrier , de forma independiente, calcularon la posición de un hipotético planeta, Neptuno, que finalmente fue encontrado por Galle, el 23 de septiembre de 1846, a menos de un grado de la posición calculada por Le Verrier. Más tarde se advirtió que Galileo ya había observado Neptuno en 1612, pero lo había confundido con una estrella.

### **Datos históricos curiosos y primeras observaciones**

Neptuno es un planeta dinámico, con manchas que recuerdan las tempestades de Júpiter. La más grande, la Gran Mancha Oscura , tenía un tamaño al de la Tierra , pero en 1994 desapareció y se ha formado otra. Los vientos más fuertes de cualquier planeta del sistema solar se encuentran en Neptuno. Neptuno tiene una composición bastante similar a la del planeta Urano , y ambos tienen composiciones que difieren mucho de los demás gigantes gaseosos , Júpiter y Saturno. La atmósfera de Neptuno, como las de Júpiter y de Saturno , se compone principalmente de hidrógeno y helio , junto con vestigios de hidrocarburos y posiblemente nitrógeno.

Después de muchas dilaciones entre Le Verrier y Herschel, Neptuno fue descubierto el 23 de septiembre de 1846 en horas de la noche, donde Le Verrier había predicho que se encontraría, mientras Challis se dio cuenta de que había observado previamente el planeta dos veces en agosto, sin advertirlo.

Neptuno fue observado con un telescopio el 23 de septiembre de 1846 por Johann Galle, pero Alexis Bouvard ya había descubierto la existencia de Neptuno cuando comenzó su estudio sobre las perturbaciones gravitacionales en la órbita de Urano. La primera estimación publicada por Le Verrier de la longitud del planeta y sus cálculos. Adams y Le Verrier, de forma independiente, calcularon la posición de un hipotético planeta, Neptuno, que finalmente fue encontrado por Galle, el 23 de septiembre de 1846, a menos de un grado de la posición calculada por Le Verrier. Más tarde se advirtió que Galileo ya había observado Neptuno en 1612, pero lo había confundido con una estrella.

### **¿Quién descubrió la órbita de Neptuno?**

John Herschel casi descubrió Neptuno de la misma manera que su padre, William Herschel, había descubierto Urano en 1781, por una observación casual. En una carta de

1846 a Wilhelm Struve , John Herschel afirma que observó Neptuno durante un barrido del cielo el 14 de julio de 1830.

¿Os ha gustado saber de Neptuno?

## Referencias

[1] Neptune, Wikipedia la enciclopedia Libre, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neptune>

Artículo escrito por MARWA EL MORABTIN ACHBOUN, 2ºESO, grupo B. Se adjunta PowerPoint.

Artículo editado y corregido por Juan F. González.

## 43. Nueva aleación flexible Cobalto-Cromo.



**Figura 1.** Monocristales de las aleaciones flexibles y tenaces a base de CoCr. Crédito: Universidad de Tohoku.

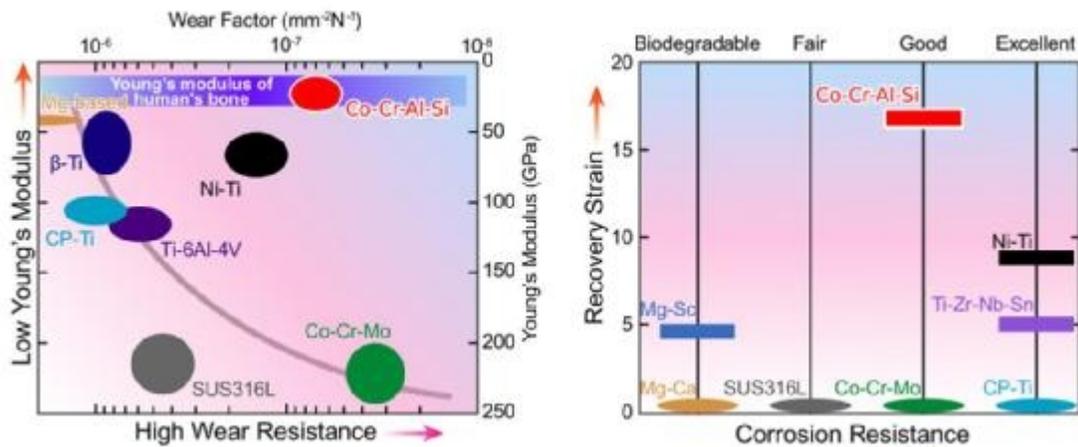
Un grupo de investigación ha revelado un biomaterial a base de cromo-cobalto que imita la flexibilidad de los huesos humanos y posee una excelente resistencia al desgaste. El nuevo biomaterial podría usarse para implantes como reemplazos de articulaciones de

cadera o rodilla y placas óseas, aliviando los problemas asociados con los materiales de implantes convencionales.

Los detalles de su investigación se publicaron en la revista *Advanced Materials* el 9 de mayo de 2022. Con el aumento de la población de personas mayores en todo el mundo, ha aumentado la necesidad de biomateriales mejorados que puedan reemplazar o apoyar los huesos dañados. Para este propósito, los metales son ampliamente utilizados debido a su resistencia y ductilidad. Sin embargo, como consecuencia de su fuerza, su flexibilidad disminuye.

Hasta la fecha, la mayoría de los biomateriales metálicos son más rígidos que los huesos humanos y usarlos como implantes conduce a la atrofia ósea, una condición en la que la densidad ósea se reduce debido a la descomposición de la sustancia y la estructura ósea. Mientras tanto, los biomateriales con una flexibilidad elevada pierden su resistencia al desgaste. Aunque los materiales superelásticos hechos de aleaciones de níquel-titanio (Ni-Ti), que se usan comúnmente en stents y alambres de ortodoncia, mantienen una alta flexibilidad y la capacidad de recuperarse de la tensión, el Ni es un elemento alérgico. Las aleaciones libres de Ni no han replicado la superelasticidad de las aleaciones de Ni-Ti, lo que las hace poco prácticas. El grupo de investigación, compuesto por investigadores de la Escuela de Graduados de Ingeniería y el Instituto de Investigación de Materiales (IMR) de la Universidad de Tohoku, el Centro J-PARC, la Agencia de Energía Atómica de Japón y la Academia Checa de Ciencias, se centró en reducir la brecha del módulo de Young entre implantes metálicos y huesos humanos. Cuando un material es flexible, tiene un módulo de Young bajo. Cuando es rígido, tiene un módulo de Young alto.

El nuevo biomaterial a base de Co-Cr no solo tiene un módulo de Young bajo (10-30 GPa) similar al de los huesos humanos, sino que también tiene una alta resistencia al desgaste, lo que altera la relación de compensación de los biomateriales metálicos convencionales. Estas aleaciones también muestran una enorme tensión superelástica recuperable de hasta el 17,0 %, el doble que la del Ti-Ni comercial. Crédito: Universidad de Tohoku.



**Figura 2.** El nuevo biomaterial a base de Co-Cr no solo tiene un módulo de Young bajo (10-30 GPa) similar al de los huesos humanos, sino que también tiene una alta resistencia al desgaste, lo que altera la relación de compensación de los biomateriales metálicos convencionales. Estas aleaciones también muestran una enorme tensión superelástica recuperable de hasta el 17,0 %, el doble que la del Ti-Ni comercial. Crédito: Universidad de Tohoku.

"Dado que el módulo de Young depende de la orientación del cristal, cultivamos monocristales con una orientación de cristal específica", dijo Xiao Xu, autor correspondiente y profesor asistente en la Escuela de Graduados de Ingeniería de la Universidad de Tohoku. Usando una técnica de tratamiento térmico cíclico, Xu y sus colegas prepararon con éxito monocristales grandes de varios centímetros de tamaño. La aleación de Co-Cr-Al-Si (CCAS) desarrollada demostró una tasa de recuperación de la deformación del 17 %, el doble que las aleaciones comerciales con memoria de forma de Ti-Ni. Además, el módulo de Young del CCAS era extremadamente bajo, asemejándose a la flexibilidad de los huesos humanos.

"Sabíamos que el cromo posee una fuerte resistencia a la corrosión, pero la superelasticidad, la flexibilidad y la significativa resistencia al desgaste del material a base de cromo-cobalto nos sorprendieron", agregó Xu. En el futuro, el grupo de investigación espera explorar por qué su CCAS logró las propiedades superiores que logró. Hacerlo podría conducir al desarrollo de materiales de próxima generación con propiedades aún mejores.

## Referencias

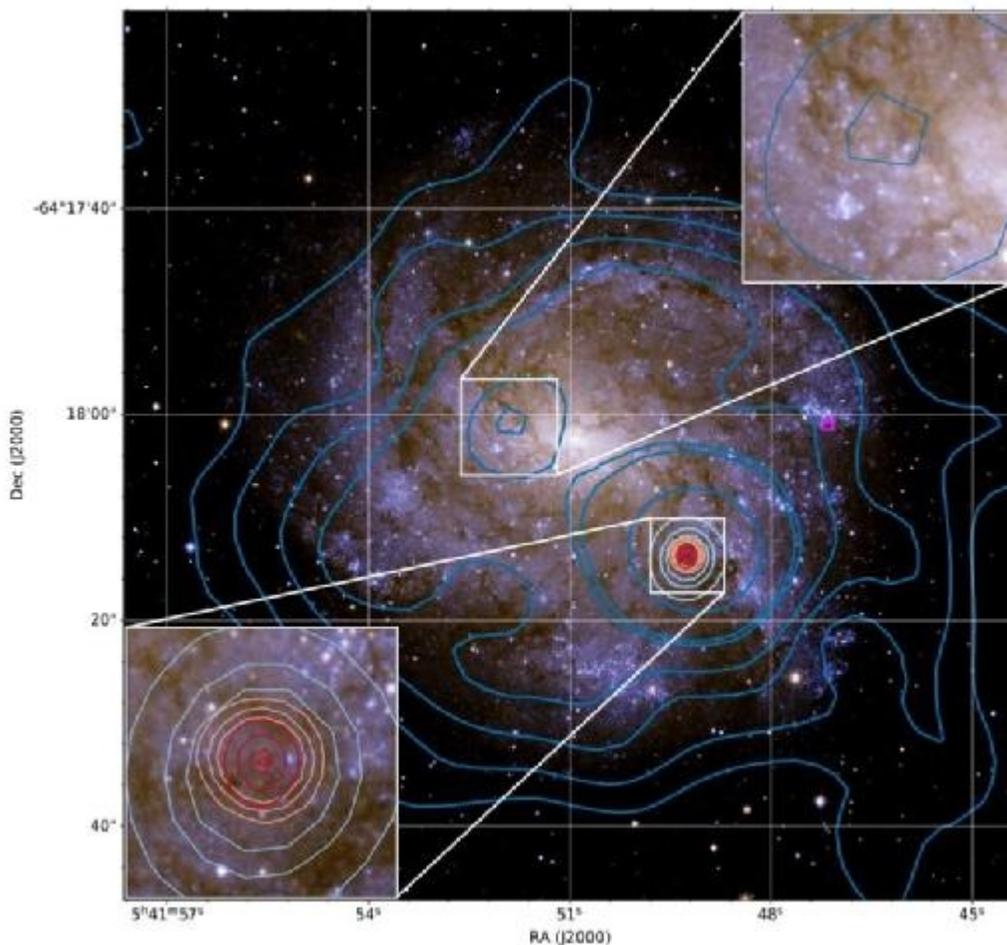
[1] *New flexible and tough superelastic metal alloy shows promise in biomedical applications* by Tohoku University, Phys.org new, URL: <https://phys.org/news/2022-05-flexible-tough-superelastic-metal-alloy.html>

[2] Takumi Odaira et al, *Flexible and Tough Superelastic Co-Cr Alloys for Biomedical Applications*, Advanced Materials (2022). DOI: [10.1002/adma.202202305](https://doi.org/10.1002/adma.202202305)

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

#### 44. Nueva fuente de radio descubierta en radioastronomía.

Los astrónomos detectan una nueva fuente de radio de origen desconocido por Tomasz Nowakowski, Phys.org.



**Figura 1.** Imagen HST de tres colores de NGC 2082 superpuesta con contornos ASKAP y ATCA. La imagen insertada en la parte inferior izquierda proporciona un acercamiento

de J054149.24–641813.7, que muestra la ausencia de cualquier contraparte óptica. Crédito: Balzan et al., 2022.

Durante las observaciones del continuo de radio de una galaxia espiral conocida como NGC 2082, los astrónomos australianos descubrieron una misteriosa fuente de radio brillante y compacta, que recibió la designación J054149.24–641813.7. Se desconoce el origen y la naturaleza de esta fuente y requiere más investigación. El hallazgo se informa en un artículo publicado el 23 de mayo en el repositorio de preimpresión de arXiv.

En general, las fuentes de radio son varios objetos en el universo que emiten cantidades relativamente grandes de ondas de radio. Entre las fuentes más fuertes de tales emisiones se encuentran los púlsares, ciertas nebulosas, cuásares y radiogalaxias.

Ahora, un equipo de astrónomos dirigido por Joel Balzan de la Universidad de Western Sydney en Australia, informa el hallazgo de una nueva fuente de radio, cuya verdadera naturaleza aún es incierta. Mientras observaban NGC 2082 utilizando Australian Square Kilometer Array Pathfinder (ASKAP), Australia Telescope Compact Array (ATCA) y el radiotelescopio Parkes, identificaron una fuente de radio de punto fuerte ubicada a 20 segundos de arco del centro de la galaxia. NGC 2082 es una galaxia espiral de tipo G en la constelación de Dorado, ubicada a unos 60 millones de años luz de la Tierra, con un diámetro de aproximadamente 33.000 años luz. "Presentamos observaciones continuas de radio de NGC 2082 utilizando telescopios ASKAP, ATCA y Parkes de 888 MHz a 9000 MHz. A unos 20 segundos de arco del centro de esta galaxia espiral cercana, descubrimos una fuente de radio brillante y compacta, J054149.24–641813.7, de origen desconocido", escribieron los investigadores en el artículo.

El estudio encontró que la luminosidad de radio de J054149.24–641813.7 a 888 MHz está en un nivel de 129 EW/Hz y que tiene un índice espectral de radio plano (alrededor de 0,02). Esto, según los astrónomos, desfavorece el escenario en el que J054149.24–641813.7 puede ser un remanente de supernova (SNR) o un púlsar, lo que sugiere que la fuente puede ser de origen térmico. Los investigadores notaron que la naturaleza compacta de J054149.24–641813.7 y su ubicación en las afueras de NGC 2082 recuerdan a las de algunas ráfagas de radio rápidas (FRB). Sin embargo, los resultados sugieren que J054149.24–641813.7 probablemente no sea lo suficientemente brillante para ser una fuente de radio persistente con un progenitor FRB incorporado. Los astrónomos concluyeron que la posibilidad restante más probable es que J054149.24–

641813.7 sea una fuente de fondo extragaláctica, como un objeto cuasi estelar (QSO, cuásar), una radiogalaxia o un núcleo galáctico activo (AGN). Agregaron que el índice espectral plano junto con una polarización algo débil en 5.500 y 9.000 MHz respaldan esta hipótesis. Sin embargo, actualmente no hay datos de absorción de hidrógeno atómico neutro (HI) de alta resolución para NGC 2082, lo que podría confirmar esta suposición.

"Encontramos que la probabilidad de encontrar tal fuente detrás de NGC 2082 es  $P = 1,2$  por ciento, y concluimos que el origen más probable de J054149.24–641813.7 es un cuásar de fondo o una radiogalaxia", explicaron los autores del artículo.

## Referencias

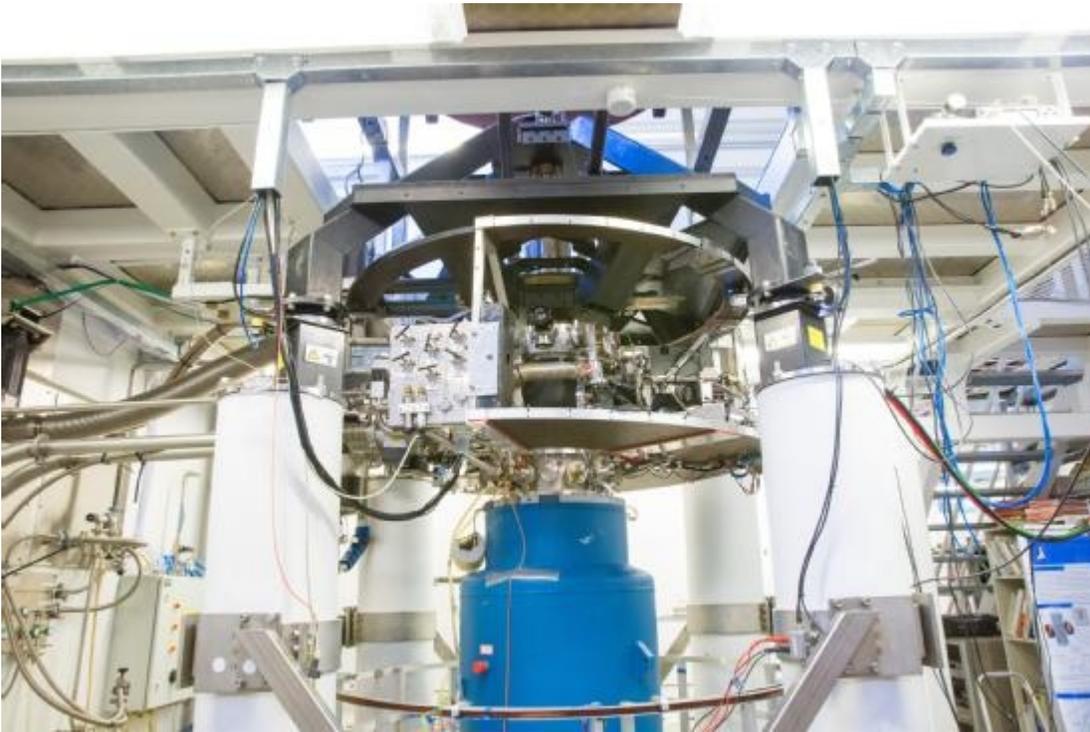
[1] *Astronomers detect a new radio source of unknown origin*, by Tomasz Nowakowski, Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-05-astronomers-radio-source-unknown.html>

[2] Joel C. F. Balzan et al, A Radio Continuum Study of NGC 2082. [arXiv:2205.11144v1](https://arxiv.org/abs/2205.11144v1) [astro-ph.GA], arxiv.org/abs/2205.11144

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

## 45. Los casi imposibles cristales de tiempo.

### Los casi imposibles cristales de tiempo



**Figura 1.** Los investigadores enfriaron helio-3 superfluido hasta casi el cero absoluto (menos  $273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dentro de este refrigerador giratorio, donde se crearon dos cristales de tiempo y se pusieron en contacto. Crédito: © Universidad Aalto/Mikko Raskinen.

Los científicos han creado el primer sistema de dos cuerpos "cristal de tiempo" en un experimento que parece torcer las leyes de la física.

Se produce después de que el mismo equipo presenciara recientemente la primera interacción de la nueva fase de la materia. Durante mucho tiempo se creyó que los cristales de tiempo eran imposibles porque están hechos de átomos en movimiento sin fin. El descubrimiento, publicado en Nature Communications, muestra que no solo se pueden crear cristales de tiempo, sino que tienen potencial para convertirse en dispositivos útiles.

Los cristales de tiempo son diferentes de un cristal estándar, como los metales o las rocas, que se componen de átomos dispuestos en un patrón que se repite regularmente en el espacio. Teorizados por primera vez en 2012 por el premio Nobel Frank Wilczek e identificados en 2016, los cristales de tiempo exhiben la extraña propiedad de estar en movimiento constante y repetitivo en el tiempo a pesar de que no hay una fuente externa. Sus átomos están constantemente oscilando, girando o moviéndose primero en una dirección y luego en la otra. El becario de EPSRC, el Dr. Samuli Autti, autor principal del Departamento de Física de la Universidad de Lancaster, explicó: "Todo el

mundo sabe que las máquinas de movimiento perpetuo son imposibles. Sin embargo, en la física cuántica el movimiento perpetuo está bien siempre que mantengamos los ojos cerrados. Crack: podemos hacer cristales cuánticos de tiempo".

"Resulta que poner dos de ellos juntos funciona muy bien, incluso si los cristales de tiempo no deberían existir en primer lugar. Y ya sabemos que también existen a temperatura ambiente". Un "sistema de dos niveles" es un componente básico de una computadora cuántica. Los cristales de tiempo podrían usarse para construir dispositivos cuánticos que funcionen a temperatura ambiente. Un equipo internacional de investigadores de la Universidad de Lancaster, Royal Holloway de Londres, el Instituto Landau y la Universidad Aalto de Helsinki observaron cristales de tiempo utilizando helio-3, que es un isótopo raro de helio al que le falta un neutrón en comparación al usual helio-4 de la Tierra. El experimento se llevó a cabo en la Universidad Aalto.

Enfriaron el helio-3 superfluido a una diezmilésima de grado del cero absoluto (0,0001 K o -273,15 C). Los investigadores crearon dos cristales de tiempo dentro del superfluido y los pusieron en contacto. Luego, los científicos observaron los dos cristales de tiempo interactuando como lo describe la física cuántica.

## **Referencias**

[1] *Time crystals 'impossible' but obey quantum physics*, by Lancaster University. URL: <https://phys.org/news/2022-06-crystals-impossible-quantum-physics.html>

[2] *Nonlinear two-level dynamics of quantum time crystals*, Nature Communications (2022). DOI: [10.1038/s41467-022-30783-w](https://doi.org/10.1038/s41467-022-30783-w)

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## **46. El programa Langlands.**

### **El increíble programa Langlands**

En Matemáticas puras, también hay indicios de una teoría "final" como en la Física (de hecho incluye conexiones con ésta). El programa Langlands es lo más similar a una suerte de Teoría Unificada en el mundo de las Matemáticas.

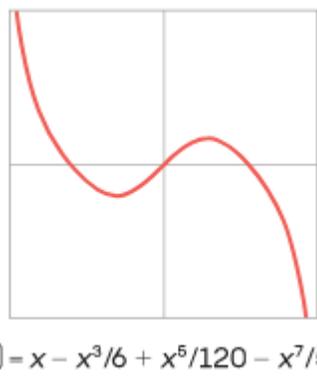
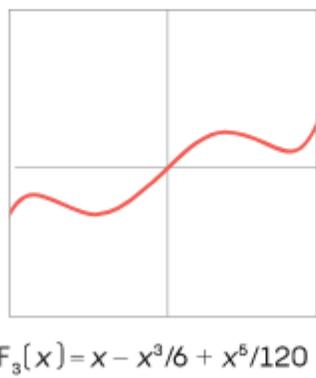
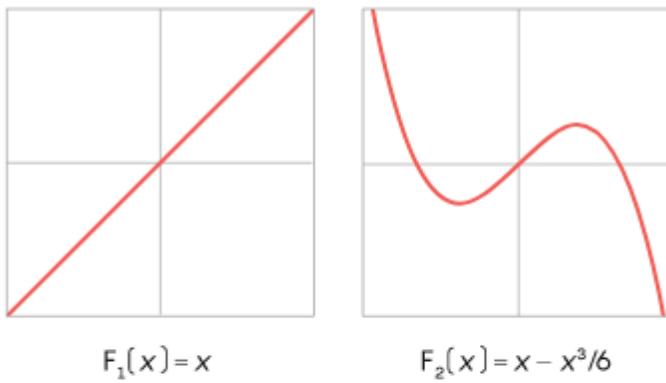


**Vídeo 1.** El programa Langlands, resumido en menos de 15 minutos. El matemático de la Universidad de Rutgers, Alex Kontorovich, nos lleva en un viaje a través de los continentes de las matemáticas para aprender sobre las impresionantes simetrías en el corazón del programa Langlands.

¿Qué es el programa Langlands? El programa Langlands proporciona un hermoso e intrincado conjunto de conexiones entre varias áreas de las matemáticas, señalando el camino hacia soluciones novedosas para viejos problemas.

No hace mucho, me pidieron que explicara el llamado programa Langlands en un solo tweet. Imposible, pensé de inmediato. Es uno de los proyectos matemáticos más grandes y arrolladores, capaz de conectar reinos distantes de investigación y, naturalmente, diabólicamente difícil de describir. Pero luego recordé la historia de un estudiante que le pidió al gran sabio talmúdico Hillel que explicara toda la Biblia mientras estaba parado en un pie. La respuesta: “No hagas a tu prójimo lo que es odioso para ti; el resto es generalización”. Por supuesto, puedes encontrar mucha más sabiduría en la Biblia que eso, y puedes pasarte toda la vida estudiando dichas generalizaciones. Pero para Hillel, ese fue el núcleo que lo inició todo. ¿Había un análogo para Langlands? No soy Hillel, pero esto es lo mejor que puedo hacer.

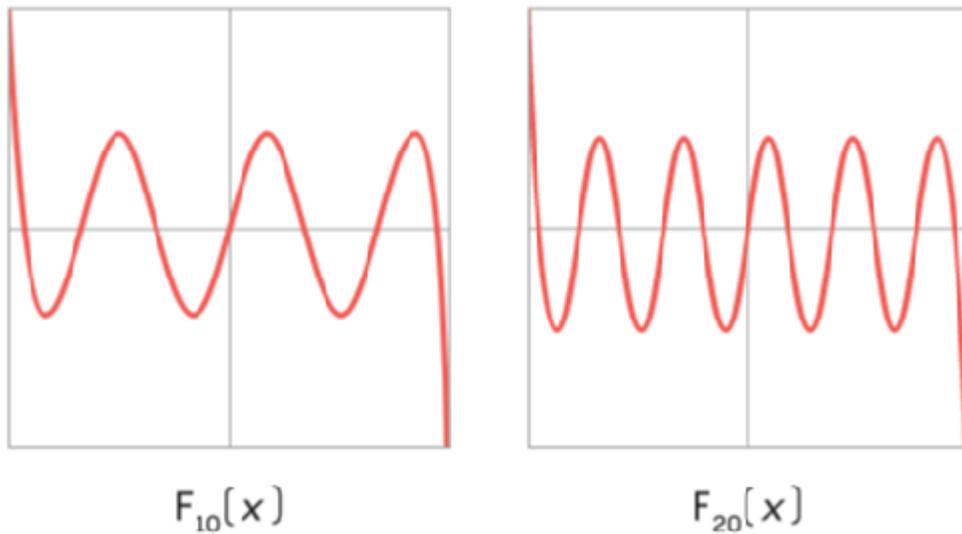
Considere las funciones (mostradas con sus gráficos):



**Figura 1.** Gráficos de funciones.

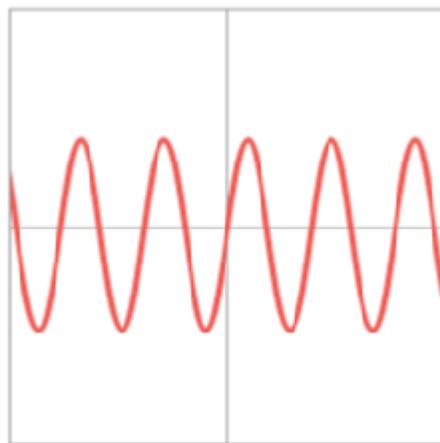
En caso de que aún no reconozcas los denominadores, son los factoriales impares. Un factorial es el producto de todos los enteros positivos menores o iguales a un número dado y se representa con un signo de exclamación. Entonces, por ejemplo,  $3! = 1 \times 2 \times 3 = 6$  y  $5! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120$ . Con suerte, ahora el patrón está claro: para obtener el siguiente polinomio en la secuencia, simplemente sume o reste (de forma alterna)  $x$  elevado a la siguiente potencia impar y divida por el factorial de esa potencia. Observe que, como con cualquier polinomio, cuando  $x$  tiende a infinito positivo o negativo (más a la derecha o a la izquierda, respectivamente), la función se dispara hasta el infinito o se sumerge en el infinito negativo. Pero a pesar de esto, en alguna región alrededor del

origen, el comportamiento de la función comienza a estabilizarse. Pronto se convierte en una curva que se mueve regularmente, aparentemente limitada entre  $-1$  y  $1$ .



**Figura 2.** Otras funciones.

Cuando llevamos esta secuencia de funciones a su conclusión lógica, ignorando todo tipo de preguntas importantes sobre si esto se puede hacer de hecho (sí, se puede), obtenemos la serie infinita



$$F_{\infty}(x) = x - x^3/6 + x^5/120 - x^7/5,040 + x^9/362,880 - \dots$$

**Figura 3.** Funciones como series infinitas.

Resulta que esta es otra forma de escribir la función seno simple a partir de la trigonometría. Y la función seno también se puede entender como la altura de un punto, pegado al borde de un círculo giratorio, ondulando hacia arriba y hacia abajo con el tiempo. Críticamente, si gira el círculo  $2\pi$  radianes (una rotación completa), ese círculo comenzará a moverse de nuevo. Eso significa que la función seno y nuestra serie infinita anterior tienen una simetría especial: si cambias la entrada por  $2\pi$ , la función se repite. Esto es,

$$F_{\infty}(x + 2\pi) = F_{\infty}(x), \quad \forall x$$

Si esto no le parece un milagro espectacular, no está buscando lo suficiente. Los coeficientes de todos esos polinomios solo estaban formados por denominadores factoriales impares con sus signos alternos. ¿Quién invitó a  $2\pi$  a la fiesta? Ninguno de los primeros polinomios que vimos tiene esta simetría de traslación: solo aparece en el infinito. Esta aparición inesperada de simetría en el límite, como veremos, es la idea clave que sustenta el programa Langlands. La función seno es un ejemplo básico de lo que nosotros, los matemáticos, generalmente llamamos una función automórfica: cuando cambiamos (transformamos) una variable mediante algún proceso (en este caso, deslizando  $2\pi$ ), la función vuelve a ser ella misma (por lo tanto, "automórfica").

Hoy conocemos muchas técnicas que pueden revelar esta automorfia para esta serie infinita. Por ejemplo, en lugar de comenzar con todos esos polinomios, podríamos haber comenzado con la función seno misma. Entonces, su invariancia bajo traducción es tautológica, siguiendo las definiciones básicas, y solo tendríamos que conectar la función seno a esa secuencia de polinomios. Este último es un proceso general conocido como expansión en serie de Taylor, que, en el caso de la función seno, da los polinomios discutidos anteriormente. (También es posible mostrar esta automorfia incluso sin ninguna referencia a la función seno mediante el uso de derivadas, una forma de medir cuánto cambia una función localmente).

Entonces, ¿qué es el programa Langlands? Predice simetrías no aparentes "extra" (es decir, automorfia) de objetos definidos por ciertas secuencias (infinitas). ¡Eso es lo mejor que puedo hacer, pararme en un pie! Ahora bien, como se explica en el vídeo que acompaña a este texto, los matemáticos no solo están interesados en demostrar estas simetrías por sí mismas, aunque seguramente esto ya sería suficiente, ya que la mayoría de los matemáticos las consideran bellas e importantes. Estas simetrías tienen consecuencias increíbles, así como aplicaciones a otros problemas matemáticos, como la

resolución completa del último teorema de Fermat.

Aquí hay un vistazo de cómo estas simetrías pueden ayudar a resolver otro conjunto de problemas conocidos como las conjeturas de Ramanujan, que en su forma más general siguen sin resolverse en la actualidad. Las conjeturas de Ramanujan dicen algo más o menos como lo siguiente. Si tiene una función automórfica dada por alguna secuencia de coeficientes, así:

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots$$

entonces todos los coeficientes, todas esas  $a$ , están acotadas por 1, lo que significa que sus valores están todos entre  $-1$  y  $1$ . Una vez más, sin embargo, no podemos probar eso. Lo mejor que podemos hacer es vincular esos coeficientes por 10, que es una información considerablemente más débil, y aparentemente casi inútil. Pero aquí es donde entra Langlands. Si una parte conjeturada del programa, llamada functorialidad, es cierta (como sospechan los matemáticos), entonces podríamos probar completamente las conjeturas de Ramanujan. La functorialidad afirma que podemos hacer nuevas funciones automórficas a partir de  $G(x)$ , simplemente elevando todos los coeficientes a cualquier potencia entera fija.

(En realidad, el proceso es mucho más complicado, pero sigamos entendiendo la idea). Entonces, dado que  $G(x)$  es automórfico, la funcionalidad conjetura que la función

$$G_2(x) = a_0^2 + a_1^2 x + a_2^2 x^2 + a_3^2 x^3 + \dots$$

también debe ser automórfico. Debido a ese resultado aparentemente inútil de que podríamos demostrar que los coeficientes de cualquier función automórfica están acotados por 10, ahora podemos demostrar que los coeficientes de  $G_2$ , que son los cuadrados de los coeficientes de  $G$ , también están acotados por 10. Y si el cuadrado de los coeficientes de  $G$  está acotado por 10, entonces los coeficientes mismos están acotados por la raíz cuadrada de 10, que es aproximadamente 3,16. ¡Gracias a los enlaces proporcionados por Langlands, hemos mejorado drásticamente nuestro conocimiento del límite! Pero la functorialidad no se detiene ahí. También predice que la función cuyos coeficientes son los cubos de los coeficientes de  $G$  también es automórfica:

$$G_3(x) = a_0^3 + a_1^3 x + a_2^3 x^2 + a_3^3 x^3 + \dots$$

Si es cierto, entonces los coeficientes de  $G$  están realmente acotados por la raíz cúbica de 10 (alrededor de 2,15), y no solo por su raíz cuadrada. Y así sucesivamente para todos estos "ascensores funcionales":

$$G_k(x) = a_0^k + a_1^k x + a_2^k x^2 + a_3^k x^3 + \dots$$

¿Ves ahora cómo seguirían las conjeturas de Ramanujan? La raíz  $k$ -ésima de 10 para una  $k$  enorme se acerca cada vez más a 1. Entonces, si sabe que todos estos elevadores funcionales son de hecho automórficos, como predice Langlands, acaba de resolver Ramanujan. ¡Qué ingenioso truco! Nuestra discusión aquí es solo la punta del enorme iceberg que es el programa Langlands. He omitido las funciones  $L$ , los motivos, las fórmulas de seguimiento, las representaciones de Galois, la teoría del campo de clases y todo tipo de matemáticas asombrosas que se han construido alrededor del programa durante el último medio siglo. Si estás interesado en estas cosas, te animo a que las estudies más, tal como Hillel esperaba que su respuesta también inspirara al interrogador a continuar sus estudios.

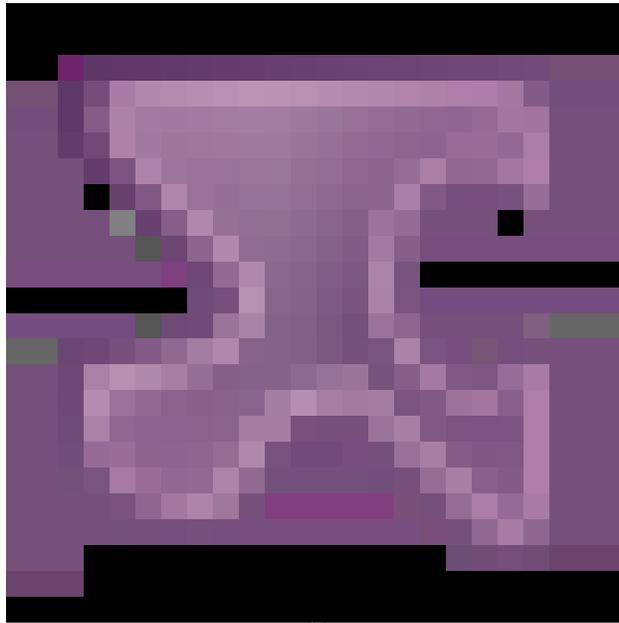
N. del Traductor: Es el mejor artículo que he leído sobre lo que es el programa Langlands para "todo el mundo interesado y amor/admiración por las Matemáticas".

## Referencias

[1] *What is the Langlands program?*, Emily Buder / Quanta Magazine; Adrian Vasquez de Velasco, Björn Öberg, Rui Braz, and Guan-Huei Wu for Quanta Magazine. URL: <https://www.quantamagazine.org/what-is-the-langlands-program-20220601/>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 47. Un pulsar tortuga de 76 segundos.



### **Vídeo 1.** ¿Qué es un púlsar?

Se ha encontrado un púlsar girando tan lentamente que los astrónomos ni siquiera pensaron que era posible: una vez cada 76 segundos. La astronomía está progresando rápidamente en estos días, gracias en parte a cómo los avances en un área pueden contribuir al progreso en otra. Por ejemplo, la óptica mejorada, los instrumentos y los métodos de procesamiento de datos han permitido a los astrónomos ampliar los límites de la astronomía óptica e infrarroja a la de ondas gravitacionales (GW). La radioastronomía también avanza considerablemente gracias a conjuntos como el radiotelescopio MeerKAT en Sudáfrica, que se unirá a los observatorios de Australia en un futuro próximo para crear el Square Kilometer Array (SKA). En particular, los radioastrónomos están utilizando instrumentos de próxima generación para estudiar fenómenos como Fast Radio Bursts (FRB) y estrellas de neutrones. Recientemente, un equipo internacional de científicos dirigido por la Universidad de Manchester descubrió una extraña estrella de neutrones emisora de radio con un poderoso campo magnético (un "magnetar") y un período de rotación extremadamente lento de 76 segundos. Este descubrimiento podría tener implicaciones significativas para la radioastronomía y sugiere una posible conexión entre diferentes tipos de estrellas de neutrones y FRB. La investigación fue dirigida por los astrofísicos Manisha Caleb, Ian Heywood y Benjamin Stappers del Centro de Astrofísica Jodrell Bank de la Universidad de Manchester. A ellos se unieron investigadores del grupo MeerTRAP (More Transients and Pulsars), un consorcio internacional financiado por el Consejo Europeo de Investigación (ERC) que colabora estrechamente con el Max-Planck Institut für Radioastronomie (MPIfR) y

varias universidades e institutos de investigación europeos. El artículo que describe su descubrimiento apareció recientemente en Nature Astronomy.

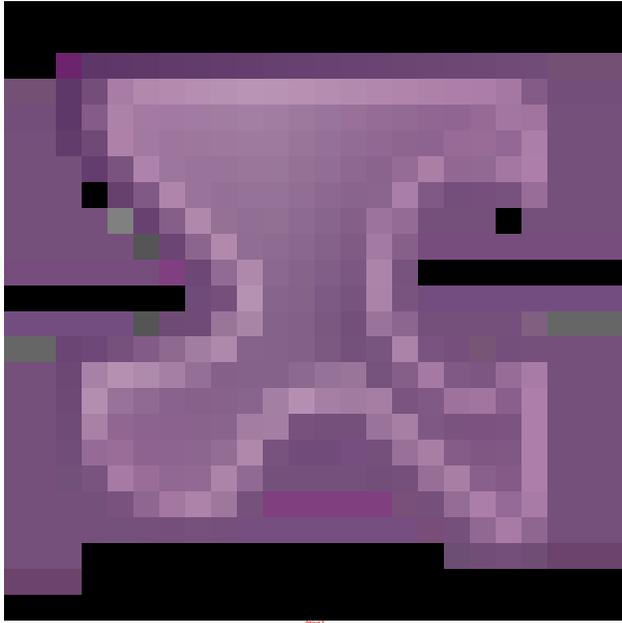
Las estrellas de neutrones son los restos extremadamente densos de estrellas masivas que han sufrido un colapso gravitatorio y se han desprendido de sus capas exteriores en una supernova. Estas estrellas a menudo tienen giros muy rápidos y sus poderosos campos magnéticos hacen que emitan haces de radiación apretados que barren el cielo (de ahí el término "magnetar"). Los astrónomos conocen actualmente alrededor de 3.000 púlsares en la galaxia de la Vía Láctea, y la sincronización de sus pulsos se utiliza como una especie de "faro astronómico" (o "faro cósmico"). En todos los casos anteriores, se ha observado que los magnetares tienen períodos de rotación rápidos. Pero en este caso, el equipo observó lo que parecía ser una "magnetar de período ultralargo", una clase teórica de estrellas de neutrones con campos magnéticos extremadamente fuertes. La fuente se detectó inicialmente gracias a un solo pulso observado por el instrumento MeerTRAP aprovechando las observaciones dirigidas por The HUNt for Dynamic and Explosive Radio transitorios con el equipo meerKAT (ThunderKAT). Luego, los dos realizaron observaciones de seguimiento juntas que confirmaron la posición de la fuente y la sincronización de los pulsos. Como dijo la Dra. Manisha Caleb, ex investigadora postdoctoral de la Universidad de Manchester y actual investigadora astrofísica en la Universidad de Sydney:

“Sorprendentemente, solo detectamos emisiones de radio de esta fuente durante el 0,5% de su período de rotación. Esto significa que es muy fortuito que el haz de radio se cruzara con la Tierra. Por lo tanto, es probable que haya muchas más de estas fuentes que giran muy lentamente en la galaxia, lo que tiene implicaciones importantes sobre cómo nacen y envejecen las estrellas de neutrones. “La mayoría de los estudios de púlsares no buscan períodos tan largos, por lo que no tenemos idea de cuántas de estas fuentes podría haber. En este caso, la fuente era lo suficientemente brillante como para que pudiéramos detectar los pulsos individuales con el instrumento MeerTRAP en MeerKAT”.

"La sensibilidad que proporciona MeerKAT, combinada con la búsqueda sofisticada que fue posible con MeerTRAP y la capacidad de generar imágenes simultáneas del cielo, hizo posible este descubrimiento", agregó el Dr. Heywood, investigador principal de la Universidad de Oxford y miembro de el equipo de ThunderKAT que colaboró en este estudio. "Incluso entonces, se necesitó un ojo de águila para reconocer algo que posiblemente era una fuente real porque tenía un aspecto tan inusual". La estrella de

neutrones recién descubierta, denominada PSR J0901-4046 (por Fuente de radio pulsante), es un objeto especialmente interesante que muestra características de púlsares, magnetares e incluso ráfagas de radio rápidas. Esto está indicado por las emisiones de radio que son consistentes con los púlsares, que también son conocidos por tener períodos orbitales más largos. En contraste, los componentes caóticos de los subpulsos y la polarización de los pulsos son consistentes con los magnetares. Además de ser un nuevo tipo de estrella de neutrones que solo se había teorizado anteriormente, este descubrimiento ocurrió en una parte bien estudiada de la galaxia. Los sondeos de radio no suelen buscar estrellas de neutrones o períodos de pulso que duren más de unas pocas decenas de milisegundos (es decir, púlsares de milisegundos). Ben Stappers, profesor de astrofísica en la Universidad de Manchester e investigador principal del proyecto MeerTRAP, dice que este descubrimiento podría significar que hay muchas oportunidades para nuevos sondeos de radio en la región: “La emisión de radio de esta estrella de neutrones no se parece a ninguna que hayamos visto antes. Podemos verlo durante unos 300 milisegundos, que es mucho más tiempo que para la mayoría de las otras estrellas de neutrones emisoras de radio. Parece haber al menos 7 tipos de pulsos diferentes, algunos de los cuales muestran una estructura fuertemente periódica, lo que podría interpretarse como vibraciones sísmicas de la estrella de neutrones. Estos pulsos podrían brindarnos información vital sobre la naturaleza del mecanismo de emisión de estas fuentes”.

Dado lo desafiante que fue este descubrimiento y el esfuerzo de colaboración que se necesitó para hacerlo, es probable que sea difícil detectar fuentes similares. Sin embargo, esto implica que podría haber una mayor población de estrellas de neutrones de período largo no detectadas esperando a ser descubiertas. Este descubrimiento también plantea la posibilidad de una nueva clase de transitorios de radio, estrellas de neutrones de período ultralargo, que sugieren una posible conexión entre estrellas de neutrones altamente magnetizadas, magnetares de período ultralargo y ráfagas de radio rápidas. Estos resultados podrían ayudar a resolver el misterio perdurable de qué causa los FRB, que los astrónomos han desconcertado desde que se detectó el primero en 2007 (el Lorimer Burst). Esto es especialmente cierto en los raros casos en que la fuente se ha estado repitiendo en la naturaleza. Si bien el estudio de este fenómeno energético también ha avanzado considerablemente, los astrónomos aún no están seguros de qué los causa, ¡con explicaciones que van desde estrellas de neutrones en rotación y agujeros negros hasta posibles transmisiones extraterrestres!



**Vídeo 2.** Fast Radio Bursts.

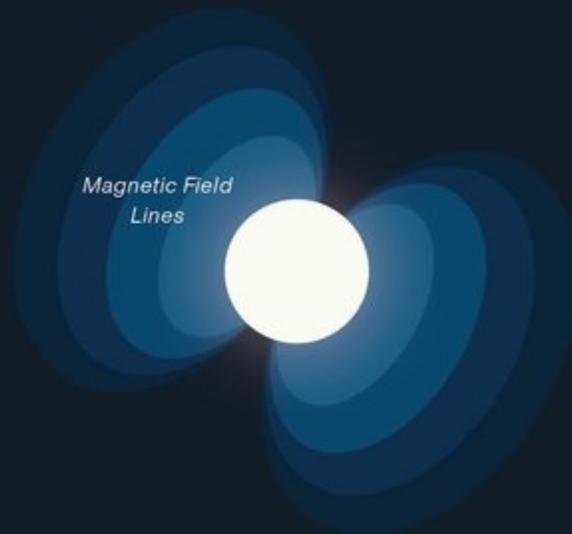


# DIFFERENT STAR T

A neutron star is a dense core left behind after a massive star dies. It is only about 10 to 20 miles (15 to 30 kilometers) wide, but it is so dense that a teaspoon of neutron star material would weigh 4 billion tons on Earth.

## MAGNETAR

A magnetar is a neutron star with a particularly strong magnetic field, about 1,000 times stronger than a normal neutron star. That's about a trillion times stronger than Earth's magnetic field and about 100 million times stronger than the most powerful magnets ever made by humans. Scientists have only discovered about 30 magnetars so far.



## PULSAR

Most of the roughly 3,000 known neutron stars are pulsars. As a pulsar spins, it emits two beams of radiation from its magnetic poles. If the beams are precisely aligned with the neutron star's axis of rotation, the beams sweep across Earth as the neutron star spins, the beams sweep across Earth like a lighthouse. To observers on Earth, this makes the pulsar's light appear to pulse.



Figura 1. Tipos de púlsar. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia23863-different-types-of-neutron-stars-illustration> (CALTECH).

## Referencias

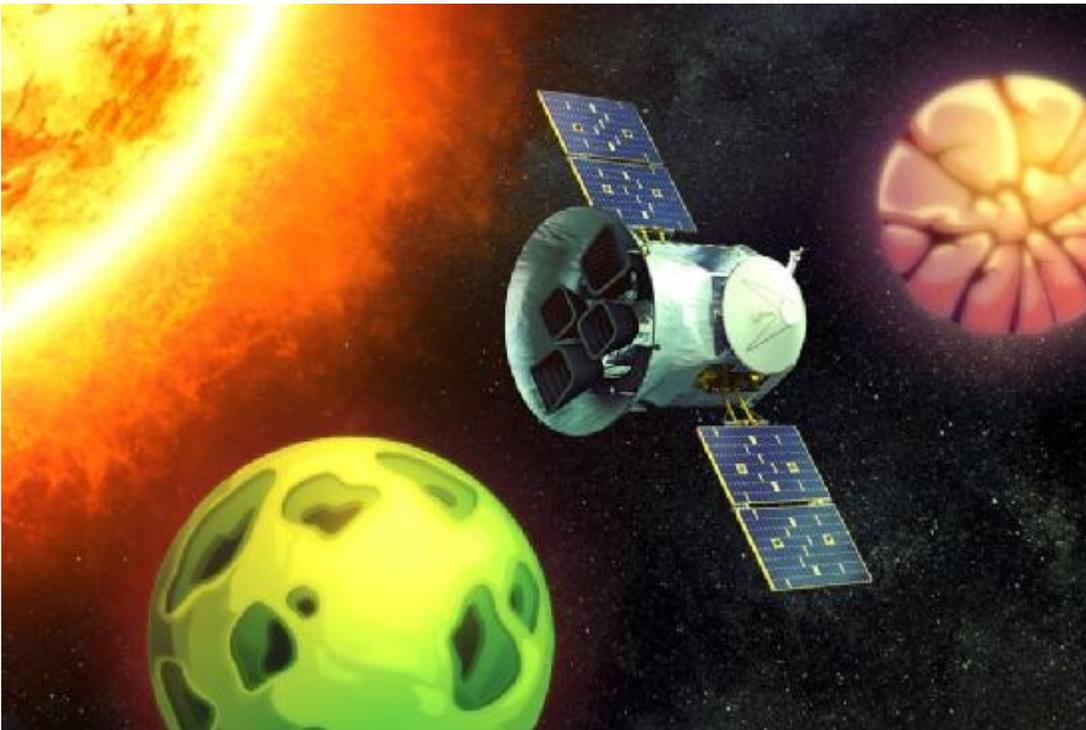
[1] *A Pulsar has Been Found Turning so Slowly Astronomers Didn't Even Think it was Possible: Once Every 76 Seconds.*

Posted on June 2, 2022 by Matt Williams. Universe today online magazine. URL: <https://www.universetoday.com/156096/a-pulsar-has-been-found-turning-so-slowly-astronomers-didnt-even-think-it-was-possible-once-every-76-seconds/>

[2] *Discovery of a radio emitting neutron star with an ultra-long spin period of 76 seconds, Manisha Caleb, Ian Heywood, Kaustubh Rajwade, Mateusz Malenta, Benjamin Stappers, Ewan Barr, Weiwei Chen, Vincent Morello, Sotiris Sanidas, Jakob van den Eijnden, Michael Kramer, David Buckley, Jaco Brink, Sara Elisa Motta, Patrick Woudt, Patrick Weltevrede, Fabian Jankowski, Mayuresh Surnis, Sarah Buchner, Mechiel Christiaan Bezuidenhout, Laura Nicole Driessen, Rob Fender. ArXiv.org: <https://arxiv.org/abs/2206.01346>*

Artículo traducido y editado por Juan F. González

#### **48. Nuevos exoplanetas a 10 pc de distancia.**



**Figura 1.** Los astrónomos del MIT han descubierto un nuevo sistema multiplanetario que se encuentra a solo 10 parsecs, o unos 33 años luz, de la Tierra, lo que lo convierte en uno de los sistemas multiplanetarios más cercanos al nuestro. La estrella en el

corazón del sistema probablemente alberga al menos dos planetas terrestres del tamaño de la Tierra. Crédito: MIT News, con la figura del satélite TESS cortesía de la NASA.

Los astrónomos del MIT y otros lugares han descubierto un nuevo sistema multiplanetario dentro de nuestro vecindario galáctico que se encuentra a solo 10 parsecs, o unos 33 años luz, de la Tierra, lo que lo convierte en uno de los sistemas multiplanetarios más cercanos al nuestro. En el corazón del sistema se encuentra una pequeña y fría estrella enana M, llamada HD 260655, y los astrónomos han descubierto que alberga al menos dos planetas terrestres del tamaño de la Tierra. Es probable que los mundos rocosos no sean habitables, ya que sus órbitas son relativamente estrechas, lo que expone a los planetas a temperaturas que son demasiado altas para mantener el agua superficial líquida.

Sin embargo, los científicos están entusiasmados con este sistema porque la proximidad y el brillo de su estrella les darán una mirada más cercana a las propiedades de los planetas y los signos de cualquier atmósfera que puedan contener. "Ambos planetas en este sistema se consideran entre los mejores objetivos para el estudio atmosférico debido al brillo de su estrella", dice Michelle Kunimoto, posdoctorado en el Instituto Kavli de Astrofísica e Investigación Espacial del MIT y uno de los principales científicos del descubrimiento. "¿Hay una atmósfera rica en volátiles alrededor de estos planetas? ¿Y hay signos de agua o especies basadas en carbono? Estos planetas son fantásticos bancos de pruebas para esas exploraciones". El equipo presentará su descubrimiento hoy (15 de junio) en la reunión de la Sociedad Astronómica Estadounidense en Pasadena, California. Los miembros del equipo del MIT incluyen a Katharine Hesse, George Ricker, Sara Seager, Avi Shporer, Roland Vanderspek y Joel Villaseñor, junto con colaboradores de instituciones de todo el mundo.

### **El poder de los datos**

El nuevo sistema planetario fue identificado inicialmente por el Satélite de Sondeo de Exoplanetas en Tránsito (TESS) de la NASA, una misión dirigida por el MIT que está diseñada para observar las estrellas más cercanas y brillantes, y detectar caídas periódicas de luz que podrían indicar un planeta que pasa. En octubre de 2021, Kunimoto, miembro del equipo científico TESS del MIT, estaba monitoreando los datos entrantes del satélite cuando notó un par de caídas periódicas en la luz de las estrellas, o tránsitos, de la estrella HD 260655.

Ella ejecutó las detecciones a través de la tubería de inspección científica de la misión, y las señales pronto se clasificaron como dos Objetos de interés TESS, o TOI, objetos que están marcados como planetas potenciales. Las mismas señales también fueron encontradas de forma independiente por el Centro de Operaciones de Procesamiento Científico (SPOC), el canal oficial de búsqueda de planetas TESS con sede en NASA Ames. Los científicos generalmente planean hacer un seguimiento con otros telescopios para confirmar que los objetos son realmente planetas. El proceso de clasificación y posterior confirmación de nuevos planetas a menudo puede llevar varios años. Para HD 260655, ese proceso se acortó significativamente con la ayuda de datos de archivo. Poco después de que Kunimoto identificara los dos planetas potenciales alrededor de HD 260655, Shporer observó si la estrella había sido observada previamente por otros telescopios. Por suerte, HD 260655 se incluyó en un estudio de estrellas realizado por el espectrómetro Echelle de alta resolución (HIRES), un instrumento que opera como parte del Observatorio Keck en Hawái. HIRES había estado monitoreando la estrella, junto con una gran cantidad de otras estrellas, desde 1998, y los investigadores pudieron acceder a los datos disponibles públicamente de la encuesta.

HD 260655 también se incluyó como parte de otra encuesta independiente realizada por CARMENES, un instrumento que opera como parte del Observatorio de Calar Alto en España. Como estos datos eran privados, el equipo contactó a miembros de HIRES y CARMENES con el objetivo de combinar su poder de datos. "Estas negociaciones a veces son bastante delicadas", señala Shporer. "Afortunadamente, los equipos acordaron trabajar juntos. Esta interacción humana es casi tan importante para obtener los datos [como las observaciones reales]".

### **Tirón planetario**

Al final, este esfuerzo colaborativo confirmó rápidamente la presencia de dos planetas alrededor de HD 260655 en unos seis meses. Para confirmar que las señales de TESS eran de hecho de dos planetas en órbita, los investigadores analizaron los datos de HIRES y CARMENES de la estrella. Ambos sondeos miden el bamboleo gravitatorio de una estrella, también conocido como su velocidad radial. "Cada planeta que orbita alrededor de una estrella tendrá un pequeño tirón gravitatorio sobre su estrella", explica Kunimoto. "Lo que estamos buscando es cualquier ligero movimiento de esa estrella que pueda indicar que un objeto de masa planetaria está tirando de ella".

A partir de ambos conjuntos de datos de archivo, los investigadores encontraron signos estadísticamente significativos de que las señales detectadas por TESS eran de hecho dos planetas en órbita. "Entonces supimos que teníamos algo muy emocionante", dice Shporer. Luego, el equipo analizó más de cerca los datos de TESS para precisar las propiedades de ambos planetas, incluido su período orbital y tamaño. Determinaron que el planeta interior, denominado HD 260655b, orbita la estrella cada 2,8 días y es aproximadamente 1,2 veces más grande que la Tierra. El segundo planeta exterior, HD 260655c, orbita cada 5,7 días y es 1,5 veces más grande que la Tierra. A partir de los datos de velocidad radial de HIRES y CARMENES, los investigadores pudieron calcular la masa de los planetas, que está directamente relacionada con la amplitud con la que cada planeta tira de su estrella. Descubrieron que el planeta interior tiene aproximadamente el doble de masa que la Tierra, mientras que el planeta exterior tiene aproximadamente tres masas terrestres. A partir de su tamaño y masa, el equipo estimó la densidad de cada planeta. El planeta interior, más pequeño, es ligeramente más denso que la Tierra, mientras que el planeta exterior, más grande, es un poco menos denso. Ambos planetas, según su densidad, son probablemente terrestres o de composición rocosa. Los investigadores también estiman, en base a sus órbitas cortas, que la superficie del planeta interior está a unos 710 grados Kelvin (818 grados Fahrenheit), mientras que el planeta exterior está a unos 560 K (548 F). "Consideramos ese rango fuera de la zona habitable, demasiado caliente para que exista agua líquida en la superficie", dice Kunimoto. "Pero podría haber más planetas en el sistema", agrega Shporer. "Hay muchos sistemas multiplanetarios que albergan cinco o seis planetas, especialmente alrededor de estrellas pequeñas como esta. Con suerte, encontraremos más, y uno podría estar en la zona habitable. Eso es un pensamiento optimista".

## Referencias

- [1] *Astronomers discover a multiplanet system nearby*, by Jennifer Chu, Massachusetts Institute of Technology. June 15th, 2022. Phys.org news, URL: <https://phys.org/news/2022-06-astronomers-multiplanet-nearby.html>
- [2] *Two rocky exoplanets discovered around nearby star*, by Tomasz Nowakowski. Phys.org new. URL: <https://phys.org/news/2022-04-rocky-exoplanets-nearby-star.html>

[3] R. Luque et al, The HD 260655 system: Two rocky worlds transiting a bright M dwarf at 10 pc. arXiv:2204.10261v2 [astro-ph.EP], [arxiv.org/abs/2204.10261](https://arxiv.org/abs/2204.10261)

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

## 49. ILMT: el telescopio con espejo de mercurio líquido.

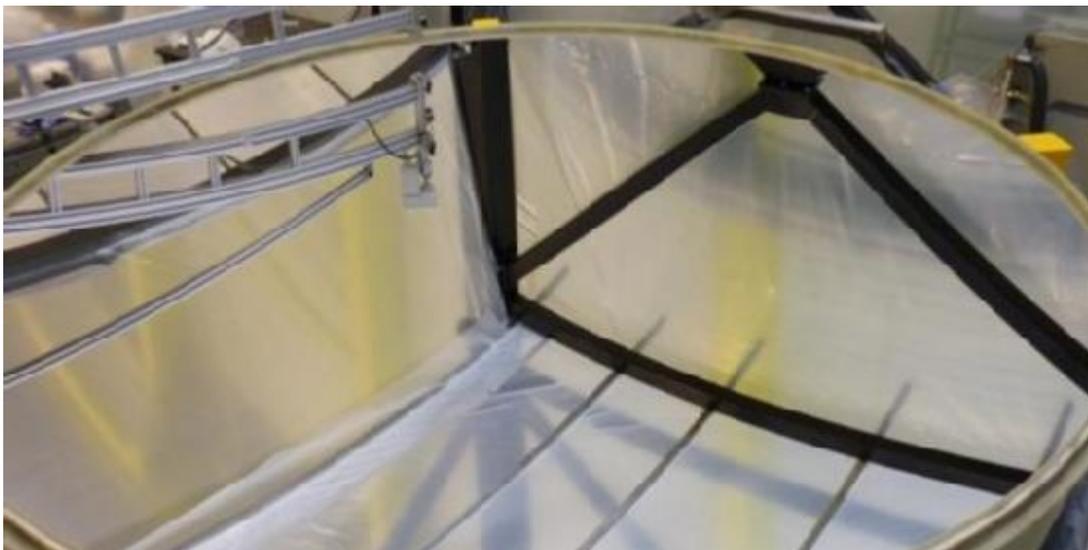
### El telescopio de espejo líquido más grande del mundo entra en funcionamiento



**Figura 1.** El ILMT. Imagen desde arriba.

¡Pregúntele a cualquier astrónomo, astrofísico o cosmólogo, y probablemente le dirán que una nueva era de la astronomía está sobre nosotros! Entre los avances en la astronomía de ondas gravitacionales, la explosión en los estudios de exoplanetas y los telescopios terrestres y espaciales de próxima generación que están en línea, es bastante evidente que estamos al borde de una era de descubrimientos casi continuos. Como siempre, los principales descubrimientos, las innovaciones y las cosas que permiten inspiran a los científicos e investigadores a mirar hacia el futuro y dar el siguiente gran paso. Tomemos, por ejemplo, la investigación de espejos líquidos e interferómetros avanzados, que se basarían en tipos completamente nuevos de telescopios y captación de luz para avanzar en la ciencia de la astronomía. Un ejemplo pionero es el telescopio International Liquid Mirror Telescope (ILMT) recién puesto en servicio que acaba de entrar en funcionamiento en Devasthal Peak, una montaña de 2.450 m (8.040 pies) de

altura ubicada en la cordillera central del Himalaya. A diferencia de los telescopios convencionales, el ILMT se basa en un espejo de 4 metros (13 pies) de rotación rápida recubierto con una capa de mercurio para capturar la luz cósmica. Al igual que otros observatorios, el ILMT está ubicado muy por encima del nivel del mar para minimizar la distorsión causada por el vapor de agua atmosférico (fenómeno conocido como refracción atmosférica). Al igual que el Observatorio Paranal de ESO en el norte de Chile o los Observatorios de Mauna Kea en Hawái, el telescopio ILMT es parte del Observatorio Devasthal ubicado en las remotas montañas de la provincia de Uttarakhand en el norte de la India (oeste de Nepal). El telescopio está diseñado para estudiar el cielo e identificar objetos como supernovas, lentes gravitacionales, desechos espaciales, asteroides y otros fenómenos transitorios y variables.



**Figura 2.** Una imagen del espejo ILMT tomada durante las pruebas en Lieja, Bélgica. Crédito: Colaboración ILMT/Universidad de Lieja.

El Dr. Paul Hickson, profesor de física y astronomía de la UBC y pionero de la tecnología de espejo líquido, ha estado perfeccionando la tecnología a lo largo de los años en el Gran Telescopio Zenith (LZT). Ubicado en el Bosque de Investigación Malcolm Knapp de la UBC al este de Vancouver, B.C., el LZT era el espejo de metal líquido más grande antes de que se encargara el ILMT. Debido a su experiencia, el Dr. Hickson y sus colegas desempeñaron un papel fundamental en el diseño y la creación del sistema de aire ILMT. La instalación recibió su primera luz en mayo pasado y cesará temporalmente sus operaciones en octubre debido a la temporada de monzones de la India. Si bien puede parecer algo sacado de la ciencia ficción, los conceptos básicos de

esta tecnología son bastante simples. La tecnología se reduce a tres componentes, incluido un plato que contiene un líquido reflectante (como mercurio), una sección giratoria sobre la que se asienta el espejo líquido (LM) (alimentado por compresores de aire) y un sistema de accionamiento. Cuando se enciende, el LM aprovecha el hecho de que la fuerza de rotación hace que el espejo adopte una forma parabólica, que es ideal para enfocar la luz.

Mientras tanto, el mercurio líquido está protegido por una capa extremadamente delgada de mylar de calidad óptica que evita que se formen pequeñas ondas (debido al viento o la rotación). El mercurio líquido ofrece una alternativa de bajo costo a los espejos de vidrio, que son muy pesados y costosos de producir. La luz reflejada pasa a través de un sofisticado corrector óptico multilente mientras una cámara electrónica de gran formato en el foco registra las imágenes. Como explicó el Dr. Hockson en un comunicado de prensa de UBC Science:

“Al girar una vez cada ocho segundos, el espejo flota sobre una película de aire comprimido de unas 10 micras de espesor. A modo de comparación, un cabello humano tiene un grosor de aproximadamente 70 micras. Los cojinetes de aire son tan sensibles que incluso las partículas de humo pueden dañarlos. Un segundo colchón de aire evita que el rotor se mueva hacia los lados. La rotación de la Tierra hace que las imágenes se desplacen por la cámara, pero este movimiento se compensa electrónicamente. “La cámara tiene una lente correctora que fue especialmente diseñada para eliminar la curvatura del rastro de estrellas. Las estrellas van en círculos alrededor del polo norte celeste, alrededor de la Estrella Polar. Si tomas una exposición de tiempo, las estrellas no van en línea recta, van en arcos o círculos. Pero este corrector está diseñado para corregir eso y eliminar la curvatura para enderezar los rastros de estrellas, brindándonos imágenes nítidas”.

Las operaciones científicas regulares están programadas para comenzar a finales de este año. En este punto, se espera que la ILMT recopile alrededor de 10 GB de datos cada noche que se analizarán en busca de fuentes estelares. Luego, estas fuentes se seleccionarán para observaciones de seguimiento utilizando el telescopio óptico Devasthal (DOT) de 3,6 metros (11,8 pies) y sus sofisticados instrumentos espectroscópicos. Como parte de una instalación supervisada por el Instituto de Investigación de Ciencias de la Observación Aryabhata (ARIES), que incluye el ILMT

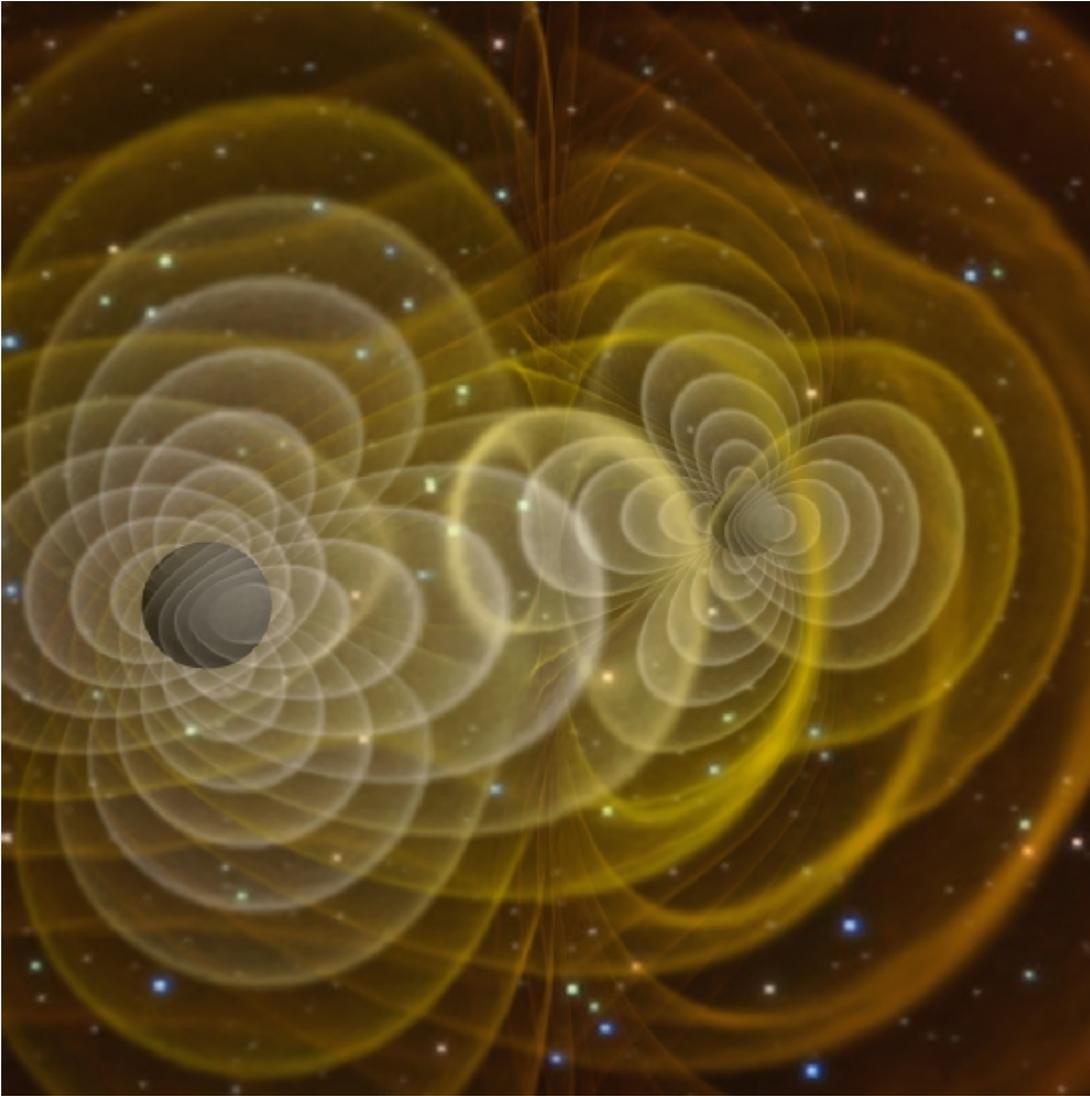
y el antiguo Templo Devesthal, el DOT tiene la distinción de ser el telescopio óptico más grande de la India. En particular, la ILMT buscará fenómenos astronómicos que están a la vanguardia de la investigación astronómica actual. Esto incluye objetos variables, estrellas que varían en brillo con el tiempo debido a cambios en sus propiedades físicas u objetos que los obstruyen (planetas, anillos de polvo, etc.). Los fenómenos transitorios, por otro lado, se refieren a eventos de corta duración como supernovas, Fast-Radio Bursts (FRB), estallidos de rayos gamma (GRB), microlente gravitacional, etc. El estudio de estos objetos conducirá a avances en la campos de la astrofísica y la cosmología. Además de ARIES y UBC, otras organizaciones que conforman la colaboración ILMT incluyen la Organización de Investigación Espacial India (ISRO), el Instituto Astronómico Ulugh Beg (parte de la Academia de Ciencias de Uzbekistán), la Universidad de Lieja, el Observatorio Real de Bélgica, el Observatorio de Poznan en Polonia, la Universidad Laval, la Universidad de Montreal, la Universidad de Toronto, la Universidad de York y la Universidad de Victoria en Canadá.

## Referencias

- [1] *The World's Largest Liquid-Mirror Telescope Comes Online*, Posted on June 12, 2022 by Matt Williams. Universe Today magazine. URL: <https://www.universetoday.com/156246/the-worlds-largest-liquid-mirror-telescope-comes-online/>
- [2] Indian, UBC astronomers celebrate first light at liquid-mirror telescope June 8, 2022. Science.ubc.ca. URL: <https://science.ubc.ca/news/indian-ubc-astronomers-celebrate-first-light-liquid-mirror-telescope>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 50. Alcanzar el Big Bang.



**Figura 1.** Una visualización de una simulación de supercomputadora de la fusión de agujeros negros que envían ondas gravitacionales. Crédito: NASA/C. Henze.

Los observatorios operativos de todo el mundo tienen como objetivo las regiones del cielo caracterizadas por una baja contaminación de la radiación galáctica, en busca de la huella de las ondas gravitacionales cosmológicas (CGW) producidas durante la inflación, la fase misteriosa de la expansión casi exponencial del espacio en el Universo muy primitivo. Un nuevo estudio de la colaboración POLARBEAR, liderado por SISSA en la parte de interpretación para Cosmología y publicado en *Astrophysical Journal*, proporciona un nuevo algoritmo de corrección que permite a los investigadores casi duplicar la cantidad de datos fiables adquiridos en dichos observatorios, dando así acceso al territorio desconocido de la señal producida por los CGW y acercándonos al Big Bang.

"Según la comprensión actual de la cosmología, justo después del Big Bang, el Universo era muy pequeño, denso y caliente. En  $10^{-35}$  segundos, se estiró por un factor de  $10^{30}$ ", explica Carlo Baccigalupi, coordinador del grupo de Astrofísica y Cosmología de SISSA. "Este proceso, conocido como inflación, produjo ondas gravitacionales cosmológicas (CGW) que se pueden detectar a través de la polarización del fondo cósmico de microondas (CMB), la radiación sobrante del Big Bang. El experimento POLARBEAR, del que forma parte SISSA, busca para tales señales usando el Telescopio Huan Tran en el Desierto de Atacama del norte de Chile en la Región de Antofagasta".

El análisis de los datos adquiridos por el Observatorio POLARBEAR es un proceso complejo en el que la fiabilidad de las mediciones representa un factor clave y muy delicado. "Los CGW excitan solo una pequeña fracción de la señal de polarización CMB, más conocida como modos B", explican Nicoletta Krachmalnicoff, investigadora de SISSA, y Davide Poletti, anteriormente en el mismo instituto. "Son muy difíciles de medir, en particular debido a la contaminación de la señal debido a las emisiones del gas galáctico difuso. Esto debe eliminarse con una precisión exquisita para aislar la contribución única de los CGW". En los últimos dos años, Anto. I. Lonappan, Ph.D. estudiante de SISSA, y Satoru Takakura de la Universidad de Boulder, en Colorado, han estado caracterizando la calidad de un conjunto de datos extendido de la colaboración POLARBEAR, rastreando todas las incertidumbres y sistemáticas instrumentales y físicas conocidas. "Hemos implementado un algoritmo que asigna precisión a las mediciones en el 'parque grande', una región que se extiende unos 670 grados cuadrados en el hemisferio sur celeste, donde nuestra sonda revela datos de acuerdo con otras sondas que buscan en la misma ubicación, como como el BICEP2/Keck Array ubicado en el Polo Sur", explican. El estudio ahora ha sido publicado en el *Astrophysical Journal*.

"Este es un hito en un largo camino hacia la observación de CGW. El nuevo enfoque nos permite sondear el cielo con una precisión sin precedentes, duplicando la cantidad de datos confiables y, por lo tanto, de información accesible. Este es un paso crucial para el toda la comunidad ahora que se están preparando nuevos telescopios para operar", añaden los científicos.

Grandes desarrollos están en camino desde el punto de vista experimental. Se está preparando un sistema de tres telescopios POLARBEAR mejorados, conocido como

Simons Array. El Observatorio Simons, un nuevo sistema de telescopios de pequeña y gran apertura, financiado por la Fundación Simons, estará operativo desde un lugar cercano, en Atacama, y la primera luz se producirá en 2023. Más adelante en esta década, volará el satélite LiteBIRD y una extensa red de observatorios terrestres, cuyas instalaciones en el desierto de Atacama y el Polo Sur, conocida como "Etapa IV", complementará estas observaciones.

"Todos estos esfuerzos conducirán a la medición definitiva de las CGW, revelando al mismo tiempo las pistas más importantes sobre los componentes cosmológicos de la Energía Oscura y la Materia", concluye Baccigalupi. "A través de la misión principal del SISSA como escuela de doctorado, formar estudiantes para que se conviertan en jóvenes investigadores, nuestro Instituto está y estará contribuyendo significativamente a los principales desafíos contemporáneos de la Física, como el actual, enfocándose en las Ondas Gravitacionales desde una pequeña fracción de un segundo después del Big Bang".

Alcanzar el estudio del Big Bang en sus inicios no es solo un sueño...

## Referencias

- [1] June 6, 2022, *Cosmological gravitational waves: A new approach to reach back to the Big Bang*, by International School of Advanced Studies (SISSA), Phys.org news, URL: <https://phys.org/news/2022-06-cosmological-gravitational-approach-big.html>
- [2] S. Adachi et al, *Improved Upper Limit on Degree-scale CMB B-mode Polarization Power from the 670 Square-degree POLARBEAR Survey*, The Astrophysical Journal (2022). DOI: [10.3847/1538-4357/ac6809](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac6809)

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

## 51. Correspondencias misteriosas.

### Holografía, gravedad y mecánica cuántica

Uno de los científicos (aún vivos) más prolíficos de la era moderna es Leonard Susskind.

Pionero en la teoría de cuerdas, es también uno de los defensores de las correspondencias holográficas de tipo teoría clásica/teoría cuántica que los ha proporcionado la Teoría de Supercuerdas tras su segunda revolución (que tuvo lugar en 1995).

Una primera correspondencia holográfica

Un holograma es una codificación en 2d del mundo tridimensional o más dimensiones.

En la teoría de la Relatividad General, la correlación entre bocas de agujeros negros (agujeros de gusano), está dada por la expresión

$$\langle \phi_A \phi_B \rangle = e^{-L(t)}$$

La complejidad en un circuito cuántico y su entrelazamiento está dada por una expresión similar

$$\langle \phi_A \phi_B \rangle = e^{-C(t)}$$

¿Es la Relatividad General=Mecánica Cuántica?

Esta correspondencia GR=QM (RG=MC en español) es tomada seriamente por los investigadores en teorías de gravitación cuántica. La conexión entre los denominados puentes de Einstein-Rosen y el entrelazamiento es denominado hoy día correspondencia ER=EPR. La complejidad asociada a este fenómeno viene dada por la cantidad geométrica

$$C = \frac{V(AdS)}{GL(AdS)}$$

Albert Einstein es conocido por su Annus Mirabilis 1905, su segundo año maravilloso 1915 ...pero menos por su tercer año grandioso, 1935, cuando esencialmente se dio cuenta de la relevancia del fenómeno del entrelazamiento cuántico como una propiedad de la teoría que hoy día se estudia experimentalmente y es pieza clave no solamente en la teoría de la computación cuántica, sino debido a estas dualidades y correspondencias extrañas, pieza clave en lo que cree que será la teoría de la gravedad cuántica aún por comprobar.

El poder de esta nuevas relaciones teóricas entre mundos aparentemente diferentes es similar al programa Langlands en Matemáticas. La correspondencia AdS/CFT (gravedad en un espacio-tiempo de tipo Anti-de Sitter con una teoría de campos conformes en la frontera o borde de dicho espacio) fue advocada a finales del siglo XX por el científico

argentino Juan Maldacena. Uno espera encontrar así, de algún modo, una manera de relacionar funciones de onda  $\Psi$  con métricas  $g_{\mu\nu}$  en ciertos espacios altamente curvados. Aunque diferente conceptualmente a la equivalencia masa-energía  $E=mc^2$  u otras menos conocidas como la equivalencia aceleración-masa  $A\hbar = mc^3$ , el principio cuántico de acción

$$\mathcal{A} = \int_{\text{paths}} e^{iS} \mathcal{D}q$$

y las reglas usuales de cuantización

$$\{q,p\} = i\hbar[q,p]$$

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi\rangle = H|\psi\rangle$$

proporcionan una base aún válida para la Mecánica Cuántica, aunque incompleta para la gravedad ya que no se sabe exactamente definir cuál es la función de onda del espacio-tiempo, ni la manera en que éste debería ser cuantizado. Una nueva corriente, a la luz de las dualidades antes mencionadas y la curiosa semejanza y comportamiento de teorías clásicas como la GR y la QM en ciertos aspectos fue ya anticipada por el premio Nobel Gerard 't Hooft. La entropía de un agujero negro es proporcional al área y no el volumen del espacio tiempo de su horizonte, de ahí el nombre principio holográfico. En casos más generales, como los que estábamos mencionando, el principio holográfico o correspondencia holográfica, suele denominarse a la idea que afirma que la Física de un sistema gravitacional en  $N$  dimensiones es equivalente a una teoría de campos, sin gravedad, en  $N - 1$  dimensiones, por lo que funciona similar a una suerte de holograma pero en dimensiones superiores.

### Leyes y similitudes cuánticas

Cuando se estudia la segunda ley de Newton, se obtiene como una relación entre fuerza y aceleración, junto a un flujo de momento

$$F = ma = \frac{dp}{dt}$$

En Mecánica Cuántica, el ritmo de barajeo/desordenamiento de monedas permite definir un tamaño cuántico, que es de hecho la longitud de onda de Compton (de Broglie equivalente a un fotón) de una partícula

$$\lambda_c = \frac{h}{mc} = \frac{h}{p}$$

La complejidad cuántica es esencial en la teoría de la corrección de errores para la computación cuántica, y la correspondencia holográfica lo relaciona con cuestiones cosmológicas relativas a espacio-tiempo curvo. Así, el tiempo para una computación cuántica da una relación equivalente entre momento y tamaño similar a la anterior. De hecho, se puede escribir

$$\frac{d}{dt}(\text{Size}) = mg$$

o también deducir entonces

$$\frac{d}{dt}(\text{Size}) = \frac{GMm}{R^2}$$

que es la teoría gravitacional de Newton. Esta deducción ad hoc y heurística de la gravedad es similar a una empleada en 2010 por Eric Verlinde. Por lo tanto, podemos vincular

Mecánica Cuántica ↔ Gravedad

aunque sea de una forma muy tosca. La demomento irresoluble paradoja de la información de los agujeros negros está en el horizonte de ser tratada con estos métodos, peor no es sencillo. Parece más Ciencia-Ficción el que ideas como la teleportación cuántica esté relacionada con bocas de agujeros de gusano (dos agujeros negros conectados por un circuito de volumen dado, cuya complejidad satisface la correspondencia ER=EPR en ciertas condiciones). ¿Para qué sirve esto? Algunos dirán para nada, que son elucubraciones mentales inútiles. Pero habría que recordar que la Teoría de la Relatividad Especial nos dio la energía atómica, la Teoría de la Relatividad General nos ha dado los GPS (esos que llevan los móviles...), la Mecánica Cuántica nos ha dado la Resonancia Magnética Nuclear o los radiodiagnósticos por PET/TAC, y la Teoría Cuántica de Campos (vía teoría cuántica de la radiación) nos ha dado instrumentos como los láseres sin los que la vida ya no parece resultar concebible.

Una nueva especulación es que quizás la Teoría Cuántica de la Gravedad pueda ser simulable con algún sistema de la Teoría de la Materia Condensada. Ello es debido a ciertas conexiones que se han establecido entre metales extraños y agujeros negros extremos (sin horizontes y con singularidades desnudas). Por ejemplo, un ejemplo dramático de esta última conexión es la cota que relaciona la viscosidad y la densidad de entropía  $s = S/V$  de ciertos sistemas cuánticos/gravitacionales:

$$\eta \geq \frac{\hbar s}{4\pi k_B}$$

que resulta similar al "scrambling" de información cuántica

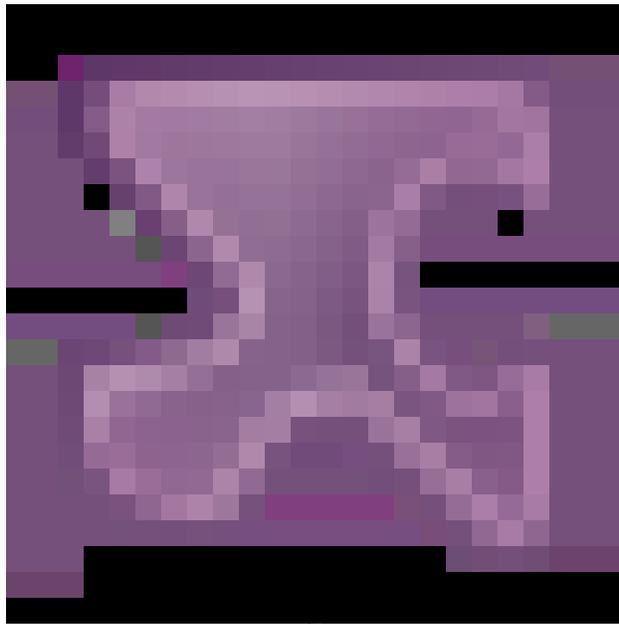
$$\lambda \leq \frac{2\pi}{B}$$

¿Son estas ideas correctas? No lo sabemos del todo, pero no son fantasía. Algunas de hecho ayudan a entender las propiedades del plasma de quark-gluones con sistemas gravitacionales y viceversa.

Solamente el tiempo y los experimentos reales acabarán por demostrar, junto a la deducción, inferencia y abducción matemática, este tipo de conexiones entre fluidos y gravedad.

## Referencias

[1] THE 2022 OPPENHEIMER LECTURE: THE QUANTUM ORIGINS OF GRAVITY. Leonard Susskind.

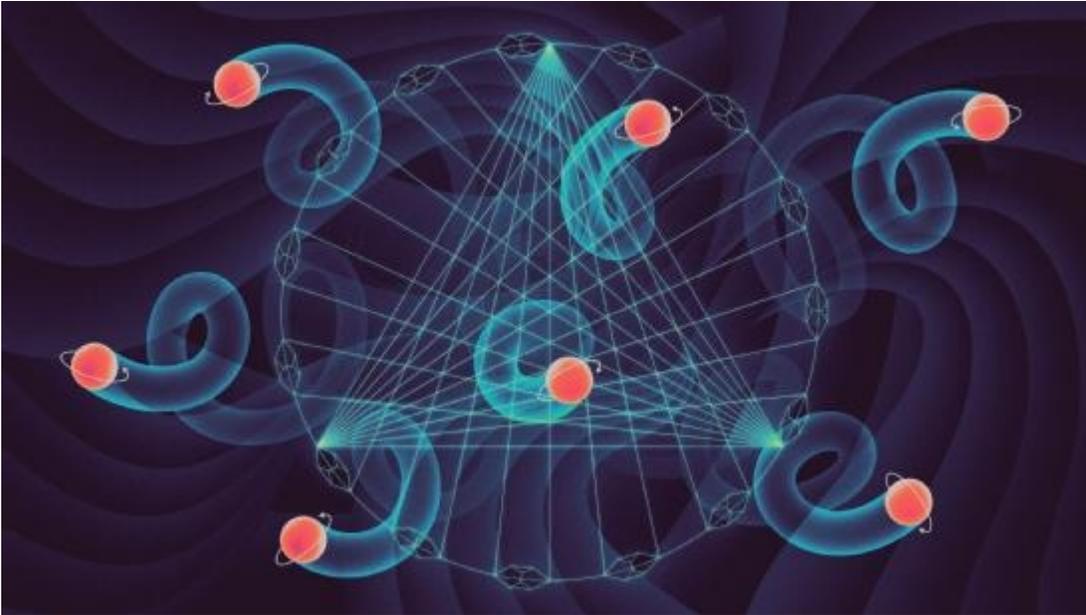


Artículo libre escrito por Juan F. González basado en la lección Oppenheimer de 2022 de L. Susskind anterior.

## 52. Contextualidad cuántica.

### El espeluznante fenómeno cuántico del que nunca has oído hablar: la contextualidad cuántica

Las computadoras cuánticas pueden derivar su poder de la forma "mágica" en que las propiedades de las partículas cambian según el contexto de un conjunto de observables compatibles cuántico.



**Figura 1.** En su prueba de que el mundo es contextual, Simon Kochen y Ernst Specker crearon una red de valores posibles del giro de una partícula medido en diferentes direcciones. Crédito: Kristina Armitage para Quanta Magazine.

Quizás la característica extraña más famosa de la mecánica cuántica es la no localidad: mida una partícula en un par entrelazado cuyo compañero está a millas de distancia, y la medida parece atravesar el espacio intermedio para afectar instantáneamente a su compañero. Esta "acción espeluznante a distancia" (como la llamó Albert Einstein) ha sido el foco principal de las pruebas de la teoría cuántica. "La no localidad es espectacular. Quiero decir, es como magia", dijo Adán Cabello, físico de la Universidad de Sevilla en España.

Pero Cabello y otros están interesados en investigar un aspecto menos conocido pero igualmente mágico de la mecánica cuántica: la contextualidad. La contextualidad dice que las propiedades de las partículas, como su posición o polarización, existen solo dentro del contexto de una medición. En lugar de pensar en las propiedades de las

partículas como si tuvieran valores fijos, considéralas más como palabras en un lenguaje, cuyos significados pueden cambiar según el contexto: “El tiempo vuela como una flecha. A las moscas de la fruta les gustan los plátanos”.

Aunque la contextualidad ha vivido a la sombra de la no localidad durante más de 50 años, los físicos cuánticos ahora la consideran más una característica distintiva de los sistemas cuánticos que la no localidad. Una sola partícula, por ejemplo, es un sistema cuántico “en el que ni siquiera se puede pensar en la no localidad”, ya que la partícula está solo en una ubicación, dijo Bárbara Amaral, física de la Universidad de São Paulo en Brasil. "Así que [la contextualidad] es más general en cierto sentido, y creo que esto es importante para comprender realmente el poder de los sistemas cuánticos y profundizar en por qué la teoría cuántica es como es".

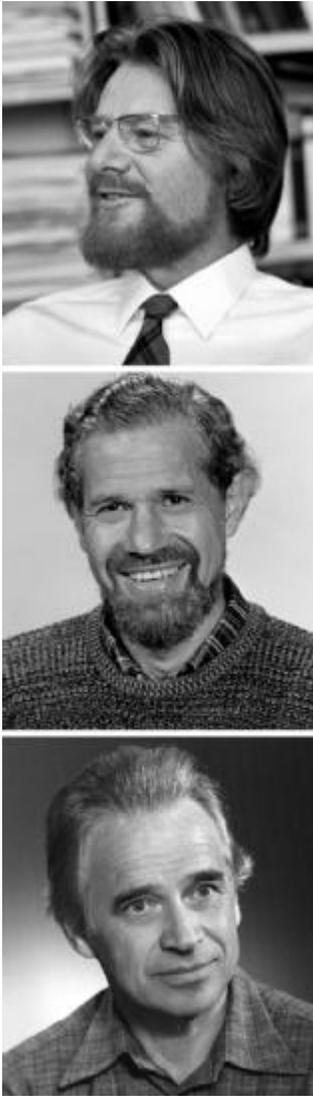
Los investigadores también han encontrado vínculos tentadores entre la contextualidad y los problemas que las computadoras cuánticas pueden resolver de manera eficiente y que las computadoras ordinarias no pueden; investigar estos vínculos podría ayudar a guiar a los investigadores en el desarrollo de nuevos enfoques y algoritmos de computación cuántica. Y con el renovado interés teórico viene un renovado esfuerzo experimental para demostrar que nuestro mundo es realmente contextual. En febrero, Cabello, en colaboración con Kihwan Kim de la Universidad de Tsinghua en Beijing, China, publicó un artículo en el que afirmaban haber realizado la primera prueba experimental de contextualidad sin lagunas.

### **La dirección 117<sup>a</sup>**

El físico norirlandés John Stewart Bell es ampliamente reconocido por demostrar que los sistemas cuánticos pueden ser no locales. Al comparar los resultados de las mediciones de dos partículas entrelazadas, demostró con su teorema homónimo de 1965 que el alto grado de correlaciones entre las partículas no puede explicarse en términos de "variables ocultas" locales que definen las propiedades separadas de cada una. La información contenida en el par entrelazado debe ser compartida no localmente entre las partículas.

Bell también demostró un teorema similar sobre la contextualidad. Él y, por separado, Simon Kochen y Ernst Specker demostraron que es imposible que un sistema cuántico tenga variables ocultas que definan los valores de todas sus propiedades en todos los contextos posibles. En la versión de la prueba de Kochen y Specker, consideraron una sola partícula con una propiedad cuántica llamada espín, que tiene tanto una magnitud como una dirección. Medir la magnitud del espín en cualquier dirección siempre da

como resultado uno de dos resultados: 1 o 0. Luego, los investigadores preguntaron: ¿es posible que la partícula "sabe" en secreto cuál será el resultado de cada medición posible antes de medirla? En otras palabras, ¿podrían asignar un valor fijo, una variable oculta, a todos los resultados de todas las mediciones posibles a la vez? La teoría cuántica dice que las magnitudes de los giros a lo largo de tres direcciones perpendiculares deben obedecer la "regla 101": los resultados de dos de las medidas deben ser 1 y la otra debe ser 0. Kochen y Specker usaron esta regla para llegar a una contradicción. Primero, asumieron que cada partícula tenía un valor intrínseco fijo para cada dirección de giro. Luego realizaron una medición de giro hipotética a lo largo de una dirección única, asignando 0 o 1 al resultado. Luego rotaron repetidamente la dirección de su medición hipotética y volvieron a medir, cada vez asignando libremente un valor al resultado o deduciendo cuál debe ser el valor para satisfacer la regla 101 junto con las direcciones que habían considerado previamente. Continuaron hasta que, en la dirección 117, surgió la contradicción. Mientras que previamente habían asignado un valor de 0 al espín en esta dirección, la regla 101 ahora dictaba que el espín debe ser 1. El resultado de una medición posiblemente no podría arrojar 0 y 1 a la vez. Así que los físicos concluyeron que hay de ninguna manera una partícula puede tener variables ocultas fijas que permanecen iguales independientemente del contexto.



**Figura 2.** John Bell, Simon Kochen y Ernst Specker (desde arriba)Figura 2. demostraron un teorema a fines de la década de 1960 que mostraba que los sistemas cuánticos no pueden tener valores fijos para todas las propiedades en todos los contextos. (Desde arriba) CERN PhotoLab. Cortesía de Simon Kochen; Wilhelm Pleyer de la colección de la biblioteca ETH, de Zurich, en Suiza.

Si bien la prueba indicó que la teoría cuántica exige contextualidad, no había forma de demostrar esto a través de 117 mediciones simultáneas de una sola partícula. Desde entonces, los físicos han ideado versiones más prácticas e implementables experimentalmente del teorema original de Bell-Kochen-Specker que involucra múltiples partículas entrelazadas, donde una medida particular en una partícula define un "contexto" para las demás.

### **Pregunta por pregunta**

En 2009, la contextualidad, un aspecto aparentemente esotérico del tejido subyacente de la realidad, obtuvo una aplicación directa: se demostró que una de las versiones simplificadas del teorema original de Bell-Kochen-Specker era equivalente a un cálculo cuántico básico. La prueba, llamada estrella de Mermin en honor a su creador, David Mermin, consideró varias combinaciones de mediciones contextuales que podrían realizarse en tres bits cuánticos entrelazados, o qubits. La lógica de cómo las mediciones anteriores dan forma a los resultados de las mediciones posteriores se ha convertido en la base de un enfoque llamado computación cuántica basada en mediciones. El descubrimiento sugirió que la contextualidad podría ser clave para explicar por qué las computadoras cuánticas pueden resolver ciertos problemas más rápido que las computadoras clásicas, una ventaja que los investigadores han luchado mucho por comprender.

Robert Raussendorf, físico de la Universidad de Columbia Británica y pionero de la computación cuántica basada en mediciones, demostró que la contextualidad es necesaria para que una computadora cuántica supere a una computadora clásica en algunas tareas, pero no cree que sea toda la historia. Si la contextualidad impulsa las computadoras cuánticas "probablemente no sea exactamente la pregunta correcta", dijo. "Pero tenemos que llegar ahí pregunta por pregunta. Así que hacemos una pregunta que entendemos cómo hacer; obtenemos una respuesta. Hacemos la siguiente pregunta".

### **Una prueba sin lagunas**

Algunos investigadores han sugerido lagunas en torno a la conclusión de Bell, Kochen y Specker de que el mundo es contextual. Argumentan que las variables ocultas independientes del contexto no se han descartado de manera concluyente. En febrero, Cabello y Kim anunciaron que habían cerrado todas las lagunas plausibles al realizar un experimento Bell-Kochen-Specker "sin lagunas" (loophole free test).

El experimento implicó medir los espines de dos iones atrapados enredados en varias direcciones, donde la elección de la medición en un ion definió el contexto para el otro ion. Los físicos demostraron que, aunque realizar una medición en un ion no afecta físicamente al otro, cambia el contexto y, por lo tanto, el resultado de la medición del segundo ion.

Los escépticos preguntarían: ¿Cómo puede estar seguro de que el contexto creado por la primera medición es lo que cambió el resultado de la segunda medición, en lugar de

otras condiciones que pueden variar de un experimento a otro? Cabello y Kim cerraron esta "laguna de nitidez" realizando miles de conjuntos de mediciones y demostrando que los resultados no cambian si el contexto no lo hace. Después de descartar esta y otras lagunas, concluyeron que la única explicación razonable para sus resultados es la contextualidad.

Cabello y otros piensan que estos experimentos podrían usarse en el futuro para probar el nivel de contextualidad y, por lo tanto, el poder, de los dispositivos de computación cuántica. “Si realmente quieres entender cómo funciona el mundo”, dijo Cabello, “realmente necesitas entrar en los detalles de la contextualidad cuántica”.

Por lo tanto, habrá en el futuro que hablar no solamente de la no-localidad del entrelazamiento cuántico, sino de la contextualidad de las medidas en Mecánica Cuántica y Teoría Cuántica de la Información, así como de sus efectos en la computación cuántica que está por venir.

Para terminar, dejarme escribir una lista de propiedades de la Física Cuántica a la que todo el mundo debería acostumbrarse:

- 1) Evolución unitaria vía evolución hamiltoniana DETERMINISTA.
- 2) Interpretación estadística del ("cuadrado") vector de estado o función de onda.
- 3) No unitariedad del colapso de la función de onda o postulado de la proyección en los axiomas mecanocuánticos.
- 4) Principio de indeterminación de Heisenberg, que evita la simultánea medida con precisión de observables conjugados.
- 5) No localidad de estados cuánticos entrelazados de sistemas "compuestos" (vía tensorialización).
- 6) Contextualidad cuántica: las medidas de ciertas magnitudes solamente tienen sentido en un contexto o conjunto completo de observables compatibles, y no existen fuera de ese marco, de forma que existen correlaciones sutiles entre las magnitudes que forman parte de un contexto.
- 7) Emergencia del mundo clásico del mundo cuántico: El mundo y el Universo SON cuánticos (y relativistas), por lo que el mundo macroscópico observado es solamente entendible como una aproximación a dicho dominio (similar a lo que ocurre al dominio

de la relatividad especial con partículas rápidas, o al de la relatividad general con espacios altamente curvados).

## Referencias

[1] *Significant loophole-free test of Kochen-Specker contextuality using two species of atomic ions*, Pengfei Wang, Junhua Zhang, Chun-Yang Luan, Mark Um, Ye Wang, Mu Qiao, Tian Xie, Jing-Ning Zhang, Adán Cabello, and Kihwan Kim. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abk1660>

[2] *The Spooky Quantum Phenomenon You've Never Heard Of*, artículo de Katie McCormick

Contributing Writer para Quanta Magazine. URL: <https://www.quantamagazine.org/the-spooky-quantum-phenomenon-youve-never-heard-of-20220622/>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

## 53. Otras leyes, otros Universos, otras dimensiones.

### Todo el mundo conoce o debería conocer las leyes de Kepler del movimiento planetario:

1ª ley de Kepler. Los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del sol. Matemáticamente:

$$r(\varphi) = \frac{a}{1 + e \cos(\varphi + \varphi_0)}$$

2º ley de Kepler. Los planetas se mueven de tal forma que el radiovector que une el planeta con su estrella barre áreas iguales en tiempos iguales, i.e., la velocidad areolar es constante. Matemáticamente:

$$V = \frac{dA}{dt} = \text{constante}$$

3ª ley de Kepler. El cuadrado del período de revolución de un planeta alrededor de su estrella es directamente proporcional al cubo del semieje mayor de la elipse. Matemáticamente:

$$T^2 = kR^3$$

Estas leyes fueron justificadas por Sir Isaac Newton usando el cálculo infinitesimal y una ley de gravitación universal que establece que la fuerza gravitacional de nuestro

Universo es directamente proporcional al producto de masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa dichas masas. Matemáticamente:

$$F_N = G_N \frac{Mm}{r^2}$$

Esta ley está intrínsecamente relacionada a la dimensionalidad de nuestro mundo o Universo. Como la fuerza gravitacional es conservativa, deriva de un potencial (o energía potencial):

$$V(r) = -G \frac{M}{r}$$

Uno podría modificar la ley de Newton de la gravedad y el potencial (y por tanto la fuerza) sería diferente. Por ejemplo, imaginemos un Universo paralelo gobernado por un potencial efectivo dado por

$$V_{ef} = -\frac{GM}{r} \left( 1 + A \frac{M^p}{r^p} \right) + \frac{L^2}{2\mu^2 r^2}$$

donde  $p$  es un número o parámetro arbitrario real. Derivando este potencial respecto de  $r$  se obtiene la relación

$$V'_{ef} = \frac{dV_{ef}}{dr} = \frac{GM}{r^2} + GM^{p+1} A(p+1)r^{-p-2} - \frac{L^2}{\mu^2 r^4}$$

o bien, igualando a cero dicha derivada,

$$\frac{GM}{r^2} + GM^{p+1} A(p+1)r^{-p-2} = \frac{L^2}{\mu^2 r^4}$$

Imponiendo la condición de circularidad a las órbitas, mediante  $L = \mu r^2 \Omega$ ,  $L^2 = \mu^2 r^4 \Omega^2$ , tenemos que

$$\frac{GM}{r^2} \left( 1 + \frac{M^p A(p+1)}{r^p} \right) = \frac{\mu^2 r^4 \Omega^2}{\mu^2 r^4}$$

de donde se deduce una tercera ley de Kepler modificada de la forma siguiente

$$\boxed{\Omega^2 = \frac{GM}{r^3} \left( 1 + \frac{M^p A(p+1)}{r^p} \right)}$$

La propia ley de Newton de la gravedad puede modificarse en dimensiones superiores, con  $D$  dimensiones espaciotemporales, de forma que adopte la forma

$$F = G_D \frac{Mm}{r^{D-2}}$$

En el fondo, es una suerte de ley de área hiperdimensional. En Matemáticas, el teorema de Stokes generalizado engloba los teoremas clásicos de Stokes, de la divergencia de Gauss y otros varios bajo la forma sucinta

$$\int_{\partial\Sigma} \omega = \int_{\Sigma} d\omega$$

Como aplicación heurística, este teorema permite, vía el campo auxiliar

$$\vec{F} = \vec{r} = \sum_{i=1}^N x^i e_i = r \vec{u}_r$$

definir recurrencias dimensionales de volúmenes-hiperáreas de la

(hiper)esfera. Tomando el dual de este campo  $\star \vec{F} = \sum_{i=1}^{N-1} x_i dx^1 \wedge \dots \wedge dx^{N-1} = \omega$ .

Tomando la derivada exterior de esta  $(N-1)$ -forma se tiene que  $d\omega = N d\text{vol}$ . Entonces, por el teorema de Stokes generalizado, el miembro izquierdo es ( $\Sigma$  es la hipersuperficie asociada a un volumen  $\omega$ ):

$$\int_{\partial\Sigma} \omega = r \Sigma_{N-1}$$

y el miembro derecho es

$$\int_{\Sigma} d\omega = N \int d\Sigma_N = NV(N)$$

Igualando, obtenemos la recurrencia dimensional  $V(N) = \frac{rV(N-1)}{N}$ . Como  $V(N-1) = 2\pi r V(N-2)$ , este equivale a

$$\boxed{V(N) = \frac{rV(N-1)}{N} = \frac{2\pi r^2 V(N-2)}{N}}$$

Artículo libre original sin fuente propia concreta, escrito por Juan F. González.

## 54. Contando los Universos del Multiverso con grandes números.



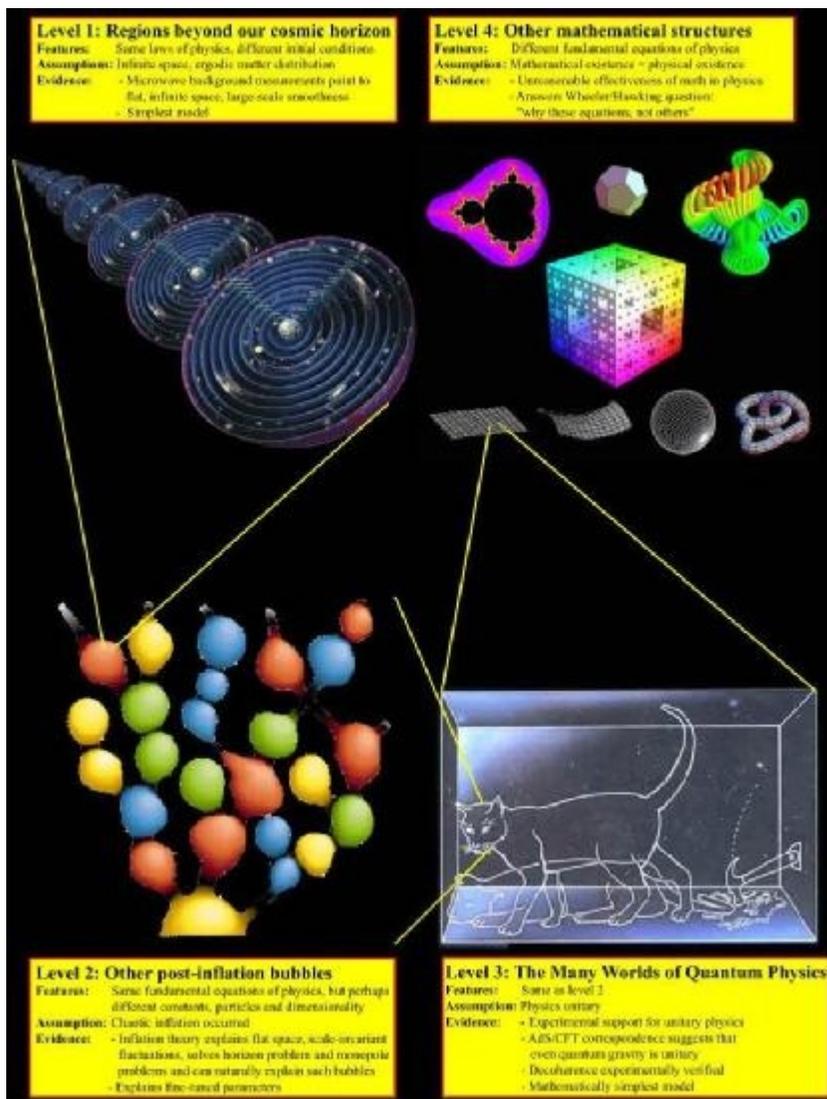
## **El Multiverso y los grandes números**

Nota: El siguiente artículo, como el que se basa, no considerará el efecto de los llamados cerebros de Boltzmann.

### **Introducción**

El Multiverso es un concepto que admite diferentes definiciones o niveles. Según los estudios de Max Tegmark habría 4 niveles de Multiverso, que ya hemos tratado antes en el noticiero:

1. Nivel uno. Diferentes Universos burbujas con las mismas leyes, no afectados causalmente. Diferentes condiciones iniciales del Universo/Multiverso. Causa: Big Bang y condiciones iniciales.
2. Nivel dos. Diferentes Universos burbujas con las mismas leyes físicas, pero diferentes constantes de la Naturaleza, diferentes partículas y diferente dimensionalidad. Causa: inflación o inflación caótica o eterna.
3. Nivel tres. Física Cuántica del los Muchos Mundos/Universos. Causa: cada medida cuántica causa un Universo real que no percibimos y en principio no conectado causalmente ni interactuante con nosotros.
4. Nivel cuatro. Otros Universos matemáticos o físicos. Diferentes ecuaciones de la Física y Matemáticas, diferentes constantes, diferentes estructuras matemáticas.



**Figura 1.** Los niveles de Multiverso. Créditos: Max Tegmark.

Podría especularse con un quinto nivel de Multiverso en el que no se rigieran todos los Universos por leyes de tipo matemático de ningún tipo, pero no parece corresponderse con la realidad ni sabríamos estudiar ese caso. En este artículo nos centraremos en los efectos del Multiverso en el nivel dos, y la inflación caótica o eterna. Así, nos centraremos en evaluar o estimar el número de posibles Universos del Multiverso con argumentos intuitivos sencillos.



**Figura 2.** Multiverso y los Universos burbuja.

La teoría de la inflación tiene múltiples formas. El número de Universos está ligado a la magnitud física entropía (el número de Universos podemos imaginarlo como el número de configuraciones posibles del Multiverso). Para un Universo de tipo de Sitter, con aceleración positiva como el nuestro pero pequeña, la escala de la inflación está relacionada con la denominada constante cosmológica vía

$$H^{-1} \sim \Lambda^{-1/2}$$

y la entropía

$$S(dS) = 24 \pi^2 \Lambda^{-1} \sim 24 \pi^2 H^{-2}$$

En un Universo de Sitter, la escala de la denominada "slow-roll inflation" o inflación lenta de rodadura está relacionada con la constante de Hubble  $H$ . Sin embargo, esto lleva también considerar diferentes posibilidades de potencial (energía potencial). Podríamos entonces distinguir entre varias posibilidades:

Inflación eterna (caótica), que implica un número de Universos-burbuja  $\mathcal{N}_U$ .  
 Expansión puramente de Sitter, con  $N_\Lambda$  Universos.  
 El landscape o paisaje de vacíos o Universos posibles generados en teorías de

(super)cuerdas/Teoría M..., con  $\mathcal{N}_S$ .  
 Además, la propia materia del Universo en cuestión tiene su propia entropía o configuraciones, y uno podría preguntarse sobre si las geometrías y topologías posibles supera o no el número de observadores (inteligentes) del Universo en el que vivimos. Estas entropías las denotaremos por  $S_m$  y  $S_o$ .

**Caso 1. Slow-roll inflation/Inflación de rodadura lenta.**

El número de Universos que generaría un campo de inflación, a veces llamado inflatón, en cada salvo o e-fold es del orden

$$\text{Jump} = \text{Salto} \sim \frac{H_I}{2\pi}$$

Un argumento sencillo para contar todos los Universos a lo largo de todos los saltos del campo inflatón sería calcular el llamado número de "e-folds" mediante la expresión

$$\mathcal{N}_{\text{efold}} \sim \exp\left(C \sum_{j=1}^N e^{3j}\right) = \exp(ce^{3N}) \sim e^{e^{3N}}$$

Para nuestro Universo, si fijamos para cuadrar la constante cosmológica actual y resolver el problema de la planitud que el número de e-folds es 60, se tiene que existirían

$$\mathcal{N} \sim e^{e^{180}} \sim 10^{10^{77}} \sim 10^{S_{BH}(M_{\odot})}$$

Es decir, el número de Universo de inflación "slow-roll" es exponencialmente gigante, 10 elevado a la entropía de un agujero negro de masa solar...Alucinante.

**Caso 2. Inflación caótica (eterna).**

Los denominados modelos de inflación caótica surgen de potenciales de tipo

$$V(\phi) = \frac{\lambda_n \phi^n}{n}$$

El término cáotico se debe a que es impredecible su (auto)replicación (universal) de forma infinita, y desde el punto de vista cosmológico tiene lugar "eternamente". La relación de caos cosmológico y caos cuántico sugiere conexiones entre exponentes de Liapunov y constantes de desintegración que no analizaremos aquí hoy. Para modelos de inflación caótica, podemos estimar el número total de Universos emergentes mediante la entropía de de Sitter asociada a la masa de la partícula escalar del campo inflatón. Así, se tiene aproximadamente que

$$\mathcal{N}_e \sim C_n S_e = C_n S(dS) \sim cm^{-1}$$

Tomando, e.g.,  $m \sim 3 \cdot 10^{-6}$  (en unidades naturales), se obtiene

$$\mathcal{N}_e \sim 10^7$$

que no es un número demasiado grande, pero que da para el número de Universos (cf. la fórmula general del caso 1 anterior):

$$\mathcal{N} \sim e^{e^{3\mathcal{N}_e}} \sim e^{e^{3 \cdot 10^7}} \sim 10^{10^{10^7}} > 10^{10^{100}} = 10^{\text{googol}}!$$

### Caso 3. Universo de Sitter puro.

Universos posibles para un Universo en el que la inflación es esencialmente la constante cosmológica o energía del espacio vacío. Hagamos unas estimaciones previas de la ecuación de estado de la materia en tal Universo. Si  $P(\omega) = \omega\rho$ , entonces para una partícula de materia con dicha ecuación de estado en un Universo de Sitter se tendrá

$$S_p \approx H_I^{\frac{1+3\omega}{1+\omega}} |\Lambda|^{-\frac{1+3\omega}{2+2\omega}} \rightarrow 10^{82}$$

y entonces, para  $\omega = 1/3$  y el valor observado de la constante cosmológica,  $S \approx H_I^{3/2} |\Lambda|^{-3/4}$ , y obtenemos que

$$\mathcal{N}_e \sim 10^{10^{82}}$$

habiendo usado que  $S_p \approx 10^{82}$ , que es aproximadamente del orden del número de protones del Universo observado.

### Caso 4. Universos en el landscape o paisaje de la teoría de (super)cuerdas.

Supongamos que la teoría de cuerdas predijera que existen  $M$  posibles vacíos (Universos) compatibles con nuestro Universo. Entonces,

$$\mathcal{N}_S \approx \sum_{j=1}^M e^{|\Lambda_j|^{-3/4}}$$

Varias elecciones populares para  $M$  son:

$$M = 10^{500} \text{ (string landscape usual)}$$

$$M = 10^{272000} \text{ (número de vacíos y geometrías predichas por teoría F)}$$

$$M = 10^{15} \text{ (número de vacíos compatibles por orientifolds en teoría F)}$$

Sin embargo, hay muchas otras elecciones posibles...Y el número de vacíos (y por tanto de Universos) puede ser mucho mayor o menor, dependiendo de las hipótesis y modelos (bastante ad hoc en general). Para un Universo de Sitter con constante cosmológica pequeña, podemos estimar que  $N(max) \sim 290 \sim -\log|\Lambda|/4$ , y que  $M \sim 10^{500}$ . Para tal caso, tenemos entonces unos 70 e-folds, y un número de universos de Sitter compatibles con

$$\mathcal{N}_{dS}(landscape) \sim e^{|\Lambda(min)|^{-3/4}} \sim e^{3M/4} \sim 10^{10^{375}}$$

que si bien es menor que algunos casos anteriores, sigue siendo un número enorme de Universos. Nótese que uno podría pensar que si la constante cosmológica fuera nula, tendríamos un número posible de Universos infinito. Pero eso no sería del todo correcto porque debería hacerse compatible con el potencial de inflación y otras cotas naturales del interior de nuestro Universo. Por ejemplo, para nuestro Universo sabemos que

$$\mathcal{N} \leq |\Lambda|^{-3/4} \sim 10^{90}$$

y la entropía del agujero negro de nuestra galaxia es aproximadamente

$$S_{BH}(MilkyWay) \sim 10^{100}$$

Por otra parte, el número de observadores de nuestro Universo debería satisfacer la cota de Bekenstein

$$\mathcal{N}_O < S(Bek) = e^{2\pi MR} \leq e^{10^{45}}$$

donde hemos asumido  $M \sim 10^2$  y  $R \sim 1$ . Además, una estimación grosera del número de configuraciones de nuestro cerebro humano, permite deducir que éste posee aproximadamente

$$\mathcal{N}_{obs}(Brain) \sim 10^{10^{16}}$$

posibles configuraciones, que es para todos los propósitos prácticos, aparentemente, mucho mayor que el número de vacíos o geometrías/topologías de tipo de Sitter posibles en los modelos estudiados.

## Referencias

[1] *How many universes are in the multiverse?*, Andrei Linde, Vitaly Vanchurin, arxiv: <https://arxiv.org/abs/0910.1589>

[2] *The F-theory geometry with most flux vacua*, Washington Taylor, Yi-Nan Wang, arxiv: <https://arxiv.org/abs/1511.03209>

[3] *A Quadrillion Standard Models from F-theory*, Mirjam Cvetič, James Halverson, Ling Lin, Muyang Liu, Jiahua Tian, arxiv: <https://arxiv.org/abs/1903.00009>

Artículo editado y escrito por Juan F. González.

## 55. Las ecuaciones del Universo y las fuerzas fundamentales.

Nuestro Universo conocido comprensible está gobernado por 4 fuerzas fundamentales y un campo adicional que no comprendemos,

o más correctamente, podemos entender el 5% del Universo observable (no el 95% no comprensible que llamamos Universo Oscuro hoy día) atendiendo a 4 fuerzas fundamentales:

1. **La fuerza electromagnética.** Explica los fenómenos eléctricos y magnéticos, la inducción electromagnética. Es una fuerza descrita por una teoría gauge abeliana de tipo Yang-Mills, y está asociada a los procesos de intercambio de cargas eléctricas. No existen aparentemente los monopolos magnéticos, los diones (entes con cargas eléctricas y magnéticas) ni los llamados axiones (campos pseudoescalares que combinan los campos eléctricos y magnéticos de forma que se viola la llamada simetría axial o quiralidad). Las partículas o excitaciones del campo electromagnético se denominan fotones y no tienen masa. Hay dos tipos de carga eléctrica, llamada positiva y negativa.

2. **La fuerza nuclear fuerte.** Explica la existencia de protones, neutrones y otras partículas de tipo bariónico y mesónico, así como la estabilidad del núcleo atómico. Es una fuerza de corto alcance a diferencia del electromagnetismo o la gravedad. Se describe como una teoría de tipo Yang-Mills no abeliano, mediante intercambios de partículas o cuantos de color llamados gluones. Los gluones no tienen masa, pero los bariones y mesones sí, mediante un fenómeno asociado a la libertad asintótica y el confinamiento. El mass-gap de la teoría de la cromodinámica cuántica es un problema aún sin resolver. La denominada transmutación dimensional que tiene lugar cuando aparece dinámicamente la escala de QCD introduce una masa en la teoría, pero no ha podido aún entenderse el origen de la masa del protón o neutrón. Los procesos de esta interacción intercambian la carga de color, carga abstracta que se denomina generalmente R, G y B.

3. **La fuerza nuclear débil.** Explica la existencia de la radioactividad y los neutrinos. Es una fuerza de corto alcance gobernada por una teoría Yang-Mills no abeliana como la

interacción anterior, mediada por fotones masivos denominados bosones W y Z. Hay dos bosones masivos llamados  $W^+$  y  $W^-$ , y uno sin carga llamado bosón Z. Para que los bosones electrodébiles, puesto que esta interacción está unificada con el electromagnetismo a escalas de energía del orden de 100GeV o mayores, tengan masa es necesario incorporar otro campo adicional asociado a otra interacción que no se entiende, la interacción de Higgs-Yukawa (que sería la quinta interacción fundamental, la dadora de masa).

**4. La fuerza gravitacional.** Descubierta por Isaac Newton y su gravitación universal, hoy día descrita en términos de la Teoría de la Relatividad Generalizada de Einstein. Es la única fuerza fundamental no descrita por una teoría Yang-Mills, sino por una teoría geométrica de tipo métrico pseudoriemanniano. El espacio-tiempo es el campo gravitacional, y su fuerza está ligada a la variación en el espacio-tiempo de una métrica o tensor de segundo orden, definido a través de una conexión afín de torsión nula. Predice numerosos efectos que se han comprobado, pero aún no hemos encontrado indicios de cómo describir esta teoría a nivel cuántico de forma coherente a cualquier escala de energías porque produce divergencias o infinitos que no tienen sentido. Es el llamado problema de la no-renormalizabilidad de la gravedad cuántica, parcialmente resuelta (pero no totalmente entendida) desde el marco de la teoría de (super)cuerdas o la gravedad cuántica de bucles.

Hay también el campo extra que conocemos desde el año 2012, pero predicho desde los años 70 del siglo XX: el campo de Higgs. El campo de Higgs está distribuido por todo el Universo como el resto de campos de fuerzas. La interacción con él proporciona valores de expectación en el "vacío" que da masa a las partículas que interactúan con él mediante un procedimiento llamado ruptura espontánea de simetría (o simetría oculta).

**Fuerza de Maxwell: el electromagnetismo abeliano**  $G = U(1)$

La curvatura de cierta geometría de tipo Yang-Mills está asociada a un fibrado tangente principal. Dicha curvatura viene descrita por un objeto denominado 2-forma que satisface una identidad llamada identidad de Bianchi:

$$D_\mu \star F^{\mu\nu} = 0$$

siendo  $\star F$  el dual de Hodge del tensor campo electromagnético  $F = F^{\mu\nu}$ . Este tensor campo es definido en términos de una 1-forma o potencial-vector electromagnético mediante la ecuación

$$F_{\mu\nu} = D_\mu F_\nu - D_\nu F_\mu = -F_{\nu\mu}$$

que es como se ve antisimétrico en los índices. El potencial-vector o 1-forma  $A_\mu$  es la conexión sobre el denominado fibrado del espacio-tiempo tangente. Por dicha antisimetría, se satisface la relación

$$D_\mu D_\nu F^{\mu\nu} = 0$$

Es importante señalar que la geometría y dinámica de las dos fuerzas "clásicas" (gravitación y electromagnetismo) se sigue de la geometría y dinámica del espacio-tiempo de tipo pseudoriemanniano para el caso gravitacional, y la geometría de un fibrado principal del espacio-tiempo a un grupo abeliano  $U(1)$  de tipo Yang-Mills, ambas con conexiones gobernadas por cierto tipo de "curvatura". Sin embargo, la gravedad no es una teoría Yang-Mills, sino una teoría gauge basada en un grupo infinito-dimensional llamado grupo de difeomorfismos. Es decir, el electromagnetismo (o las fuerzas nucleares) son teorías gauge renormalizables (incluso en los casos no abelianos que veremos a continuación), pero la gravitación es una teoría gauge para una conexión afín de un grupo más complicado y no de tipo Yang-Mills.

**Fuerzas no abelianas nucleares: las fuerza fuerte y débil**  $G = SU(2)_w$  y  $G = SU(3)_c$

En el caso de las fuerzas nucleares, de corto alcance, hay que estudiar un grupo gauge de tipo Yang-Mills general de tipo  $SU(N)$ , con un determinado número de coordenadas internas. De hecho, se puede entender el caso abeliano como  $SU(1) = U(1)$ , pero incluye también el caso de fuerzas no abelianas y autointeractuanes para  $N > 1$ . Así, para  $N = 2$  tenemos la teoría (electro)débil, y para  $N = 3$  la teoría gauge del color de las interacciones nucleares fuertes. Supongamos que hay unos campos cuánticos etiquetados como  $\psi_a$ , que se transforman bajo representaciones de los grupos  $SU(N)$  mediante matrices arbitrarias denotadas por  $(T_A)_a^b$ , de forma que

$$\delta\psi_a = i\epsilon^A (T_A)_a^b \psi_b$$

En ese caso, definimos la denominada derivada covariante a lo largo del campo Yang-Mills como el operador diferencial asociado a una conexión o potencial gauge no abeliano  $G_a^A$  de la forma siguiente

$$\delta G_j^A = \partial_j \epsilon^A + i\epsilon^C (\overline{T_C})_B^A G_j^B$$

donde  $\overline{T}$  representa la denominada representación adjunta del grupo de matrices. De esta forma, la derivada covariante resulta ser

$$(D_j \Psi)_b = \partial_j \Psi_b - i G_j^B (T_B)_b^c \Psi_c$$

Para esta clase de teorías, puede probarse la identidad

$$([D_j, D_k] \Psi)_a = -i (T_A)_a^b F_{jk}^A \Psi_b$$

con la curvatura no abeliana definida por

$$F_{jk}^A = \partial_j G_k^A - \partial_k G_j^A + i (\bar{T}_C)_B^A G_j^B G_k^C$$

El término que diferencia el electromagnetismo de las fuerzas nucleares es el último término del miembro derecho anterior, pues introduce autointeracciones entre los bosones intermediarios de la fuerza. Además, en el caso de la interacción débil, sabemos que los bosones deben ser masivos, lo que conlleva la introducción de un campo adicional, el campo de Higgs del que hablaremos en la última sección.

Para analizar la teoría de tipo Yang-Mills uno construye un objeto matemático llamado lagrangiano, que en el caso de una simetría gauge  $SU(N)$  adopta la expresión

$$L = \frac{1}{4} F_{jk}^A F^{Bjk} \delta_{AB} + L_{matter}(\Psi_a, (D_m \Psi)_a, \dots)$$

Esto permite definir, via un teorema denominado de Noether, una corriente y cargas conservadas, mediante la expresión o cantidad

$$J_A^j = -i \frac{\partial L_m}{\partial (D_j \Psi)_a} (T_A)_a^b \Psi_b$$

de forma que  $D_k F_A^{kl} = -J_A^l$ , y  $D_\mu J_A^\mu = 0$ . Los gluones son transparentes al campo de Higgs, por lo que permanecen sin masa al igual que el campo electromagnético abeliano estándar. En cambio, los bosones débiles W y Z se acoplan al campo de Higgs y adquieren masa mediante el mecanismo de ruptura espontánea de simetría.

### Fuerza de Higgs: campo dador de masa $\phi$

El bosón de Higgs no está en principio asociado a ninguna simetría gauge o estándar conocida. Su construcción se basó inicialmente en modelos análogos de superconductividad, y en la necesidad de proporcionar masa a los fotones masivos W y Z (masas medidas de facto en experimentos del siglo XX). Matemáticamente, el campo de Higgs es un campo escalar definido mediante una interacción de Yukawa

$$L_H = g_Y \phi \Psi \bar{\Psi}$$

junto a un término cinético  $L_k(\phi) = |D_\mu \phi D^\mu \phi|$ , con un término adicional de interacción  $V(\phi) = -\mu^2 \phi^2 + \lambda \phi^4$ . No se conoce una justificación clara de los valores de  $\mu$  o de  $\lambda$ , se fijan experimentalmente, de igual forma a como se mide el valor de expectación en el vacío del campo  $\langle \phi_0 \rangle \approx 246 \text{ GeV}$ . Una vez medido este valor y su masa (se midió por primera vez en 2012), el Modelo Estándar está "completado". Incluso aunque no sabemos qué son la materia y energía oscuras, que NO pueden ser campos de los que hemos visto hasta ahora, ni de materia ni de energía (bosones) asociados a los campos Yang-Mills introducidos en este artículo hasta el momento. El campo de Higgs no da la masa a los protones o neutrones, pero sí a las partículas llamadas elementales, como electrones o quarks, los neutrinos, etc. El campo de Higgs evita con eso que los electrones escapen a la velocidad de la luz de los átomos, pero no por qué el núcleo atómico y los hadrones/mesones tienen un mass-gap o escala de energía propia.

### **La gravitación: la fuerza más enigmática a nivel cuántico**

La gravitación no tiene una descripción cuántica coherente hasta la fecha (a pesar de éxitos parciales como los marcos de cuerdas o gravitación cuántica de bucles) a toda escala de energías.

La gravedad se describe hoy día por la teoría de Einstein de la Teoría General de la Relatividad, que describe el espacio-tiempo como una métrica en un espacio-tiempo pseudoriemanniano (sin torsión) con una conexión afín. La curvatura de la teoría de la gravedad einsteniana se describe mediante un tensor de cuarto orden

$$R_{\mu\nu\sigma\tau} = \Lambda(g_{\mu\sigma}g_{\nu\tau} - g_{\mu\tau}g_{\nu\sigma})$$

Este espacio-tiempo, via  $\Lambda$  puede ser de Sitter si dicho parámetro es positivo, anti-de Sitter si la constante cosmológica es negativa, o bien Minkovski-plano si es nula. Hoy día, los datos parecen sugerir que dicha constante cosmológica es no nula pero muy pequeña, y positiva, por lo que el Universo en el que vivimos es un espacio-tiempo casi de Sitter con expansión acelerada positiva. La derivada covariante en un espacio-tiempo debe satisfacer también la identidad algebraica  $D^2 = 0$  como en las teorías Yang-Mills, que es lo que se denomina como identidad de Bianchi (visto anteriormente). John A. Wheeler llamaba a este hecho "la frontera de una frontera es cero", esto es, implica una ley de conservación. De esta forma, la derivada covariante (que usa la conexión afín de Riemann-Chistoffel) debería satisfacer la identidad

$$D_{[\alpha} R_{\mu\nu]\sigma\tau} = 0$$

Si tomamos la traza, multiplicando por  $g_{\mu\nu}g^{\sigma\tau}$ , se llega a la ecuación

$$D_\alpha G^\alpha_\beta = 0$$

donde

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 0, \text{ siendo}$$

$$R_{\mu\nu} = g^{\sigma\tau} R_{\mu\nu\sigma\tau}$$

$$R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$$

Integrando la ecuación diferencial del tensor  $G$ , se deducen las ecuaciones del campo gravitacional de Einstein

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

con

$$D_\mu T^{\mu\nu} = 0$$

la ley de conservación de la energía-momento-impulso. El espacio-tiempo le dice a la materia-energía cómo moverse, la materia-energía le dice al espacio-tiempo cómo curvarse.

Varias preguntas surgen a continuación que, aún, no tienen respuesta:

- ¿Cómo se cuantiza el campo gravitacional para toda escala de energías?
- ¿Hay otras fuerzas que expliquen el Universo Oscuro? ¿Hay otras partículas de materia, materia oscura, descritas por campos que no pertenecen al Modelo Estándar anterior?
- ¿Cuál es el origen de la masa y el valor de expectación en el vacío del campo de Higgs? ¿Y de sus acoplos  $M_Y = \lambda_Y \langle \phi_0 \rangle$  que dan lugar a las masas de los campos fundamentales?
- ¿Qué simetría o simetrías protegen al campo de Higgs para no recibir correcciones cuánticas a la masa, manteniéndolo liviano en la escala electrodébil que observamos?
- ¿Es la constante cosmológica realmente constante o varía lentamente en el espacio-tiempo siendo un campo cuántico tipo quinta-esencia o energía fantasma, o tal vez algo más extraño?

- ¿Cuál es la descripción unificada de la gravedad (teoría clásica geométrica) con las teorías cuánticas de Yang-Mills antes sintetizadas?
- ¿Cómo se soluciona el problema de la divergencia o singularidad de los agujeros negros predichos por la teoría general de la relatividad? ¿Y el Big Bang? ¿Cuál es el destino final del Universo/Multiverso y de los agujeros negros?

El Modelo Estándar describe aproximadamente como hemos resumido antes 3 de las 4 interacciones a nivel cuántico. A nivel cosmológico, la Teoría General de la Relatividad aproxima la geometría del Universo a una métrica de tipo homogéneo e isótropo, conocida como métrica de Friedmann-Robertson-Walker. Estas métricas permiten simplificar el estudio del Universo si se introducen ecuaciones de estado para los fluidos de materia y energía cósmica, mediante  $p = \omega\rho$ , y la resolución de las ecuaciones de Friedmann siguientes:

$$\frac{\dot{a}^2 + kc^2}{a^2} = \frac{8\pi G\rho + \Lambda c^2}{3}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G\rho}{3} \left( \rho + \frac{3p(\rho)}{c^2} \right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Estas ecuaciones son la base del denominado Modelo Estándar Cosmológico. Recientes medidas del parámetro de Hubble ponen en tensión su validez, porque varios métodos conducen a parámetros de Hubble que difieren en varias desviaciones estándar de su valor aceptado. No se sabe resolver ese problema aún (circa Junio 2022).

### **Síntesis de 2 Pilares y Modelos Estándares: el Modelo Estándar de la Física de partículas y el Modelo Estándar Cosmológico**

El microcosmos actual está descrito en la actualidad por el Modelo Estándar, y un lagrangiano

$$\mathcal{L}_{SM} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\Psi}\gamma \cdot D\Psi + h.c. + \Psi_i Y_{ij} \Psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

y con el potencial de Higgs

El macrocosmos actualmente está descrito por la Teoría General de la Relatividad (teoría no cuántica), en particular por un modelo denominado  $\Lambda$ CDM (que incluye materia oscura y energía oscura sin especificar concretamente su estructura microscópica) basado en la homogeneidad e isotropía del Universo a grandes escalas, lo que permite

una simplificación de las ecuaciones de campo de Einstein

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

basada en un lagrangiano

$$L_G = R + L_m + L_\Lambda$$

y cuya solución efectiva se realiza mediante las ecuaciones de Einstein aplicada a métricas de tipo Friedmann-Robertson-Walker. La especificación de la forma de materia-energía se hace mediante una ecuación de estado .

### Una ecuación sintética formal del Universo conocido observable no oscuro

Una síntesis del 5% del Universo que podemos explicar viene dada por la siguiente ecuación formal:

The diagram shows the action  $W$  as an integral over  $k < \Lambda$  of  $[Dg][DA][D\psi][D\Phi]$  multiplied by an exponential term. The exponential term is  $\exp \left\{ i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{m_p^2}{2} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F^{a\mu\nu} + i \bar{\psi}^i \gamma^\mu D_\mu \psi^i + \left( \bar{\psi}_L^i V_{ij} \Phi \psi_R^j + \text{h.c.} \right) - |D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi) \right] \right\}$ . Red lines with dots at the ends group terms: 'quantum mechanics' covers the integration and the exponential; 'spacetime gravity' covers the  $R$  term; 'other forces' covers the  $F^2$  term; 'matter' covers the fermion and Higgs terms; and 'Higgs' covers the  $V(\Phi)$  term.

**Figura 1.** Una ecuación para el 5% del Universo. Si bien pierde algunos términos adicionales cuánticos, y la gravedad no es realmente bien entendida, a nivel formal podríamos decir que esta expresión sintetiza nuestro conocimiento actual del Universo (no sin ciertas incoherencias mencionadas).

El Universo y Multiverso se dejan describir por Matemáticas y la Física, ¿no resulta eso perturbadoramente incomprensible?

*Artículo editado y original de apuntes propios y síntesis de lecturas propias, por Juan F. González*

## Tabla de contenidos

1. Del año -99999 al +100000 con Stellarium.
2. Imágenes directas de exoplanetas con lentes gravitacionales.
3. Nuevo elusivo superhidruro superconductor a alta presión sintetizado.
4. Sincronización topológica de sistemas caóticos.
5. En busca de agujeros negros de masa intermedia.
6. La órbita de Plutón es sorprendentemente inestable en sus proximidades.
7. Estados de la materia: ¿cuántos hay?/ States of matter: how many of them?
8. Los poderes del telescopio JWST.
9. Armas y guerras nucleares.
10. Energía oscura como quintaesencia.
11. Nuevas fuentes de ecos de agujeros negros.
12. Nueva alternativa para computación cuántica con átomos neutros.
13. Red cuántica para macrotelescopio óptico.
14. 12 de Mayo de 2022: el día de SgA\*.
15. Cristales de fotones.
16. Agujeros negros estelares en sistemas binarios: la lista de la NASA.
17. Nuevo sistema binario viuda negra.
18. Hacia la misión LISA.
19. Nueva aleación con memoria creada con IA.
20. Un (radio)telescopio en la Luna.
21. Calculando la radiación Hawking.
22. Agujeros negro simétricos y sus aproximaciones.
23. Agujero negro a la carrera.
24. Agujero negro supermasivo invirtió su campo magnético.
25. Estudios del pseudogap en cupratos.
26. Detección del efecto Unruh: un nuevo avance.
27. Planetas errantes como arcas interestelares.
28. Estrella con “estándar de oro” (golden standard star).
29. El telescopio espacial James Webb está casi listo para la acción.
30. Midiendo la sombra de agujeros negros.
31. Nuevos métodos para ver agujeros negros.
32. ¿Hemos roto el Modelo Estándar de partículas?
33. Esferas de Dyson y enanas blancas.
34. El agujero negro de SgA\* visto por el EHT.
35. Un universo “espejo” (oscuro) como origen de la discrepancia de Hubble.
36. Mrk 462.
37. Bellotas y óxido.
38. Capecitabina.
39. 2 exoplanetas ardientes para el JWST.
40. Agua metálica.

- 41. El sorprendente Saturno.**
- 42. El curioso planeta Neptuno.**
- 43. Nueva aleación flexible Cobalto-Cromo.**
- 44. Nueva fuente de radio descubierta en radioastronomía.**
- 45. Los casi imposibles cristales de tiempo.**
- 46. El programa Langlands.**
- 47. Un púlsar tortuga de 76 segundos.**
- 48. Nuevos exoplanetas a 10 pc de distancia.**
- 49. ILMT: el telescopio con espejo de mercurio líquido.**
- 50. Alcanzar el Big Bang.**
- 51. Correspondencias misteriosas.**
- 52. Contextualidad cuántica.**
- 53. Otras leyes, otros Universos, otras dimensiones.**
- 54. Contando los Universos del Multiverso con grandes números.**
- 55. Las ecuaciones del Universo y las fuerzas fundamentales.**