

Mitma, a través del IGN,  
participa en el Consorcio EHT,  
premiado por obtener la primera  
imagen de la sombra  
de un agujero negro

# Agujeros negros

Gran auge en el  
estudio de los astros  
más asombrosos  
del universo

## Garbanzos prodigiosos

Las propiedades de los agujeros negros son asombrosas y su descubrimiento, las sucesivas confirmaciones de su existencia y el estudio de sus características se encuentran entre los mayores logros científicos de los últimos cincuenta años. No debe resultar extraño que el interés por estos objetos traspase las fronteras de la astrofísica, pues sus propiedades permiten

realizar los tests más exigentes que podamos imaginar a la relatividad general. Los agujeros negros captan pues la atención de un gran abanico de personas, desde los físicos más fundamentales hasta los filósofos de la naturaleza, pasando por todos los que sienten curiosidad por los prodigios de nuestro mundo.

El estudio de estos exóticos objetos, consecuencia extrema del poder de la fuerza de la gravedad, entraña muchas dificultades, pero es fácil comprender

cuáles son sus fundamentos. Para ello, imaginemos primero que, desde la superficie de la Tierra, lanzamos un objeto hacia arriba en la vertical, todos sabemos que la fuerza de la gravedad hace que el objeto vuelva a caer. Para que un cohete escape de la gravedad terrestre hace falta imprimirle una velocidad muy alta: más de 40.000 kilómetros por hora, valor que se denomina 'velocidad de escape'. Por supuesto, la velocidad de escape es aún mayor para cuerpos más masivos que la Tierra, si son de

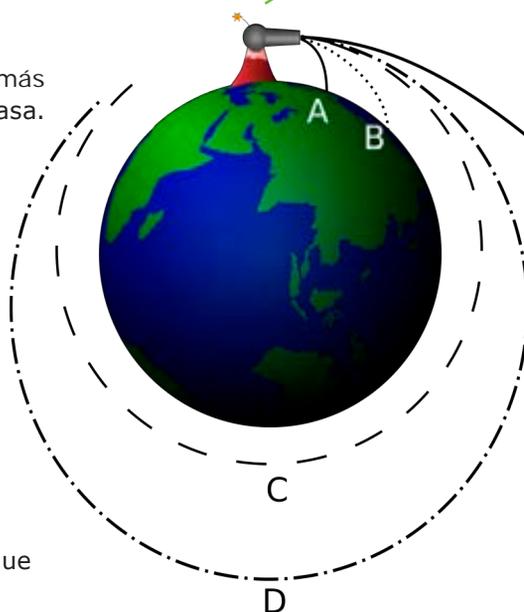
Los agujeros negros están en la cresta de la ola y, en gran medida gracias a ellos, la astrofísica se mantiene en el centro de la actualidad científica. Hace tres años, mientras el Nobel 2017 premiaba la detección de ondas gravitacionales que delatan las colisiones de agujeros negros de masas estelares, el Event Horizon Telescope (EHT) realizaba las observaciones revolucionarias que conducirían a la primera imagen de la proximidad de un agujero negro supermasivo, un resultado que ya ha recibido numerosos premios internacionales. Y no habíamos terminado de celebrar estos logros cuando el Nobel de Física 2020 fue otorgado a tres estudiosos de estos objetos que a todos nos apasionan. En varios de estos acontecimientos el Instituto Geográfico Nacional viene estando en primera línea.

■ **Texto: Rafael Bachiller.**  
**Astrónomo y director**  
**del Observatorio Astronómico**  
**Nacional (IGN, MITMA)**

*La velocidad de escape es la que hay que imprimir a un cuerpo para que se libere de la gravedad terrestre. Por ejemplo, imaginemos un cañón que dispara proyectiles con cada vez más velocidad. Los proyectiles A y B caen en tierra. El proyectil C entra en órbita circular y el D en órbita elíptica. El proyectil E, cuya velocidad inicial supera a la de escape, tiene energía suficiente para superar la atracción terrestre y escapar.*

igual tamaño, o para otros más pequeños si son de igual masa.

Si concentrásemos toda la masa de la Tierra en una esfera del tamaño de un garbanzo, la velocidad de escape desde este objeto de densidad inimaginable superaría los 300.000 kilómetros por segundo, esto es, el valor de la velocidad de la luz. En este caso sería imposible lanzar un objeto desde su proximidad para que



escapase de su gigantesca atracción gravitatoria pues no hay nada que pueda trasladarse más deprisa que la velocidad de la luz. Ni siquiera la luz tendría suficiente velocidad para escapar de la superficie de tan prodigioso garbanzo. Este garbanzo parecería ser un auténtico 'agujero', pues todo lo que pasase por sus proximidades caería irremediabilmente sobre él, y

sería 'negro' pues desde allí no podría emanar nada de luz.

De manera similar, podemos imaginar agujeros negros con masa mucho mayor. Así, cuando la masa de una estrella queda concentrada en una esfera del tamaño de una pequeña ciudad, tenemos agujeros negros de tipo estelar: son los residuos que quedan tras una explosión de supernova. Y cuando se concentra una masa equivalente a varios millones, o hasta miles de millones, de soles en una región del tamaño de las órbitas de los planetas del sistema solar, se crea un agujero negro supermasivo: son los que se encuentran alojados en el núcleo de casi todas las galaxias espirales y elípticas.

### Hawking perdió la apuesta

Hoy no quedan dudas de la existencia de los agujeros negros, pero durante muchos años solo fueron una entelequia. A finales del s. XVIII el británico John Michell y, poco después, el francés Pierre Laplace, ya especularon con las propiedades de objetos de este estilo, aunque no pudieran ni sospechar entonces de la existencia de la relatividad de Einstein. Fue en 1916 cuando Einstein predijo, por vez primera de manera realista, la existencia de tales objetos como una consecuencia de su teoría general de la relatividad, aunque el término 'agujero negro' no fue acuñado hasta medio siglo después, en 1967, por el físico estadounidense John Wheeler. Y el primer indicio observacional convincente de la presencia de un agujero negro no llegó hasta 1971, cuando se observó un brillo extraordinario en rayos X y en ondas de radio hacia una posición de la constelación del Cisne conocida



Recreación del sistema Cygnus X-1, el primer astro en el que se sospechó la presencia de un agujero negro. Hoy sabemos que se trata de un sistema binario compuesto por un agujero negro y una estrella supergigante azul. | ESA/NASA/HST

como Cygnus X-1. La explicación de tales observaciones requería de la existencia de un objeto escondido extremadamente denso de propiedades coincidentes con las de los agujeros negros.

Al mundo científico le llevó tiempo aceptar estos resultados. En 1974, dos jóvenes y brillantísimos físicos, Stephen Hawking y Kip Thorne, aún debatían sobre la existencia real de los agujeros negros, con Hawking apostando que Cygnus X-1 no podía serlo. Hasta 1990, cuando ya no quedaba ninguna duda, Hawking no reconoció que había perdido la apuesta. Desde entonces, las detecciones de agujeros negros no han dejado de multiplicarse. Sin embargo, tales detecciones han sido realizadas solamente por métodos indirectos hasta fechas muy recientes. En concreto, como veremos más adelante, gracias a los premiados por el Nobel de Física de 2020, sabemos que Sagitario A\*, el agujero negro que está situado en el centro de la Vía Láctea, tiene una masa de 4 millones de soles concentrada en una esfera de un tamaño equivalente a la distancia Tierra-Sol.

Aunque Cygnus X-1 no le convenciese como candidato, hacia la mitad de la década de los 70,

Stephen Hawking se sumergió en la mecánica cuántica para demostrar que, contrariamente a lo que se pensaba hasta entonces, los agujeros negros pueden radiar algo de energía. Esta radiación, hoy conocida como 'radiación de Hawking', podría ocasionar la evaporación de los agujeros negros siguiendo un proceso que es extremadamente lento para los objetos de masas apreciables. Por ejemplo, un agujero negro con la misma masa del Sol necesitaría más tiempo que la edad del universo para llegar a evaporarse. Pero si hubiese agujeros negros de masa muy pequeña, éstos se evaporarían rápidamente.

### ¿Túneles en el espacio-tiempo?

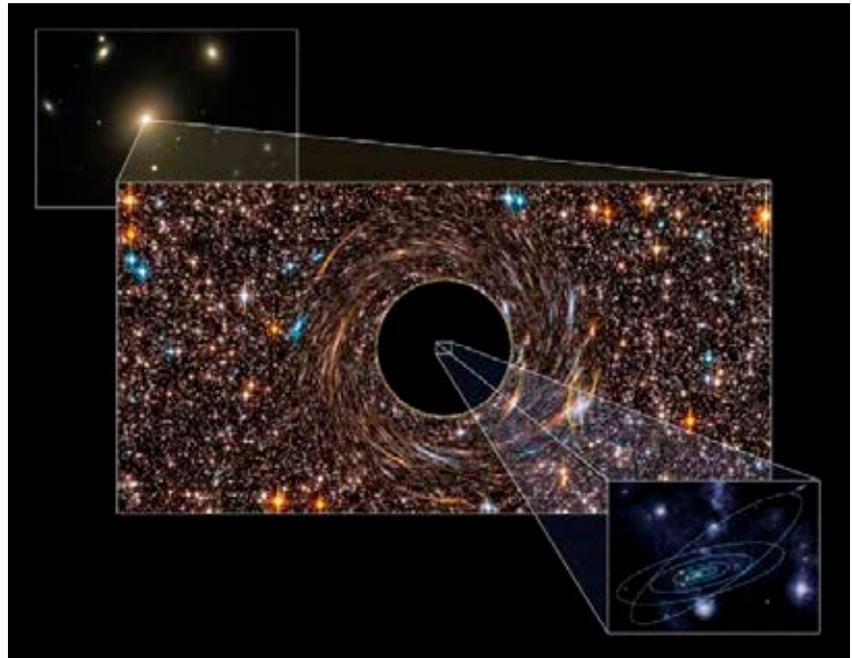
Desde el punto de vista físico, las profundidades de un agujero negro resultan imposibles de describir, allí no valen las leyes habituales que rigen para los diferentes estados de la materia. Los científicos se refieren al centro de un agujero negro como una 'singularidad' en la que la densidad se hace infinita y los conceptos de espacio y tiempo pierden todo su sentido. La imaginación de los físicos no tiene límites y algunos de ellos han jugado con la idea de que estas singularidades pudiesen ser túneles que conectasen dos



*Ilustración artística de un agujero de gusano, un hipotético túnel entre dos regiones del espacio-tiempo*

universos paralelos, o dos regiones distantes del mismo universo. Estos 'agujeros de gusano' podrían hacer que el material engullido por el agujero negro desembocase en una especie de 'manantial blanco' en aquella región del universo, o de otro paralelo. Pero, como decimos, todo esto no es más que mera especulación.

Sin embargo, las observaciones no tienen nada de especulación. La detección de los agujeros negros y el estudio de sus propiedades culminan unos esfuerzos tecnológicos asombrosos. La detección directa de las ondas gravitacionales emitidas por pares de agujeros negros cuando fusionan (realizadas por el observatorio LIGO y otros) se encuentran entre las mayores hazañas científicas de las últimas décadas. Las observaciones continuadas de Sagitario A\* y de los agujeros negros en otras galaxias, y el estudio de los efectos que éstos crean en su entorno es otra muestra del virtuosismo alcanzado por la astronomía observacional en nuestros días. Mediante campañas coordinadas a nivel mundial, los mayores radiotelescopios de todo el mundo están ya observando la proximidad al horizonte de sucesos de estos astros fascinantes, lo que conducirá en breve a detectar directamente las deformaciones del espacio en su periferia.



*Ilustración de un agujero negro de unos 10.000 millones de masas solares alojado en el centro de una gran galaxia que, a su vez, forma parte de un cúmulo de galaxias. El tamaño de nuestro sistema solar es mostrado a escala | NOAA/P. Marenfeld*

### De todos los tamaños

Se suelen clasificar los agujeros negros de acuerdo con su masa en varias categorías. Se denominan supermasivos (o incluso ultramasivos) a los que tienen varios millones, o miles de millones, de masas solares; son los que se encuentran en el corazón de muchas galaxias, posiblemente de todas.

Los agujeros negros de masa intermedia (IMBH, por sus siglas en inglés) constituyen una clase de agujero negro con masa en el rango de 100 a un millón de masas solares; pueden ser formados en grandes cúmulos estelares.

Los agujeros negros de masa estelar se forman cuando una estrella de más de 30-70 masas solares se convierte en supernova e implosiona. Tienen más de tres masas solares. Este es el tipo de agujeros negros postula-

dos por primera vez dentro de la teoría de la relatividad general.

Finalmente, los microagujeros negros son objetos hipotéticos, algo más pequeños que los estelares. Si son suficientemente pequeños, pueden llegar a evaporarse en un período relativamente corto mediante emisión de radiación de Hawking. Este tipo de entidades físicas es postulado en algunos enfoques de la gravedad cuántica, pero no pueden ser generados por un proceso convencional de colapso gravitatorio, el cual requiere masas superiores a la del Sol.

### La sombra de un agujero negro: primicia mundial

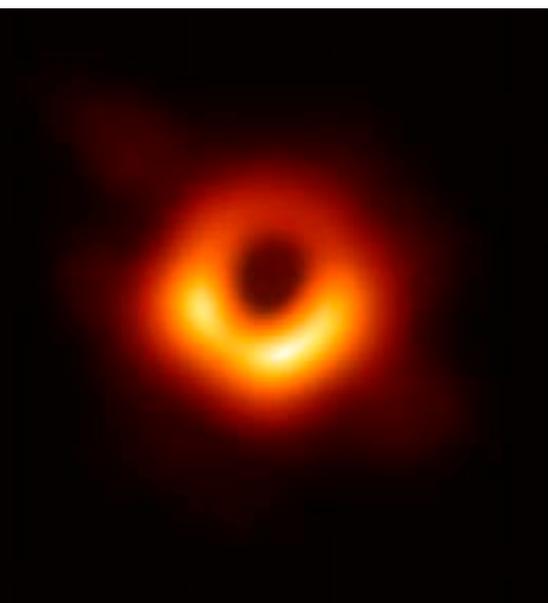
En una las mayores campañas de observación de la historia de la astronomía, en el año 2017, radiotelescopios de todo el mundo apuntaron coordinadamente hacia la galaxia Messier 87 (o simplemente M87) para obte-

ner una imagen de la sombra y el horizonte de sucesos de un agujero negro que bate todos los récords de nitidez (o resolución angular, en la jerga de los astrónomos).

Ya hemos señalado que prácticamente todas las galaxias albergan un gran agujero negro supermasivo en su centro y que la masa de tales agujeros negros puede alcanzar millones o hasta miles de millones de veces la masa de nuestro Sol. Con una masa de tan solo 4 millones de soles, el que habita el centro de la Vía Láctea puede ser considerado como pequeño si lo comparamos con el de nuestra galaxia vecina M87, que alcanza los 6.000 millones de masas solares. Este último pertenece por tanto a la categoría de agujeros negros más masivos de los conocidos: los ultramasivos.

Los agujeros negros nos fascinan por sus propiedades extremas y por los efectos dramáticos que

*Imagen histórica de la sombra del agujero negro supermasivo en el núcleo de la galaxia M87 | EHT*



## Varios prestigiosos galardones han sido otorgados al Consorcio EHT que obtuvo la primera imagen de la sombra de un agujero negro.

ejercen sobre su entorno. Pero su interés no solo reside en esta fascinación pues, debido a sus grandes masas, son los laboratorios ideales donde probar al límite teorías físicas como la relatividad general de Einstein.

En efecto, las deformaciones del espacio-tiempo debidas al efecto de la gravedad son muy sutiles en nuestro entorno, pero las masas descomunales de los agujeros negros supermasivos, concentradas en pequeñas regiones, originan deformaciones en el espacio-tiempo y otros fenómenos físicos que se hacen mucho más evidentes en la zona conocida como el horizonte de sucesos. Las observaciones de M87 no solo nos desvelan la estructura de esa región con propiedades sorprendentes, sino que la monitorización de este macroagujero negro permitirá observar cómo se comporta la materia en el mismísimo borde del abismo.

Para realizar estas observaciones fue preciso poner de acuerdo a los mayores radiotelescopios de altas frecuencias del planeta, superando así enormes desafíos científicos, tecnológicos y de gestión. La observación simultánea con altísima precisión gracias a los relojes atómicos instalados en todos esos observatorios ha permitido, utilizando técnicas interferométricas, sin-

tetizar un radiotelescopio virtual tan grande como el planeta Tierra.

Desde que se hicieron públicos estos resultados, varios galardones internacionales han venido a premiar al Consorcio EHT. Entre ellos cabe mencionar el Premio 2020 de Fundación Breakthrough (auspiciada por el visionario Yuri Milner), la prestigiosa medalla Einstein 2020 o el 'Group Award 2021' de la Royal Astronomical Society. Es de destacar que el Mitma realizó aportaciones valiosas al Consorcio EHT que obtuvo esta imagen histórica de la sombra del agujero negro en M87.

### Monstruosa gravedad

Una vez formado, un agujero negro no deja de engullir materia de su entorno, tanto estrellas como nubes interestelares, para ir creciendo. Según son atraídos por la colosal fuerza gravitatoria, si los cuerpos del entorno llegan a esa región denominada 'horizonte de sucesos' ya no podrán escapar de ninguna manera. Es un auténtico punto de no-retorno. En el Observatorio de Paranal (Chile) se acaban de observar tres grandes destellos indicando la caída inexorable de nubes de gas sobre Sagitario A\*. Como veremos, el movimiento orbital de las estrellas en torno a Sagitario A\* también se ha observado claramente perturbado por el efecto del agujero negro

en perfecto acuerdo con la teoría de Einstein.

Según esta teoría, la monstruosa gravedad de un agujero negro es capaz de distorsionar el espacio y el tiempo en su vecindad creando efectos sorprendentes. Cuanto más cerca está uno de un agujero negro, más lento corre el tiempo. Un viajero cayendo sobre un agujero negro creerá que no acaba nunca de caer pues su discurrir del tiempo se dilata infinitamente. Para un observador exterior, un objeto que pasa cerca del horizonte de sucesos parecerá quedar congelado y no atravesar nunca este punto pues la luz también quedará atraída por el agujero y no alcanzará al observador durante un largo tiempo.

### Virtuosismo observacional

Reinhard Genzel (MPE, Múnich) y Andrea Ghez (UCLA, Los Ángeles) fueron distinguidos con la mitad del Premio Nobel de Física 2020 por “el descubrimiento de un objeto compacto supermasivo en el centro de la Vía Láctea”. Estos astrónomos han estado monitorizando los movimientos de las estrellas próximas a SgrA\* durante casi tres décadas. El grupo de Genzel viene utilizando los telescopios de ESO en Chile, mientras que el de Ghez ha realizado sus observaciones con los telescopios Keck en Hawái.

Penetrar en las regiones centrales de la Galaxia para observar las estrellas individuales que allí se encuentran no es tarea fácil. Las cantidades de polvo son tan descomunales en esa dirección que, de cada mil millones de fotones que son emitidos por una estrella en esa zona, tan solo uno de ellos llega a nuestros telescopios. Por eso

*Simulación de nubes de gas orbitando cerca del agujero negro SgrA\*, en el centro de la Vía Láctea. Las observaciones muestran que tales nubes se mueven a un 30% de la velocidad de la luz justo sobre la región exterior del horizonte de sucesos | ESO/Gravity/L. Calçada*



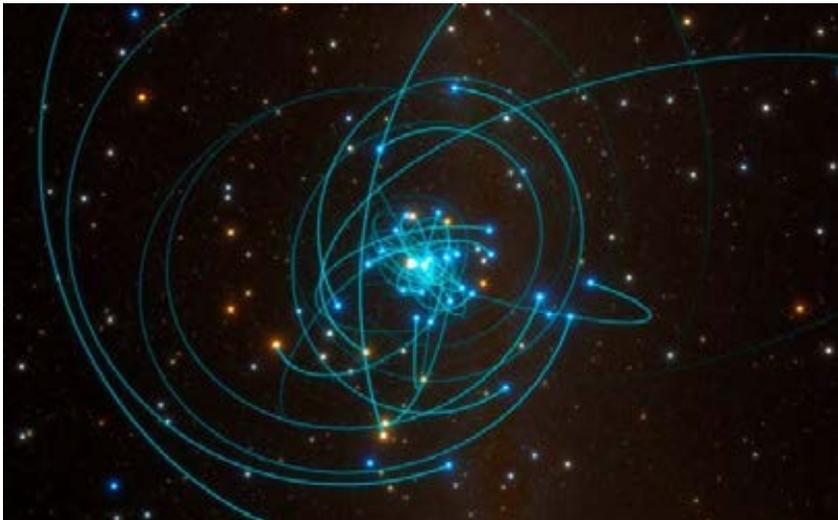
ambos equipos trabajaron en el infrarrojo cercano (en torno a 2 micras de longitud de onda), donde la extinción visual es un orden de magnitud menor que en el óptico.

Pero la extinción interestelar no es el único problema para observar estrellas individuales cerca del centro galáctico, la turbulencia en la atmósfera terrestre limita la resolución angular incluso en los telescopios mayores situados en tierra y, por ello, ambos equipos contribuyeron, en los primeros tiempos, a desarrollar la técnica de speckle en el infrarrojo. Esta técnica de ‘alinear-y-sumar’ consiste en tomar exposiciones individuales de una décima de segundo de duración, alinear las imágenes espacialmente y combinar todas ellas. Al realizarse con tiempos de exposición tan cortos, las imágenes speckle están limitadas a estrellas relativamente brillantes. En los años 1990, Genzel la aplicó inicialmente en el telescopio NTT de La Silla (Chile), que tiene un espejo de 3,6 metros de diámetro, pero necesitaba observar estrellas

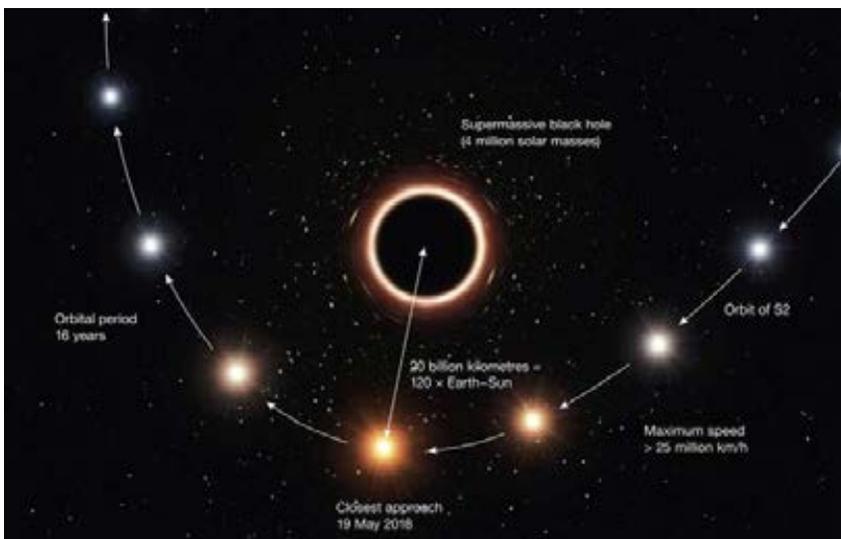
más débiles y con mejor resolución angular.

Las limitaciones del speckle pudieron ser superadas con las técnicas de óptica adaptativa que fueron desarrolladas en el último tercio del siglo pasado y que fueron empleadas en los grandes telescopios de 8-m por los equipos de Genzel (VLT, Chile) y Ghez (en los Keck, Hawái) a principios de los 2000. La utilización de una estrella artificial (un láser que excita el sodio de la alta atmósfera) y un espejo secundario deformable permite, realizando iteraciones en bucle, compensar las aberraciones ópticas en tiempo real y lograr largos tiempos de exposición. Se pueden obtener así los espectros de las débiles estrellas infrarrojas.

Pronto se hizo famosa entre los astrónomos la estrella etiquetada como S2 por Genzel (SO-2 por Ghez) que, de acuerdo con sus observaciones, describía un recorrido vertiginoso. Su órbita, altamente excéntrica ( $e = 0,88$ ) tiene un periodo de... ¡apenas 16 años! Cuando pasa por el periastro (como hizo en los años



Órbitas de las estrellas en el entorno del centro de la Vía Láctea. Estas estrellas tan solo son observables con detectores infrarrojos de alta sensibilidad | ESO/ L. Calçada



La estrella S2 orbita muy cerca del agujero negro del centro de la Vía Láctea. Cuando pasa cerca del periastron, el intenso campo gravitatorio hace que la luz estelar se haga más roja, un fenómeno predicho por la relatividad general de Einstein | ESO/M. Kornmesser

2002 y 2018), esta estrella se encuentra a tan solo 17 horas luz de SgrA\*.

Después de un seguimiento de unas dos décadas, ya se había observado más de una órbita completa y las observaciones de los VLT y de los Keck estaban en un acuerdo magnífico. A partir de estos datos, se determinó la masa del objeto central: 4 millo-

nes de masas solares. Mediante observaciones radio, el tamaño de SgrA\* estaba estimado a menos de una unidad astronómica (la distancia Tierra-Sol) y su movimiento propio era indetectable. Emanando de SgrA\* también se conocían erupciones en rayos X y en el infrarrojo. Todo sumado, la conclusión que se impuso es que SgrA\* es un agujero negro de 4 millones de masa solares y

que, procediendo de esta región, se producían las violentas erupciones que habían sido observadas en rayos X y en el infrarrojo.

Genzel impulsó el diseño y construcción de un nuevo instrumento (denominado GRAVITY) para el VLT, que vio su primera luz en 2015. Con 20 microsegundos de arco de resolución, este instrumento nos está revelando detalles exquisitos de la región central de la Vía Láctea. El movimiento de la estrella S2 puede ser ahora detectado de noche a noche y, gracias a la gran masa del objeto central, los efectos relativistas, como la precesión del periastron o el desplazamiento hacia el rojo debido a la gravitación, se manifiestan patentemente. Otras observaciones espectaculares han demostrado que las erupciones provienen de fuentes que orbitan a tan solo unos 4 radios de Schwarzschild del agujero negro, es decir, justo en las regiones de la órbita estable más interna.

En resumen, el trabajo de Genzel y Ghez ilustra maravillosamente el virtuosismo alcanzado por las observaciones astronómicas de nuestros días. Óptica adaptativa, interferometría, detectores de bajísimo ruido cuántico, las técnicas más innovadoras han sido puestas al servicio de estas imágenes y medidas que nos dejan asombrados.

Pero, además, detrás de la tecnología hay unas personas absolutamente sobresalientes. Andrea Ghez es la cuarta mujer, después de Marie Curie, Maria Goepper Mayer y Donna Strickland, Ghez en recibir este galardón en una disciplina científica, la física, que presenta una de las brechas de género

---

## El IGN se encuentra en la primera línea de la investigación astronómica a través del Observatorio Astronómico Nacional, el Observatorio de Yebes y el Instituto de Radioastronomía Milimétrica.

---

más profundas (los otros 212 laureados hasta ahora han sido hombres).

En el IGN tenemos la suerte de conocer bien a Reinhard Genzel, por colaborar con él en tareas referentes al IRAM (el Instituto de Radioastronomía Milimétrica en el que IGN colabora con la Sociedad Max Planck de Alemania y el CNRS francés). La personalidad de Genzel es arrolladora, su entusiasmo y su optimismo contagiosos. Es buen conocedor de la astronomía española y académico correspondiente de nuestra Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Hemos tenido la ocasión de escuchar algunas sus conferencias en España, por ejemplo, la multitudinaria que impartió en la Fundación BBVA, en la que fue presentado por Santiago García Burillo, astrónomo del Observatorio Astronómico Nacional (IGN).

### Un genio heterodoxo

La otra mitad del Nobel de Física 2020 fue otorgada al físico teórico Roger Penrose “por el descubrimiento de que la formación de agujeros negros es una predicción robusta de la teoría de la relatividad general”.

Para comprender la aportación de Penrose que ha motivado este premio, hay que remontarse a finales de la década de 1930, cuando se demostraba que el colapso de una nube perfectamente esférica de materia conducía a la formación de una singularidad rodeada por un horizonte que hacía de frontera. Los mismísimos Einstein y Wheeler expresaron dudas sobre si este tipo de colapso podría suceder en el mundo real o si la falta de simetría perfecta, la emisión de ondas gravitacionales, la rotación, o algún otro fenómeno podría evitar la formación de esa estructura compacta, un agujero negro.

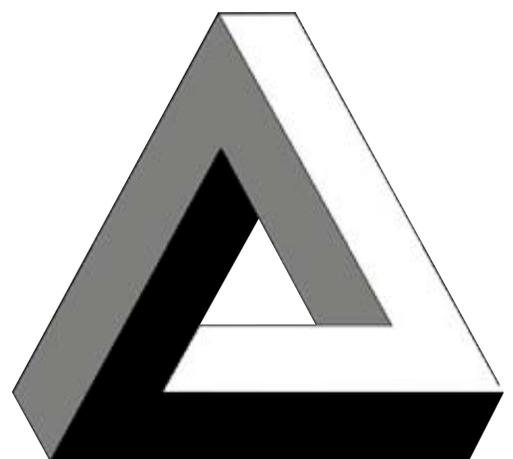
Mientras el debate se alargaba, el rápido desarrollo de la radioastronomía tras la Segunda Guerra Mundial condujo a la identificación de unas misteriosas fuentes de ondas de radio que, en el óptico, parecían estrellas muy débiles: los ‘cuásares’. En la década de 1960, se demostró que tales astros eran galaxias gigantes situadas en los confines del universo y, entonces, Wheeler comentó con Penrose, entonces un joven y brillante matemático (había nacido en Essex en 1931), los

cálculos realizados en los años 1930 sobre el colapso gravitatorio. Penrose se puso a analizar el problema tratando de eliminar la hipótesis de la simetría esférica, y pronto llegó a la conclusión de que la formación de un agujero negro era una predicción inevitable (y ‘robusta’ como indica la academia sueca) de la relatividad general de Einstein.

Gracias a su fuerte formación en matemáticas, Penrose pudo dar un grandísimo impulso al estudio de la gravitación, introduciendo numerosas innovaciones para visualizar el espacio-tiempo. Además, sus trabajos se extienden a muchos otros dominios. Por ejemplo, en los años 1950 popularizó el que es conocido como ‘Triángulo de Penrose’ que describe la imposibilidad en su forma más pura. Este triángulo y otros trabajos de Penrose inspiraron las impactantes imágenes del ilustrador M.C. Escher.

El trabajo de Penrose llevó a aceptar ampliamente que los cuásares deben albergar un agujero negro supermasivo en su núcleo, y que su potente radiación podía estar causada por

*El triángulo de Penrose*



# El IGN en la **vanguardia** de la radioastronomía

España es una gran potencia en radioastronomía, bajo sus cielos están instaladas dos antenas parabólicas de entre las más potentes del mundo: la del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Yeves (Guadalajara) y la de Pico Veleta (Granada), esta última fruto de la colaboración entre el CNRS francés, la Sociedad Max-Planck alemana y el propio IGN. Además, su comunidad de radioastrónomos repartida entre el IGN, el CSIC y varias universidades, es de las más dinámicas de Europa, colaborando muy significativamente en otros grandes observatorios como el de ALMA en Atacama (Chile) y el del IRAM en los Alpes franceses.

El personal científico-técnico del IGN ha jugado un papel muy significativo, a todos los niveles, en las observaciones del conjunto de radiotelescopios EHT que condujo a obtener la primera imagen de las proximidades de un agujero negro en la galaxia M87. Además, el radiotelescopio de 40-m del Observatorio de Yeves (IGN) participa en observaciones sistemáticas del centro galáctico, Sgr A\*, que deberían conducir a desvelar, en un futuro próximo, más detalles de la naturaleza y vecindad del agujero negro que allí se encuentra.

los fenómenos de acreción sobre el objeto compacto. Ya en 1969, Lynden-Bell acabaría sugiriendo que muchas galaxias (si no todas) deben poseer un agujero negro central.

Junto a Hawking, Penrose demostró que estos resultados sobre agujeros negros pueden extenderse al estudio de singularidades cosmológicas, como la del big bang. De hecho, los trabajos con Hawking aportaron mucha más información sobre el comportamiento de tan fascinantes objetos. Sería legítimo preguntarse si no habría sido más adecuado haber concedido este Nobel hace unos diez o veinte años, cuando la importancia de estas aportaciones ya estaba completamente reconocida y, además, Hawking aún vivía. Si hubiese sido así, Hawking habría podido compartir justamente el premio (los Nobel no se otorgan a título póstumo).

## **Una edad de oro de la astrofísica**

El Nobel de Física de 2020 reconoce la importancia de los agujeros negros en la descripción de la gravedad. Y es que el estudio y las observaciones de tan fascinantes astros han abierto una era completamente nueva tanto en la astronomía como en la física. Los observatorios de ondas gravitacionales no dejan



*Los radiotelescopios de IRAM en Pico Veleta (abajo) y del Observatorio de Yeves (IGN) | IGN*





de sorprendernos cada día con descubrimientos que permiten estudiar la población de agujeros de masa estelar y sus interacciones. El EHT continúa sus campañas de observación y es de esperar que desvelará en breve nuevos secretos de los objetos supermasivos, incluyendo SgrA\*.

Además, junto con los agujeros negros, hay otros resultados astrofísicos (o muy conectados con la astrofísica) que han sido merecedores del Nobel en la última década: la expansión acelerada del universo (2011), el bosón de Higgs (2013), las oscilaciones de los neutrinos (2015), las ondas gravitacionales (2017), el descubrimiento de los exoplanetas (2019) y la cosmología física (2019). Estos resultados, y su reconocimiento por una amplia comunidad científica, en el marco de la física, son una muestra de que la ciencia astronómica se hace cada vez más interdisciplinar y más dinámica. Otros temas, como la astronomía multimensajero, los fenómenos transitorios y la exobiología, están experimentando ahora un auge impresionante. Es una suerte vivir en esta edad de oro de la astronomía, sobre todo para nosotros en el IGN, donde tenemos el privilegio de vivirla desde primera fila. Y todos debemos felicitarnos por vivir en esta época en que los prodigios del cosmos se nos muestran con un nivel de detalle que primero nos desconcierta, luego nos asombra y siempre nos emociona. ■

*Recreación de la espaguetización de una estrella | ESO/M. Kommesser*

## Espaguetización

Todos los fenómenos asociados a los agujeros negros son sorprendentes, pero uno de los que más llama la atención es el conocido como 'espaguetización', que tiene lugar cerca de un campo gravitatorio muy intenso. Imaginemos por ejemplo a un desafortunado astronauta que se acerca a un agujero negro aproximando los pies más que la cabeza. La fuerza gravitatoria es mucho más intensa en sus pies que en la parte superior del cuerpo. Se producen unas descomunales fuerzas de marea que deformarán el cuerpo en sentido vertical, estirándolo y alargándolo como si fuese un espagueti.

En la vida real, los astronautas todavía no pueden visitar las proximidades de un agujero negro, pero hay estrellas que pueden circular por el entorno de uno de estos monstruos supermasivos y ser sometidas al violento efecto de la espaguetización. Los estudios teóricos de este fenómeno han mostrado que una parte del material de la estrella desgarrada no es devorada inmediatamente, sino que queda atrapada en un disco rotante alrededor del agujero negro. El disco, en un entorno tan sumamente energético, emite intensa radiación visible y de rayos X, y también ocasiona unos chorros en los que el material fluye, a velocidades próximas a la de la luz, en la dirección perpendicular al disco.

Hace dos décadas que se vienen observando destellos luminosos cuyas características observacionales concuerdan con la espaguetización de una estrella. Tales destellos se conocen como 'eventos de disrupción por mareas' o, en el argot astronómico, TDEs (por las siglas en inglés: tidal disruption events). Se ha llegado a construir un catálogo de TDEs que contiene casi un centenar de destellos de este estilo.