

## DESDE LA PATAGONIA

# EL CORAZÓN DE LAS TINIEBLAS. PRIMERA OBSERVACIÓN DIRECTA DE UN AGUJERO NEGRO

por **Guillermo Abramson**

Los agujeros negros son misteriosos y fascinantes. Capturan la imaginación de la gente, científicos o no, y se han ganado un lugar en la cultura popular. ¿Y cómo no, si retuercen el espacio logrando que la luz orbite a su alrededor, y hacen que el tiempo se detenga en su frontera? Durante 100 años imaginamos cómo eran y los calculamos con nuestras teorías, en particular con la Relatividad General de Einstein, que es nuestra mejor teoría de la gravedad.

En cierto sentido, un agujero negro es apenas una geometría: una solución de las ecuaciones de Einstein. Los caracteriza la existencia de un *horizonte de eventos*, una superficie que envuelve una región del espacio desde donde nada, ni siquiera la luz, puede escapar. No podemos verlos, ni ver lo que tienen dentro. Recién a partir de la década de 1960 empezaron a proponerse mecanismos físicos que podían producir agujeros negros en el mundo real, y a reunirse evidencia indirecta de que realmente existían. La clave es que tengan materia en órbita a su alrededor, ya que los agujeros negros no son aspiradoras cósmicas como a veces se los representa. Su acción gravitatoria permite perfectamente que a su alrededor se muevan en órbita estrellas y gas interestelar. El comportamiento de la materia en condiciones de extrema curvatura del espacio-tiempo, que podemos calcular con las ecuaciones de la física y observar con telescopios, nos permitió convencernos de que efectivamente existían.

Por el movimiento de las estrellas en el centro de las grandes galaxias dedujimos que casi todas parecían albergar agujeros negros gigantescos, millones de veces más masivos que el Sol. Alrededor del centro de la Vía Láctea, por ejemplo, vemos moverse estrellas cuyas órbitas permiten calcular la existencia de un objeto de 4 millones de masas solares, designado Sgr

A\* ("Sagitario A estrella"). ¿Sería posible ver aunque fuera la silueta de su horizonte de eventos? A pesar de su masa, por encontrarse tan lejos (a 26 mil años luz en la dirección de Sagitario), su horizonte de eventos sería tan pequeño que se necesitaría un telescopio del tamaño de la Tierra para discernirlo. Lo mismo ocurriría con M87\* ("eme 87 estrella"), el agujero negro de 6500 millones de veces la masa del Sol, en el centro de la galaxia Messier 87. Se trata de una galaxia mucho mayor que la nuestra, de cuyo centro surge un chorro de partículas subatómicas viajando casi a la velocidad de la luz que se extiende por miles de años luz en el espacio, como si fuera una flecha desafiándonos: "acá está el agujero negro".

Para lograrlo se diseñó el *Event Horizon Telescope*: una colaboración internacional de cientos de científicos que coordinó el funcionamiento de grandes radiotelescopios en ocho observatorios del mundo. El sistema requirió la modificación de muchos instrumentos, todos ellos con apretadas agendas de uso y pertenecientes a distintas instituciones, lo cual sólo pudo lograrse con negociaciones tan difíciles de imaginar como los propios agujeros negros. Todos los radiotelescopios debían observar sus blancos exactamente al mismo tiempo, sincronizando cada uno con un reloj atómico (un máser de hidrógeno, oscilando en la frecuencia de 1420 MHz), y aprovechando incluso la rotación de la Tierra para funcionar, todos juntos, como un único instrumento del tamaño del planeta. Los datos recolectados fueron entregados a cuatro grupos de análisis que trabajaron independientemente y sin comunicación entre sí, en la reconstrucción matemática de una imagen del objeto. Las observaciones se llevaron a cabo en abril de 2017, y el procesamiento de los datos llevó dos años. Finalmente, el 10 de abril de 2019, pudimos ver la foto que pasará a la Historia: la primera imagen directa y detallada de un agujero negro, el de M87.

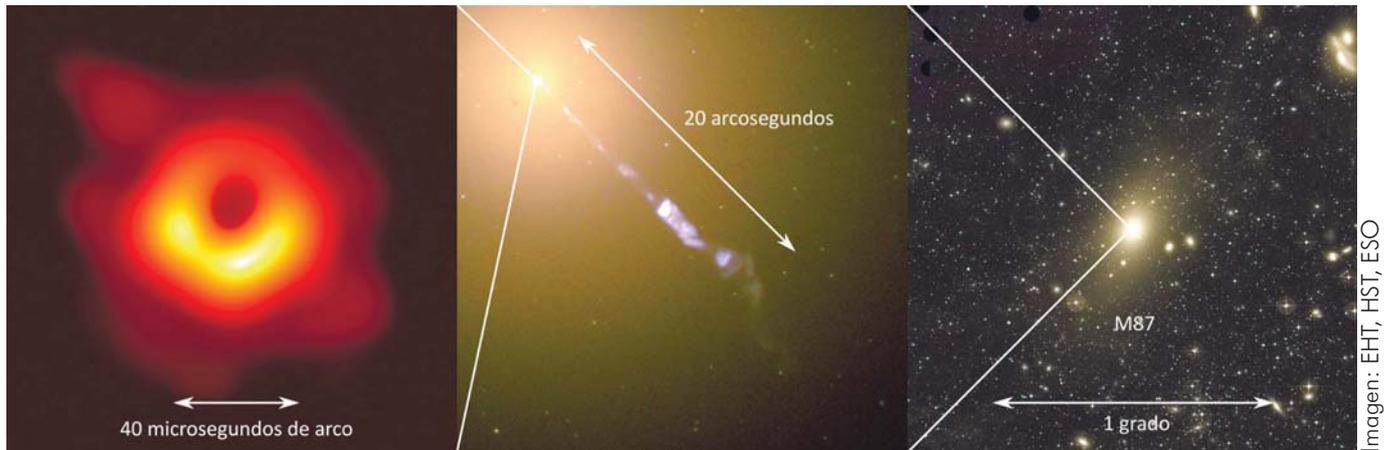
¿Cómo podemos entender esta imagen, que parece un anillo brillante fuera de foco? Naturalmente, no podemos ver el horizonte de eventos, que es negrísimo. Pero, como dijimos, lo que sí podemos ver es la

## Guillermo Abramson

Doctor en Física, investigador del CONICET y  
Profesor del Instituto Balseiro

guillermoabramson.blogspot.com

## DESDE LA PATAGONIA



**El agujero negro en el centro de la galaxia M87 (imagen de radio, convertida a colores visibles). Nuestro sistema solar entero cabría dentro de la oscuridad central, pero está tan lejos que el anillo luminoso mide apenas 40 microsegundos de arco en el cielo, equivalente a ver un pelo a 500 km de distancia.**

**Centro: el núcleo de M87 y el chorro que surge del agujero negro central. 20 arcosegundos es como un pelo a 1 metro de distancia.**

**Derecha: La galaxia M87 forma parte del cúmulo de galaxias de Virgo. 1 grado es el doble del tamaño de la Luna en el cielo.**

materia que tiene a su alrededor, materia supercaliente y por lo tanto muy brillante. Esta materia forma un disco grueso en órbita alrededor del agujero negro, llamado *disco de acreción*. El disco emite radiación en todo el espectro electromagnético, desde las ondas de radio hasta los rayos X, pasando por la luz visible. Los radiotelescopios utilizados capturaron una banda estrecha de radiación, con longitud de onda de 1,3 mm (en la frontera entre las microondas y el infrarrojo, similar a las microondas que usamos en la cocina). La imagen reconstruida fue convertida a colores visibles para la imagen final. Puede parecer rebuscado, pero la "foto" que sacamos con el celular también es el resultado de un procedimiento matemático aplicado a los datos recolectados por un dispositivo electrónico. La de M87\* es una foto en el mismo sentido, tan sólo los detalles son diferentes.

Curiosamente, la oscuridad central que vemos en la imagen tampoco es el horizonte de eventos. Los astrónomos del *Event Horizon Telescope* lo han llamado la "sombra" del agujero negro, si bien no es una sombra en el sentido corriente, como la que produce un objeto opaco al interponerse delante de una fuente de luz. El espacio y el tiempo están tan distorsionados en la proximidad del agujero negro, que toda la luz que pasa cerca se desvía y hasta se enrosca alrededor. El resultado es esta "sombra", un poco más grande que el horizonte de eventos, delimitada por la imagen del disco, y también de fuentes luminosas detrás y delante,

deformadas de una manera particular, perfectamente predecible por las ecuaciones de la Relatividad General. De hecho, uno de los aspectos extraordinarios de esta observación es que la imagen obtenida, con esas partes más brillantes y otras más oscuras, es precisamente lo que esperábamos obtener, a la luz de los cálculos y las capacidades del *Event Horizon Telescope*.

Esta primera observación es apenas el comienzo de una nueva rama de la radioastronomía. El agujero negro de M87 será observado repetidamente, y revelará una dinámica que habrá que entender y explicar. Se podrá también reconstruir su campo magnético a partir de la polarización de la radiación observada, lo que permitirá entender mejor cómo y dónde se forma el chorro de materia y energía que surge de la proximidad del horizonte de eventos y del disco de acreción. La incorporación de más radiotelescopios (incluso algunos en órbita terrestre), y observaciones en longitudes de onda menores que la usada, producirán imágenes de mayor resolución, más "enfocadas". Veremos también el agujero negro en el centro de nuestra galaxia, con similitudes pero también diferencias con el de M87, por ser de tamaños tan distintos. Los agujeros negros en el centro de las galaxias juegan un rol importante en su formación y evolución, y no tenemos una comprensión completa de sus mecanismos. Estas observaciones, además de confirmar la validez de la Relatividad General, contribuirán al entendimiento de otros fenómenos del universo. Por otro lado, el avance

# DESDE LA PATAGONIA

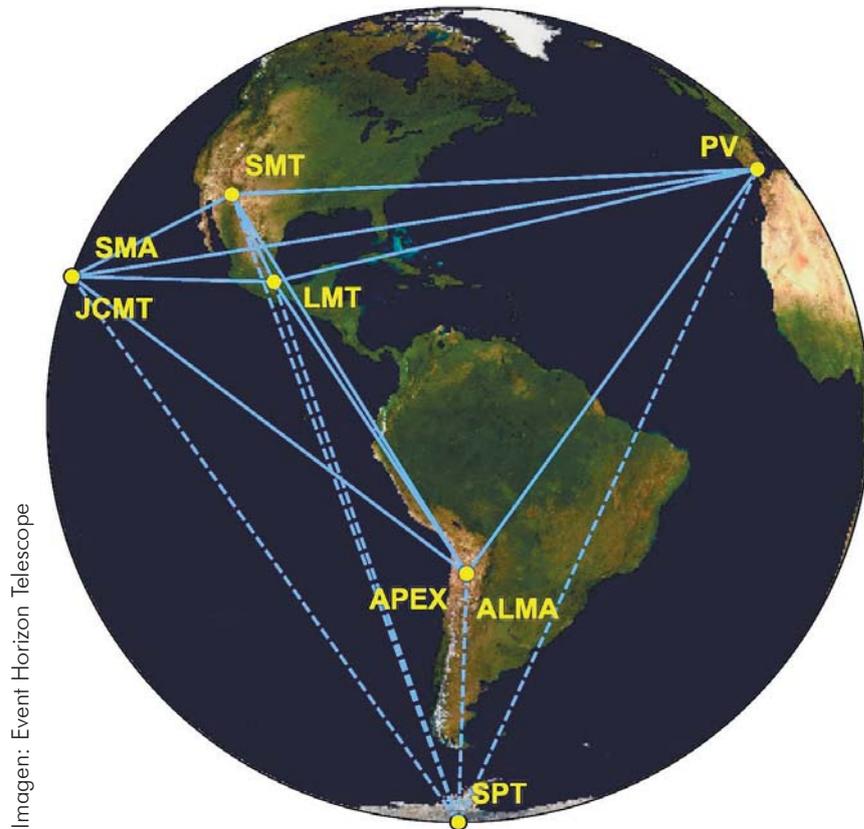


Imagen: Event Horizon Telescope

**El Event Horizon Telescope es un sistema de observatorios que funciona como un radiotelescopio con una apertura equivalente al tamaño de la Tierra, gracias a una técnica llamada VLBI (interferometría de base muy larga). Ocho participaron en la observación del agujero negro de M87. El concepto es similar al de "apertura sintética", que permite al satélite argentino SAOCOM obtener imágenes de muy alta resolución de la superficie terrestre (pero el EHT no es un radar, es un telescopio).**

en instrumentación y cómputo seguramente impactará también otras ramas de la astronomía y de la ciencia en general.

Alguien se preguntará qué relevancia tiene todo esto en la vida cotidiana. No podemos anticiparlo, pero vale la pena mencionar apenas un ejemplo que viene al caso: el sistema GPS que tenemos en el celular, que permite localizarnos y navegar con tanta precisión, funciona gracias a la Relatividad General. Si le hubieran preguntado a Einstein hace 100 años que aplicación práctica tenía su teoría, aparte de su valor científico, no habría sospechado que, sin saberlo, la usamos todos los días con un dispositivo que llevamos en bolsillo. La misma teoría que nos explica cómo se retuerce la luz alrededor de un agujero negro.

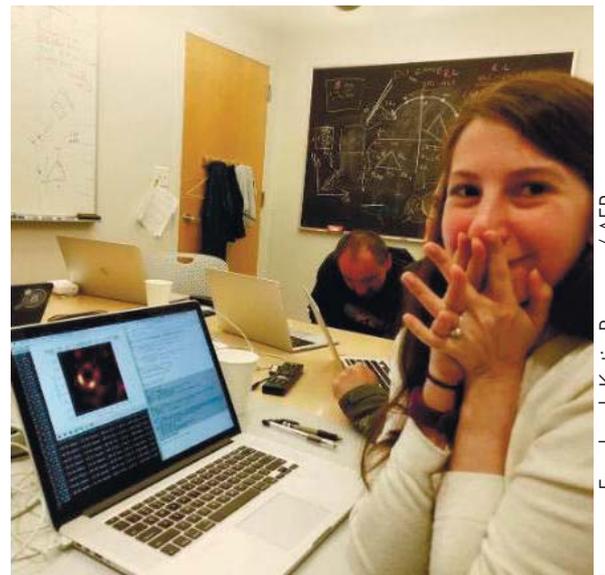


Imagen: Facebook Katie Bouman/ AFP

**Katie Bouman, emocionada al ver formarse la imagen de M87\* por primera vez en la pantalla de su computadora. Bouman es ingeniera, magister en ingeniería y doctora en ingeniería y computación del MIT. Su trabajo (en parte durante la realización de su tesis de doctorado) fue fundamental para el desarrollo del software que, a partir de los datos dispersos que obtienen los radiotelescopios, calculan mediante procedimientos matemáticos y estadísticos la imagen más probable de la fuente, evitando el sesgo las expectativas que se tengan a priori. Su charla TED: [youtu.be/BlvezCVcsYs](https://youtu.be/BlvezCVcsYs)**