



Roger Penrose

**Nota.** Estimados lectores, la mañana del 7 de octubre del año 2020 nos enteramos que el Premio Nobel de Física se había otorgado a tres personas, uno de ellos fue Roger Penrose.

En la página de la Nobel Prize organisation leemos lo siguiente:

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2020 with one half to Roger Penrose, University of Oxford, UK, and the other half jointly to Reinhard Genzel, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching, Germany and University of California, Berkeley, USA, and Andrea Ghez, University of California, Los Angeles, USA. Three Laureates share this year's Nobel Prize in Physics for their discoveries about one of the most exotic phenomena in the universe, the black hole. Roger Penrose showed that the general theory of relativity leads to the formation of black holes. Reinhard Genzel and Andrea Ghez discovered that an invisible and extremely heavy object governs the orbits of stars at the centre of our galaxy. A supermassive black hole is the only currently known explanation.

*A pesar de que se trata del Nobel de Física, no podemos evitar sentirnos, como comunidad de matemáticos, involucrados en el asunto. De alguna manera el festejo abarca a físicos y matemáticos.*

*Reproducimos a continuación un texto de Elvira del Pozo. Trata sobre agujeros negros, premios Nobel, y las siempre interesantes interacciones entre la matemática y la física.*

*Apareció originalmente en el número 21 del Boletín del ICMAT, Instituto de Ciencias Matemáticas, Primer semestre del año 2021.*

<https://www.icmat.es/es/comunicacion/boletin/>

## Agujeros negros: cuando las matemáticas alumbran lo que no se ve

Elvira del Pozo

Sabemos que un agujero negro es una región del universo que tiene un campo gravitacional tan grande que ni siquiera la luz puede escapar de él, así que es invisible a nuestros ojos. Igual que los escombros delatan que en ese lugar una vez se levantó un gran edificio, estos corpúsculos oscuros parece que fueron un día estrellas enormes, que colapsaron sobre sí mismas debido a su gran masa. Además, esconden un secreto: justo en su centro, la mecánica cuántica y la gravedad actúan de manera conjunta, ¡el sueño de la unificación de la física hecho realidad!

Las matemáticas se enfrentan a ésta y otras muchas incógnitas intentando volver a ser las pioneras en su resolución. Hace más de 50 años mostraron convincentemente por primera vez la existencia de estos cuerpos exóticos, lo que ha sido reconocido con el Nobel de Física de 2020.

Pero la historia de los agujeros negros se remonta muchos años atrás. Aunque suelen asociarse a la física de Einstein, ya en 1783, el reverendo, geólogo y astrónomo inglés John Michell hizo una predicción teórica sobre su existencia. *Deben existir en la naturaleza cuerpos cuya densidad no es inferior a la del Sol, y cuyos diámetros son más de 500 veces el diámetro del Sol... toda luz emitida por ese cuerpo volvería hacia él por efecto de su propia gravedad... y nunca llegaría a nosotros*, expresaba en uno de sus escritos. Estas *estrellas oscuras*, como él las bautizó porque no se podían ver, son las precursoras newtonianas de los agujeros negros. Michell también propuso una manera de detectarlas en aquellos casos en los que formarían sistemas estelares binarios con compañeras visibles, de tal manera que en el comportamiento de éstas últimas se detectaría la influencia gravitatoria de su vecina oculta.

También a finales del mismo siglo XVIII, en 1796, el matemático francés Pierre-Simon Laplace insistió en la misma idea. *En el cielo hay cuerpos oscuros quizá tan grandes y numerosos como las estrellas mismas*. Después, el silencio: la comunidad científica supuso que se trataba de una extravagancia demasiado exótica como para darle importancia. Hasta que siglo y medio más tarde apareció Albert Einstein.

En 1915, el físico alemán imaginó un universo en el que todo objeto está suspendido sobre una red espacio-temporal de cuatro dimensiones (las tres del espacio y la del tiempo), que se curva por el efecto de la gravedad, que crean la masa y la energía. El espacio-tiempo dejó de ser un simple escenario para convertirse en el principal actor, el responsable del movimiento de los cuerpos. Así, una estrella obliga a los planetas a seguir la deformación que ella misma provoca en la malla que los sostiene a todos. Como una pelota girando en una ruleta. Todo el mundo físico a gran escala quedó descrito por la teoría general de la relatividad, un modelo matemático compuesto por un sistema de diez ecuaciones en derivadas parciales no lineales que relacionan la curvatura del espacio-tiempo con la materia responsable de la atracción gravitacional.

Obtener valores numéricos para los cuales la igualdad sea cierta en las ecuaciones de Einstein es de una dificultad tan enorme que al día de hoy sólo se conocen unos pocos centenares de soluciones. Desde entonces, los matemáticos han trabajado para encontrar dichas soluciones con éxito notable, aunque parcial.

### Desde la trinchera

El mismo año de la publicación de su hazaña, Einstein recibió dos cartas desde el frente de la Primera Guerra Mundial. Las firmaba el físico y matemático Karl Schwarzschild, desde la cama de un hospital de campaña. En ellas, proponía la primera solución no trivial de la teoría general de la relatividad. Conocida como la métrica de Schwarzschild, describe el espacio-tiempo y la gravedad

generada por una estrella o una masa perfectamente esférica; también por un agujero negro, si se cumplen determinadas condiciones. El científico supuso que si la masa de una estrella era muy grande y que se comprimía en un volumen cada vez más pequeño, la región del espacio-tiempo a su alrededor se curvaría cada vez más hasta que, finalmente, se convertiría en un pozo sin fondo del cual nada, ni siquiera la luz, podría escapar. En estos casos, es razonable pensar que se pueda dar lugar a la formación de un agujero negro. La razón de que escogiera como objeto de estudio corpúsculos esféricos fue por simplificar la resolución de las ecuaciones.

Aunque el propio Einstein y la comunidad científica alabaron la solución de Schwarzschild, consideraron improbable que hubiera realmente estrellas perfectamente esféricas en la naturaleza y descartaron, por tanto, la posibilidad de semejantes corpúsculos oscuros. Además, si hubiera alguna, sería difícil de demostrar su existencia, pues sería invisible. En 1916, Schwarzschild moría en el frente con 42 años.

En 1930, el físico Subrahmanyan Chandrasekhar sugirió que los astros con masa por encima de 1.5 veces la de nuestro Sol, colapsarían sobre sí mismos debido a la acción de la gravedad hasta reducirse a algo muy denso. Nueve años más tarde, en 1939, el físico teórico estadounidense Robert Oppenheimer desarrolló un modelo de colapso, con el cual demostró que un cuerpo ideal con una simetría perfecta colapsaría sobre sí mismo indefinidamente. Esto es lo que le pasaría a las estrellas masivas, después de finalizar sus procesos termonucleares.

### Otro punto de vista

En 1963, el matemático neozelandés Roy Kerr generalizó la métrica de Schwarzschild a un cuerpo giratorio -no estático-. Y dos años más tarde, la métrica de Kerr-Newman extendió la teoría a corpúsculos cargados. Estas soluciones fundamentaban la existencia de agujeros negros, ahora también en movimiento, pero todavía provenientes de estrellas perfectamente esféricas. Por entonces, el físico y matemático Roger Penrose andaba pensando si se podría de alguna manera soslayar la hipótesis de simetría esférica perfecta. *Lo que se había hecho hasta ese momento era resolver complicadas ecuaciones y eso no es buena idea si lo que quieres es introducir irregularidades, porque entonces, simplemente, no puedes resolverlas*, explicaba en una entrevista que le hizo en 1999 el también matemático y físico teórico Oscar García-Prada para la revista *Gaceta Matemática*. Así que abordó el problema desde un punto de vista totalmente diferente.

Según explica García-Prada, *Penrose utilizó herramientas de la geometría diferencial global, una rama que combina la geometría con el cálculo, y que tiene en cuenta cuestiones topológicas: no sólo se estudia qué pasa cerca de un punto sino también los elementos de todo el espacio*. Por ejemplo, en el caso de analizar la superficie de una pelota y la de una dona, si sólo se observa qué sucede en el entorno cercano de un punto concreto en ambas áreas, el comportamiento es indistinguible; sin embargo, globalmente son muy distintas.

Y así, en 1967, Penrose, junto a Stephen Hawking, partiendo de las ecuaciones de la relatividad de Einstein y utilizando técnicas de análisis matemático y topología diferencial, demostró que no era necesario asumir ninguna simetría para obtener las soluciones correspondientes a agujeros negros. Mediante un teorema matemático (teorema de singularidad de Penrose), mostró que el colapso se produciría y que, por tanto, los agujeros negros se formarían en unas determinadas condiciones bastante generales.

Por su demostración de que la formación de agujeros negros se deduce directamente de la teoría general de la relatividad de Albert Einstein, Penrose recibió el Nobel de Física de 2020. Aunque, como enfatiza García-Prada, *se trata de un premio para las matemáticas y, en concreto, para la geometría diferencial. El Premio Nobel es la combinación de un trabajo matemático hecho hace 55 años y una experimentación física, que confirma las matemáticas.*

## Sobre nuestra portada

En la página de Albert Rocarols leemos lo siguiente:

### SCRATCHBOARDS / ESGRAFIADOS La extraordinaria fuerza del blanco y negro.

*Scratchboard en inglés, grattage en francés, esgrafiado en castellano. Esta técnica, con gran economía de medios, ofrece resultados muy potentes, de fuerte contraste, a la vez que permite una gran variedad de matices.*

*Viniendo del mundo del color, el blanco y negro ejerció una potente atracción en mí. Junto con la técnica del papel recortado me ha abierto todo un mundo de máxima expresividad.*

Agradecemos a Albert Rocarols el permitirnos reproducir su trabajo en el Boletín.

## Charlas Matemáticas

*La democracia perfecta es imposible*

**Natalia Jonard**  
Facultad de Ciencias, UNAM

**Resumen.** *En esta plática exploramos distintos problemas que pueden suceder al momento de realizar una votación y veremos qué nos dicen las matemáticas al respecto. ¡Votar de manera correcta puede ser más complicado de lo que creías!*

Martes 22 de marzo,  
de 17:00 a 18:00 horas.

Enlace:  
<https://youtu.be/2AfRrbCG5ik>

ENCUENTRO VIRTUAL CON  
MATEMÁTICOS SOBRESALIENTES

**Expositora invitada:**  
Dra. Gabriela Araujo, Investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

**Tema:**  
Matemáticas y Popularidad en Facebook

Este evento virtual es gratis y abierto a todo público



**Fecha:** Jueves 24 de marzo de 2022  
**Hora:** 4:00 p.m.  
**Inscríbete en el link:**  
<https://tinyurl.com/encuentro32>