

**MÓNICA G. SALOMONE  
Y ÁNGEL GÓMEZ ROLDÁN**

# **UN UNIVERSO GRAVITACIONAL**

**La fuerza que gobierna el cosmos,  
de la materia oscura  
a los agujeros negros**

# **UN UNIVERSO GRAVITACIONAL**

# **UN UNIVERSO GRAVITACIONAL**

La fuerza que gobierna el  
cosmos, de la materia  
oscura a los agujeros negros

**MÓNICA G. SALOMONE**

Y ÁNGEL GÓMEZ ROLDÁN

Prólogo de Pampa García Molina

Shackleton  
— b o o k s —

*Este libro ha sido construido en gran parte con entrevistas a investigadores en activo. Agradecemos enormemente su tiempo y generosidad a todos ellos, también a los que no aparecen citados: Ignacio García de la Rosa, Tanausú Génova Santos, Antonio Mampaso Recio, Marina Manganaro y Evencio Mediavilla Gradolph. Ha sido un gran placer hablar con ellos.*

Primera edición en Shackleton Books: febrero de 2021

El presente libro es una edición ampliada y actualizada del que apareció publicado por primera vez en EMSE EDAPP, S.L., con el título *Universo gravitacional*

*Un universo gravitacional*

© Mónica G. Salomone y Ángel Gómez Roldán, 2016

© del prólogo, Pampa García Molina, 2021

© de esta edición, Shackleton Books, S.L., 2021

Shackleton  
— b o o k s —



@Shackletonbooks

[www.shackletonbooks.com](http://www.shackletonbooks.com)

Realización editorial: Bonal letra Alcompas, S.L.

Diseño de cubierta: Pau Taverna

Ilustración de cubierta: © Aperture75 / Shutterstock

Diseño de tripa y maquetación (edición papel): Kira Riera

Composición ebook: Víctor Sabaté ([www.igludelibros.com](http://www.igludelibros.com))

© Fotografías: Todas las imágenes de este volumen son de dominio público excepto las de las páginas (referencia sobre la edición en papel): 22 (IAC/ Diseño de Gotzon Cañada sobre una imagen de Ignacio de la Cueva), 25 (Retrato de Isaac Newton por G. Keller, 1689), 36 (Ilustración de Jordi Dacs), 38 (ESA-C. Carreau), 40 (Popular Science), 45 (ETH), 48 (IAU), 49 (ESO/L. Calçada), 53 (The Xenon Collaboration), 55 (CERN), 57 (Adaptado de Designua/Shutterstock), 63 (Foto Ángel Gómez), 70 (Adaptado de

NASA/WMAP Science Team), 73 (ESO/M. Kornmesser), 75 (NASA, ESA y A. Feild -STScI-), 80 (NASA/CXC/M. Weiss), 82 (Adaptado de gráfico original de M. W. Richmond), 88 (IAC/Pablo Bonet), 98 (NASA/CXC/Amherst College/D. Haggard et al.), 103 (Foto Leonor Ana), 105 (Nicolle R. Fuller/NSF), 107 (NRAO), 111 (NASA, JPL-Caltech, Event Horizon Telescope Collaboration), 119 (Caltech), 120 (SXS Lensing), 126 (NASA/GSFC), 136 a (ESO/A. Roquette), b (Dana Berry, SkyWorks Digital, Inc.) y c (NASA, ESA, the Hubble Heritage Team-STScI/AURA, y NASA/CXC/SAO/J. Hughes), 142 (Swimburne Astronomy Productions), 145 (ESA/Astrium/IABG), 149 (ESA), 163 (Steffen Richter, Harvard University), 167 (Foto Ángel Gómez), 172 (YuLi4ka/iStock), 177 (K. Thorne/IMDb), 182 (L.V. Bragatto). Icons by Icons8.

ISBN: 978-84-1361-016-0

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento y su distribución mediante alquiler o préstamo públicos.

# Índice de contenido

[Prólogo](#)

[Introducción: Con las manos en el teclado](#)

[Gravedad](#)

[Y ahora, ¡en la Luna!](#)

[Relatividad](#)

[La gravedad del lado oscuro](#)

[La trampa](#)

[Si el universo no nos la da, la hacemos nosotros](#)

[Una ducha de energía](#)

[La materia está ahí fuera](#)

[Lupas de gravedad](#)

[Cuando la gravedad agujerea el espacio-tiempo](#)

[La traicionera intuición](#)

[Atrévete a imaginarlo](#)

[La sombra de la bestia](#)

[Crónica de un descubrimiento anunciado](#)

[De predicciones, dudas, y cuentas pegajosas](#)

[La espera \(de la confirmación\)](#)

[El mundo se asombra](#)

[El despegue de la astronomía de ondas gravitacionales](#)

[Los sensores gravitacionales del futuro](#)

[Lo que contaría una onda gravitacional detectada en el espacio](#)

[Una tecnología absolutamente nueva](#)

[Y ahora... las ondas del big bang](#)  
[Un no descubrimiento famoso](#)  
[Quijote celeste](#)  
[Túneles en el espacio... y en el tiempo](#)  
[Ecuaciones](#)  
[¿Son reales?](#)  
[Paradojas temporales](#)  
[Recetas para máquinas del tiempo](#)  
[Apéndices](#)

# Prólogo

PAMPA GARCÍA MOLINA,  
periodista y divulgadora científica

Terminé mi licenciatura en Física, con la especialidad de física teórica, en el año 2001, sintiéndome una intrusa. No solo porque desde el inicio estuviera convencida de que yo iba a ser periodista de ciencia y no científica; sino, fundamentalmente, porque mis compañeros parecían comprender todo aquello y yo, no. Me sentía muy cómoda en el universo de las matemáticas, pero la física se me escapaba. Asistía a las clases —no a todas— e iba aprobando, incluso con nota, esos exámenes de cuatro horas en los que estaba permitido llevar todos los apuntes y materiales que creyéramos necesitar, pero hice la carrera siendo consciente de no estar entendiendo muchas cosas, y lamentándolo. Para mí la física teórica tenía un evidente sentido como bellísima descripción, como una narración elegante escrita en un lenguaje matemático que me fascinaba, de eso no había duda; sin embargo, las ideas se me deshacían entre los dedos al tratar de traducirlas a conceptos intuitivos. En medio de ese caos mental, me consolaba infinitamente leer libros de filosofía de la ciencia y de divulgación, libros que pasaban las horas muertas en

la biblioteca de la facultad porque nadie más los sacaba de allí y que a mí me servían como masilla intelectual. Eran el pegamento que ordenaba muchas piezas del puzle teórico que tenía en mi cabeza y las conectaba con el mundo real que yo quería comprender.

Dos décadas después, con mis canas como periodista de ciencia, una de las cosas que me divierten de la profesión es observar la lista de los contenidos que cada año tienen más éxito, y que, curiosamente, se mantienen invariables. Antes de empezar mi trabajo en la agencia SINC tuve la suerte de ser redactora de *Muy Interesante*, la revista reina de la popularización de la ciencia y una de las publicaciones más leídas de los quioscos españoles, donde aprendí las claves del oficio. Allí me sorprendió conocer cuáles eran los temas estrella, los que siempre triunfaban: el sexo, la salud, los dinosaurios y los misterios del cosmos. Esto fue muy revelador. No solo nos interesan aquellos temas con los que conectamos porque en ellos nos van la vida y el bienestar personal —como el sexo y la salud—; a los seres humanos también nos mueve la fascinación intelectual, queremos entender lo que se escapa a nuestra intuición. Nos gusta hacernos preguntas tan difíciles como «¿De qué está hecho el universo?» o «¿Por qué se extinguieron enormes criaturas?» y tratar de indagar en las respuestas. Esa fascinación es un material de trabajo riquísimo y de ella se nutren los autores de este libro: Mónica Salomone, una de las periodistas y escritoras de ciencia con más solera, curiosidad y solidez de nuestro país, especialmente curtida en lides astronómicas, y Ángel Gómez-Roldán, experto divulgador científico y redactor jefe de la revista *Astronomía*, que trabajó durante catorce años como operador de telescopios en el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Pero no solo sirve con explotar la fascinación del lector. Muchos libros de divulgación en nuestro país expresan este recurso hasta dejarlo seco y les falta, a mi modo de

ver, un enfoque que vaya más allá; que construya una historia valiosa en sí misma. Se les olvida la literatura, la narrativa. Esa carencia, en mi opinión, es bastante típica en la divulgación que tradicionalmente se ha publicado aquí, donde la protagonista suele ser la pedagogía, el tonillo de «concéntrate, que te voy a enseñar cosas superinteresantes». Personalmente, echo en falta una divulgación hecha en España que me trate como a una lectora de no ficción, no como a una estudiante. Echo en falta una divulgación que se tome la molestia de construir una narración, de crear un relato, y, para eso, el periodismo es el oficio maestro.

En *Un universo gravitacional* nos asomamos a la cosmología y la astrofísica abriendo cuatro ventanas muy concretas. Todas ellas tienen que ver con una de las fuerzas fundamentales, la más intuitiva, la que hemos experimentado desde que, siendo bebés, soltábamos el sonajero para observar cómo caía —y sentir el placer de confirmar esa expectativa—, y, a la vez, la más difícil de integrar en el corpus de la física teórica, la que trae de cabeza a los que sueñan con una descripción unificada de las interacciones de la naturaleza o teoría del todo: la gravedad. Esas cuatro ventanas se han escogido con un excelente criterio narrativo y científico: la materia oscura, los agujeros negros, las ondas gravitacionales y los túneles en el espacio-tiempo. Y cada vez que los autores se asoman a una de estas ventanas, lo hacen para preguntar a las personas que trabajan en esas áreas de conocimiento y escribir el relato a través de lo que está sucediendo ahora, en la ciencia que se construye en la actualidad. De hecho, en uno de los capítulos, Mónica Salomone contacta con la cosmóloga Alicia Sintés pocos días antes del anuncio de la que fue, sin duda, la noticia científica de 2016 —¿Se acuerdan de los años en los que las noticias de ciencia no trataban sobre la pandemia de la covid-19?—: la primera detección histórica de ondas gravitacionales. Por eso, en

aquel momento, Alicia le dice a Mónica que no podrá atender su llamada hasta una semana después.

Este libro muestra un ejercicio de puro periodismo científico, del que se hace investigando y levantando el teléfono. La autora ofrece al lector un enfoque propio sobre aspectos complejos de la realidad, construido a través de su indagación personal y de horas de entrevistas con sus fuentes. Narra los hechos, nos habla de lo que está pasando. Cuenta la historia de la ciencia contemporánea en directo. Y, como quien nos la cuenta no es una erudita, sino una verdadera narradora de la ciencia, la entendemos. Nos permite saborear la nata de un pastel enorme con mil capas superelaboradas sin que para ello tengamos que hacer un curso avanzado en Le Cordon Bleu.

Ahora, veinte años después de haber conseguido ese título que reza «Licenciada en Física», y con muchas lecturas de divulgación a mis espaldas, pienso que ojalá me hubiera encontrado con este libro por aquel entonces. Seguramente no habría pasado de refilón por la asignatura de Gravitación y Cosmología, sino que me habría enterado de algo y hasta la habría saboreado. Que a ustedes les aproveche.

# Introducción:

## Con las manos en el teclado

Imagine estar observando una estrella gigante sabiendo que esta tiene los días contados para morir como supernova.

Si lee usted habitualmente libros de divulgación, sabrá que una de las metáforas más comunes es la que equipara las estrellas a seres vivos, aunque unos seres vivos con la secuencia un poco alterada: las estrellas nacen, crecen, se mantienen en la mediana edad un tiempo corto o largo en función de su masa, después mueren y, por último, se reproducen. Las estrellas con mucha masa, las gigantes, son las que más rápido completan el ciclo —se podría decir que viven intensa pero brevemente—, y la culpa es de la gravedad: en un determinado momento de la «vida» de las estrellas muy masivas, la fuerza gravitacional que genera su propia masa las hace implosionar, en un proceso que acaba en una brillante supernova. Bien, pues imagínese que llevan años espiando a una estrella cuya gravedad está a punto de provocar ese magnífico fenómeno cósmico. La estrella puede colapsar en cualquier momento, pero claro, en astrofísica, «cualquier momento» puede ser cualquier milenio. En otras palabras, usted sabe que es muy

improbable que la estrella explote justo ante los detectores de su telescopio y, sin embargo, sigue observando.

Y, contra todo pronóstico, ¡ocurre!

Después de frotarse los ojos y dar unos cuantos saltos ante la pantalla del ordenador —o del objetivo del telescopio, porque aún hay astrónomos aficionados que descubren supernovas—, usted alerta de su hallazgo a la comunidad astronómica internacional para que otros muchos telescopios apunten al astro. Y, desde luego, para compartir la emoción con sus iguales en todo el planeta.

Sería, sin duda, exagerado afirmar que nosotros, los autores de este libro, hemos sentido el mismo tipo de emoción que un observador que ve con sus propios ojos cómo estalla la supernova que ha esperado durante años. Pero algo de eso hay.

Cuando planteamos el tema de esta obra pensamos en capturar instantáneas que reflejaran el estado actual de la investigación en cuanto a algunos de los mayores interrogantes vigentes en la actualidad, no solo en astronomía, sino en la ciencia en sentido amplio. Queríamos contar, a través de escenas escogidas, si se está progresando o no en la tarea de dar respuesta a las preguntas eternas de la humanidad. Y no estamos siendo grandilocuentes: hablamos de cuestiones tan trascendentes como de qué está hecho el universo o cuál es la naturaleza del espacio-tiempo.

Pero ¿cómo escoger las escenas adecuadas? ¿De qué parte del «cuerpo» de la investigación astrofísica de hoy debíamos extraer las «catas» para que sirvieran de muestra representativa, para que transmitieran una idea real de lo que están descubriendo los investigadores en estos momentos?

Decidimos usar como guía la fuerza de la gravedad. Así, sin más: la gravedad. Sucede que, de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, esta es quizás la que manejamos más conscientemente en nuestra experiencia

vital. Ya de bebés aprendemos a calibrar nuestro movimiento en función de la gravedad. Durante toda la vida jugamos con ella, nos protegemos de ella, la vencemos para llegar más rápido de un sitio a otro. Amoldamos nuestra existencia a su intensidad y a sus reglas. Pero a la vez, la gravedad, por familiar y «nuestra» que parezca, es también la fuerza que dibuja las órbitas de los astros; la que a lo largo de más de 13 000 millones de años ha ido definiendo la arquitectura del universo; la que determina la forma e incluso el movimiento del mismísimo espacio-tiempo, hasta el extremo de llegar a agujerearlo y hacerlo vibrar.

La idea de que una fuerza tan cotidiana como la gravedad tenga al mismo tiempo el poder de construir cúmulos y supercúmulos de galaxias, de dar lugar a fenómenos tan exóticos como los agujeros negros, nos pareció muy poderosa. Algo que los humanos sí sentimos de modo muy palpable resulta estar jugando un papel clave en fenómenos y procesos que quedan mucho más allá de lo que podemos percibir, intuir y, probablemente, imaginar.

Así pues, la gravedad es el denominador común, el hilo con el que enhebramos nuestros episodios.

Hay un tercer elemento que también consideramos a la hora de seleccionar el contenido de estas páginas: el factor cosquilleo, la sensación de que algo va a pasar pronto. Las historias que vertebran este libro hacen referencia a algunas de las áreas más «calientes» de la astrofísica actual, y muestran que cada vez se estrecha más el cerco en torno a algunas de esas preguntas que tocan los pilares del conocimiento humano. Desde múltiples frentes —la observación astrofísica, la física de partículas, la física teórica—, los científicos y las científicas están embarcándose ahora en proyectos y experimentos que demandan un grado de precisión inimaginable hace pocos años. La posibilidad de que sus resultados acaben cambiando de modo drástico nuestra visión del cosmos es muy real.

Con todos estos criterios —valor científico del problema, gravedad como protagonista, «temperatura» del área—, seleccionamos nuestras escenas narrativas y empezamos a trabajar. Y entonces... estalló la supernova. La escritura de la primera edición de este libro coincidió con el anuncio de uno de los logros más ansiados de la física moderna: la primera detección directa de ondas gravitacionales. Nosotros, como el hipotético observador del principio —supongamos que es una observadora, quizás Jocelyn Bell, la joven descubridora de los púlsares—, también reaccionamos contactando con quienes protagonizaron los hallazgos. Contagiados de su emoción, el impulso de contar sus descubrimientos en tiempo real nos surgió de manera espontánea.

Eso fue en 2016. Y podemos asegurar que el tiempo no ha pasado en balde. Las sorpresas han ido a más, las regalías científicas no dejan de llegar. LIGO ha seguido funcionando como sensor de los temblores del espacio-tiempo, abriendo para los humanos un nuevo sentido con que observar el universo. Ha detectado ya numerosas colisiones de agujeros negros, e incluso de estrellas de neutrones. La astronomía de ondas gravitacionales nos está desvelando un aspecto de la realidad tan distinto de lo cotidiano que imaginarlo exige una mente flexible y creativa.

Y hay que reconocer que la astrofísica *clásica*, la que caza fotones —radiación electromagnética, o sea, luz—, no se ha quedado atrás en cuanto a sorpresas. En un esfuerzo planetario, auténticamente global, decenas de telescopios trabajando de manera coordinada han logrado obtener la primera imagen de un agujero negro. Parece un contrasentido, puesto que cabría pensar que un objeto que se traga la luz es, por definición, imposible de fotografiar. Pero sí, con ingenio y tesón ha sido posible burlar ese pequeño detalle.

Cada capítulo del libro cuenta una historia, con su planteamiento, su nudo y su... Bueno, no siempre hay desenlace. Hablamos de investigación, y la investigación es un trabajo en curso; las respuestas siempre generan nuevas preguntas, así que se hace camino al andar y, a veces, parece que el objetivo definido al inicio del viaje se desdibuja. Lo que nunca falta —garantizado— es emoción, curiosidad y perseverancia en la búsqueda.

Empezamos, por supuesto, hablando de la gravedad, de cómo Aristóteles se equivocó con ella y de por qué aún hoy muchos de nosotros seguimos anclados en el erróneo pensamiento aristotélico, a pesar de que hemos tenido veinticuatro siglos para enmendarnos, además de la inestimable ayuda de Galileo, Newton y Einstein. En el segundo capítulo contamos una cacería, la de la llamada materia oscura; una cacería o más bien una carrera, en la que compiten miles de investigadores de todo el mundo y que ahora entra en fase de esprint. Seguimos, en el tercer capítulo, con agujeros negros: esos objetos que nacieron para la física primero sobre el papel, como resultados matemáticos, de padres que los consideraron demasiado extraños para ser reales; hoy se estima que hay miles de ellos solo en nuestra galaxia.

La siguiente escena supone otra vuelta de tuerca en cuanto a lo de superar a la ficción. Los temblores en el espacio-tiempo detectados por LIGO fueron provocados por la fusión de dos agujeros negros, un suceso acaecido a más de mil millones de años luz de distancia y que en una fracción de segundo liberó cincuenta veces más energía que la que emiten todas las estrellas del universo observable.

Los últimos capítulos miran al futuro. En uno hablamos de qué nos depara la astronomía de ondas gravitacionales cuando sea posible detectarlas desde el espacio, con misiones espaciales tremendamente complejas: satélites volando en formación pero separados un millón de