

Aurélien Barrau

El multiverso

Nuevos horizontes cósmicos

Traducción de Miguel Paredes Larrucea



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *Des univers multiples.*
Nouveaux horizons cosmiques

Diseño de colección: Estrada Design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Ilustración de cubierta: Stocktrek/Photodisc/Getty Images

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeran, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Dunod 2023, 3rd edition, new presentation, Malakoff

© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2025

© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2025

Calle Valentín Beato, 21

28037 Madrid

www.alianzaeditorial.es

ISBN: 978-84-1148-947-8

Depósito legal: M. 168-2025

Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

- 11 Prólogo

- 15 1. ¿Qué entendemos por un universo?
 - 15 La imagen global
 - 18 Un mundo, muchos mundos
 - 21 Las leyes

- 25 2. ¿Y si el espacio fuese infinito?
 - 25 El tamaño del universo
 - 29 La relatividad general
 - 37 Todo ocurre

- 41 3. Mundos en los agujeros negros
 - 41 En sentido único
 - 45 Extrañezas matemáticas
 - 51 Cuando los agujeros negros giran
 - 55 ¿Y si los agujeros negros fuesen más grandes de lo previsto?

- 57 4. La mecánica cuántica y sus mundos paralelos
 - 57 Azar y deslocalización
 - 62 Everett y sus múltiples universos
 - 67 Decoherencia

72	5. Una breve historia de la multiplicidad de mundos
72	Los orígenes griegos
75	Edad Media y Renacimiento
77	Época clásica
79	La filosofía contemporánea
84	6. La inflación eterna
84	Algunos problemas del modelo del Big Bang
88	Una elegante solución: la inflación
92	Predicciones de la inflación y confrontación con la experiencia
95	La inflación eterna y su multiverso
101	7. El paisaje de las cuerdas
101	Microcosmos
106	Paisaje
108	Macrocosmos
111	¿Una violencia?
113	8. ¿Sigue siendo eso ciencia?
113	Hacer predicciones en el multiverso
116	El principio antrópico
121	¿Por qué las leyes son tan favorables a la vida?
125	Vuelta a la inflación
127	El multiverso matemático
129	9. Gravedad cuántica y multiverso temporal
129	Cuantizar la gravedad
132	Una espuma de espín
134	La cosmología cuántica de bucles y el Big Bounce
138	Los conos de Penrose

142	10. ¿Vida en el multiverso?
142	¿Qué es la vida?
145	Exoplanetas
146	¿Qué probabilidad?
149	11. Una prueba directa del multiverso
149	El entrelazamiento cuántico
152	Universos entrelazados
154	La impenetrable física cuántica
156	Hawking y el multiverso
158	12. Metaestratos
158	Multiversos muy múltiples
165	Pensar el «más de uno»
170	Relativismo comprometido
175	Epílogo
181	Lecturas de ampliación
183	Índice analítico

Prólogo

Ella se va. Pide una indicación para perderse.
Nadie sabe.

MARGUERITE DURAS, *India Song*

El satélite Planck nos ha proporcionado con una precisión inaudita la primera luz del universo. Esta radiación fósil dibuja el fascinante rostro de la infancia del cosmos. Además, nos permite conocer detalles inesperados sobre las leyes de la física que imperaban algunas milésimas de cuatrillonésimas de segundo después del Big Bang.

Ahora está en marcha la carrera para mejorar estas formidables medidas y se están preparando ya nuevos instrumentos para intentar detectar las ondas gravitatorias primordiales que constituirían no solo un indicio adicional a favor de la inflación y un eco del jovencísimo universo, sino también el primer signo de gravedad cuántica jamás observado. La dificultad de la empresa está a la altura de la apuesta, pero la observación de las ondas gravitatorias procedentes de la coalescencia de agujeros negros con el interferómetro LIGO es más que alentadora.

Mientras tanto, el LHC (Large Hadron Collider, Gran Colisionador de Hadrones) del CERN revela las características finas del campo de Higgs e intenta sacar a la luz otras partículas elementales que podrían completar o modificar el «modelo estándar» de lo infinitamente pequeño.

Esta efervescencia instrumental va acompañada de una inmensa eclosión teórica. Ya se trate de la relatividad general, de la gravedad cuántica o de la teoría de cuerdas, hay nuevas ideas que vienen a la vez a reforzar y a «infectar» nuestro modelo cosmológico, es decir, el conocimiento profundo al que hemos llegado en cuanto a la historia, la forma y el futuro del universo. El escenario en su conjunto está muy bien apoyado por múltiples observaciones, y al mismo tiempo es extremadamente frágil, cargado de numerosas paradojas.

Ha llegado por tanto el momento de cuestionar el edificio en su conjunto. No tanto para intentar derribarlo o desmantelarlo como para explorar nuevas ramificaciones y prolongarlo más allá de lo visible o de lo concebible. Esa es la idea del multiverso.

El concepto de universos múltiples es a la vez extremadamente revolucionario, ya que rediseña los contornos de la realidad e inventa un «otro lugar» radical, y al mismo tiempo relativamente conservador, porque en esencia no es más que la consecuencia de teorías que en parte están muy bien establecidas y abundantemente contrastadas.

He intentado presentar aquí —sin pretender ser exhaustivo— algunas de las cuestiones relativas al multiverso, pensando en un público no especializado pero poseedor de una buena cultura científica. Dado que estas ideas

físicas también están inmersas en una historia —necesariamente filosófica y metafísica—, me he permitido aquí y allá algunas digresiones con el fin de poner en perspectiva las cuestiones que el modelo no puede por menos de plantear.

El multiverso quizás sea la venganza de Dioniso contra una física demasiado apolínea...

1. ¿Qué entendemos por un universo?

Y el centro era un mosaico de destellos, una especie de duro martillo cósmico, de una pesadez desfigurada, que caía y caía sin cesar como un frente en el espacio, pero con un ruido como destilado. Y la envoltura algodonosa del ruido tenía la instancia obtusa y la penetración de una mirada viva.

ANTONIN ARTAUD, *El ombligo de los limbos*

La imagen global

¿Podría ser que todo nuestro universo, la totalidad de todo lo que nos rodea, tanto los seres como los devenires, las partículas como las ondas, las palabras como las cosas, no fuese más que un islote irrisorio e insignificante perdido en medio de un vasto multiverso? Y lo que es más extraordinario: esos universos múltiples ¿estarían imbricados unos en otros, en una estructura anidada de mundos como de «muñecas rusas»? Esta es la imagen, especulativa en algunos puntos, más fiable en otros, que propone la física contemporánea. Es al menos una posibilidad compatible con lo

que se sabe y se comprende hoy día. Por lo demás, la física en sí misma quizá no sea más única ni esté más unificada que el mundo o los mundos que describe. El llamado pensamiento «racional» se enfrenta a una diversidad sin precedentes. ¿Se deconstruirá en ella? ¿Se renovará hasta el punto de reelaborar sus propios fundamentos?

La historia de la ciencia es en gran medida la historia de un aprendizaje de la modestia. Freud hablaba a ese respecto de «heridas narcisistas»: el abandono del geocentrismo, por ejemplo, no fue fácil. Comprender que la Tierra no ocupa el centro del universo —o que no está más en el centro que cualquier otro punto— no fue evidentemente una evolución indolora.

Después, aceptar que el hombre es un animal más entre los demás, que ni siquiera es, como todavía se dice a menudo, un primo del mono, sino que, estrictamente hablando, *es* uno de los grandes simios, constituye otra evolución aún más difícil de aceptar. Aunque el debate científico sobre este punto hace tiempo que se cerró sin resquicio alguno para la menor duda razonable, y aunque hoy día concebir al hombre como parte de la naturaleza —y no en oposición a ella— es casi tanto una necesidad ética como una evidencia biológica, las reticencias siguen siendo sorprendentemente numerosas. Restos, sin duda, de dogmatismos antropocéntricos y de creencias cómodamente instaladas en su altiva arrogancia. Así pues, no es de extrañar que la idea de bajar de su pedestal a nuestro propio universo provoque cierta incomodidad e incluso una oposición epidérmica.

La evolución de nuestras representaciones del cosmos tiene un sentido muy claro. Al principio fueron geocéntricas,

otorgando a la Tierra un lugar muy especial y privilegiado. Luego se hicieron heliocéntricas, confiriendo al Sol un papel preponderante. Luego pasaron a ser galactocéntricas, con una clara primacía para nuestro enjambre de estrellas, la Vía Láctea. Después fueron cosmocéntricas, llevando nuestro universo a la cúspide de lo posible. Hoy se plantea la cuestión de un nuevo paso —quizá el último— en esta evolución: el posible descubrimiento de un acentrismo radical, de una forma de *diseminación* categórica, entendida en su acepción común, científica o filosófica. Al igual que cada una de las estructuras anteriormente consideradas, es el propio universo el que hoy dejaría de ser único y central, para ser reinterpretado como un simple espécimen en un conjunto más vasto y tal vez incluso infinito.

Los universos múltiples pueden darse de diversas maneras. Puede ser en un sentido débil, por ejemplo el de un espacio inmenso en el que los fenómenos varían de un mundo a otro pero donde las leyes siguen siendo las mismas, o bien en un sentido muy fuerte, por ejemplo el de universos-burbuja no regidos por los mismos principios físicos. La diversidad de lo que podría entonces existir sobrepasa el entendimiento y quizás incluso la imaginación. Algunas de estas predicciones sobre la existencia de universos múltiples son altamente creíbles porque emanan de teorías bien conocidas y bien contrastadas. Forman parte del paradigma dominante, aunque sea de forma insidiosa. Se contentan con escrutar mejor o explotar más lo *ya conocido*. Otras, en cambio, son extremadamente especulativas porque resultan de modelos que, por atractivos y elegantes que sean, carecen de apoyo experimental. Conviene distinguir las escrupulosamente.

Estos multiversos plantean cuestiones fundamentales. Cuestiones sobre la naturaleza del mundo y sobre la naturaleza de la ciencia. Sobre el sentido de nuestros mitos y sobre la posibilidad misma de definir ese sentido. Sean cuales sean las conclusiones que saquemos de una confrontación con estas propuestas, tienen el mérito de suscitar algunas preguntas abismales que una práctica puramente técnica de la física podría tender a pasar por alto o incluso a omitir deliberadamente. Tienen la virtud de perturbar. Pueden constituir la pulsión incoativa que conduzca a un descubrimiento sin precedentes o bien el reencantamiento de lo que ya sabíamos sin habernos percatado plenamente de su (des)proporción. En todos los casos, los lineamientos de lo decible se ven así redibujados.

Un mundo, muchos mundos

Naturalmente, la idea misma de universos múltiples puede sonar, y con razón, a *contradictio in terminis*. ¡Un imposible, un oxímoron! Si el universo es el todo, es por definición único y total. En latín, *universum* procede de la composición de *uni* y *versum*, y se refiere por tanto a lo que está vuelto hacia lo uno, a lo que está vuelto en la misma dirección, a lo que es fundamentalmente unitario hasta el fundamento mismo de su designio.

En su deliciosa polisemia constitutiva, el griego abre con *cosmos* otros sentidos más difusos. Naturalmente, lo que se designa aquí es también la totalidad, pero es asimismo la idea consustancial de un orden, de una conveniencia

razonable, de una armonía en ciernes. Es, en fin, la imagen de una belleza en un sentido ligero y casi fútil. Pero la unidad sigue siendo también aquí esencial.

El marco científico invita a revisar y moderar esta acepción de lo que es el universo. No da una definición única y no ambigua, pero impone en cierta medida restringir el alcance del concepto.

En cosmología física es habitual llamar «universo» a la zona espacial que está causalmente conectada con nosotros. Es decir, todo aquello que podría haber tenido una interacción con nosotros (aunque, de hecho, quizás no la haya tenido). Esto es esencialmente lo mismo que definir el universo como aquello que se encuentra dentro de una esfera cuyo radio corresponde a la distancia más grande a la que sería posible ver utilizando un telescopio infinitamente potente capaz de detectar todos los tipos de entidades existentes. Como la velocidad de propagación de la luz es finita, esa distancia no es infinitamente grande. Todo lo que está más allá de ese límite es *stricto sensu* invisible, sea cual sea el ingenio tecnológico desplegado. Más allá es una «otra parte» radical: ninguna de nuestras causas puede tocarlo, nada de lo que ocurra allí puede tener consecuencias aquí. Hay desconexión. ¿Qué sentido científico tendría entonces incluir esa «otra parte» en nuestro universo? Más coherente y más prudente es limitar este último al conjunto de lo que es conocible, si no de hecho, al menos en principio.

Esta definición, por aproximativa que resulte ser a estas alturas, refleja un cambio fundamental respecto a la visión inicial: ya no es cuestión del universo, sino de *nuestro* universo. Los observadores de un hipotético lejano

planeta habitado llamarían «universo» a otra esfera centrada en ese planeta. La visión ya no es absoluta: pasa a ser relativa, en función de quien la enuncia y de su posición en el espacio. Y eso es en efecto lo que tiene sentido desde el punto de vista científico: el universo es aquello sobre lo cual es posible llevar a cabo una investigación directa, clara y reproducible. De ello deben extraerse dos consecuencias inmediatas. En primer lugar, que, en este sentido, se puede efectivamente pensar en la posibilidad de otros universos. El término ya no designa la totalidad física y metafísica de lo existente sin límite alguno. Y en segundo lugar, que es evidente que no existe la menor razón para que algo, sea lo que sea, cese en las fronteras de nuestro universo. Del mismo modo que es evidente que el mar sigue existiendo más allá del horizonte del vigía de un barco, es muy razonable considerar que el espacio no termina en la frontera —muy arbitraria y relativa— de nuestro universo.

Cabe imaginar también otras definiciones del concepto de universo. Por ejemplo, es posible considerar que debe incluirse no solo todo lo potencialmente visible hoy en día, incluso con una tecnología perfecta, sino también todo aquello que lo será en un futuro arbitrariamente lejano. Se puede asimismo ir aún más lejos y decidir que el universo está constituido por el conjunto de la «burbuja» de mundos en los que las leyes físicas son las mismas.

Tales burbujas podrían ser creadas por la inflación cosmológica, es decir, por la expansión acelerada de las distancias que tuvo lugar en un pasado muy lejano y que ha sido corroborada recientemente por las nuevas medidas del satélite Planck. Todas estas visiones son aceptables y se utilizan

efectivamente en determinadas circunstancias. Dependiendo del contexto, tendremos que alternar entre unas y otras. Pero sea cual sea la elección, ya no se puede hablar del universo como de un «gran todo»: está indexado a la persona que lo piensa y ha perdido su carácter absoluto y hegemónico.

En este sentido, es muy probable que los universos sean múltiples. Tal vez sean incluso infinitamente numerosos y disímiles. Esta diversidad prolonga y probablemente completa el gesto de humildad iniciado con la deconstrucción del geocentrismo. El hombre comienza a tomar conciencia de la existencia de un estrato de pluralidad que supera radicalmente a todos los anteriores en alcance, en inmensidad y en densidad. Dicho estrato concierne evidentemente al campo científico, que lo dibuja y lo asienta, pero también a las esferas de la filosofía y la estética. Lo que está en juego aquí desborda la simple ambición descriptiva y normativa de la física: lo que se convoca (y ciertamente se modifica) es el conjunto de nuestro(s)-ser(es)-en-el(los)-mundo(s).

Las leyes

La física debe distinguir estrictamente entre leyes y fenómenos. Las leyes son necesarias e inmutables; los fenómenos, contingentes y variables. Esta dicotomía desempeña un papel crucial. El tiempo, por ejemplo, altera los objetos y los procesos, y más aún los seres vivos, pero nunca las propias leyes. Envejecemos, perecemos, nos pudrimos... Pero las leyes físicas que rigen nuestros cuerpos,

esas no envejecen. Análogamente, cuando un fruto arrancado del árbol por una borrasca estival cae al suelo, su posición y su velocidad cambian con el tiempo, pero la ley de Newton que permite calcular su trayectoria, esa no cambia. Las leyes son las mismas siempre y en todas partes. Es incluso a partir de esta definición como se demuestran algunas propiedades físicas fundamentales, como la conservación de la energía o los fundamentos de la relatividad especial.

Y es precisamente esta acepción de las leyes la que se ha visto doblemente cuestionada por la ciencia contemporánea. En primer lugar, porque la física de partículas ha demostrado que las simetrías fundamentales se rompen a menudo de manera aleatoria. Consideremos el ejemplo de una canica: si la colocamos en la punta de una aguja dirigida hacia arriba, inicialmente se encuentra en un estado perfectamente simétrico por rotación alrededor del eje. Pero el equilibrio es inestable. Pronto cae y el estado final ya no es invariante: una dirección particular ha sido singularizada (como elegida) al azar. La canica no ha caído simultáneamente todo alrededor de la aguja. Este fenómeno recibe el nombre de «ruptura espontánea de simetría». Todo hace pensar que nuestras leyes resultan de una tal evolución y que por tanto podrían haber sido distintas. Pero si nuestras leyes tienen una historia, entonces se tornan sorprendentemente parecidas a los fenómenos... «Repitiendo» la historia del universo es probable que no llegáramos a las mismas leyes: estas reaparecen por tanto como meros parámetros ambientales. Y en segundo lugar, porque algunas teorías actuales tienden a generar no una ley sino un conjunto muy amplio de leyes

1. ¿Qué entendemos por un universo?

posibles. Las leyes podrían entonces variar de un lugar a otro. El resultado sería una diversidad inimaginable. Despojar a las leyes de su invariabilidad espacial y temporal no es un gesto anodino.

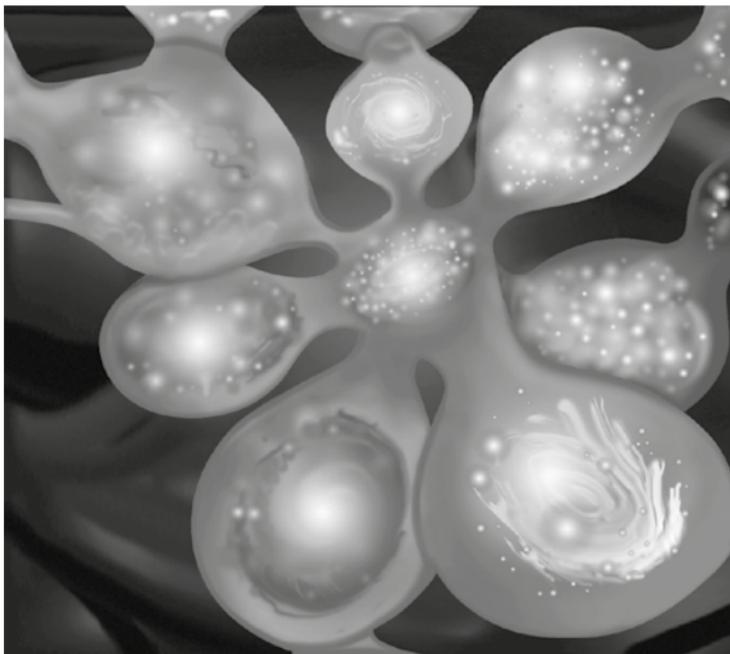


Figura 1.1. Un multiverso.

Si las propias leyes están sujetas a variaciones, posiblemente considerables, si universos diferentes están estructurados por leyes diferentes, entonces todo o casi todo se torna posible. Mundos sin materia, mundos sin luz, mundos quizás sin tiempo... Mundos de siete dimensiones, mundos con galaxias más grandes que nuestro propio universo, mundos áridos y mundos gélidos... Por supuesto,

esta extraordinaria diversidad no debe nacer de un simple deseo de extrañeza o de una postura *ad hoc*. Para constituir un marco científico significativo, esta estructura de «multiverso» debe resultar de modelos bien definidos, basados en cálculos controlados y en confirmaciones experimentales. A veces es así. Pero en otras circunstancias no está ni mucho menos tan claro. Algo importante se halla en juego aquí, en la confluencia de numerosos conocimientos y de agudas inquietudes. Algo grave y al mismo tiempo, o en el mismo gesto, ligero y estimulante. Algo raro y precioso, conmovedor y angustioso.

La pérdida del universo es quizás hermosa a pesar de ser dolorosa.

La ciencia, sea cual sea el sentido que demos a este concepto, sea cual sea la definición que cada cual decida adoptar, debe ser a la vez prudente y aventurera, humilde y arrogante, modesta y ambiciosa. El multiverso obliga a pensar la paradoja y tener en cuenta ese doble mandato.

2. ¿Y si el espacio fuese infinito?

Aquella noche, la tormenta despeinó mis sueños y los trenzó en pesadillas. En las sierras de las pinturas del Bosco me enredé, mi sexo estrangulado por las zarzas, mi pecho dislocado por mandíbulas con seis filas de dientes.

VÉRONIQUE BERGEN, *Requiem pour le roi*

El tamaño del universo

Basta con levantar la mirada hacia el firmamento en una noche fría de invierno no malograda aún por la contaminación urbana para darse cuenta de que la distancia a las estrellas es extremadamente difícil de evaluar. Los luceros podrían confundirse con pequeñas luciérnagas situadas a unas decenas de metros o con objetos muy brillantes a distancias considerables. No es posible llegar allí con una cadena de agrimensur y medir la distancia a la que están de nosotros. Y, sin embargo, la cuestión es esencial, porque condiciona de manera crucial nuestra representación del cosmos en su conjunto. Incluso abre la puerta a esa pregunta esencial: el espacio ¿es infinito?