

ENTREVISTA AL FÍSICO TEÓRICO ÁLVARO DE RÚJULA

“El vacío no es la nada y tampoco está vacío”

El nacimiento del cosmos, su gran expansión, la materia ordinaria y oscura que lo compone, las fuerzas que lo mueven, su destino final, el misterio de la constante cosmológica... Hemos hablado con el autor de *Disfruta de tu universo* para que nos ayude a comprenderlo un poco mejor.

Enrique Sacristán

14/6/2021 08:25 CEST



El físico teórico Álvaro de Rújula. / Fundación Ramón Areces

El objeto más grande del universo es el propio universo y las partículas más diminutas son las elementales, como los quarks, que funcionan como si no tuvieran partes más pequeñas. Entre esos dos extremos, ambos incluidos, está todo lo que observamos.

Según el veterano físico teórico **Álvaro de Rújula** (Madrid, 1944), que ha trabajado en numerosas universidades (Complutense y Autónoma de Madrid, Harvard, Boston...) y centros de investigación (como el ICTP en Italia y el CERN en Suiza), los intentos por entender el universo realmente son

divertidos.

Con ese mismo espíritu, pero sin perder un ápice de rigor, ha escrito [Disfruta de tu universo – no tienes otra opción](#) (Catarata, dentro de una [colección](#) en colaboración con la [Real Sociedad Española de Física](#)).

Comencemos por el Big Bang. Si ahí empezó el tiempo y el espacio, ¿tiene sentido preguntarse que hubo antes?

“ Si el Big Bang es un fenómeno repetitivo en un universo que se hincha y deshincha sucesivamente, la pregunta sobre qué hubo antes del Big Bang tiene sentido, pero si es algo que sucedió una sola vez, no lo tiene ”

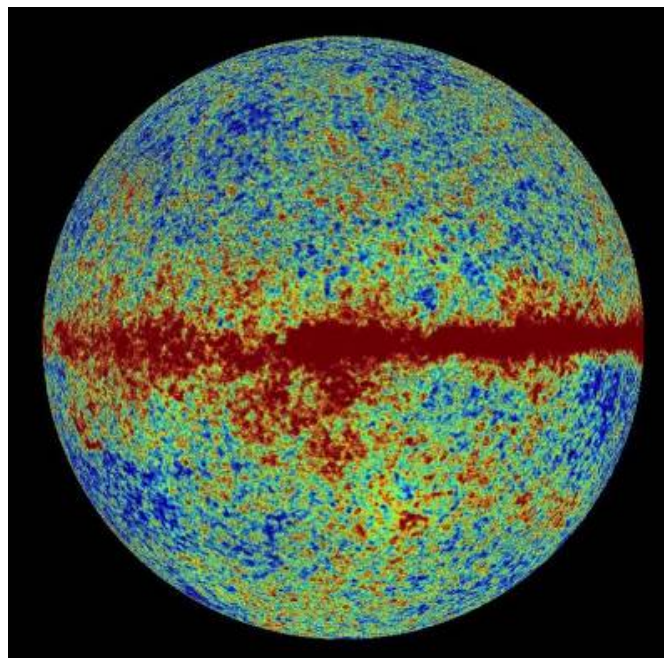
¿Dónde estaba y qué hora marcaba mi reloj antes de que lo fabricasen? Es la misma pregunta. Más en serio: si el Big Bang es un fenómeno repetitivo en un universo que se hincha y deshincha sucesivamente, la pregunta tiene sentido. Pero si es algo que sucedió una sola vez, no lo tiene. Ambas posibilidades son compatibles con todo aquello que sabemos ‘a ciencia cierta’.

Justo tras el Big Bang se produce la inflación cósmica. ¿Por qué es importante introducir este concepto?

La inflación es la expansión acelerada y exponencial del universo. Hubo una inflación primordial que se supone tuvo lugar brevemente [en muchísimo menos de un segundo] tras el nacimiento del universo, pero también está la inflación actual que observamos ahora.

La antigua teoría del Big Bang no incorporaba la inflación y tenía inconsistencias ‘mortales de necesidad’, pero la nueva teoría del Big Bang sí la añade, resolviendo problemas como el de la **causalidad**, además de ser consistente con fenómenos observables, muy en particular la **radiación**

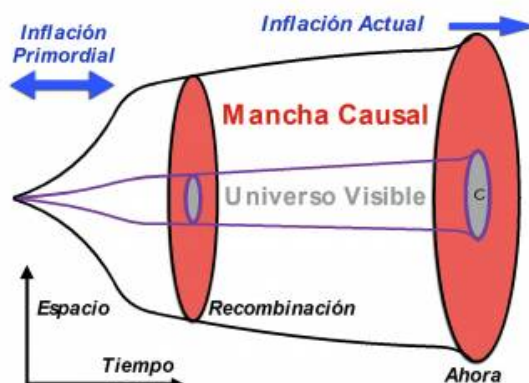
cósmica de fondo (CBR), detectada por satélites como WMAP, COBE, Planck y muchos otros instrumentos.



Bóveda celeste desde la que nos llega la lejana radiación cósmica de fondo (CBR). La franja horizontal roja es luz emitida por nuestra mucho más cercana galaxia. / WMAP-NASA

¿Nos puedes explicar un poco más la relación entre esos conceptos?

La inflación explica como el universo visible es una porción causal del universo. Esto quiere decir que en el pasado todas sus partes estuvieron en contacto entre ellas (intercambiaron materia y energía a velocidades iguales o inferiores a la de la luz), de modo que pudieron equilibrar sus temperaturas y llegar a tener propiedades muy semejantes. Eso explicaría por qué hoy vemos la radiación cósmica tan uniforme.



Universo visible (en gris) y la parte del universo que no vemos pero que estuvo en contacto con él en el pasado (mancha causal roja). / Álvaro de Rújula

La teoría inflacionaria es la relatividad general de Einstein, más un poco de mecánica cuántica, aplicada a un universo que se expande inflacionariamente. Es consistente con lo que se observa y hace predicciones que podrían confirmarla o refutarla. Una de ellas es la existencia de **ondas gravitatorias** (vibraciones del espacio-tiempo) generadas durante la inflación, que se buscan con ahínco.

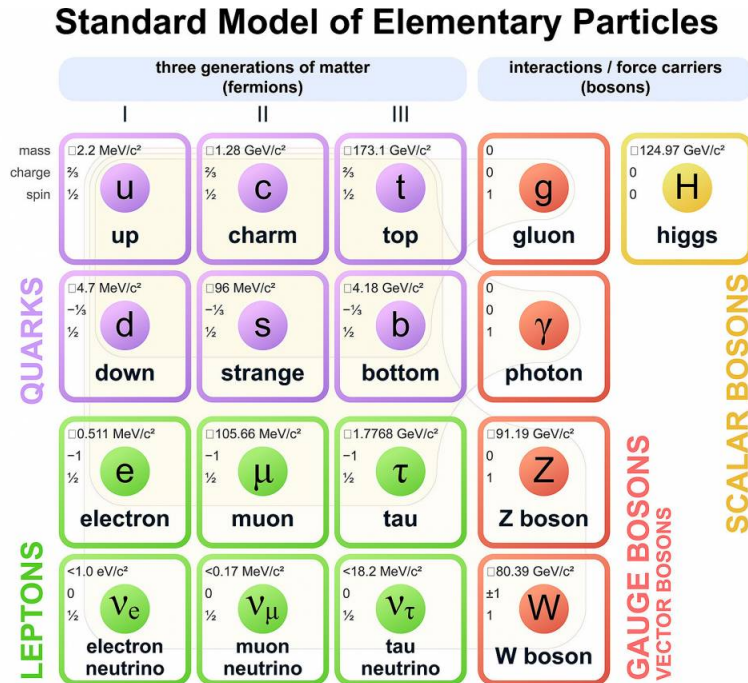
¿El principal reto de los físicos teóricos es unificar la relatividad (lo más grande) y lo cuántico (lo más pequeño)? ¿Estáis atascados?

Uno de los éxitos de la teoría inflacionaria es precisamente explicar cómo las 'cosas' más grandes que hay en el universo –las irregularidades observadas en la radiación de fondo y las consecuentes estructuras, como las galaxias– pudieron tener su origen, durante la inflación, en fluctuaciones cuánticas (breves cambios locales en la densidad de energía ¡debidos al [principio de incertidumbre de Heisenberg](#)!). Ergo, lo más grande... es también cuántico.

Y ni que decir tiene que no estamos atascados. Hay progreso, tenemos grandes retos, aunque no hay una medida para calificarlos. El principal será el primero que se resuelva.

¿Conocemos ya todas las partículas elementales que predice el modelo estándar? ¿El bosón de Higgs era la última que faltaba?

Sí y sí.

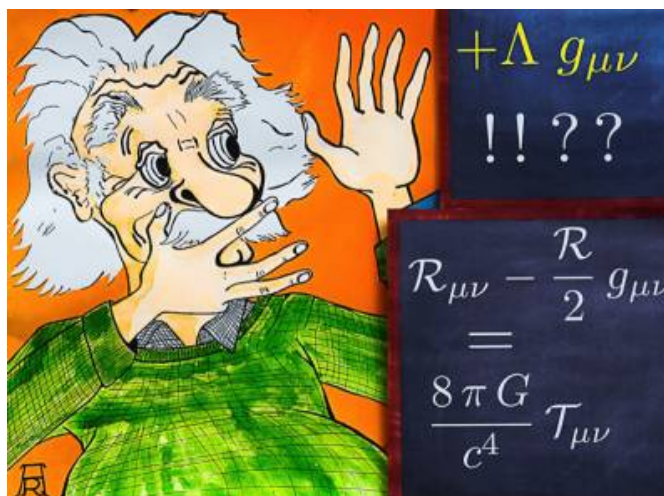


Partículas elementales (definidas por su masa, carga y espín). Se dividen en dos tipos: los fermiones (como el electrón y los quarks u y d, constituyentes básicos de la materia) y los bosones (gluón, fotón, bosones de gauge y – aunque no aparece por ser hipotética– el gravitón, que respectivamente son los ‘emisarios’ de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales: nuclear fuerte, electromagnética, nuclear débil y gravedad), además del famoso bosón de Higgs.
 / MissMJ, Cush - Own work by uploader, PBS NOVA, Fermilab, Office of Science, United States Department of Energy, Particle Data Group

Respecto a las fuerzas de la naturaleza, ¿la gravedad es la más desconocida?

Es ‘la más desconocida’ en el sentido de que no la entendemos, como a las demás, a nivel cuántico. Es prácticamente imposible observar los gravitones –los emisarios de la gravedad– uno a uno. En ese sentido los desconocemos. Eso que te ata a tu asiento es un conjunto ‘coherente’ (desde el punto de vista cuántico) de gravitones, no uno solo.

Pero aparte de esto, muchas de las predicciones de la teoría de la gravedad (la relatividad general de Einstein) están comprobadas con una precisión impresionante.



Einstein y sus ecuaciones de la relatividad general. / Álvaro de Rújula

El neutrino es otra de las partículas que acapara [titulares](#). ¿Hay algún tipo más interesante que otro, los cósmicos frente a los solares, por ejemplo? ¿Qué se espera descubrir con los grandes detectores?

¿Los más interesantes? Eso es como la perversa pregunta: “Niño, ¿Quieres más a tu mamá o a tu papá?”. Para colmo los neutrinos, viajando, se convierten unos en otros. A la mayoría de los papás y mamás eso no les pasa. Los grandes detectores ‘podrían’ (con el siempre necesario énfasis en el condicional) descubrir, por ejemplo, que los neutrinos conocidos (que son de tres tipos) se pueden transformar en otros por ahora desconocidos. Eso exigiría modificar el modelo estándar.

Y aunque no se haya demostrado su existencia, ¿cómo han evolucionado la materia y energía oscuras?

La existencia de la materia oscura (que no emite ni absorbe luz) está demostrada de modo muy muy difícil –en mi opinión imposible– de refutar. Observamos sus efectos indirectos, colectivos, astronómicos y cosmológicos. Lo de la energía oscura tiene más miga. Es muy plausible que en el principio el universo contuviera solo energía oscura, en un estado lo más sencillo posible (con entropía nula, diríamos para los ‘enteraos’). Pero esa energía oscura se transformó en materia oscura y ordinaria. No es la energía oscura que ahora vemos [alrededor del 70 % del universo actual].



Tarta de las densidades de energía de las esencias cósmicas, en el periodo de la recombinación (cuando el universo tenía unos 380.000 años) y ahora. / Álvaro de Rújula

Respecto a la antimateria, ¿queda algo en el universo, aparte de la que producimos artificialmente? ¿Cuál es la teoría más aceptada sobre lo que ocurrió con ella?

Algunos fenómenos naturales, como las colisiones iniciadas por los rayos cósmicos, producen antimateria en cantidades despreciables respecto a la materia que ya hay. La teoría más 'aceptada' lo es, como sucede en cuestiones científicas, por ser la más razonable. Érase una vez había tanta materia como antimateria. Este estado inicial evolucionó de tal modo que se generó una pizca más de materia que de antimateria. Después de que se aniquilasen entre sí, sólo sobrevivió esa pizca. Todo ello de modo natural y sin que interviniera una varita mágica.

¿Queda algún lugar del universo dónde no haya absolutamente nada, el vacío? Aunque no es lo mismo, ¿verdad?

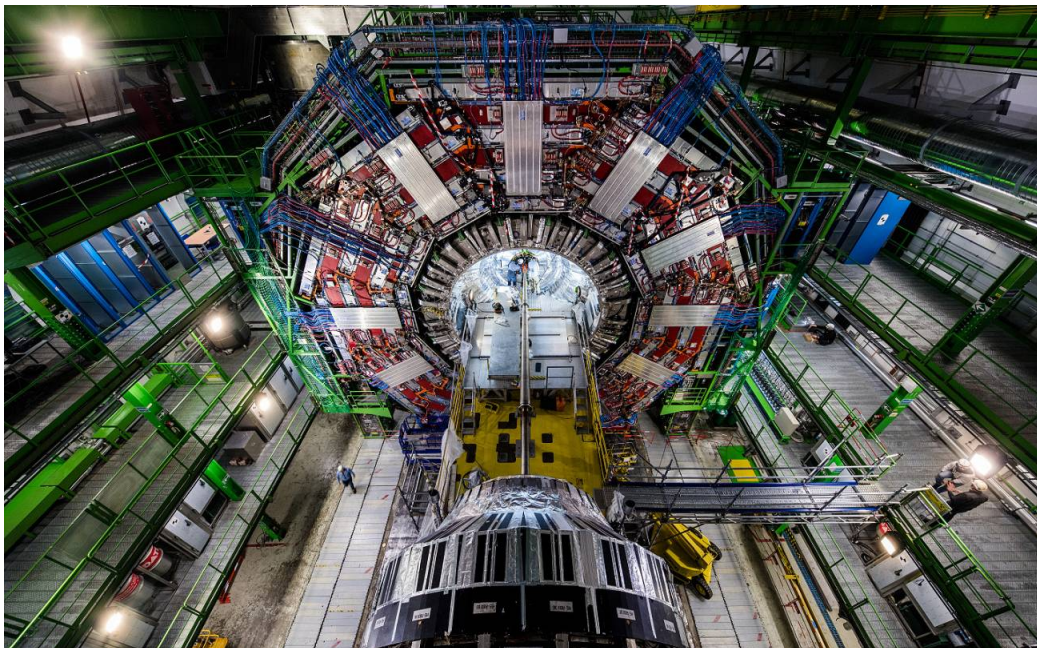
“ El campo de Higgs (un campo cuántico relativista que describe el bosón de Higgs) permea el vacío, e interactuando con este (no) vacío, las partículas elementales adquieren su masa ”

La nada es la ausencia de todo lo que “allí podría haber”. Es un concepto filosófico, característicamente vago. Sin embargo, el vacío es un concepto

físico: es algo observable. No es la nada, y para colmo, no está vacío. Sabemos que el **campo de Higgs** (un campo cuántico relativista que describe el bosón de Higgs) permea el vacío. Interactuando con este (no) vacío, las partículas elementales adquieren su masa. Pero no es este un asunto que nos permita presumir de entenderlo perfectamente.

El bosón de Higgs se descubrió en 2012 en el CERN, donde trabajaste muchos años. ¿Ese momento fue el más emocionante de tu carrera?

Mucho tenía que haberme aburrido en mi vida profesional para haber tenido que esperar hasta entonces. El experimento CMS, uno de los dos que descubrieron 'el Higgs', lo consiguió gracias al empleo de un método que propusimos cuatro de mis jóvenes colaboradores y yo, hecho fácilmente comprobable y publicado en la revista [*Physical Review D*](#). Pero casi nadie nos cita por ello. En este sentido el descubrimiento "ese" es uno de los momentos más decepcionantes de mi carrera. Lo siento por los (no) citados jóvenes.



El detector CMS (Compact Muon Solenoid). / CERN

Vaya, siento que fuera así... Volviendo al campo de Higgs y su relación con la constante cosmológica, en tu libro indicas que este es "¡el más interesante enigma cuantificable de todos los tiempos!". Explícanos un poco esto...

La constante cosmológica es la interpretación más sencilla de una observación: la densidad de energía del vacío no es nula, no es 0 como se llegó a pensar. Se mide principalmente de dos maneras: observando con telescopios la luminosidad y velocidad aparente de recesión de explosiones estelares (supernovas) y, mediante detectores de microondas, analizando la radiación de fondo emitida cuando el universo se volvió transparente a la luz a la edad de unos 370.000 años. La constante cosmológica medida así equivale a la masa-energía ($E = m c^2$) de tres o cuatro átomos de hidrógeno por metro cúbico.

¿Y qué dice la teoría?

El valor ingenuamente estimado de la densidad de energía en el vacío del campo de Higgs es muchas órdenes de magnitud superior que la medida de la constante cosmológica. Peor aun, un razonamiento (obviamente falso) basado en combinar la mecánica cuántica y la fuerza de la gravedad a ojo de buen cubero sugiere un valor teórico 120 órdenes de magnitud superior al observado (es decir, 10^{120} mayor). Todas las estimaciones razonables yerran por factores que son los más grandes cuantificables de toda la física. Es un serio enigma.

¿Cómo acabará todo? ¿Cómo será el fin del universo?

Nos consta que todo acabará mal. El universo se hinchará de modo que no veremos más allá de las galaxias más cercanas, las demás estarán demasiado lejos. Adiós a la cosmología. Las estrellas se apagarán. Adiós a la astronomía. En la actualidad le estamos diciendo adiós, en este planeta, a una gran cantidad de seres vivientes. Y de este adiós a la diversidad de las especies tenemos todos la culpa, no sólo los gobernantes que elegimos, o no.

Ejemplos para acercarse a la relatividad y la física cuántica

Rújula recoge en su libro dos ejemplos clásicos para introducirse de forma sencilla en dos ámbitos claves de la física.

RELATIVIDAD: LA PARADOJA DE LOS GEMELOS

Poco después de que nació, me alejé de mi hermana gemela a una velocidad relativista. Según la relatividad especial de Einstein, mi tiempo se dilata (mi reloj retrasa en relación con relojes en reposo *relativamente* a mi hermana), de manera que ella envejece más rápido que yo. Si mi recorrido es un círculo –como el que recorren las partículas en aceleradores circulares– celebraríamos juntos cumpleaños distintos.

La paradoja de los gemelos implica que viajar en el tiempo es posible, aunque solo al futuro de otros, por ejemplo, al de mi hermana. Para entenderlo hace falta digerir el hecho (comprobado) que el movimiento afecta al transcurso del tiempo, que no es una realidad absoluta.

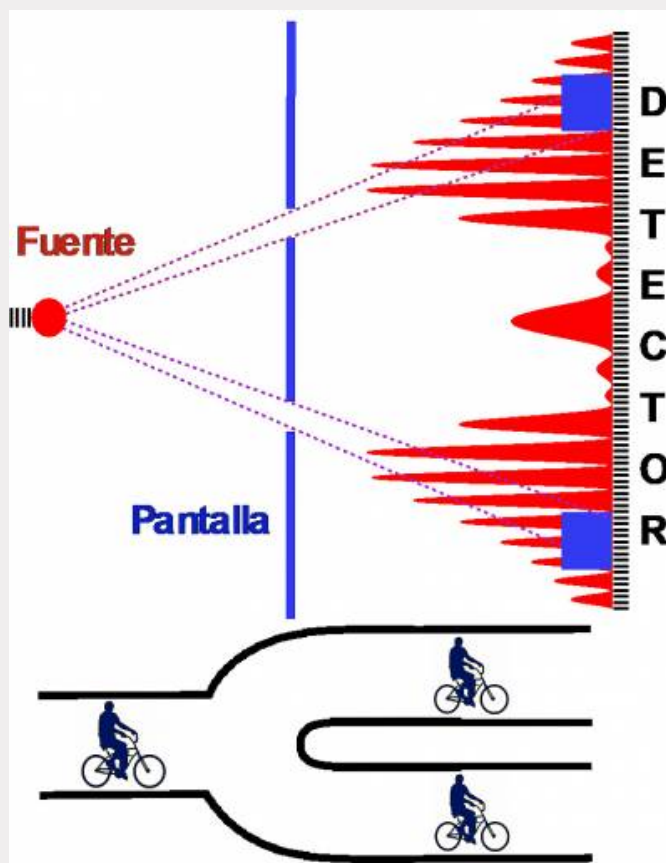


Crédito: Gemelos, Max Pixel en [freegreatpicture.com/Retrato](https://www.freegreatpicture.com/Retrato) de la madre del artista a los 63 años de edad, de Alberto Durero. / David de Miguel Ángel, foto de Jörg Bittner Unna

FÍSICA CUÁNTICA: EXPERIMENTO DE LAS DOS RENDIJAS

Una fuente de luz ilumina una pantalla con dos rendijas, y por las dos a la vez pasa cada fotón aunque se emitan y registren uno a uno. Al acumularse en el detector, los fotones de gran longitud de onda

construyen el patrón de interferencia rojo, y los de menor longitud de onda, van derechos a la zona azul. Según la mecánica cuántica, un objeto lo suficientemente pequeño (como un átomo o un fotón) puede pasar por dos rendijas o sitios al mismo tiempo, como lo haría una ola o un ciclista zen que cogiera dos caminos a la vez.



Crédito: Álvaro de Rújula

Derechos: **Creative Commons**

TAGS

CONSTANTE COSMOLÓGICA | FÍSICA CUÁNTICA | UNIVERSO | RELATIVIDAD |
BIG BANG | INFLACIÓN |

Creative Commons 4.0

Puedes copiar, difundir y transformar los contenidos de SINC. [Lee las condiciones de nuestra licencia](#)

