

La forma del universo: una abstracción que desafía los sentidos

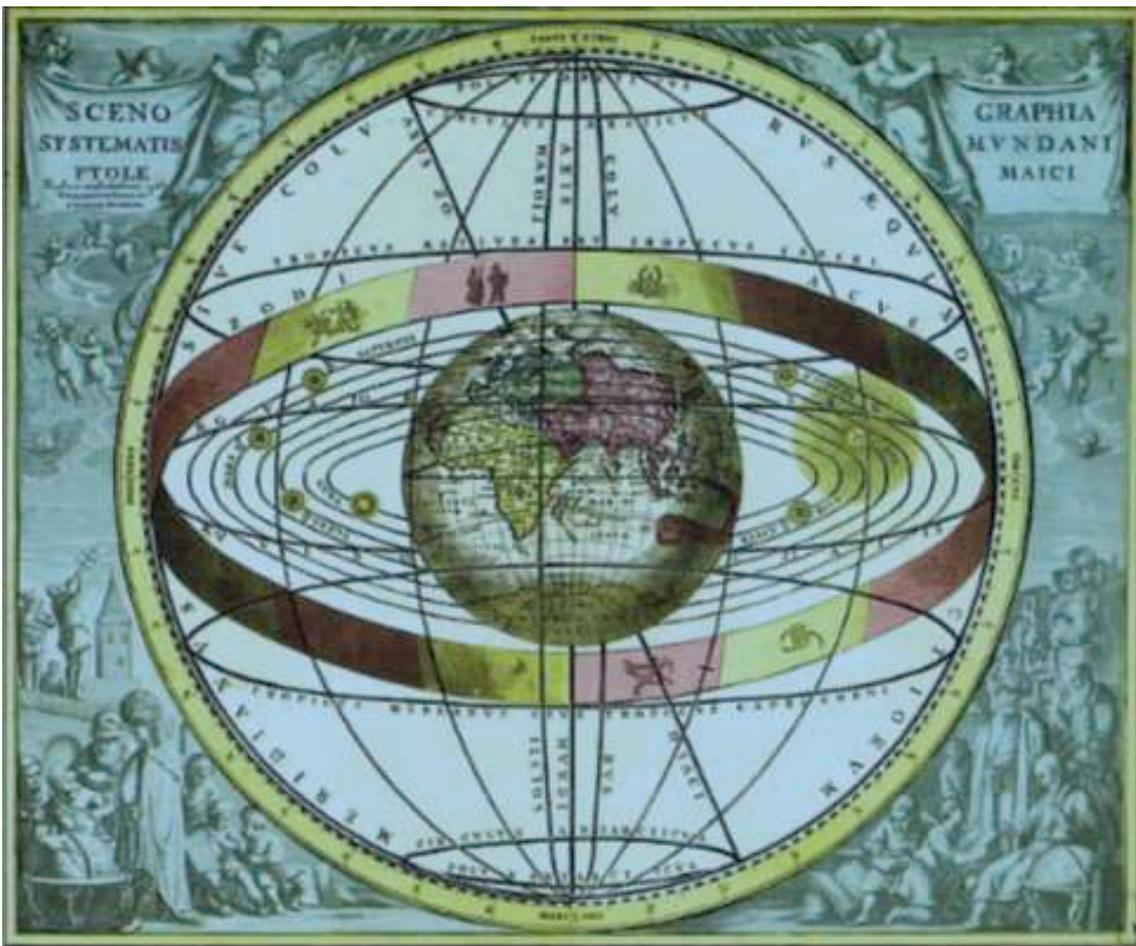
Abordamos uno de los aspectos menos intuitivos de la astrofísica

Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)

El año 2020 está suponiendo un reto para toda la población mundial. Si bien es verdad que no en la misma medida para todos, pues hemos de distinguir entre aquellos que luchan en primera línea contra la ya célebre para siempre COVID-19, bien por sufrirla en primera persona o bien por combatirla como parte de sus trabajos, y todos los demás. Personalmente, y solo de momento pues no sabemos lo que nos puede deparar el futuro, yo no he visto alterada mi vida en mayor medida que la de seguir las normas sanitarias y de confinamiento, lo que me ha permitido pasar más tiempo con mi familia, con la que convivo sin dejar de atender mi trabajo. Eso ha supuesto estar más pendiente, por ejemplo, de las tareas escolares de mis dos hijas. La pequeña ha iniciado en septiembre sus estudios de educación secundaria y ha comenzado las asignaturas de biología y geología, y también la de geografía e historia, con el mismo tema: el universo. No es mi intención con el presente artículo hacer un repaso de todas aquellas cosas que se podrían enmendar en los libros de texto de estas dos asignaturas, pero sí que me llamó la atención la siguiente aseveración: "No sabemos la forma del universo, ni tampoco si es infinito, [...] pero podemos afirmar que tiene un diámetro de 93.000 millones de años luz", lo que no deja de llamar la atención ya que se unen dos afirmaciones aparentemente contradictorias en la misma sentencia. No parece que ni los alumnos ni los profesores sean capaces de sacar en claro una concepción mental de cuál es realmente la forma de nuestro universo a partir de explicaciones tan vagas como esta. Se da asimismo la circunstancia adicional de que en muchas de mis actividades de divulgación me hacen preguntas recurrentes sobre distintos aspectos relacionados con el universo como un todo, tratando de encontrar referencias intuitivas que ayuden a hacerse una idea mejor sobre su forma, su extensión, su edad, su geometría, su futuro y, claro, es que estamos ya un poco saturados de ver siempre las mismas ilustraciones y metáforas sobre el Big Bang y la subsiguiente expansión sin tener muy claro de qué estamos hablando.

Desde un punto de vista puramente observacional podemos visualizar el universo como una esfera cuyo centro está ocupado por el planeta Tierra. No, no es que quiera reivindicar de nuevo el modelo geocéntrico de Ptolomeo, es simplemente que todo puede redefinirse cambiando el sistema de referencia y el origen de coordenadas, se encuentre este o no en movimiento, y, de manera natural para nosotros y solo para nosotros, el planeta Tierra está en el centro del universo observacional. Esta cuestión la explica muy bien Jorge Wagensberg en sus libros y ensayos, cuando él defiende que cuando un 25% de la población española cree que

el Sol gira alrededor de la Tierra, estos, en realidad, no afirman nada erróneo ya que depende de dónde esté situado el sistema de referencia. Se trata más bien de una cuestión de definir mejor la pregunta. Así pues, para los astrofísicos todo el universo observable se puede reducir a tres coordenadas: dos angulares, que definen la posición de un objeto sobre la proyección de la bóveda celeste, y otra que define la distancia a la que se encuentra de la Tierra. En esas condiciones, este sistema es equivalente a afirmar que la Tierra está en el centro y, de manera puramente práctica, todos los astrofísicos profesionales trabajamos en ese sistema de referencia que tiene como única motivación entender mejor las posiciones de todos los astros en relación a nosotros.



El modelo geocéntrico de Ptolomeo

Desde ese punto de vista geocéntrico, el universo tendría un radio de 13.720 millones de años luz. No es un radio constante, sino que va aumentando de manera progresiva debido a la expansión del universo. Es decir, y de nuevo quiero subrayar que solo desde nuestra perspectiva, parece que la esfera cuyo centro ocupamos se expande mientras parece que nosotros estamos quietos en su centro. En el límite del universo hay una barrera observacional que está ocupada por lo que se llama el fondo cósmico de microondas, una emisión tremendamente homogénea que ocupa el límite de esa gigantesca esfera que nos rodea y que no puede ser atravesada por ningún observatorio terrestre. La observación de ese fondo nos ha ayudado a

entender muchas cosas sobre la geometría actual y el pasado de nuestro universo, ayudándonos a comprender que, en realidad, lo que vemos no es sino el resto de lo que fue un universo mucho más comprimido y que sigue en expansión. Lo que vemos es solo el eco de la época en que el universo no era transparente porque la densidad de partículas era demasiado grande para que los fotones se movieran libremente, lo que ocurrió solo 300.000 años después del Big Bang. De hecho, la radiación cósmica no tenía su máximo en el rango de frecuencias de las microondas, tal como se puede medir hoy en día, lo que correspondería a la emisión de un cuerpo que se encuentra unos tres grados Kelvin sobre el cero absoluto (unos 270 grados centígrados bajo cero), sino a un rango más energético correspondiente a la emisión de un cuerpo a una temperatura de tres mil grados.

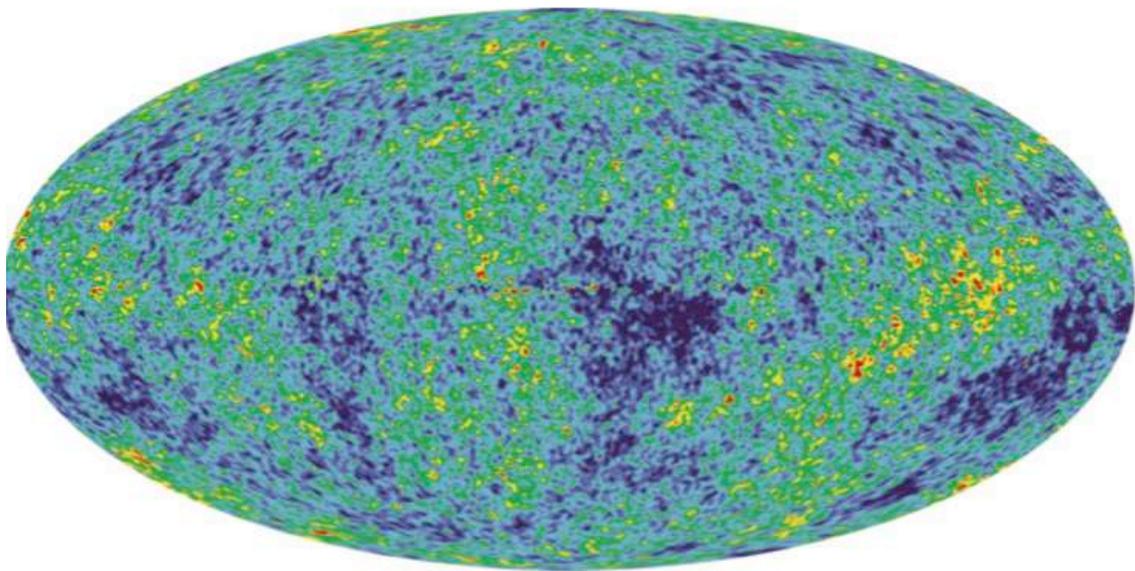
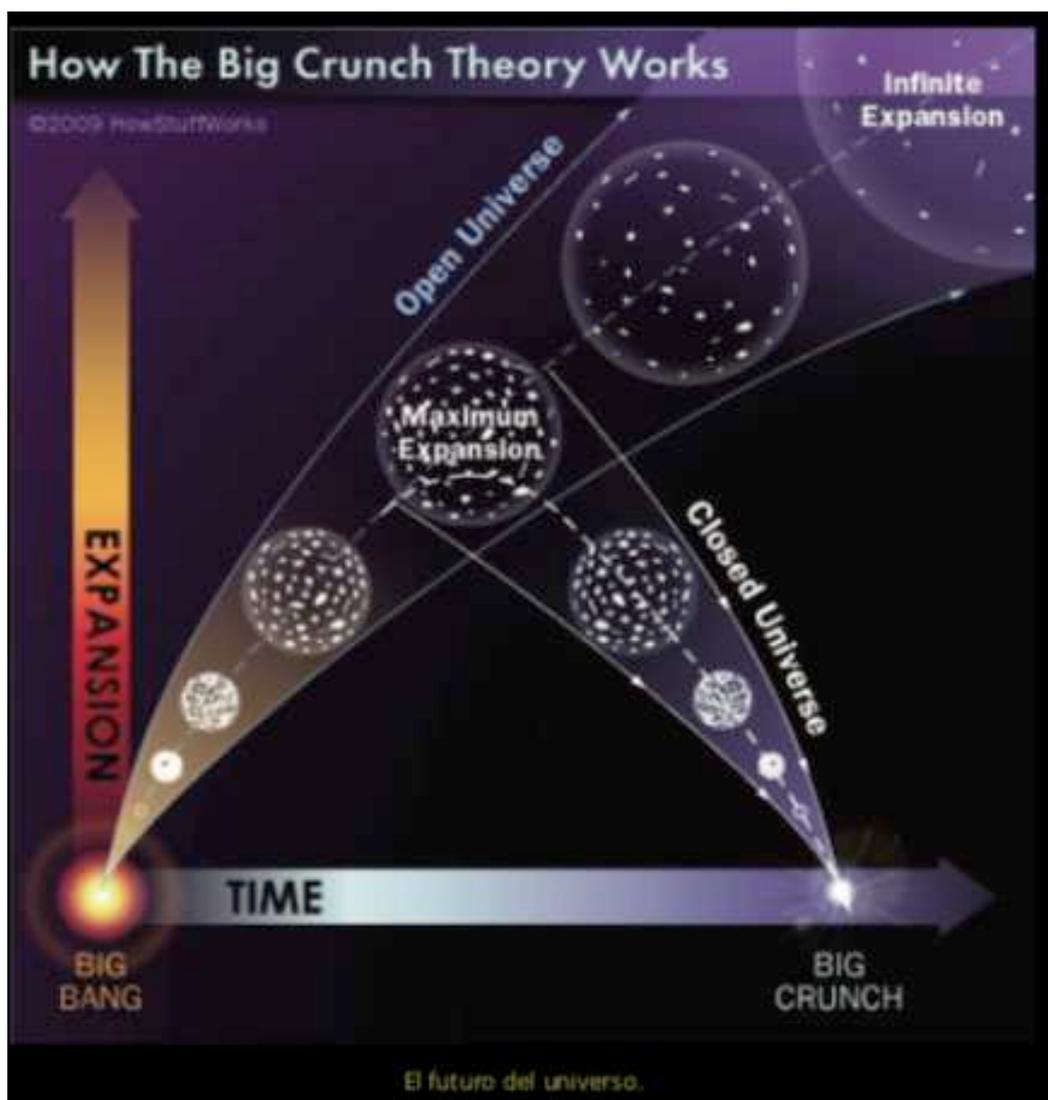


Imagen del fondo cósmico de microondas.

Sin embargo, debido a la expansión del universo, los fotones que han recorrido toda esa distancia han perdido la mayor parte de su energía a causa de la diferencia de velocidades entre el emisor y el receptor. Por cierto, conviene siempre recordar que esa pérdida de energía se produce en los rayos luminosos solo en la frecuencia y no en su velocidad, como ya postuló Albert Einstein en la teoría especial de la relatividad. Entonces, el universo hace 13.720 millones de años era mucho más pequeño y, en realidad, nosotros no ocupamos su centro, sino que su forma aparente es solo fruto de que tiene una edad limitada y la velocidad de la luz es finita, aunque muy grande, por eso parece lo que parece. Pero entonces, ¿de dónde sale la famosa cifra de los 93.000 millones de años luz? Lo cierto es que, en el transcurso de tiempo durante el que los fotones de esas regiones que ocupan el límite de nuestro universo observacional, ese que nos parece una esfera cuyo centro es ocupado por nosotros, han viajado, al universo le ha dado tiempo a expandirse, por lo que lo que nosotros vemos no se corresponde ni al aspecto ni a las distancias espaciales que apreciamos. De hecho, tomando en cuenta los distintos ritmos de expansión que ha seguido el universo durante toda su historia, se calcula que ese límite debería encontrarse ahora a unos 46.500 millones de años

luz, es decir, que el universo observacional tendría ahora un diámetro de 93.000 millones de años luz. Obviamente no sabemos, ni podemos saber, al menos en lo que a la información que puede ser transmitida a partir de la luz, qué aspecto tiene esa otra parte del universo en este momento, y para saberlo tendríamos que esperar 46.500 millones de años; claro que, para entonces, ya estará mucho más lejos. Esto tiene dos consideraciones muy relevantes sobre la forma actual del universo. La primera y más importante es que postulamos esa cifra teniendo en cuenta solo la edad actual del universo y su ritmo de expansión, pero no tenemos en cuenta en absoluto su tamaño real. Es decir, no sabemos y no podemos saber si el universo es mucho más grande que esa cifra, sino que es fruto de fijar el límite actual del universo observacional. Por tanto, el libro de mi hija debería decir más bien que no sabemos la forma y tamaño del universo, ni tampoco si es infinito, pero que debería tener por lo menos un diámetro de 93.000 millones de años luz, lo cual es muy distinto a lo que dice en realidad. En todo caso, esa cifra es anecdótica y no ayuda mucho a entender cómo es el universo hoy en día. De hecho, los astrofísicos y cosmólogos no la tienen en cuenta para nada y se trabaja más bien con las distancias que son trazadas por la luz, es decir, distancia más tiempo pasado y no dónde se encontraría el emisor en la actualidad.



La otra consideración importante es que, si han pasado 13.720 millones de años desde el Big Bang, y en la actualidad las regiones más alejadas que podemos observar en esa época están a 46.500 millones de años luz, entonces esas regiones se han expandido forzosamente a una velocidad mayor que la de la luz y, citando nuevamente a la relatividad especial de Einstein, eso no debería ser posible. Bueno, esto tiene truco, porque Einstein afirmó que los cuerpos materiales no pueden ir más rápido que la luz, pero no afirmó nada acerca de la velocidad del propio tejido del espaciotiempo, que es lo que se está expandiendo en realidad. Lo que está en su interior simplemente se deja llevar por esa expansión. Todo esto está muy bien, pero ¿entonces el universo es infinito o no? Volviendo únicamente a consideraciones observacionales, es decir, solo a aquello que podemos observar y medir, no lo podemos saber, sino que este límite inferior es el único que puede darse hasta ahora y no puede acotarse por encima porque no se puede observar nada más allá del límite observacional fijado por el fondo cósmico de microondas. A pesar de eso, y citando al eminente cosmólogo Lawrence Krauss, vivimos en una época privilegiada porque sí que tenemos acceso observacional a aquellas estructuras cosmológicas, como el propio fondo de microondas o a otras galaxias cuya velocidad de expansión podemos medir, que nos han ayudado a reconocer un universo en expansión. Pasados muchos miles de millones de años más, los futuros observadores no podrán ni siquiera observar estos elementos porque se encontrarán a una distancia y se moverán a una velocidad tales que eso impedirá que la luz llegue hasta ellos desde estos marcadores. Por tanto, es posible que deduzcan erróneamente que viven en un universo infinito y estacionario.

En todo caso, hay también otra forma de definir un universo infinito que no tiene que ver forzosamente con una ausencia reconocible de sus límites. A veces se habla, de una manera totalmente confusa a mi parecer, de una geometría abierta, plana o cerrada del universo. Estas palabras no tienen que ver demasiado con lo que nos sugieren sus significados más evidentes y son utilizadas por los cosmólogos en un contexto más amplio. Por ejemplo, cuando decimos que el universo es plano, no queremos decir en absoluto que sea una estructura espacial en dos dimensiones, pues esto queda claramente desmentido por nuestra experiencia cotidiana de vivir en un universo de tres dimensiones, o de cuatro si estamos dispuestos a admitir el tiempo como una dimensión más, aunque esto es más difícil de concebir. En realidad, el concepto de planitud tiene más que ver con un universo en el que las tres dimensiones del espacio son ortogonales entre sí, es decir, que los ejes que las definen son perpendiculares entre sí. De una manera más formal se dice que en un universo plano podemos aplicar los postulados de la geometría euclidiana, como por ejemplo afirmar que los ángulos de un triángulo suman 180 grados, por lo que el concepto de plano tiene más que ver con una ausencia de curvatura que con una ausencia de una tercera dimensión. Una de las dos alternativas a esta concepción geométrica plana que, por otro lado, es la que aceptamos de una forma más natural a través de nuestra experiencia cotidiana, es la de un universo cerrado, es decir, aquella en la que la materia y energía que contiene el universo le hace tener una geometría en la que las tres dimensiones convergen en el infinito. Esto es consecuencia de otra de las teorías de Einstein, en

este caso la teoría general de la relatividad, que afirma que esto es justo lo que ocurre con el espaciotiempo en torno a una distribución de masa con su campo gravitatorio. En ese caso podríamos hablar de un universo cerrado si admitimos que toda la materia y energía que hay en su interior lo curva hacia adentro, y podríamos hablar de un universo infinito ya que en un espacio lo bastante grande volveríamos a la misma posición, aunque nos movamos en línea recta, de manera similar a lo que ocurre en la superficie de la Tierra, pero con una dimensión más. Esto también tendría consecuencias sobre el futuro del propio universo, ya que la materia frenaría su expansión, revirtiéndola y haciendo que todo vuelva a concentrarse en un mismo punto original. De hecho, hay programas observacionales que tratan de probar esta geometría buscando objetos celestes muy alejados, es decir galaxias de las primeras épocas, que puedan encontrarse simultáneamente en direcciones opuestas del cielo, lo cual confirmaría esta hipótesis.



Campo ultraprofundo del telescopio espacial Hubble

La otra posibilidad, la de un universo abierto, es aquella en que la expansión del universo pesa mucho más, lo que haría que los ejes que definen las tres dimensiones del espacio diverjan en una geometría que suele ser ilustrada con una silla de montar, algo tampoco nada intuitivo. En resumen, en este caso las líneas de un plano se van alejando, en vez de seguir paralelas o convergiendo, como en el caso de un universo cerrado. Al contrario que en este, esta geometría tiene implicaciones diferentes para el futuro del universo, ya que en este caso se expandiría indefinidamente. En todo caso, diferentes observaciones parecen indicar que nuestro universo es más bien plano o, mejor definido, ortogonal o euclidiano. Todos los componentes del mismo, incluyendo materia, tanto ordinaria como oscura, velocidad de expansión y energía oscura, que alimenta esta expansión, se combinan en unas proporciones tales que no afectan a la geometría del universo.

De esta manera, tampoco podríamos decir que el universo observacional es infinito, aunque sí que parece que eso implica que nada podrá frenar finalmente su expansión indefinida.

Solo nos faltaría tratar de especular con lo que hay más allá del límite observacional del universo que sí podemos medir. Personalmente, me parece muy poco intuitivo pensar que nuestro universo no tiene límites, pero sí hay una idea rompedora que desafía nuestra concepción actual, como es la de pensar que sí que puede haber otros universos más allá, lo cual no puede tampoco desmentirse de una manera clara. El argumento más sólido que apoya esta teoría por la cual podría haber otras "burbujas" enormes conteniendo otros universos más allá es la de que nuestro universo tiene unas condiciones muy excepcionales en sus proporciones y leyes físicas, las cuales han permitido que nosotros estemos aquí. Afirmar que hay otros universos más allá, con otras condiciones e incluso leyes, y que nosotros solo vemos este porque es el único en el que podemos estar, tendría bastante más sentido que afirmar que solo hay uno y que ese uno tiene las condiciones perfectas para albergar vida en el mismo. En todo caso, estas consideraciones trascienden el contexto científico, que solo puede constreñirse a aquello que podemos mirar y observar y ese límite, lamentablemente, está ahora mismo muy bien definido, por mucho que sepamos que tiene que haber algo más allá. Por lo menos dejemos claro el límite de nuestra ignorancia y no lo postulemos como el límite máximo de todo lo que hay, tal como pretenden algunos libros de texto.

Enrique PÉREZ MONTERO (IAA-CSIC)
Este artículo aparece en el número 63, febrero 2021, de
la revista Información y Actualidad Astronómica, del
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA_CSIC)