

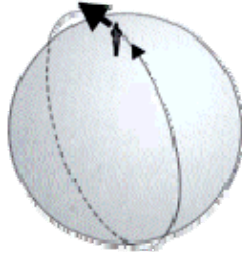
## La geometría del Universo

**Héctor Zenil**

Un cohete que abandona la Tierra necesita alcanzar cierta velocidad para librarse de la atracción gravitacional que ejerce sobre él nuestro planeta. Si el cohete no alcanza dicha velocidad, la gravedad de la Tierra lo detendrá y lo jalará hasta hacerlo colisionar con la superficie. Sin embargo, cuando el cohete supera la velocidad necesaria, queda librado del poder gravitacional de la Tierra. A esa velocidad se le conoce como velocidad de escape.

De la misma forma, según la teoría de la relatividad general, el futuro del Universo en expansión está determinado por la cantidad de masa que contiene: si la masa es suficiente, el Universo detendrá y revertirá su expansión por la atracción de todo lo que contiene. Por otro lado, si la masa no es suficiente, continuará expandiéndose indefinidamente. Pero entre ambas posibilidades existe otra: que el Universo contenga exactamente la cantidad de masa necesaria para detenerse en algún momento, sin expandirse pero tampoco contraerse. A esa cantidad de masa se le conoce como la masa crítica y se calcula por medio de la velocidad de escape necesaria para abandonar la fuerza de gravedad de la materia y energía que contiene todo el Universo. Según la teoría de la relatividad general, la forma del espacio está determinada por la cantidad de materia, debido a que la masa de un objeto deforma el espacio a su alrededor.

La densidad del Universo, es decir, la cantidad de materia que contiene en su volumen, determina su geometría. Si la densidad del Universo excede la masa crítica, entonces la geometría del espacio es cerrada y curva, como la superficie de una esfera. Esto implica que la trayectoria de un fotón o de una nave espacial que pretenda recorrer el Universo en línea recta, regresará finalmente después de cierto tiempo a su lugar de origen. Si la densidad del Universo es menor que la masa crítica, entonces la geometría del espacio será abierta y también curva, como la superficie exterior o el envés de una silla de montar. Si la densidad del Universo es exactamente igual a la masa crítica, entonces la geometría del Universo será plana, como una hoja de papel.



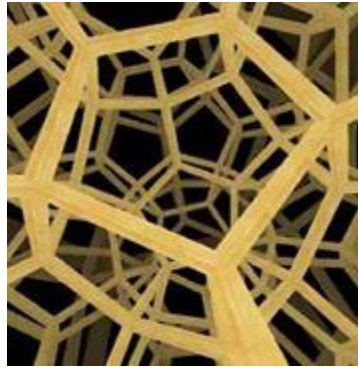
*Figura 1. Regresando en ?línea recta? al lugar de partida*

La versión más simple de la teoría de la gran inflación como extensión de la teoría de la gran explosión, predice que la densidad del Universo podría estar muy cercana a la masa crítica y que, por tanto, la geometría de éste podría ser plana. El mismo resultado ha sido confirmado por las observaciones satelitales de las misiones espaciales modernas.

A partir de las observaciones de los mapas generados por el proyecto WMAP, algunos investigadores aseguran que los patrones de las fluctuaciones en la radiación de fondo debidas a la gran explosión, se explican mejor si se considera que el Universo tiene la forma de un espacio dodecaédrico de Poincaré. El dodecaedro es uno de los únicos cinco poliedros regulares o sólidos platónicos que pueden construirse en un espacio de tres dimensiones como el nuestro. Es un poliedro regular formado por doce superficies pentagonales del mismo tamaño. En el dodecaedro de Poincaré los pentágonos están curvados y cada uno de ellos se empalma con su opuesto formando un endosado o una teselación en el espacio; es decir, un espacio lleno de dodecaedros sin espacios entre ellos, de modo que al salir por una de las caras se está entrando por el lado opuesto del otro. El espacio dodecaédrico de Poincaré es un objeto tridimensional parecido a una dona constituida de dodecaedros. Sin embargo, ésta no es aún una teoría completamente aceptada por la comunidad en general.

El modelo actual de la cosmología establece un tipo de Universo plano e infinito. Sin embargo, si el espacio fuera infinito, debería contener fluctuaciones de temperatura de la radiación cósmica de fondo en todas las escalas. Pero todas ellas son mucho más débiles de lo que podría esperarse. Esto quizá se debe a que, por ejemplo, como ocurre al tocar una campana, las ondas sonoras en su interior nunca serán más grandes que el diámetro de la misma. Por lo tanto, esta observación es un argumento poderoso para creer que nuestro espacio es finito y además no mayor que las fluctuaciones de temperatura más grandes, igual que una campana de iglesia no puede generar ondas de sonido

más anchas que su propio diámetro. Lo anterior, según un matemático que ha investigado la geometría del Universo, podría explicarse mejor con un Universo de tipo dodecaédrico.



*Figura 2. Espacio dodecaédrico. El dodecaedro es un polígono regular, es decir, cuyas caras son polígonos regulares, con los mismos lados y ángulos. En este espacio los dodecaedros llenan el espacio sin dejar huecos entre ellos.*

Las observaciones de la radiación de fondo sugieren que el Universo es un espacio tridimensional prácticamente plano en el sentido euclidiano o un toro tridimensional finito. No puede ser, por ejemplo, una esfera, a menos que sea muy grande y lo que observemos sea tan pequeño que parezca plano, por la misma razón por la que una pequeña porción de la Tierra parece plana. Pero en un espacio finito y ligeramente curvo, un viaje a través del Universo dodecaédrico llevaría al viajero de regreso al punto de partida. Si esto fuera así, entonces un mismo objeto podría verse en direcciones opuestas, pero a diferente edad; esto se debe a que la velocidad de la luz es finita y tarda lapsos distintos en recorrer [diferentes distancias para llegar al observador por un lado y por otro](#). Tratar de reconocer el objeto lejano en edades distintas sería como intentar reconocer una misma persona con una foto de 60 años y otra de 8. Sin embargo, si la radiación de fondo ha viajado lo suficiente como para encontrarse a sí misma, otra posibilidad viable sería buscar patrones repetitivos en los que la radiación forme pequeños círculos que se intersecten. Algunos astrofísicos ya buscan estos patrones y pronto podrían ((arrojar)) dar a conocer algún resultado interesante.

Figura 3. El proyecto Boomerang observó el patrón de manchas frías y calientes en la radiación del fondo cósmico de microondas (CMB) que llena el Universo (imagen superior). Éstas fueron comparadas con modelos computarizados (fila de abajo). El tamaño aparente de las

áreas frías y calientes aumenta (abajo a la izquierda) o disminuye (abajo a la derecha) dependiendo de la curvatura del espacio. Las mediciones actuales se asemejan más al modelo que supone un universo plano.

Figura4. Un cuerpo masivo deforma el espacio-tiempo a su alrededor.

Pero la atracción gravitatoria de un objeto masivo puede ser explicada mediante la geometría de nuestro espacio. La teoría de la relatividad general explica el hecho de que la gravedad es consecuencia de la deformación del espacio-tiempo debido a la masa de los objetos. Así, entre más masa tenga un objeto más deformará el espacio a su alrededor y todo objeto cercano sentirá su influencia. Esta teoría permite inclusive explicar algunos fenómenos que no podían ser explicados por la teoría de gravitación de Newton, como el corrimiento de la órbita de Mercurio y el efecto de los lentes gravitacionales debido a objetos supermasivos. Así, para la teoría de relatividad general, el Universo es curvo y la causa de la curvatura es la masa, y esta curvatura se manifiesta como fuerza gravitacional. Además, la masa de los cuerpos no sólo deforma el espacio sino también el tiempo, ya que éste, según la relatividad especial, está ligado a la velocidad de la luz. Entonces, cerca de un cuerpo muy masivo el tiempo transcurre más lentamente que cerca de uno menos masivo.

Sabemos que nuestro Universo tiene tres dimensiones espaciales y éstas nos imponen algunas restricciones. Decidir si nuestro Universo es plano o curvo, de la misma manera en que determinaríamos si una hoja de papel es curva o plana, implicaría visualizarlo desde una dimensión superior. Por ejemplo, a un habitante de la hoja de papel le sería sumamente difícil determinar si su universo es plano o curvo. Aunque a un observador que habite en tres dimensiones le será evidente si la hoja es plana o curva, por estar sumergidos en el espacio tridimensional nos es sumamente difícil determinar si éste tiene curvatura o no. El habitante del plano podría determinar si su universo es curvo trazando un par de paralelas, si éstas se cortan en un punto podrá argumentar que definitivamente no vive en un universo euclidiano plano, pero si éstas no se cortan aún quedan otras dos posibilidades. Una es que viva en un plano euclidiano y otra es que viva en un espacio hiperbólico donde existen infinitas de paralelas. Pero estos experimentos son sumamente complicados porque la geometría local de nuestro universo se aproxima mucho a una plana, sin que esto implique que su geometría global sea necesariamente plana. Los objetos muy lejanos pueden ayudar a determinar si nuestro universo tridimensional es plano o curvo.

Figura 5. En un espacio esférico dos rectas siempre se cortan

La forma de nuestro espacio puede estudiarse mediante modelos de geometría riemanniana. Ésta se desarrolló independientemente de cualquier necesidad física o cosmológica, pero Albert Einstein vio en ella la herramienta matemática necesaria para su teoría de la gravitación. Einstein propuso un modelo cosmológico según el cual el Universo era finito, pero sin fronteras. Esta concepción aparentemente contradictoria se aclara si recordamos que el espacio es curvo; así como la superficie de la Tierra es finita pero sin bordes, del mismo modo el universo de Einstein puede cerrarse sobre sí mismo y no tener fronteras.

## REFERENCIAS

The Geometry of the Universe:

<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/cosmology/geometry.html>

Future and Death of the Universe:

[http://home.cwru.edu/~sjr16/cosmos\\_death.html](http://home.cwru.edu/~sjr16/cosmos_death.html)

The Shape of the Universe

[http://encyclopedia.lockergnome.com/s/b/Shape\\_of\\_the\\_universe](http://encyclopedia.lockergnome.com/s/b/Shape_of_the_universe)