

# Universo observable

De Wikipedia, la enciclopedia libre

Saltar a: [navegación](#), [búsqueda](#)



Se ha sugerido que *[Universo conocido](#)* sea **fusionado** en este artículo o sección ([discusión](#)).

Una vez que hayas realizado la fusión de artículos, pide la fusión de historiales [aquí](#).



Ilustración del universo observable con el Sistema Solar en el centro, los planetas interiores, el cinturón de Asteroides, los planetas exteriores, el cinturón de Kuiper, la nube de Oort, Alfa Centauri, el brazo de Perseo, la Via Láctea, Andrómeda y las galaxias cercanas, la telaraña cósmica de cúmulos galácticos, la radiación de fondo de microondas y el Big Bang en el borde.

El **universo observable** u **horizonte del universo** constituye la parte detectable (teóricamente) de lo generado en el Big Bang (en nuestro Big Bang). A todo lo generado en el Big Bang, que ocupa un volumen mayor que el "universo observable", se le suele llamar "Universo total". A la parte del "Universo total" que nos ha podido afectar (causa-efecto de leyes físicas conocidas) en los 13.700 millones de años de su existencia lo llamamos "Universo observable". Se desconoce el tamaño del "Universo total". Es decir; se desconoce el tamaño de lo generado en nuestro Big Bang. También se desconoce si existieron, existen o existirán otras cosas aparte de lo generado en nuestro Big Bang. El ser humano sólo conoce una parte de lo generado en su Big Bang. Esa parte es el "Universo observable", cuyo tamaño sí es conocido (estimado).

Se suele hablar de "observable" como sinónimo de "detectable", y "visible" como sinónimo de "luz detectable (ondas electromagnéticas detectables)". Las ondas gravitatorias generadas en el inicio del Big Bang (y los neutrinos posteriores) que pudiéramos ahora detectar (en teoría) marcarían el límite del "**Universo observable** (detectable)". Sin embargo, la primera luz, que 380.000 años después del Big Bang ya

pudo viajar libremente en el espacio y que detectamos ahora como [radiación de fondo de microondas](#), marca el límite del "**Universo visible**". Todos los puntos del "universo total" emitieron esa "primera luz" (principalmente luz roja) a los 380.000 años de edad del universo. En realidad se emitieron todas las frecuencias que emitiría un [cuerpo negro](#) a una temperatura de 3000 K, que era la temperatura a la que estaba la "sopa" reinante ( [plasma](#) formado por protones, neutrones y electrones) a los 380.000 años de edad del universo. Al lugar donde está ahora la Tierra (antes no había Tierra), y posteriormente al lugar donde está ya la Tierra, ha ido llegando paulatinamente esa radiación, procedente de puntos cada vez más alejados de La Tierra, con frecuencias cada vez menores (debido a la expansión del universo y a que la luz ha estado cada vez más tiempo viajando al proceder de puntos cada vez más alejados). Actualmente, desde puntos alejados de la Tierra tanto como el radio del "universo visible" (puntos que forman la llamada "Superficie de último Scattering") nos llegan ya microondas. En realidad llegan todas las frecuencias que emitiría un [cuerpo negro](#) a una temperatura de 2,7 K, que principalmente son microondas. No es que ahora haya un objeto a esa temperatura tan fría emitiendo radiación de cuerpo negro. Lo que detectamos es la misma radiación emitida hace casi 13.700 millones de años pero desplazada hacia el rojo tanto que el color rojo inicial nos llega como microondas ( [desplazamiento al rojo](#) =  $z = 1100$  ). Llega desde todas direcciones pero la radiación que recibimos ahora no procede de todos los puntos del espacio. Procede sólo de los puntos de la "superficie de último Scattering", que coincide con la esfera que nos envuelve cuyo radio es igual al radio del "Unvierso visible". En un futuro nos llegará un fondo de ondas de radio procedentes de puntos más alejados que los de "nuestra esfera actual de último Scattring" . La esfera de último Scattring está creciendo. El Universo visible está creciendo. Por supuesto, el universo observable también está creciendo.

En mucha bibliografía sí se distingue entre estos dos vocablos (observable y visible). La diferencia entre estos dos límites es una distancia que ronda los mil millones de años luz, que es la diferencia entre el radio del "Universo observable" y el radio del "Universo visible".

El **Universo observable** parece tener unas condiciones físicas a las que podemos atribuir la característica matemática de "espacio-tiempo geoméricamente plano". Es decir; la densidad de energía, a gran escala, es tal que la expansión del espacio no desviará dos rayos de luz paralelos. Es decir; los rayos de luz ni convergerán ni divergerán al pasar el tiempo. Evidentemente, en presencia de campos gravitatorios locales, presencia de materia, etc., los rayos de luz no permanecerán paralelos. El ser *plano* (paralelos), *hiperbólico* (divergen) o *esférico* (convergen) son adjetivos aplicables a un universo a gran escala, que es la escala en la que el universo tiene una distribución homogénea e isótropa de energía/materia.

El **Universo observable** tiene un radio de  $1,37 \times 10^{26}$  m, un volumen de  $1,09 \times 10^{79}$  m<sup>3</sup> y una masa de  $9,27 \times 10^{52}$  kg, por lo que la densidad masa-energía equivalente es de  $8,46 \times 10^{-27}$  kg/m<sup>3</sup>. La densidad media de sus constituyentes primarios es de un 68,3 % de [energía oscura](#), un 26,8 % de [materia oscura](#) fría y un 4,9% de materia ordinaria, según datos recogidos por la sonda [Planck](#). Así, la densidad de los átomos está en el orden del núcleo de hidrógeno sencillo para cada cuatro metros cúbicos.<sup>1</sup> La naturaleza

de la energía oscura y la materia oscura fría sigue siendo un misterio. Aunque se han propuesto diferentes candidatos para ambas cosas (como partículas y fuerzas ya existentes o nuevas, o modificaciones de la relatividad general) no existe confirmación experimental sobre ninguna de las propuestas.

El Universo *observable* (y el *visible*), que consiste en todas las localizaciones que podían habernos afectado desde el *Big Bang* dada la [velocidad de la luz](#) finita, es ciertamente finito. La [distancia comóvil](#) al extremo del Universo observable es de unos 46.500 millones de años luz en todas las direcciones desde la Tierra (el radio del universo visible se estima en unos 45.700 millones de años luz), así el Universo observable se puede considerar como una esfera perfecta con la Tierra en el centro y un diámetro de unos 93.000 millones de años luz/880.000 trillones de km (5.865 [billones UA](#)).<sup>2</sup> Hay que notar que muchas fuentes han publicado una amplia variedad de cifras incorrectas para el tamaño del Universo observable, desde 13.700 hasta 180.000 millones de años luz. Aunque la edad del universo sea de 13.700 millones de años, la expansión ha hecho que el universo más lejano observable se encuentre ahora alejado de nosotros mucho más que esa distancia (13.700 millones de años luz). Está a más de tres veces esa distancia a pesar de haber estado viajando su luz (o sus neutrinos o sus ondas gravitatorias) sólo durante 13.700 millones de años ( $1,37 \times 10^{10}$  años). A modo de símil, si empiezas a caminar a una velocidad de 1 metro/segundo encima de una cinta transportadora de pasajeros como las que hay en los aeropuertos, después de 1 segundo te encontrarás a una distancia mayor de 1 metro. Tú eres la luz. La cinta transportadora es la expansión del universo. La energía que mueve la cinta transportadora es la energía oscura (de naturaleza desconocida). El propio Einstein dijo que nada puede viajar encima de la cinta transportadora a mayor velocidad que la luz, pero la propia cinta puede moverse a cualquier velocidad. En realidad el símil perfecto es una cinta transportadora en la que aparecen peldaños entre cada dos de ellos constantemente, de forma que dos personas que permanezcan paradas en el cinta transportadora también se separan entre sí.

### **Cálculo (estimación) del radio del Universo observable**

Bajo una suposición de un Universo homogéneo, isótropo y "plano" (a gran escala), dominado por la materia y en expansión, cuya física viene descrita por las [Ecuaciones de Friedmann](#), en el marco de la [Métrica de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker](#) y de la [Relatividad general](#), el universo se expande a un ritmo cada vez menor (bajo las suposiciones mencionadas), proporcional a  $t^{2/3}$ . Es decir, en el año actual las distancias crecerán un poco más que en el año próximo. Ese ritmo lo marca el llamado "Factor de Escala cosmológico". En realidad debería llamarse "Factor de escala entre los dos momentos elegidos", pues indica cuánto ha crecido cualquier distancia en el transcurso de tiempo entre los dos momentos elegidos de la historia del universo (o del futuro). Bajo dicha suposición, el Factor de Escala (obtenido de las ecuaciones de Friedmann), que suele representarse con la letra "**a**", viene descrito con la fórmula matemática:  $\mathbf{a}$  (entre  $t_1$  y  $t_2$ ) =  $(t_2 / t_1)^{2/3}$ . Tanto  $t_1$  como  $t_2$  son tiempos transcurridos desde el Big Bang. Por ejemplo: ¿Cuánto ha crecido la distancia "8 Km" desde el año 13.600 millones hasta el año 13.700 millones? La respuesta es la siguiente:

la distancia "8 Km" del año 13.600 millones, en el año 13.700 millones mide:  $= 8 * (13.700.000.000 / 13.600.000.000)^{(2/3)}$  Km, que es mayor que 8 Km (8 Km y 39 metros).

Bajo las suposiciones de Friedmann el **radio actual del Universo observable** es igual a 3 veces lo que hubiera avanzado la luz sin expansión en los 13.700 millones de años de edad actual del universo (en realidad es lo que hubiera avanzado la "causa-efecto", no hace falta que sea luz). Es decir;  $\text{Radio} = 3 * c * t$ , donde "c" es la velocidad de la luz, y "t" es la edad actual del universo (unos 13.700 millones de años). Si el universo no se estuviera expandiendo la causa-efecto no habría podido avanzar más de 13.700 millones de años luz, pero, debido a que el universo se expande, sí ha avanzado más que esa distancia. Concretamente el triple. Si nuestra inhomogeneidad primordial (hoy es nuestro supercúmulo de Virgo) hubiera emitido señales de cualquier tipo desde el mismísimo momento del Big Bang viajando estas a la velocidad de la luz en todas direcciones, 13.700 millones de años después esas señales habrían llegado, como mucho, a  $3 * c * t$  años luz de distancia. Dicho de otra forma. Nuestra esfera de causa-efecto sólo ha podido llegar hasta los  $3 * c * t$  años luz de distancia. Esa es la distancia a la que hemos podido enviar señales. Por tanto, cualquier otra inhomogeneidad que esté dentro de esa esfera causa-efecto (de radio  $3 * c * t$ ) igualmente pudo emitir señales que sí han podido llegar a nosotros. Sin embargo, las señales procedentes de cualquier otra inhomogeneidad que esté fuera de esa esfera causa-efecto (de radio  $3 * c * t$ ) no han podido aún llegar a nosotros. Es decir; fuera de nuestra esfera causa-efecto de radio  $3 * c * t$  puede haber supercúmulos cuyas señales primordiales (emitidas cuando el supercúmulo era una inhomogeneidad de materia/energía) no han podido llegar aún a nosotros.

Una forma de ver que la máxima distancia a la que ha podido llegar cualquier señal, emitida en el mismísimo momento del Big Bang desde una inhomogeneidad cualquiera, es igual a  $3 * c * t$  (**radio del Universo observable**) es resolver las ecuaciones de Friedmann. Otra forma más simple (para la mayoría de las personas) es hacer una aproximación utilizando una hoja de cálculo (o muchas veces una calculadora). La aproximación consiste en aplicar recurrentemente el ejemplo anterior (el del crecimiento de los 8 Km) subdividiendo los 13.700 millones de años de edad del universo en intervalos temporales razonablemente pequeños. Por ejemplo, si tomamos *intervalos de 1 millón de años* necesitaremos realizar 13.700 cálculos, que es algo abordable con una hoja de cálculo. Con un intervalo de 1 millón de años se llega a un radio del Universo observable = 40.270 millones de años luz). Por supuesto, con un intervalo temporal más pequeño llegaremos a un resultado más preciso (unos 41.000 millones de años luz de radio (aproximadamente  $3 * c * t$ )). De todas formas el objetivo es estimar, no calcular, el radio del Universo observable.

La aproximación consiste en realizar el siguiente cálculo:

**Paso 1.-** Calculamos primero lo que avanza la luz en el primer millón de años en un universo sin expansión. En 1 millón de años la luz avanza  $c * t$ , donde  $t = 1.000.000$  años. Evidentemente si "t" lo expresamos en "años", la velocidad de la luz la debemos expresar en "Km/año". Y si el radio del universo observable lo queremos expresar en

"años luz", entonces deberemos expresar "c" en "años luz/año". Evidentemente  $c = 1$  año luz/año pues la luz avanza un año luz (de distancia) en un año (de tiempo). Después de dejar que la luz avance durante un millón de años en un universo sin expansión obtenemos que el radio del universo observable en el año 1.000.000 (el Big Bang es el año cero) es = 1.000.000 años luz.

**Paso 2.-** A partir de aquí suponemos que el universo se expande al ritmo  $a = (t_2 / t_1)^{2/3}$ . Entre el año 1.000.000 y el año 2.000.000 la luz avanza  $c*t$  ( $c = 1$  año luz/año y  $t = 1.000.000$  años) = 1.000.000 años luz y el universo mediría ya 2.000.000 años luz, pero ahora estamos considerando que el universo se expande. Por tanto el nuevo radio no es 2.000.000 años luz sino  $2.000.000 * (2.000.000 / 1.000.000)^{2/3}$  años luz = 3.174.802 años luz (cifrar redondeada). Al principio vemos que el radio aumenta mucho debido a la expansión. No creas que el cálculo está mal. No. Después, el aumento irá siendo cada vez menor pues, por ejemplo  $(350.000.000 / 349.000.000)$ , es mucho menor que  $(2.000.000 / 1.000.000)$ .

**Paso 3.-** Entre el año 2.000.000 y el año 3.000.000 la luz avanza  $c*t = 1.000.000$  años luz y el universo ya mediría 3.174.802 años luz + 1.000.000 años luz = 4.174.802 años luz, pero debido a la expansión del universo a esa distancia hay que aplicarle el factor de escala, por lo que en realidad mide =  $4.174.802 * (3.000.000 / 2.000.000)^{2/3} = 5.470.538$  años luz.

**Paso 4.-** Entre el año 3.000.000 y el año 4.000.000 la luz avanza  $c*t = 1.000.000$  años luz y el universo ya mediría 5.470.538 años luz + 1.000.000 años luz = 6.470.538 años luz, pero debido a la expansión del universo esa distancia en realidad mide =  $6.470.538 * (4.000.000 / 3.000.000)^{2/3} = 7.838.499$  años luz.

**Paso 5.-** Entre el año 4.000.000 y el año 5.000.000 la luz avanza  $c*t = 1.000.000$  años luz y el universo ya mediría 7.838.499 años luz + 1.000.000 años luz = 8.838.499 años luz, pero debido a la expansión del universo esa distancia en realidad mide =  $8.838.499 * (5.000.000 / 4.000.000)^{2/3} = 10.256.169$  años luz.

Si continuamos realizando este cálculo 13.700 veces (llegaríamos al paso nº 13.700) obtendremos un radio del universo observable = 40.270.687.087 años luz. hacer esto es sencillo utilizando una hoja de cálculo (en la que no redondearemos cifras). Como  $2.000.000 / 1.000.000 = 2/1$  y  $3.000.000 / 2.000.000 = 3/2$  y  $4.000.000 / 3.000.000 = 4/3$ , etc., en la hoja de cálculo expresaré el tiempo expresado en millones de años.

Hoja de cálculo:

Filas (de la 1 a la 13.700) ----- Columnas A y B (A (tiempo en millones de años) y B (radio en años luz))

Fila ----- Columnas A y B

1----- 1 ----- 1000000

2----- (fórmula) = A1 + 1 ----- (fórmula) =  
(B1+1000000)\*POTENCIA((A2/A1);(2/3))

3----- (fórmula) = A2 + 1 ----- (fórmula) =  
(B2+1000000)\*POTENCIA((A3/A2);(2/3))

4----- (fórmula) = A3 + 1 ----- (fórmula) =  
(B3+1000000)\*POTENCIA((A4/A3);(2/3))

5----- (fórmula) = A4 + 1 ----- (fórmula) =  
(B4+1000000)\*POTENCIA((A5/A4);(2/3))

Copia/pega estas fórmulas hasta la fila nº 13.700 y habrás calculado (de forma aproximada) el radio del universo observable actual (bajo las suposiciones de Friedmann). El error en la estimación será tanto menor cuanto menor sea el intervalo de tiempo tomado.

Si prefieres hacer un programa, lo deberás hacer de la siguiente forma (no se incluyen peculiaridades de ningún lenguaje de programación concreto):

$r(1) = 1000000$

FOR i=2 TO i=13700 {

$r(i) = ( r(i-1) + 1000000 ) * ((i/(i-1))^{(2/3)})$

}

El bucle se debe repetir 13700 veces. Cada lenguaje de programación tiene su forma de realizar bucles.

La variable final  $r(13700)$  valdrá 40.270 millones de años luz.

Si prefieres utilizar otro intervalo temporal (diferente a 1000000 años), como por ejemplo, 1000 años, el programa deberá tener la siguiente estructura:

$edad = 13700000000$

$t = 1000$  (intervalo temporal elegido)

$r(1) = t$

$n = edad / t$  ( $n$  es el número de cálculos que hay que hacer)

FOR i=2 TO i=n {

$$r(i) = ( r(i-1) + t ) * ( ( i*t)/((i-1)*t) )^{(2/3)}$$

}

La expansión del universo no es tan rápida como solemos pensar. La distancia "2.300.000 años luz" (distancia entre las galaxias Vía Láctea y Andrómeda) ha crecido aproximadamente "1 año luz" en los últimos 10.000 años debido a la expansión del universo. Si representamos estas dos galaxias como dos campos de fútbol, éstos estarían separados 2,3 Km (escala: 1 año luz real = 1 milímetro en el campo de fútbol). En 10.000 años los dos campos de fútbol se separarían 1 milímetro por la expansión del universo. En este ejemplo no estamos hablando de los movimientos propios (peculiares) que tengan estas dos galaxias dentro del [Grupo Local](#) ni estamos hablando de las fuerzas gravitatorias de cohesión entre las galaxias en un grupo de galaxias. Estamos hablando de lo que crecen las distancias por la expansión.

El radio más comúnmente aceptado hoy (unos 46.000 millones de años luz) es mayor que  $3*c*t$  (el "Radio de Friedmann"), y mayor que el de la aproximación anterior, porque la Cosmología actual aplica un "Factor de Escala" que tiene en cuenta que el universo ahora se está expandiendo de forma acelerada. No sigue la fórmula anterior  $(t_2/t_1)^{(2/3)}$ , sino que sigue una fórmula exponencial. El factor de escala  $a(t)$  es proporcional a  $e^{H*t}$ , donde "H" es el parámetro de Hubble y "e" es el número  $e = 2.718182\dots$ ). Es decir, el ritmo de expansión, en vez de ir frenándose, está aumentando, de forma que los cúmulos de galaxias y supercúmulos se alejan unos de otros cada vez a mayor velocidad (movimiento acelerado). En algunos cálculos más precisos también se tiene en cuenta que durante los primeros 56.000 años de edad del universo el universo estuvo dominado por la radiación, cuyo "Factor de Escala" fue proporcional a  $t^{(1/2)}$ , no a  $t^{(2/3)}$ .

## Conceptos básicos

Un concepto que es básico entender es que un segundo después del Big Bang ( $t = 1$  segundo) la expansión ya pudo haberse llevado inhomogeneidades primordiales (nódulos de mayor densidad de energía que hoy vemos como supercúmulos) a millones de años luz de distancia. Esto es posible incluso con un ritmo de expansión lento. Todo depende del número de inhomogeneidades generadas en nuestro Big Bang y de la energía neta generada, que son datos desconocidos. La energía oscura, que es el nombre con el que llamamos a esa causa desconocida que separa inhomogeneidades, es de naturaleza desconocida y, por tanto, no podemos poner un límite a su capacidad de separar  $n$  inhomogeneidades. Sí podemos estimar la energía neta de cada inhomogeneidad (es la energía neta de un supercúmulo). Para separar dos inhomogeneidades sí podríamos conocer la energía neta necesaria. Para separar tres inhomogeneidades sí podríamos conocer la energía neta necesaria. Para separar un

número no conocido de inhomogeneidades no podemos conocer la energía neta necesaria. El hecho es que ignoramos la energía oscura neta total asociada a nuestro Big Bang. Se conoce la densidad de energía (julios/m<sup>3</sup>) necesaria para justificar todo lo observado (energía normal, materia oscura y energía oscura) pero no la energía total neta generada en el Big Bang. Sin embargo, el hecho de que sea posible que pueda haber inhomogeneidades a millones de años luz en ese primer segundo (en  $t = 1$  segundo) eso no significa que la velocidad de propagación de la *causa-efecto* generada en cada inhomogeneidad haya sido superlumínica. Al contrario, la *causa-efecto* se propaga a velocidad menor o igual que la de la luz. La expansión del universo hace que la luz avance distancias mayores a  $c \cdot t$  pero la distancia recorrida por la *causa-efecto* en el primer segundo de “vida” de nuestro Big Bang no es de millones de años luz. Una cosa es lo que ocupa lo generado en nuestro Big Bang y otra cosa es el tamaño de las *esferas causa-efecto* asociadas a cada inhomogeneidad. La *esfera causa-efecto* de una inhomogeneidad es el conjunto de puntos del espacio donde ha podido llegar el *efecto* de cualquier *causa* generada en esa inhomogeneidad (ondas gravitatorias, neutrinos, luz, etc.). En los 13.700 millones de años de edad de nuestro Big Bang la *esfera causa-efecto* de nuestra inhomogeneidad (de nuestro [supercúmulo](#) de Virgo (esfera centrada en nuestra Galaxia)) ya ha llegado aproximadamente hasta los 46.000 millones de años luz (radio del llamado Universo observable). Ha avanzado más que  $c \cdot t$  porque durante todo ese tiempo el “espacio” ha estado expandiéndose. Es decir; las inhomogeneidades han seguido separándose durante todo ese tiempo (y ahora mismo siguen haciéndolo). Pero, es preciso comprender que es perfectamente posible que ahora mismo podría haber inhomogeneidades situadas a una distancia de  $10^{20}$  años luz de nosotros, generadas también en nuestro Big Bang. En realidad el tamaño actual de lo que ocupa lo generado en nuestro Big Bang depende del número de inhomogeneidades generadas en nuestro Big Bang (dato desconocido) y del ritmo de expansión durante los 13.700 millones de años de edad (actual) de nuestro Big Bang (que viene determinado por la energía total neta producida en el Big Bang y por la evolución de las "Leyes Físicas" de todo lo generado en él). La distancia a la que ha podido llegar nuestra "causa-efecto" en 13.700 millones de años coincide con la distancia a la que estarán las últimas (más lejanas) inhomogeneidades cuyas "causas-efectos" nos han podido afectar a nosotros. Dicho de otra forma (a modo de símil). Si gritas muy fuerte durante un determinado período de tiempo la distancia a la que han llegado las ondas sonoras de tu primer grito es la misma distancia a la que tendrían que estar las últimas personas a las que tú podrías oír (si hubieran empezado a gritar al mismo tiempo que tú). Las inhomogeneidades que estén más lejos no han podido afectarnos pues sus esferas "causa-efecto" no han llegado (aún) a nuestra inhomogeneidad. Nadie duda que hay partes del Big Bang cuya *causa-efecto* no nos ha podido afectar aún, e incluso partes que jamás nos afectarán (la expansión, al ser aparentemente acelerada, hace que haya inhomogeneidades cuya *causa-efecto* se va alejando de nosotros y se alejará siempre en vez de acercarse). Su luz se alejará siempre de nosotros a pesar de "intentar" viajar hacia nosotros (en nuestra dirección). En realidad siempre debemos distinguir entre "el todo", entre "lo generado en nuestro big Bang" y entre "el universo observable" (nuestra esfera "causa-efecto"). Cada punto de lo generado en el Big Bang tiene su propia esfera "causa-efecto", que mide lo mismo que la nuestra pues es razonable pensar que todo lo generado en nuestro Big Bang se expande de forma homogénea e isotrópica.

Para entenderlo gráficamente recurriré a una representación lineal de la expansión (en una línea). También supondré (para simplificar la explicación) que la "Regla de



*Expansión*" es la siguiente: "Todas las inhomogeneidades deben separarse de sus contiguas a la velocidad de 7.000 Km/s". O lo que es lo mismo: "La distancia entre cualesquiera dos inhomogeneidades debe aumentar a un ritmo de 7000 Km/s". También supondré que lo generado en el Big Bang (las inhomogeneidades) estaban y están distribuidas homogéneamente e isotrópamente y que la densidad de energía fue la crítica (universo llamado "plano"), por lo que la esfera *causa-efecto* de cada punto del espacio siempre estará a una distancia  $3*c*t$  de dicho punto (ver Ecuación de Friedmann). Siendo "c" el valor de la constante de la velocidad de la luz y "t" el tiempo transcurrido desde que se originó la causa (desde el Big Bang). Esta suposición sólo la añado para dejar patente que voy a utilizar en la explicación una determinada velocidad de propagación de la *causa-efecto*. Da igual que no sea una velocidad correcta.

**NOTA:** La cifra 7.000 Km/s es aproximadamente la velocidad actual con la que se separan los [Supercúmulos](#) (inhomogeneidades) adyacentes al nuestro, supuestos a una distancia media de 100 [Mpc](#) (constante de Hubble = 70 Km/s/Mpc).

1 Mpc = 3,26 Millones de años luz

- Si el Big bang hubiera generado sólo **dos** inhomogeneidades, en un segundo ( $t = 1$  segundo) estarían a 7.000 Km la una de la otra.

X----- 7000 Km -----X

Y la *causa-efecto* originada en cada una de las inhomogeneidades estaría ya a una distancia de 900.000 Km ( $3*c*t$ ). Esta suposición ( $3*c*t$ ) es una aplicación directa de las Ecuaciones de Friedmann comentadas en el apartado anterior. No importa si es correcto o no. Lo importante es darse cuenta de que la esfera *causa-efecto* que tendría cada inhomogeneidad sería mayor que la distancia entre las propias inhomogeneidades. El "universo observable" (esfera *causa-efecto*) asociado a cualquier inhomogeneidad sería mayor que la separación máxima entre inhomogeneidades. En este caso el tamaño de "lo generado en el Big Bang" sería un poco mayor que el tamaño del "universo observable" que pudiera observar un habitante de una de las inhomogeneidades. Su "universo observable" mediría  $3*c*t$  de radio ( $6*c*t$  de diámetro), mientras que el tamaño máximo de "lo generado en el Big Bang" sería igual a ( $3*c*t$  (radio de la esfera causa-efecto de la inhomogeneidad de la izquierda) + 7.000 +  $3*c*t$  (radio de la esfera causa-efecto de la inhomogeneidad de la derecha)). Total =  $6*c*t + 7.000$ . "Lo generado en el Big Bang" es 7.000 Km mayor que el "universo observable" asociado a cualquier inhomogeneidad.

- Si el Big Bang se hubieran generado **tres** inhomogeneidades, en un segundo ( $t = 1$  s) cada una estaría a 7.000 Km de las adyacentes. Estamos en una representación lineal, por lo que, en ese segundo de tiempo, ya habría una que estaría a 14.000 Km de otra (ver REGLA DE EXPANSIÓN mencionada antes).

X----- 7000 Km -----X----- 7000 Km -----X

Y el radio de la *causa-efecto* asociada a cada una de las inhomogeneidades seguiría siendo 900.000 Km ( $3 \cdot c \cdot t$ ) pues sólo ha pasado un segundo desde el Big Bang. La esfera *causa-efecto* que tendría cada una sería mayor que el tamaño total ocupado por las inhomogeneidades. El “universo observable” (esfera *causa-efecto*) asociado a cualquier inhomogeneidad sería mayor que "lo generado en el Big Bang".

- Si se hubieran generado **cuatro** inhomogeneidades, en un segundo ( $t = 1$  s) cada una estaría a 7.000 Km de las adyacentes. Y habría una que, en ese primer segundo, ya estaría a 21.000 Km de otra.

X----- 7000 Km -----X----- 7000 Km -----X----- 7000 Km -----X

Y la *causa-efecto* originada en cada una estaría a una distancia de 900.000 Km ( $3 \cdot c \cdot t$ ) pues sólo ha pasado un segundo. La esfera *causa-efecto* que tendría cada una sería mayor de lo que ocupan las inhomogeneidades. El “universo observable” (esfera *causa-efecto*) asociado a cualquier inhomogeneidad sería mayor que lo generado en el Big Bang.

- Si el Big Bang hubiera generado **diez millones** de inhomogeneidades, en un segundo ( $t = 1$  s) cada una estaría a 7.000 Km de las adyacentes pues esa era la “REGLA DE EXPANSIÓN”. Y habría una a  $((\text{diez millones} - 1) \cdot 7.000) = 69.999.993.000$  Km de otra.

X----- 7000 Km ----- X ....(diez millones de inhomogeneidades menos dos) ..... X -----  
7000 Km -----X

< ----- 69.999.993.000 Km -----  
----->

Y la *causa-efecto* originada en cada una estaría a una distancia de 900.000 Km ( $3 \cdot c \cdot t$ ) pues sólo ha pasado un segundo. La esfera *causa-efecto* que tendría cada una sería menor que lo que ocupan las inhomogeneidades. El “universo observable” (esfera *causa-efecto*) asociado a cualquier inhomogeneidad sería menor que lo generado en el Big Bang.

Evidentemente, la evolución de la expansión es diferente a la mencionada en esta explicación. Además de que es probable que haya habido un [período inflacionario](#) (que acentuaría más aún el efecto de la explicación previa), el ritmo de expansión (el parámetro de escala) ni fue, ni es, ni será constante (al menos eso parece). Esta explicación sólo pretende que se comprenda que el “universo observable” (esfera *causa-efecto*) asociado a cualquier inhomogeneidad puede ser menor que lo generado en el Big

Bang. Y esto es lo que suponemos que ocurre en la realidad. No sabemos cuántas inhomogeneidades hay pero sí sabemos que toda nuestra esfera "causa-efecto" está llena de inhomogeneidades (supercúmulos) por lo que es lógico pensar que "lo generado en el Big Bang" es mayor que "nuestra esfera causa-efecto" (nuestro "universo observable").

En tres dimensiones lo puedes imaginar como una malla de tetraedros en la que cada nodo representaría una inhomogeneidad (actualmente un supercúmulo). la "Regla de Expansión" sería que "todos los lados de los tetraedros deben crecer a la vez". Da igual el ritmo al que crezcan pero lo deben hacer a la vez. Es bastante normal que, después de 13.700 millones de años con la "Gravedad" actuando, haya galaxias "uniendo" supercúmulos y enormes espacios vacíos de galaxias (centro de los tetraedros).

He tratado de evitar usar la palabra "universo" en estas explicaciones porque el principal problema divulgativo es que se suele utilizar esta palabra ("universo") para referirse a "nuestra esfera *causa-efecto*" (se usa como sinónimo de "universo observable"). Sin embargo, para la población, la palabra "Universo" denota "el TODO", que es un concepto que incluso contiene a lo generado en nuestro Big Bang. No sé muy bien por qué el ser humano piensa que su Big Bang no pudo generarse en un lugar en el que ya había algo. Ese otro algo ya daría sentido al lugar en el que ocurrió nuestro Big Bang. Dicho de otro modo. Si es posible que ya hubiera "espacio" antes de nuestro Big Bang ¿no pudo generarse nuestro Big Bang en él?

La "Física" puede impedirnos salir de nuestra esfera *causa-efecto* o salir del volumen que ocupa lo generado en nuestro Big Bang. La "Física" puede provocar que los relojes se paren y que las distancias se acorten pero eso no significa que no pueda existir otra cosa más allá. Un ser que esté dentro de la zona de no retorno de un agujero negro supermasivo en el centro de una galaxia (que podría vivir ahí sin notar nada especial, cosa que no ocurre en los agujeros negros de tipo estrella colapsada que moriríamos al instante desmembrados por la diferencia de gravedad entre nuestros pies y nuestra cabeza) tendría unas ecuaciones de su "Física" que le impiden salir. Sus ecuaciones le indican que en límite de no retorno su tiempo se para, sus distancias se hacen nulas, etc. Afirmaría que "su universo" llega hasta el límite de no retorno del agujero negro. Lo que no debe decir es que no tiene sentido preguntarse qué hay más allá de la zona de no retorno.

Nuestro Big Bang, a pesar de limitar los posibles lugares donde la "Física" nos permite estar (a nosotros o a cualquier ente generado en nuestro Big Bang), sí pudo generarse en un lugar previamente existente.

Si existe A, entonces puede generarse B en un lugar situado a cierta distancia de A. A y B pueden estar separándose a mayor velocidad de lo que se expanden A y B, de forma que nunca entrarían en contacto. Es decir; ningún ente de A (energía, materia, luz, ondas gravitatorias, etc.) llegará nunca a B y viceversa. No debemos caer nuevamente en el error de pensar que lo que conocemos es "EL TODO".

Sí que tiene sentido preguntarse qué hay más allá. Siempre lo tiene. Otra cosa es que estemos limitados para conocer la respuesta, tanto tecnológicamente como "Físicamente (por Leyes Físicas)".

Lo generado en nuestro Big Bang sí tiene un centro (a no ser que se generaran infinitas inhomogeneidades), que es el centro de gravedad (energético, no sólo de masa) de de todo lo generado en él. Lo generado en él sí va ocupando cada vez más volumen. Sí va ocupando lugares nuevos a los que antes nunca había tenido acceso por *causa-efecto*. Las inhomogeneidades de los "bordes" (si no hay infinitas) tendrán sus esferas *causa-efecto* diferentes a la nuestra pues allí no hay homogeneidad e isotropía. De hecho, no serán esferas. El ser humano desconoce la energía neta generada en el Big Bang. Sólo conocemos la densidad de energía (Julios/m<sup>3</sup>). Sí conocemos la energía neta de nuestra esfera *causa-efecto* (de nuestro "universo observable") pero eso no nos indica lo grande que es el "universo total" (lo generado en nuestro Big Bang). Estas afirmaciones entran en conflicto con el lenguaje que se suele utilizar en Cosmología, que a mi modo de ver no es el adecuado, pero nada de lo aquí mencionado contradice nada de lo observado por el ser humano. Lo aquí mencionado permite entender y comprender en tres dimensiones (que son las dimensiones reales (lo demás no son "dimensiones")) todo lo que observa el ser humano (universo observado), todo lo que intuye que existe (lo generado en nuestro Big Bang) y todo lo que podría existir (otros Big Bangs separándose del nuestro (o no)).

### **¿Puede llegar a nosotros luz procedente de una galaxia que la expansión la aleja de nosotros a la velocidad de la luz?**

Lo primero que hay que puntualizar es que Einstein dijo que aquel que reciba (o emita) luz, si mide la velocidad de esa luz, obtendrá que la recibe (o la emite) a una velocidad de 300.000 Km/s. Esto no contradice el hecho de que una galaxia pueda alejarse de nosotros a cualquier velocidad (la expansión puede alejar galaxias de nosotros a 100 veces la velocidad de la luz, por ejemplo). Si un habitante de una de esas galaxias emite luz y mide su velocidad verá que la emite a 300.000 Km/s (en su marco de referencia local). Si esa luz nos llegara (veremos que sí es posible), cuando la recibamos, la recibiremos a 300.000 Km/s (en nuestro marco de referencia local). Si una nave alienígena la intercepta a mitad de camino, la interceptará a 300.000 Km/s (en su marco de referencia local). Dicho de otra forma. Si pudiéramos observar la expansión de lo generado en nuestro Big Bang desde fuera (marco de referencia externo), veríamos que la luz no tiene velocidad constante respecto a ese marco externo. Sin embargo, también veríamos que cualquier habitante que la reciba o emita la medirá con velocidad 300.000 Km/s (en su marco de referencia local), que es lo que dice realmente la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein.

Para comprender esto nada mejor que ver un ejemplo con una galaxia que se aleja de nosotros a  $V = c$  (300.000 Km/s) debido a la expansión del "espacio". Vamos a suponer que el factor de escala es lineal ( $a(t) = k \cdot t$ ). Es decir; que la velocidad de alejamiento de cualquier galaxia permanece constante en el tiempo.

Si una galaxia A está a una distancia X y su velocidad es 80, inmediatamente sabemos que otra galaxia B que esté a la mitad de distancia tendrá una velocidad de 40. Mil años después la galaxia A estará más lejos pero su velocidad seguirá siendo 80 (suponiendo

un Factor de Escala lineal  $a(t) = k \cdot t$ . La galaxia B estará a la mitad de distancia y su velocidad seguirá siendo 40 pues sigue estando a la mitad de distancia de la galaxia A. Para calcular la velocidad de cualquier punto entre nosotros y la galaxia A basta con prorratear su velocidad conforme a la distancia. Este concepto de prorratear distancias es clave para entender por qué sí nos llegará la luz emitida por una galaxia que se aleja de nosotros a la velocidad de la luz. Veamos un ejemplo del concepto de prorrateo de distancias fijándonos en el supercúmulo Perseo-Piscis, que se aleja de nosotros a una velocidad de unos 7.000 Km/s). Este supercúmulo está actualmente a una distancia algo inferior a 100 Mpc, pero para simplificar cálculos la supondremos a una distancia de 100 Mpc. Recordemos que 100 Mpc = 326 millones de años luz.

**Nosotros** <-----> **Supercúmulo Perseo-Piscis** (velocidad = 7000 Km/s)

X ----- 100 Mpc ----- X

¿Qué velocidad de expansión tiene un punto P que diste de nosotros 33 Mpc?

X --- 33 Mpc --- P ----- 67 Mpc ----- X

Velocidad de expansión del punto P =  $7000 * (33/100) = 2310$  Km/s.

Si hubiera una galaxia en este punto P, esta se alejaría de nosotros a 2310 Km/s (debido a la expansión).

Otro ejemplo:

¿Qué velocidad de expansión tiene un punto Q que dista de nosotros 80 Mpc?

X ----- 80 Mpc ----- Q --- 20 Mpc ---- X

Velocidad del punto Q =  $7000 * (80/100) = 5600$  Km/s.

Si hubiera una galaxia en este punto Q, esta se alejaría de nosotros a 5600 Km/s (debido a la expansión).

Esta es la Ley de Hubble. A cada punto le corresponde su velocidad de expansión (de alejamiento) en función de la distancia. Basta con prorratear la velocidad en función de la distancia para obtener la velocidad que le corresponde a un punto cualquiera.

Se podría incluso obtener la velocidad de un punto más alejado que el del ejemplo.

¿Qué velocidad de expansión tiene un punto R que dista de nosotros 120 Mpc?

X ----- 100 Mpc ----- X --- 20 Mpc --- R

Velocidad del punto R =  $7000 * (120/100) = 8400$  Km/s.

Si hubiera una galaxia en este punto R, esta se alejaría de nosotros a 8400 Km/s (debido a la expansión).

Pongamos ahora el ejemplo de un supercúmulo B que se aleja de nosotros (hacia la derecha en el siguiente esquema) a la velocidad de la luz (respecto a nuestro marco de referencia local y respecto al marco de referencia externo) partiendo de una posición inicial B1 cualquiera. Nosotros permanecemos en reposo (respecto al marco de referencia externo) a la izquierda en el siguiente esquema.

**Nosotros** <-----> **Supercúmulo B** (velocidad = 300.000 Km/s)

X ----- 13.700 millones de años luz ----- B1

¿Puede llegar a nosotros la luz que emita un habitante del supercúmulo B?

La respuesta es "sí". Inicialmente la luz se queda parada (respecto al marco externo) pues la luz trata de ir hacia la izquierda a 300.000 Km/s pero B se mueve hacia la derecha a 300.000 Km/s. Por tanto la luz se queda inicialmente parada (respecto al marco externo). Esto no contradice la Relatividad Especial. Si el habitante de B mide la velocidad de emisión de su luz obtendrá que la emite a 300.000 Km/s. Él no tiene por qué saber que es él el que se está moviendo hacia la derecha (respecto a nuestro marco externo). Para él, su luz se aleja de él a 300.000 Km/s. Él no la ve parada. Él ve que, en un segundo, su luz ya está a una distancia de 300.000 Km de él. Por tanto, él dirá que su luz se aleja de él a 300.000 Km/s.

Al cabo de poco tiempo, el supercúmulo B ya se ha desplazado hacia la derecha una cierta distancia d, ocupando la posición B2. Recordemos que el supercúmulo B sigue alejándose a la velocidad de 300.000 Km/s pues el factor de escala era lineal con el tiempo (su velocidad de alejamiento era constante).

X ----- 13.700 millones de años luz ----- B1----d--- B2  
(velocidad = 300.000 Km/s)

A la posición en la que está la luz (punto B1), que era donde se quedó parada (respecto al marco externo) ya no le corresponde una velocidad de expansión igual a 300.000 Km/s. Esa velocidad le corresponde al punto B2. Al punto B1 le corresponde una velocidad menor que 300.000 km/s. Recordemos la regla de prorrateo de distancias. Por tanto hay que prorratear distancias para obtener la nueva velocidad de expansión del punto B1 (que era donde estaba la luz). Veremos, por tanto, que luz ya no puede estar parada en el punto B1 (respecto al marco externo).

Este efecto demuestra que la cifra de la constante de Hubble va disminuyendo con el tiempo. Eso no significa que el supercúmulo B vaya más lento. Lo que significa es que a una determinada distancia fija (respecto a nuestro marco local) cada vez le va correspondiendo una velocidad de expansión menor (al pasar los años). La constante de Hubble actual tiene un valor aproximado de 70 Km/s/Mpc. Esto significa que hoy, una galaxia A situada hoy a 1 Mpc se aleja hoy de nosotros a 70 Km/s. Dentro de 1.000 años un habitante terrícola que mida la velocidad de alejamiento de otra galaxia B que se halle en ese momento a 1 Mpc (mantenemos fija la distancia) no obtendrá que se aleja a 70 Km/s. Obtendrá una cifra menor (por el prorrateo de distancias mencionado antes) Supongamos que obtiene 68 Km/s. Si ese habitante mira la galaxia A, verá que está más lejos que 1 Mpc (hace 1000 años sí estaba a esa distancia). Supongamos que la galaxia A está a 1.2 Mpc de distancia. Sin embargo ese habitante verá que la galaxia A sigue alejándose a 70 Km/s (estamos en un supuesto caso de un factor de escala lineal). Ese habitante terrícola podrá decir que la constante de Hubble es igual a 70 Km/s/1.2 Mpc o que la constante de Hubble es igual a 68 km/s/Mpc. Es el mismo resultado, pero si ese habitante quiere expresar la constante de Hubble en Km/s/Mpc deberá decir que la cifra es 68, no 70. Por eso la constante de Hubble disminuye su valor al pasar el tiempo. Disminuye porque queremos que las unidades Km/s/Mpc permanezcan invariables para expresar la constante de Hubble. En realidad esto es cierto siempre que el factor de escala sea tal que la velocidad de alejamiento permanezca constante o vaya disminuyendo. O incluso que vaya aumentando pero que lo haga a un ritmo menor que el prorrateo de distancias mencionado antes. Es decir. Si el prorrateo produce una disminución de la velocidad entonces la constante de Hubble disminuirá con el tiempo.

Es importante recalcar que en el ejemplo del supuesto supercúmulo B estamos suponiendo que la velocidad de alejamiento de los supercúmulos es constante. O lo que es lo mismo, el factor de escala mantiene una relación lineal con el tiempo ( $a = k \cdot t$ ).

Volviendo al ejemplo del supercúmulo B que se alejaba de nosotros a la velocidad de la luz, podemos calcular la velocidad de expansión del punto B1. Basta con aplicar la regla de prorrateo mencionada antes:

$$\text{Velocidad de expansión del punto B1} = 300.000 * (13.700 \text{ millones de años luz} / (13.700 \text{ millones de años luz} + d))$$

Esta velocidad es un poco menor que 300.000 Km/s.

Supongamos que el cálculo anterior da como resultado que al punto B1 (que es donde estaba la luz) le corresponde una velocidad de alejamiento de 290.000 Km/s. La luz

intenta ir hacia la izquierda a 300.000 Km/s (respecto al marco externo), pero viaja sobre algo que se expande. En su posición B1 la velocidad de expansión es 290.000 Km/s (respecto al marco externo). Por tanto la luz se mueve hacia la izquierda a 10 Km/s (respecto al marco externo). Desde el marco de referencia externo vemos que la luz empieza a viajar hacia nuestro supercúmulo (hacia nosotros), que estamos a la izquierda del todo. El caso es que la luz ya no está parada. A pesar de quedar inicialmente parada (respecto al marco externo) la luz empieza a viajar hacia nosotros. Cuanto más a la derecha se vaya el supercúmulo B, ocupando posiciones B2, B3, B4, etc., el prorrateo de distancias hará que la luz vaya cada vez más rápido hacia nosotros.

Supongamos que la luz ya está en un punto L tal que le corresponde una velocidad de expansión de 100.000 Km/s (respecto al marco externo). Al tratar de ir hacia la izquierda a 300.000 Km/s (respecto al marco externo) pero tener una velocidad de recesión de 100.000 Km/s (respecto al marco externo), el resultado es que va hacia la izquierda a 200.000 Km/s (respecto al marco externo). El supercúmulo B ya se halla muy a la derecha (pongamos que está en el punto B50). Recordemos que B sigue alejándose a 300.000 Km/s hacia la derecha (respecto al marco externo).

X ----- L (luz) -----B1-----B2-----B3----B4-----  
B50

Supongamos que en ese punto L hay una galaxia G en la que vive un ser que intercepta la luz. ¿A qué velocidad la mide?

X ----- L (luz) -----B1-----B2-----B3----B4-----  
B50

X ----- G (galaxia) -----B1-----B2-----B3----B4-----  
B50

Ese ser (aunque no lo sepa) va hacia la derecha a 100.000 Km/s (en el marco externo) pues esa era la velocidad de expansión que le correspondía a ese punto. La luz que le viene de frente, respecto al marco externo, viajaba en ese punto a 200.000 Km/s hacia la izquierda (en dirección contraria a la que se mueve ese ser). Ese ser mediría que la luz que recibe va a 300.000 Km/s. No se viola en ningún momento el principio de Relatividad Especial.

Si seguimos prorrateando distancias con la luz cada vez más cerca de nosotros llegaremos a la conclusión de que, cuando la luz llega a nosotros, el prorrateo de distancias es:  $V = 300.000 * (0 / \text{distancia a la que se halle el supercúmulo B})$ . Es decir; la velocidad de expansión que le corresponde al punto donde estamos nosotros es cero. Es obvio. La ley de Hubble dice que nuestra galaxia se aleja a 0 Km/s de nosotros mismos. Es evidente. Por tanto recibimos la luz a una velocidad de 300.000 Km/s (en este caso tanto respecto al marco externo como a nuestro marco local). El caso es que sí recibimos la luz que fue emitida por un objeto que se alejaba de nosotros a la velocidad de la luz y la recibimos a 300.000 Km/s.



Hemos supuesto que la expansión no es acelerada. Si fuera acelerada entonces el prorratio de distancias puede dar como resultado que la luz, a pesar de intentar viajar hacia nosotros, se vaya alejando en vez de acercarse. Pero esto es posible bajo la hipótesis de una expansión acelerada.

En este ejemplo no he mencionado que la luz que recibimos lo haría con una longitud de onda mucho mayor que la emitida por el habitante del supercúmulo B (debido al desplazamiento al rojo espectral por la expansión). Puede llegar en forma de infrarrojo, microondas o incluso ondas de radio métricas o kilométricas. Todo depende de la posición inicial del Supercúmulo B. La luz puede llegar con tan poca energía que no podamos detectarla por nuestra limitación tecnológica.

Si quieres hacer el cálculo (estimación) con un programa sería deseable tomar intervalos de tiempo (o espacio) muy pequeños para que el cálculo fuera más preciso. Deja que el supercúmulo B se mueva hacia la derecha durante un año mientras la luz se queda parada un año en la posición B1. A partir de ahí empieza a prorratiar, de forma que la luz, el año siguiente ya viaje hacia nosotros a una pequeña velocidad (respecto al marco externo). Considera esa velocidad constante durante ese segundo año. Por supuesto, durante ese segundo año, el supercúmulo B también se ha desplazado más hacia la derecha. Vuelve a prorratiar distancias para calcular la nueva velocidad de la luz hacia la izquierda (pequeña pero un poco mayor a la del año anterior). Usa esa nueva velocidad como velocidad constante durante el año siguiente. Debes hacer el programa con un bucle para que el ordenador (computadora) calcule el prorratio muchos miles de millones de veces. Así calcularás (estimarás) cuándo nos llegaría la luz emitida por el supercúmulo B que se aleja de nosotros a 300.000 Km/s al emitir luz desde una distancia de 13.700 millones de años luz. Ten en cuenta que cuando recibamos la luz, habrán pasado muchos millones de años (más de 13.700 millones de años) pero el supercúmulo B se seguirá alejando de nosotros a 300.000 Km/s (bajo las suposiciones mencionadas anteriormente relativas al factor de escala  $a = k \cdot t$ ).