COSMOLOGÍA.

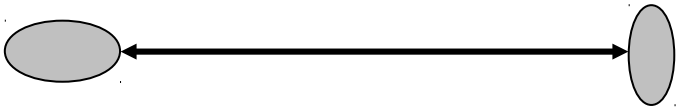
Alfonso Navarro

El Universo es viejo y grande: empezó a existir hace 13.700 millones de años y, en el momento actual, las cosas mas lejanas que podemos observar, (*fondo de microondas*), están a una distancia de 46.000 millones de años-luz. A primera vista parece muy variable, pero si manejamos una escala de distancias suficientemente grande, (mas de 1.000 millones de años-luz), el Universo es prácticamente igual en todos los sitios, (*homogeneidad*), y direcciones, (*isotropía*).

Para describir la conducta del Universo hay que acudir a la *Relatividad general* de *Einstein*. De acuerdo con ella, la materia y la energía influyen en la geometría del espacio (y el tiempo) produciendo una "*curvatura*" que afecta al movimiento de los cuerpos, (*gravedad*). Como la materia/energía se distribuye de forma parecida por todo el espacio, lo mismo sucede con la geometría: las distancias entre los objetos del Universo deben cambiar de la misma forma, al pasar el tiempo, y la curvatura del espacio ser la misma en cualquier lugar.

Llamaremos "*factor de escala*", R , del Universo en un instante t de su historia, a la proporción, (igual en todos sitios), en que cambian todas las distancias al pasar del momento actual (t_o) al instante t . Si un par de galaxias, están separadas ahora por una distancia L_o , su separación L , en otro momento t , será:

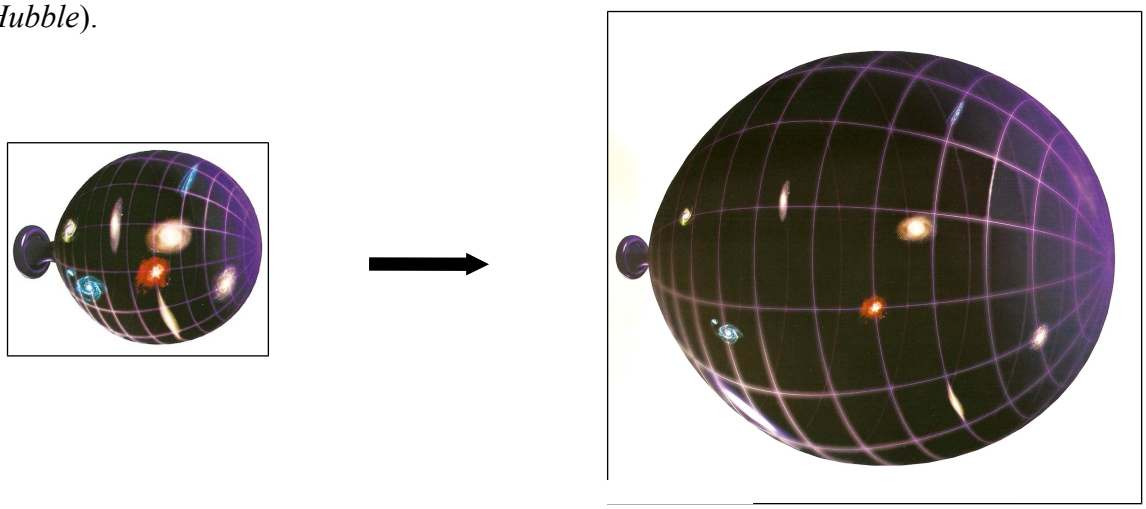
$$\mathbf{L = R \cdot L_o}$$



Como todos los lugares y direcciones tienen las mismas propiedades, el espacio no puede tener "bordes" ni "curvarse" de forma diferente en cada lugar: debemos verlo como una "superficie", de tres dimensiones, ilimitada e igualmente curvada en todos sus puntos. Hay tres situaciones diferentes, dependientes del signo de una "*constante de curvatura*" K : en dos dimensiones, (ver Figura), corresponden a un plano, (K=0) , una superficie esférica, (K>0), o la superficie de una silla de montar, (K<0).

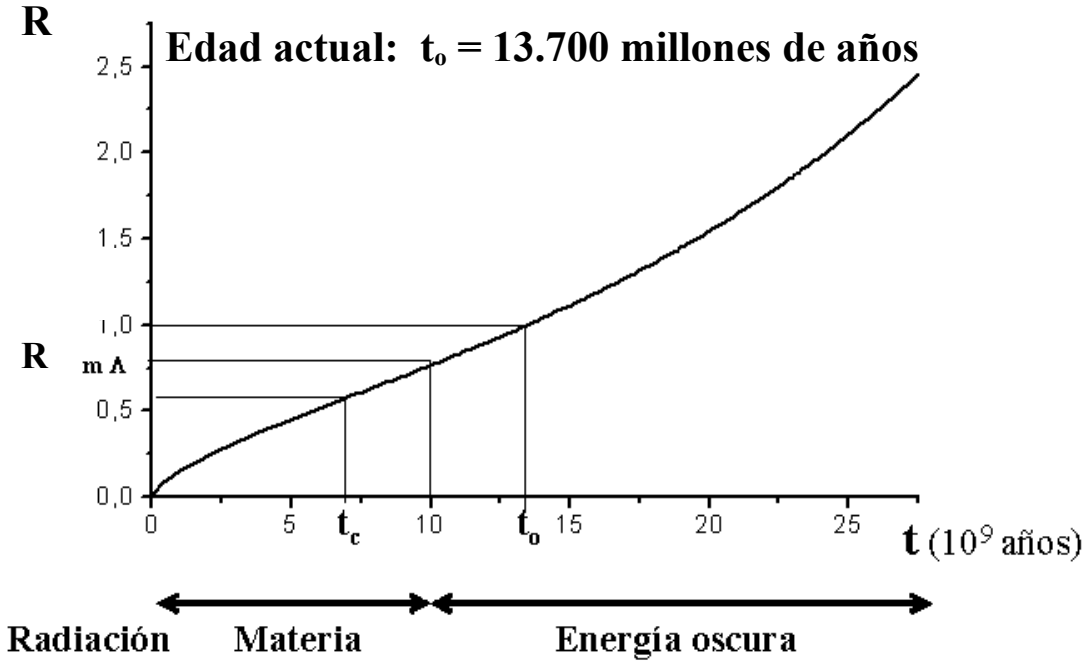
Para $K > 0$, (curvatura positiva), el espacio, al igual que la superficie esférica, es cerrado y finito ; si $K \leq 0$, (curvatura nula o negativa), el espacio, como sucede en dos dimensiones, es abierto e infinito.

Según la Relatividad general, el factor de escala R del Universo (y, por tanto, todas las distancias), varía con el tiempo de acuerdo con lo que valga la densidad ρ de materia/energía contenida en él. Las observaciones indican que el Universo está en *expansión*: el espacio "crece" al mismo ritmo en todos sitios dando lugar a una velocidad relativa entre galaxias proporcional a la distancia que las separa, (*ley de Hubble*).



El factor de escala R crece ahora a una velocidad, (*constante de Hubble*), de H_o = 7.2 cienmilésimas por millón de años. Si el Universo se hubiera expandido siempre con esa velocidad, habría necesitado 13.800 millones de años, (*tiempo de Hubble*), para alcanzar el estado actual, (R = 1) , a partir de la "*singularidad inicial*" , (R = 0) : un estado infinitamente denso y caliente en el que desaparecen todas las distancias.

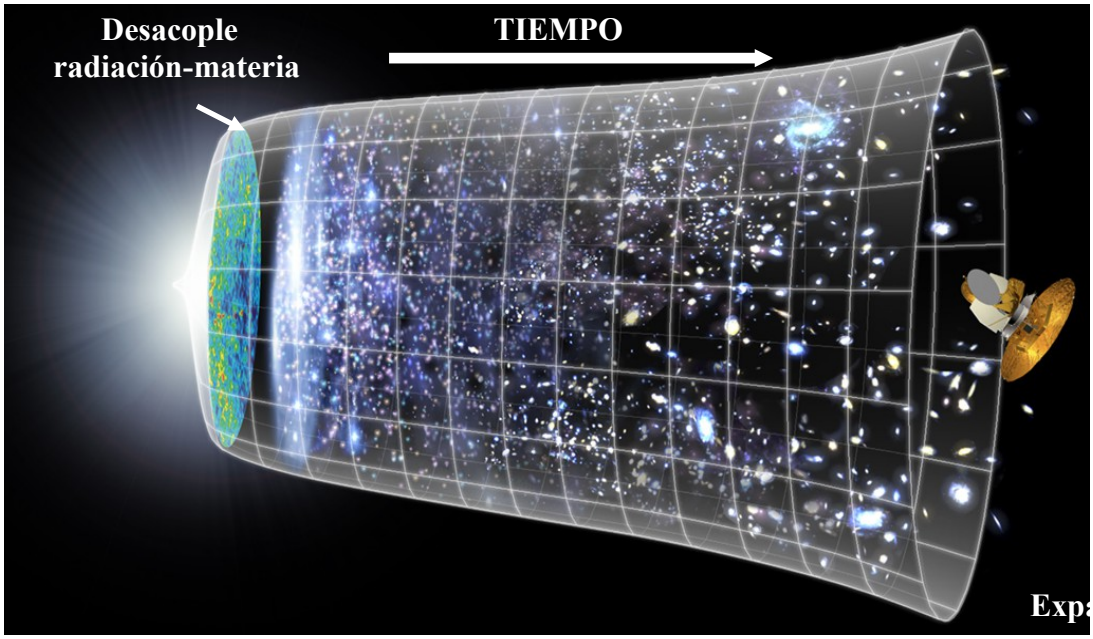
Las ecuaciones de la Relatividad general nos dicen que la velocidad de la expansión del Universo varía de acuerdo con el tipo de materia/energía que predomina en cada fase de su evolución. Se consideran tres tipos fundamentales: *radiación*, *materia* (*normal* y "*oscura"*) y "*energía oscura*", con un peso respectivo del 0.0008 % , 26 % y 74 % en la densidad total actual.



El Universo recién nacido, (*Big-Bang*), pasó por una fase inicial, (*Inflación*), muy corta, (10^{-34} s) , en la que todas las distancias se multiplicaron por un factor enorme, (10^{25}). Entró, seguidamente, en un periodo con velocidad de expansión decreciente, (7.100 millones de años), dominado, inicialmente, por la *radiación* , (50.000 años), y, posteriormente, por la *materia*. Hace 6.600 millones de años, (t_c) , en plena *era de la materia*, un misterioso ingrediente del Universo, la *energía oscura*, produjo un cambio de tendencia: la velocidad de la expansión empezó a crecer, a un ritmo cada vez mayor.

La densidad de la *energía oscura*, (asociada al vacío), tiene la extraña propiedad de permanecer constante al expandirse el espacio, (mientras disminuye la densidad de *radiación* y *materia*). Debido a ello, hace 4.100 millones de años, se convirtió en el ingrediente dominante y el Universo entró en un fase de duración ilimitada, (*era de la energía oscura*), y velocidad de expansión indefinidamente creciente.

En este escenario ha tenido lugar la evolución de los objetos y estructuras que forman el Universo actual:



Tras una primera fase densa y caliente, a la edad de 380.000 años, el Universo se enfrió lo suficiente como para que pudieran formarse los primeros átomos neutros. La luz pudo, entonces, viajar libremente, (*fondo de microondas* actual), e ir creciendo, por atracción gravitatoria, las pequeñas inhomogeneidades que presentaba la materia. Este crecimiento dio lugar, a la edad de 400 millones de años, al "encendido" de las primeras estrellas. Con una edad de 1.000 millones de años se formaron las primeras galaxias; su evolución, a través de sucesivas generaciones de estrellas, nos lleva al momento actual, (13.700 millones de años).

De acuerdo con la Relatividad general, el tipo de curvatura que presente el Universo depende de la relación $\Omega = \rho/\rho_c$ entre la densidad total, ρ , de materia/energía y un valor crítico, ρ_c , dependiente de la velocidad de expansión., (H_o). Si la densidad es mayor que la crítica, ($\Omega > 1$) , la curvatura es positiva, ($K > 0$) ; si es menor, ($\Omega < 1$) , la curvatura es negativa, ($K < 0$) y , finalmente, si coincide con el valor crítico, ($\Omega = 1$) , la curvatura es nula, ($K = 0$). Según las medidas mas recientes:

$$\Omega = \mathbf{1.02 \pm 0.02}$$

La curvatura es, pues, despreciable: vivimos en un Universo prácticamente "*plano*", (geometría euclídea), increíblemente grande, que se expande cada vez con mayor rapidez….