



## Conjetura de contribución de la energía de punto cero a la termodinámica de la Expansión del universo

Dr. Alfredo Bennun & Néstor Ledesma

*"Toda la verdad pasa por tres etapas. Primero, es ridiculizada.  
Segundo, se le hace una oposición violenta.  
Tercero, es aceptada como evidente"  
Arthur Schopenhauer*

### Abstract

El universo en expansión y con curvatura plana, requiere ajustar los parámetros cosmológicos a la densidad de energía crítica  $\rho_c$ . Esta se genera de la relación de cinética versus gravedad, y puede ser postulada dentro del contexto de una distribución homogénea de la materia a gran escala. Por otra parte, resultaría complejo resolver la geometría del universo para una distribución heterogénea de la materia-energía a gran escala.

La energía oscura es una de las soluciones propuestas para compensar la densidad observable y conservar la Planitud del universo.

Este trabajo, que abarca la cronología posterior a la Era de Última Dispersión, se centra en la evolución de los voids y en la temperatura, como el parámetro que da el carácter homogéneo al espacio-tiempo. Así, se considera a la longitud de onda de De Broglie asociada a temperatura, para dimensionar propiedades del conjunto como presión de radiación, a partir de propiedades cuánticas como la energía de punto cero.

Se supone la no existencia de energía oscura y sería la energía de punto ó ZPE (Zero Point Energy, en inglés) la que contribuiría a la reaceleración de la expansión del espacio a partir de los 4400 millones de años después del Big Bang. Para un límite superior de energía de vacío o ZPE de 10% de la crítica, la densidad del universo es de alrededor del 40% de la densidad crítica.

La ZPE dependiente de la evolución del sistema de Radiación Cósmica de Fondo ó CMB (Cosmic Microwave Background, por sus siglas en inglés), contribuiría a que gravedad retenga materia (fría y caliente). La formación de cúmulos y supercúmulos a su vez, al vaciar los voids de partículas, favorece y refuerza la acción aceleradora de ZPE-CMB. Así, el sistema-CMB por ser adiabático, en función del tiempo permite formular los parámetros de temperatura, densidad y corrimiento al rojo, en relación a la energía de punto cero.

**Palabras Claves:** *energía oscura, expansión cuántica, inflación cuántica, radiación cósmica de fondo, densidad crítica, voids (vacíos cósmicos).*

## **Introducción**

La combinación entre observaciones, simulaciones por computadoras y teoría, infieren que la cantidad de materia en el universo es el 30 por ciento de la cantidad necesaria para hacer que la geometría del universo sea plana, donde la densidad crítica es  $\rho_0 \approx 8.588 \times 10^{-10} \text{ J/m}^3$ <sup>(1)</sup>. Pero, la misma combinación de datos indica que el universo es plano, de modo tal que el Hamiltoniano asociado al universo en su totalidad mantiene un equilibrio entre cinética y acción gravitatoria<sup>(2)</sup>.

Las observaciones y mediciones de materia ordinaria en el universo indican un valor de densidad de alrededor del 5% con respecto a la crítica. También, se estima una contribución de radiación del 0.005%, un 0.3% de materia oscura caliente y un 25% de materia oscura fría<sup>(3) (4)</sup>.

Para compensar este valor de densidad, se propuso hace una década un tipo de energía no observada denominada energía oscura. La cual contribuiría a la expansión del espacio a gran escala y al aumento de la concentración de energía dentro de los cúmulos, que permitiría un mayor agarre gravitacional.

Si se descarta la hipótesis de energía oscura, la relación gravedad versus cinética no estaría en equilibrio y por lo tanto el universo tendría con geometría abierta, lo cual implicaría una densidad del universo con un valor menor a la densidad crítica<sup>(5) (6)</sup>.

Por otro lado, la energía de vacío, energía de punto cero ó ZPE (Zero Point Energy, en sus siglas en inglés), cuya naturaleza es de origen cuántico, predicha por la mecánica cuántica, es posiblemente la energía apropiada para predecir naturalmente la reaceleración de expansión, reemplazando así la idea de energía oscura. Sin embargo, las mediciones indirectas estiman un valor límite superior de energía de punto cero en el universo de alrededor de 10% de la densidad crítica<sup>(7) (8)</sup>.

Este trabajo intenta encontrar un mecanismo para el cual el universo tenga una geometría plana y una densidad total de alrededor de 40% de la densidad crítica, 30% en forma de materia y 10% en forma de energía de punto cero.

Se conjetura que la cinética del universo consta de un aspecto cuántico e independiente de gravitación. En el cual, la elongación del espacio es un efecto cuántico de la multiplicación de fotones en las zonas vacías del cosmos ó voids (en inglés), proceso escasamente dependiente de gravedad.

Por esto, dado que el volumen de los voids supera enormemente al ocupado por la materia en los filamentos galácticos, la homogeneidad se preserva en la evolución de la temperatura, en la suma de todos los voids<sup>(9) (10)</sup>.

Esta perspectiva cuántica independiente de gravitación, y de cualquiera sea la distribución de la materia, permite describir homogeneidad en forma termodinámica, y así suponer a temperatura de CMB como parámetro a gran escala ya que la elongación de los fotones es paralela al parámetro de expansión<sup>(11) (12) (13)</sup>.

## Resultados

### 1. Sistema CMB acoplado al parámetro de expansión

Se puede idealizar al universo en su totalidad como todo aquello que se encuentre inmerso en el espacio que comprende el Sistema de Radiación Cósmica de Fondo ó CMB (Cosmic Microwave Background, en sus siglas en inglés) Este sistema-CMB sería la suma de todos los volúmenes de espacios vacíos denominados *voids* que llenan el universo y son individualmente abiertos, pero que se puede suponer cerrado para un tratamiento global.

El espectro asociado a la radiación cósmica de fondo evoluciona paralelamente a la expansión, de modo que todas las longitudes de ondas se elongan conforme lo hace el parámetro de expansión " $a_{(t)}$ ", dependiente del tiempo  $t$ :  $\frac{a_0}{a} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ , donde el subíndice "0" indica el presente. La elongación de fotones-CMB supone un continuo termo-espacial de la evolución del espectro de radiación.

Sin embargo, teniendo en cuenta que toda radiación térmica se puede asociar a un cuerpo negro, se conjetura que elongación de estos fotones ocurre por división estos. Se puede suponer un proceso que consta de multiplicación de fotones, salto cuántico de la longitud de onda equivalente a elongación. El proceso es parecido al proceso de Conversión Paramétrica a la Baja Espontánea ó SPDC (Spontaneous Parametric Down Conversion por sus siglas en inglés) <sup>(14)</sup>.

El volumen de las galaxias es un valor mucho menor que el ocupado por los voids. Por lo cual, si evolución de la extensión del universo es dependiente del espacio engendrado por los voids y esto conlleva la elongación de sus fotones, entonces se puede conjeturar que es la evolución cuántica de los fotones contenidos en estos la que controla la expansión del espacio y en última instancia la del universo.

Por ejemplo, la elongación de un fotón duplicando su longitud de onda debido a la expansión del espacio no explica el aumento enorme del número de fotones observado y que se produce a lo largo de la cronología del universo.

Desde la perspectiva de la multiplicación de los fotones en la inmensidad de los voids. De este modo un fotón  $\gamma$  que se divide en dos (o más fotones)  $\gamma \rightarrow \gamma_2 + \gamma_2$ , conserva la energía inicial  $E$  tal que  $E = \frac{1}{2}E + \frac{1}{2}E = E_2 + E_2$ , duplicando su longitud de onda de

De Broglie  $\lambda \rightarrow 2\lambda$  por disminución de la energía  $\frac{1}{2}E = \frac{hc}{2\lambda}$ . Esta hipótesis logra explicar el número de fotones del universo y el acoplamiento de la longitud de onda al parámetro de expansión.

El incremento de la longitud de onda  $\Delta\lambda$  produce un aumento del volumen de la celda  $\Delta V = \frac{\pi}{6} \Delta\lambda^3$ . A su vez, esto incrementa la energía de vacío o energía de punto cero  $\Delta E_{vacío} = \rho_v \Delta V$  dentro de los voids, donde  $\rho_v$  es la densidad de vacío constante a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, se formula:

**"Es el proceso de multiplicación de fotones-CMB equivalente a SPDC la acción mínima que dimensiona e incrementa la celda de espacio-tiempo dentro de**

**los voids y es el conjunto de todos estos últimos los que conforman la expansión del universo. La escala cuántica permite independizar el proceso de multiplicación de fotones del efecto gravitacional”.**

## 2. Ecuaciones dinámicas de la expansión del universo

La dinámica del universo se describe por tres ecuaciones independientes con tres incógnitas: densidad de energía  $\varepsilon_{(t)}$ , presión  $P_{(t)}$  y parámetro de expansión  $a(t)$  <sup>(15)</sup>.

$$\left(\frac{a'(t)}{a(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon_{(t)} - \frac{kc^2}{R_0^2 a(t)^2} \quad [1]$$

$$\varepsilon'_{(t)} + 3\frac{a'(t)}{a(t)} \varepsilon + 3\frac{a'(t)}{a(t)} P = 0 \quad [2]$$

$$P = \omega \varepsilon \quad [3]$$

Suponiendo al universo plano  $k = 0$  se simplifica la ecuación [1]  $\left(\frac{a'(t)}{a(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon_{(t)}$ . Al resolver este sistema de tres ecuaciones se satisfacen los tres parámetros. La sustitución de [3] en [2] genera la ecuación diferencial  $\varepsilon'_{(t)} + 3\frac{a'(t)}{a(t)}(1+\omega) \varepsilon_{(t)} = 0$ , cuya

resolución por el método de variables separables es:  $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -3(1+\omega) \frac{da}{a}$  y  $\varepsilon_{i(a)} = \varepsilon_{i,0} \times a^{-3(1+\omega)}$  [4]. De tal modo, reemplazando [4] en [1] se obtiene

$$\left(\frac{a'(t)}{a(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon_{i,0} \times a_{(t)}^{-3(1+\omega)}, \quad \text{por lo tanto,} \quad \frac{a'(t)}{a(t)} = \xi a^{-\frac{3}{2}(1+\omega)} \quad [5] \quad \text{donde}$$

$$\xi = \left(\frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon_{i,0}\right)^{1/2}.$$

## 3. Evaluación de las densidades

La densidad de radiación  $\varepsilon_r$  contenida en los voids depende sólo de la temperatura  $\varepsilon_r = \frac{8\pi^5 k^4 T^4}{15 h^3 c^3}$ , su distribución es uniforme; globalmente se aproxima a un sistema adiabático.

Por su parte, la densidad de materia  $\rho_m$  aumenta conforme al corrimiento al rojo cosmológico  $z$ ,  $\frac{\rho_m}{\rho_{m_0}} = \left(\frac{a(t_0)}{a(t)}\right)^3 = (1+z)^3$ , donde el subíndice "0" indica el presente. La densidad de energía de la radiación aumenta más rápidamente que la anterior:

$\frac{\rho_r}{\rho_{r_0}} = \left(\frac{a(t_0)}{a(t)}\right)^4 = (1+z)^4$ . El exponente adicional se debe a que la longitud de onda es proporcional al parámetro de expansión  $a(t)$  y este a su vez al corrimiento al rojo

$\frac{a(t_0)}{a(t)} = 1+z$ . La proporción entre ambas densidades es  $\frac{\rho_m}{\rho_r} = \frac{\rho_{m0}}{\rho_{r0}} (1+z)^{-1}$ , donde

$\frac{\rho_{m0}}{\rho_{r0}} \approx 10^4$  es la relación presente y  $1+z = T/T_0$ , por lo tanto  $\rho_m = 10^4 \frac{T_0}{T} \rho_r$ . La

densidad en términos de energía es  $\varepsilon = \rho c^2$ , por lo cual  $\varepsilon_m = 10^4 \frac{T_0}{T} \varepsilon_r$ .

Por otro lado, la densidad del vacío es constante  $\rho_v = \text{constante}$ , es decir, en términos de energía  $\varepsilon_v = \text{constante}$ , la cantidad de energía de vacío depende sólo del volumen  $V$  del espacio  $E_v = \varepsilon_v \times V$ ; la expansión del universo incrementa dicha energía.

**Tabla 1: Composición del universo.** Se consideraron varios valores la energía de vacío, sin embargo, la bibliografía limita una contribución máxima del 10% de la densidad crítica,  $\varepsilon_v = 0.1 \varepsilon_0 \approx 8.588 \times 10^{-11} \text{ J/m}^3$ .

Materia-energía	Partículas Representativas	Masa o energía [eV]	Números de partículas	Total con respecto a un universo plano
Materia ordinaria	Protones, electrones	$10^9$	$1.85 \times 10^{78}$	5%
Radiación	Fotones CMB	$6.3 \times 10^{-5}$	$3.78 \times 10^{87}$	0.005%
Materia oscura caliente	Neutrinos	$\leq 1$	$3.175 \times 10^{87}$	0.3%
Materia oscura fría	Partículas supersimétricas?	$10^{11}$	$10^{77}$	25%
Energía de vacío	¿?	¿?	¿?	10%

#### 4. Parámetro de Presión en la resolución de las ecuaciones dinámicas

Tanto la densidad  $\varepsilon(t)$  como la presión  $P(t)$  son cantidades aditivas, verificándose en la ecuación [3]  $P = \sum P_i = \sum \omega_i \varepsilon_i$ , la presión total es la suma de todas las presiones parciales de radiación, materia y vacío  $P = P_r + P_m + P_v$  respectivamente.

La presión de radiación es un tercio de la densidad de radiación  $P_r = \frac{1}{3} \varepsilon_r$ ,

cumpléndose  $\omega = \frac{1}{3}$ . La presión del vacío es  $P_v = -\varepsilon_v$ , con  $\omega = -1$ . La presión que

ejerce la materia es  $P_m = \frac{v^2}{3c^2} \varepsilon_m$ , donde  $v$  es la velocidad promedio de las partículas masivas del universo. Como la velocidad es muy baja en comparación con la de la luz  $v \ll c$ , el factor  $v^2/3c^2$  tiende a cero  $\frac{v^2}{3c^2} \rightarrow 0$ , por lo cual  $\omega \rightarrow 0$ .

Pero, si  $\frac{v^2}{3c^2} \neq 0$ , la expresión  $v^2 = \frac{kT}{\mu}$  permite  $P_m = \rho \frac{kT}{\mu}$ , donde  $\mu$  es la masa promedio de las partículas masivas y  $T$  la temperatura promedio. Numéricamente, se estima que  $\mu = 1\text{MeV}$  y  $T = 10\text{K}$ , entonces  $v^2 = \frac{1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \times 10\text{K}}{1\text{MeV} \times 1.783 \text{Kg/MeV}}$  y  $v \approx 8 \times 10^3 \text{ m/s}$ .

Así, la presión total es  $P_T = \frac{1}{3} \varepsilon_r + \frac{v^2}{3c^2} \varepsilon_m - \varepsilon_v$ , teniendo en cuenta que  $\varepsilon_m = 10^4 \frac{T_0}{T} \varepsilon_r$ , se obtiene  $P_T = \frac{1}{3} \varepsilon_r + \frac{v^2}{3c^2} 10^4 \frac{T_0}{T} \varepsilon_r - \varepsilon_v$ . Basado en mediciones, se estima que el límite superior para la energía de vacío es un 10% por ciento de la densidad crítica:  $\varepsilon_v = 0.1 \varepsilon_c$ , o sea,  $\varepsilon_v = 8.58834 \times 10^{-11} \text{J/m}^3$ . La densidad de radiación es  $\varepsilon_r = \frac{8\pi^5 k^4 T^4}{15 h^3 c^3}$ .

**Tabla 2: El valor  $\Omega$  dependiente de la densidad dominante.** La reaceleración de la expansión del espacio, se produce alrededor de una corrimiento al rojo  $z=1,7$ , lo cual implica una temperatura de  $T=7,357\text{K}$ , presente  $T=2,725$ .

Energía Dominante	$\Omega$	Temperatura [K]
Radiación	1/3	$10^{32}$ –3000
Materia	0	3000–7,357
CMB–Voids	–1	7,357–Presente

## 5. Parámetro de expansión

El aporte de las presiones parciales a la presión total  $P = \sum P_i = \sum \omega_i \varepsilon_i$  se puede reemplazar por la presión de un sistema equivalente, compuesto por una única especie de partículas  $\sum \omega_i \varepsilon_i = \bar{\omega} \varepsilon_T$ , donde  $\varepsilon_T$  es la densidad total considerada en este trabajo y  $\bar{\omega}$  es el valor que verifica la igualdad. Se aclara que en este trabajo se considera como densidad total del universo el 40% de la densidad crítica comúnmente aceptada  $\varepsilon_T = 0.4 \varepsilon_c$ .

Entonces, se puede calcular el parámetro de expansión del universo suponiendo  $P_T = \frac{1}{3} \varepsilon_r + \frac{v^2}{c^2} \varepsilon_m + \varepsilon_v = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ , donde se supone que la presión de la masa tiende a cero  $\frac{v^2}{c^2} \varepsilon_m \rightarrow 0$ .

Suponiendo que la densidad de energía de vacío es del 10% de la densidad crítica  $\varepsilon_v = 0.1 \varepsilon_c$  y que la densidad total es 40% de la crítica ( $\varepsilon_c = 8.40043 \times 10^{-10} \text{J/m}^3$ ), entonces:  $\frac{1}{3} \varepsilon_r - 0.1 \varepsilon_c = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ , que en términos de temperatura es  $\frac{1}{3} \frac{8\pi^5 k^4 T^4}{15 h^3 c^3} - 0.1 \varepsilon_c = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ . La solución es  $\bar{\omega} = -0.24996 \approx -0.25$ .

Reemplazando en la ecuación  $\frac{a'(t)}{a(t)} = \xi a^{-\frac{3}{2}(1+\omega)}$ , se tiene  $\frac{a'(t)}{a(t)} = \xi a^{-9/8}$ , entonces se

obtiene la integral  $\int a^{1/8} da = \xi \int dt$ , tal que la solución es  $\frac{8}{9} a^{9/8} = \xi t$ . Despejando el

parámetro  $a = \frac{3}{4} \frac{3^{7/9}}{2^{2/3}} (\xi t)^{8/9}$  se determina la tasa de expansión es  $\frac{a_0}{a} = \left(\frac{t_0}{t}\right)^{8/9}$ , que

relacionado con el corrimiento al rojo es  $\frac{a_0}{a} = \left(\frac{t_0}{t}\right)^{8/9} = 1+z$ . Donde  $t_0$  es el tiempo presente que se estima está entre:  $4.27921 \times 10^{17}$  segundos y  $4.37388 \times 10^{17}$  segundos.

Las mediciones actuales muestran que el universo comenzó a expandirse en forma acelerada para un valor de corrimiento al rojo de alrededor de  $z \approx 1.7$ . Dicho valor introducido en la expresión del parámetro de expansión permite determinar el tiempo  $t$  donde comenzaría dicha aceleración de la expansión.

La primera expresión, para un tiempo mínimo  $4.27921 \times 10^{17}$  segundos es  $\left(\frac{4.27921 \times 10^{17}}{t}\right)^{8/9} = 1+1.7$ , el cual determina un tiempo de  $t = 1.39984 \times 10^{17}$  segundos, es decir, 4400 millones de años después del Big-Bang.

La segunda expresión, para un tiempo máximo  $4.37388 \times 10^{17}$  segundos es  $\left(\frac{4.37388 \times 10^{17}}{t}\right)^{8/9} = 1+1.7$ , en el que se determina un tiempo de  $t = 1.43081 \times 10^{17}$  segundos, o sea, 4500 millones de años después del Big-Bang.

Para un valor medio de tiempo presente de  $t_0 = 4.32655 \times 10^{17}$ , la expresión  $\left(\frac{4.32655 \times 10^{17}}{t}\right)^{8/9} = 1+1.7$  arroja un valor de tiempo de  $t = 1.41533 \times 10^{17}$ , un valor medio para el tiempo donde comienza la reaceleración del parámetro de expansión de 4480 millones de años después del Big-Bang.

## 6. Parámetro de Expansión-SPDC

En este caso, se reemplaza el aporte de la presión de radiación por la producida por SPDC, definida por la densidad de De Broglie del cuanto de energía CMB dependiente de la longitud de onda (o la temperatura).

La energía de un fotón es  $E_\lambda = \frac{hc}{\lambda}$ , la derivada con respecto a la longitud de onda es

$\frac{dE_\lambda}{d\lambda} = -\frac{hc}{\lambda^2}$ . El diferencial de energía de vacío es dependiente del diferencial de

volumen  $dE_v = \varepsilon_v dV$ . El diferencial de energía total dentro de los voids, excluyendo partículas bariónicas, es  $dE_T = dE_\lambda + dE_v$ .

El volumen generado por la longitud de onda de De Broglie es  $V = \frac{\pi}{6} \lambda^3$ , por lo cual, el diferencial es  $dV = \frac{\pi}{2} \lambda^2 d\lambda$ , suponiendo que  $\lambda$  es un diámetro. Por lo tanto, la diferencial de energía total es  $dE_T = -\frac{hc}{\lambda^2} d\lambda + \varepsilon_v \frac{\pi}{2} \lambda^2 d\lambda$ . La integración de esta expresión es  $E_T = \frac{hc}{\lambda} d\lambda + \varepsilon_v \frac{\pi}{6} \lambda^3$ , que expresada en función de la temperatura es  $E_T = kT + \frac{\pi}{6} \frac{h^3 c^3}{k^3 T^3} \varepsilon_v$ . La densidad del voids de este modo es  $E_T = \frac{6 k^4 T^4}{\pi h^3 c^3} + \varepsilon_v$ , donde  $\varepsilon_{dB} = \frac{6 k^4 T^4}{\pi h^3 c^3}$  es la densidad de De Broglie que es distinta a la de radiación antes vista  $\varepsilon_r = \frac{8\pi^5 k^4 T^4}{15 h^3 c^3}$  y la relación es  $\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{dB}} = \frac{4\pi^6}{45}$ ,  $\varepsilon_r = 85.5 \times \varepsilon_{dB}$ .

Así, la presión total es  $P_T = \frac{1}{3} \varepsilon_{dB} + \varepsilon_v = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ , teniendo en cuenta  $\varepsilon_{dB} = \frac{45}{4\pi^6} \varepsilon_r$  se obtiene  $\frac{1}{3} \frac{45}{4\pi^6} \varepsilon_r - 0.1 \varepsilon_c = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ , o sea,  $\frac{2 k^4 T^4}{\pi h^3 c^3} - 0.1 \varepsilon_c = 0.4 \bar{\omega} \varepsilon_c$ , y tiene como solución  $\bar{\omega} = -0.24999 \approx -0.25$ . La deducción de la tasa de expansión del universo a partir esto es idéntica a la encontrada en la sección anterior.

La conjetura de equiparar la elongación de fotones como función de SPDC, determinando la cronología de la evolución de los voids, tiene un valor idéntico al de evolución al del espectro de radiación. Por lo tanto, son homologables para caracterizar expansión en términos de la evolución de energía-espacio-tiempo.

## 7. Cronología del parámetro de expansión

Los resultados obtenidos en la sección 5 y 6, permiten ordenar cronológicamente las Eras de predominancia en función de la densidad y dan un tiempo aproximado donde comienza la reaceleración de la expansión del universo. Predicen una tendencia en un tiempo lejano de un parámetro de expansión constante. Debe interpretarse que la tendencia es el depósito de energía en estado de punto cero.

**Tabla 3: Cronología en función de la densidad dominante.** Eras de predominancia, dependiente de densidad, con un tiempo aproximado para el comienzo de la reaceleración de la expansión de 4400–4500 millones de años después del Big-Bang.

Períodos de dominación		Radiación		Materia		CMB-Void		Futuro
Tiempo	[s]	$5.4 \times 10^{-43}$	$1.2 \times 10^{13}$	$1.2 \times 10^{13}$	$1.415 \times 10^{17}$	$1.415 \times 10^{17}$	$4.33 \times 10^{17}$	$t \rightarrow \infty$
	[año-luz]	×	$3,8 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$4.5 \times 10^{10}$	$4.5 \times 10^{10}$	$1.372 \times 10^{10}$	
Temperatura [K]		$1.41 \times 10^{32}$	3000	3000	7.3575	7.3575	2.725	$T \rightarrow 0$
Corrimiento al rojo: z		$z \rightarrow \infty$	1100	1100	1.7	1.7	×	×
Parámetro de Expansión		×	×	$\frac{a_0}{a} = \left(\frac{t_0}{t}\right)^{2/3}$	$\frac{a_0}{a} = \left(\frac{t_0}{t}\right)^{8/9}$			$\frac{a_0}{a} = k$
Radios		×	×	$c \int_{1.2 \times 10^{13}}^{1.415 \times 10^{17}} \left(\frac{10^{17}}{t}\right)^{2/3} dt$	$c \int_{1.415 \times 10^{17}}^{4.326 \times 10^{17}} \frac{4.33 \times 10^{17}}{t} dt$			$c \int k dt$
Hubble		×	×	$H_0 = 2/3t_0$	$H_0 = 1/t_0$			×

## 8. Planitud del universo

La conjetura del efecto de multiplicación de fotones en las zonas vacías del espacio o voids, permite inferir una uniformidad térmica de la radiación cósmica de fondo a lo largo de la cronología del universo. Es de esperar entonces que, a medida que el cosmos se expande, las fluctuaciones propias del CMB tengan un valor despreciable en comparación con en valor medio de temperatura y sean suavizadas por la multiplicación de los fotones. Por lo cual, sería factible hablar de una densidad total del universo menor a la crítica.

### Discusión

Además, ZPE podría conformar un potencial mínimo que no entra en equilibrio y permite la disipación sostenida de la densidad de radiación y por lo tanto una formulación teórica de un sistema termodinámicamente abierto entre inflación y ZPE.

La flecha del tiempo permite la disipación de un potencial en forma de Conversión Paramétrica a la Baja o SPDC (Spontaneous Parametric Down Conversion, en sus siglas en inglés) con conservación de la energía del sistema. Por lo tanto, su integración es a la vez, mayormente irreversible y genera poca entropía.

Este estudio del universo, que abarca la cronología posterior a la Era de Última Dispersión ó Last Dispersion (en inglés), es una continuación de la teoría que restringe los parámetros de energía-espacio-tiempo inflacionarios a la acumulación de partículas Planck <sup>(16)</sup>.

La cual conjetura un inicio del cosmos como un proceso cooperativo entre acumulación de nuevas partículas Planck y la disipación de cada una de ellas en partículas de menor energía. En el cual, la energía de cada partícula Planck se reconfigura, incrementando el espacio de confinamiento, al formar partículas de menor energía y con conservación de energía en el sistema. Así, hasta alcanzar el valor de energía total o crítica del universo.

Este proceso se lo puede identificar con la Era inflacionaria, ya que se asume que el espacio se puede expandir a mayor velocidad que la luz como resultado de la Cooperatividad creada por la sumatoria de las elongaciones locales.

La ausencia de implosión primordial, se explica analizando la función de onda resultante de la proposición de que la fuerza de gravedad actuando entre dos partículas Planck y separadas por la distancia Planck. Se obtiene que el tiempo que lleva completar una onda gravitacional exceda la estabilidad de la partícula Planck.

### Conclusiones

Después de la Era de última dispersión, se puede describir expansión del universo como determinado por la evolución de los voids, integrando los aspectos cuánticos con una termodinámica disipativa, omitiendo la forma en que se distribuye la materia en el universo.

El proceso de elongación de los fotones producido por la expansión del espacio, puede ser evaluado cuánticamente en base al mecanismo de conversión paramétrica a la baja ó SPDC (Spontaneous Parametric Down Conversion). Este se muestra equivalente a la evolución del espectro de radiación y por lo tanto son homologables para caracterizar la tasa de expansión en términos de la evolución de energía-espacio-tiempo.

Los resultados obtenidos en la sección 5 y 6, permiten ordenar cronológicamente las Eras en función de la densidad. Dar un valor de tiempo aproximado donde comenzaría la reaceleración de la expansión del universo. La tendencia es que a medida que el tiempo avanza, el parámetro de expansión tiende a ser constante, aumentando el depósito de energía en estado de punto cero.

La reaceleración del espacio para 4400 millones de años y su integración con la conjetura de la evolución de los voids, supone que empieza a decrecer el efecto de frenado de la gravedad porque volumen de los voids es muy superior al de agregado de materia en las galaxias.

### Referencias

1. Gribbin, J.; "Biografía del Universo", Ed. Crítica, Barcelona, 2007.
2. Einstein, A. & W. de Sitter, "On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe," *Proceedings of the National Academy of Sciences* **18**, 213 (1932).
3. A. Liddle and D. Lyth, *Cosmological Inflation and Large-scale Structure*, Cambridge University Press (2000).
4. S. Carroll, "The Cosmological Constant" *Living Rev. Relativity*, **4**, (2001)
5. Cline, D. B., *Sources and Detection of Dark Matter and Dark Energy in the Universe*, Springer Verlag (2001)
6. Cline, D. B., La Búsqueda de la Materia Oscura, in *Investigación y Ciencia*, 21, pp.18-25 (2003)
7. Yam, P.; "Exploiting Zero-Point Energy", From Scientific American Magazine, December 1997, pp. 82-85.
8. Cole, D. C.; "Connections Between Thermodynamics, Statistical Mechanics, Quantum Mechanics and Special Astrophysical Processes", Amoroso, R.L.; Hunter, G.; Kafatos M. and Vigier, J-P, Eds. "Gravitation and cosmology: From the Hubble Radius to the Planck Scale" pp. 111-114. "Fundamental Theories of Physics:", Published by Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, 2002.
9. U. Lindner, J. Einasto, M. Einasto, W. Freudling, K. Fricke, E. Tago (1995). The Structure of Supervoids I: Void Hierarchy in the Northern Local Supervoid "The structure of supervoids. I. Void hierarchy in the Northern Local Supervoid". *Astron. Astrophys.* **301**: 329. <http://www.uni->

- [sw.gwdg.de/research/preprints/1995/pr1995\\_14.html/](http://sw.gwdg.de/research/preprints/1995/pr1995_14.html/) The Structure of Supervoids I: Void Hierarchy in the Northern Local Supervoid.
10. El-Ad, Hagai; Piran, Tsvi (1997) "[Voids in the Large-Scale Structure](#)" (PDF) *Astrophysical Journal* **v.491**, **p.421** [Bibcode: 1997ApJ...491..421E](#) [doi:10.1086/304973](#)
  11. Mandolesi, N.; Calzolari, P.; Cortiglioni, S.; Delpino, F.; Sironi G.; "Large-scale homogeneity of the Universe measured by the microwave background", *Letters to Nature*. Vol. 319. pp. 751-753 (1986).
  12. M. Tegmark, *Astrophys. J.* **464**, L35-L38 (1996).
  13. Knop, R. A. et al., "New constraints on  $\Omega_M$ ,  $\Omega_\Lambda$  and  $\omega$  from an Independent Set of 11 High-Redshift Supernovae Observed with the Hubble Space Telescope", *Astrophysical Journal*, 2003, 598, 102.
  14. Bennun, A.; Ledesma, N.; "Simulation of the dynamics of integration of space-time-energy by Planck's temperature-black body emission spectrum", *The General Science Journal, Quantum Physics*, [www.wbabin.net](http://www.wbabin.net), 17 pages. July. 15 2008.
  15. Cepa, J; "Cosmología Física", Ediciones Akal, S.A., Madrid 2007.
  16. Bennun, A.; Ledesma, N.; "Emisión-absorción de energía cuántica relativista", *Matemática, Física, Astronomía*, [www.casanchi.com](http://www.casanchi.com), 29 de Noviembre 2008.

**Alfredo BENNUN**  
[alfr9@hotmail.com](mailto:alfr9@hotmail.com)  
**Nestor LEDESMA**  
[nestorledesma78@hotmail.com](mailto:nestorledesma78@hotmail.com)