

TEORÍA CUÁNTICO-GRAVITATORIA

La verdadera naturaleza de la fuerza gravitatoria aún permanece desconocida. Sus efectos están correctamente descritos por la teoría *newtoniana* y de la *relatividad general*, pero ambas solo nos dicen que reside en la masa. A mayor masa, mayor fuerza gravitatoria. Aproximadamente durante los últimos 50 años, la comunidad científica ha intentado conciliar la *teoría de la relatividad general* con la *teoría mecánico-cuántica*, sin éxito hasta el momento. Y una de las más recientes propuestas la definen como una fuerza emergente asociada a la entropía del universo [1][2].

De otra parte, desde el *modelo estándar de partículas físicas* se incluye al *gravitón*, como su partícula transmisora, dentro de la familia de los *bosones*, introduciendo así su posible naturaleza cuántica. Pero su comprobación experimental no ha sido verificada.

Con este artículo iniciamos la presentación de la *Teoría Cuántico-Gravitatoria* partiendo de dos premisas:

1. Las teorías newtoniana y relativista solo describen los efectos gravitatorios de la masa.
2. Las propiedades gravitatorias atribuidas a la masa residen en sus componentes fundamentales: los *nucleones*.

En este, primero de una serie de tres, exponemos su *formulación mecánico-cuántica* en donde se atribuyen a los *nucleones* (*protones* y *neutrones*) el origen de la naturaleza cuántica de la fuerza gravitatoria.

La masa de los *quarks* de valencia (*u*, *d*) del protón supone menos del 2% de su masa total. Las únicas propuestas para explicar este hecho proceden desde la *QCD*, que atribuyen el 98% de masa restante a la energía generada por *gluones* y *quarks s* (*sin valencia*), generados en su interior.

Nuestra propuesta la atribuye a una *oscilación armónico-cuántica* de los quarks componentes de los *nucleones* y la subsecuente emisión de *pulsos gravitatorio* que son transmitidas al medio en forma de *quantums gravitatorios* $\mathfrak{G}$. Es como se manifiesta y enlaza gravitatoriamente la materia bariónica.

Esto supone una nueva visión nueva de las teorías *newtoniana* y de la *relatividad general*, sin que ello suponga sus cuestionamientos, como se podrá comprobar en los próximos artículos sobre la *formulación cuántico-newtoniana* y la *formulación cuántico-relativista*.

.

Formulación Mecánico-Cuántica o de la materia aislada

doi.org/10.62059/LarArXiV.preprints.308

La naturaleza tan solo se sirve de tres partículas elementales para crear la materia: los *quarks* u , d y el *electrón*. Estos *quarks* mediante un proceso denominado *hadronización* forman a su vez a los únicos *hadrones* estables conocidos como *bariones*: el *protón* y el *neutrón*. Todo lo que vemos y conocemos está formado esencialmente por estas dos partículas, llamadas más comúnmente *nucleones*, ya que son ellas las que forman el *núcleo atómico*.

Si consideramos una masa cualquiera, M , más de un 95% la aportan sus *nucleones*, puesto que la masa del *electrón* es unas 1.835 veces inferior a la del *protón*. Y a su vez los *quarks* (u, d) que forman a los *nucleones* sólo representan menos de un 2% de la misma.

¿Dónde está el 98% restante? La única propuesta teórica actual para dar una respuesta proviene de la **QCD** y se basa en la contribución del *quark* s sin valencia junto con la contribución debida la interacción de *gluones*. Entre los diferentes estudios destacamos el realizado por Xjangdong Ji(Octubre 1994)[3] apoyado en el MIT bag model y Johnson,K. (1975)[4]. Son asimismo muchas las pruebas experimentales: Silva P.R.(Agosto 2011)[5], Thomas A.W.(Febrero 2012)[6], Mever H.B.(Febrero 2011)[7] y Horsley R. y otros(Octubre 2011)[8], todas con resultados dispares. Pero en lo que sí coinciden es en que 2/3 de la masa del *protón* se debe a la energía de *quarks* sin valencia y *gluones*. Pero a pesar de estos esfuerzos teóricos no hay nada concluyente para explicar el 93% de nuestra masa M .

De otro lado, los efectos gravitatorios que nuestra masa M produce están correctamente descritos por las *teorías newtoniana* y de la *relatividad general*, pero ambas se limitan a describir y predecir dichos efectos sobre otras masas y sólo nos indican que la fuerza gravitatoria tiene su origen en la masa M .

Con este artículo iniciamos la propuesta de una *teoría cuántico-gravitatoria*, que trataría de dar respuesta al origen y naturaleza de la fuerza gravitatoria, asignándole al *nucleón* y a su estructura interna el papel protagonista por caminos muy alejados de la **QCD**.

Esta primera entrega dedicada a la *formulación mecánico-cuántica* está dividida en tres capítulos:

1. La *oscilación armónico-cuántica* de los *quarks* en los *hadrones*.
2. El *pulso gravitatorio de la materia* (PGM) y el *quantum gravitatorio* $\mathfrak{G}$.
3. El *vector gravitatorio* de la materia.

Destacar finalmente que, la exposición siguiente es una primera parte referida a la materia aislada. Ello quiere decir que, realizamos el ejercicio mental de situar como única materia del universo a un nucleón. Las razones para proceder así serán entendidas con el siguiente artículo dedicado a la *formulación cuántico-newtoniana*, donde se expone la relación fundamental entre la materia.

I. La oscilación armónico-cuántica de los cuarks en los hadrones

El *Hamiltoniano cuántico* de una partícula de masa m sometida a un potencial cuadrático $V_x = \frac{1}{2}Kx^2$ tiene la forma de:

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 \quad (1)$$

donde x es el operador posición, y p el operador momento: $\hat{p} = -i\hbar \frac{d}{dx}$

Y la *ecuación de Schrödinger* independiente del tiempo para un *oscilador armónico-cuántico* es [9]:

$$H\psi_{(x)} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 \right] \psi_{(x)} = E_p \psi_{(x)} \quad (2)$$

La fórmula general de la función de onda, ψ , normalizadas es:

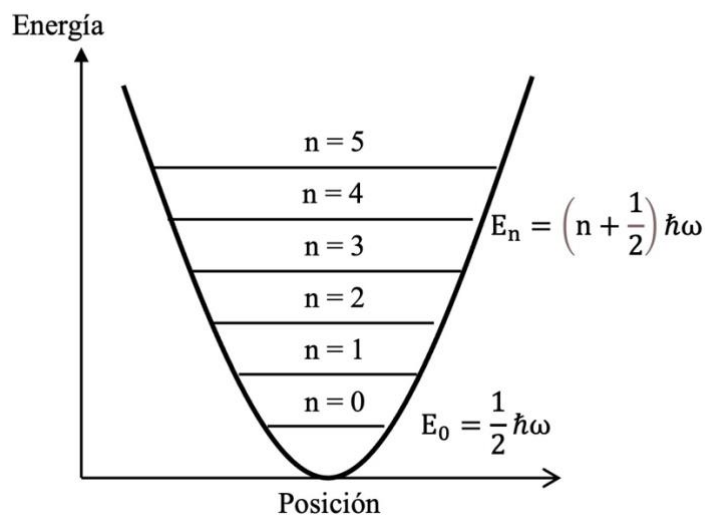
$$\psi_n(x) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} H_n(x) e^{-x^2/2} \quad (3)$$

donde $H_n(y)$ son los *Polinomios de Hermite*.

Las soluciones a la *ecuación de Schrödinger* nos muestran niveles de energía discretos e independientes del tiempo como autoestados o autovalores de la función de onda ψ .

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Figura 1: Niveles energía oscilador armónico cuántico

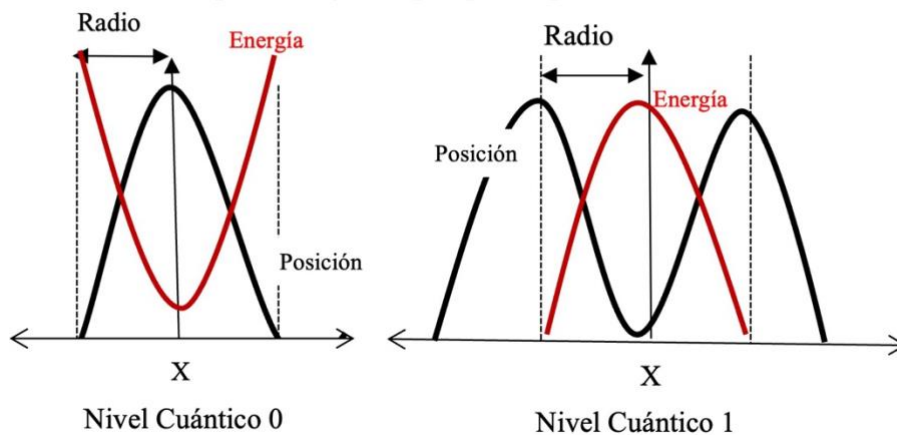


La figura 1 muestra los distintos niveles cuantizados en función de la energía. Los saltos cuánticos están normalizados a $\hbar\omega$.

La energía del punto cero de un *oscilador armónico cuántico* es no nulo y tiene como valor $\frac{1}{2}\hbar\omega$. Su deducción tiene como base el *principio de incertidumbre* de Heisenberg [10] y fue propuesto por primera vez por Albert Einstein y Otto Stern (1913) [11].

La *Teoría Cuántico-Gravitatoria* propone que los tres quarks de los *nucleones* se encuentran ligados por la acción de la *fuerza nuclear fuerte* en un estado de oscilación cuántica entre dos autoestados de energía. Su comportamiento se corresponde a un *oscilador armónico cuántico* entre dos niveles de energía: E_{min} ($n = 0$) y E_{max} ($n = 1$).

Figura 2: Densidad probabilidades posición y energía quarks protón

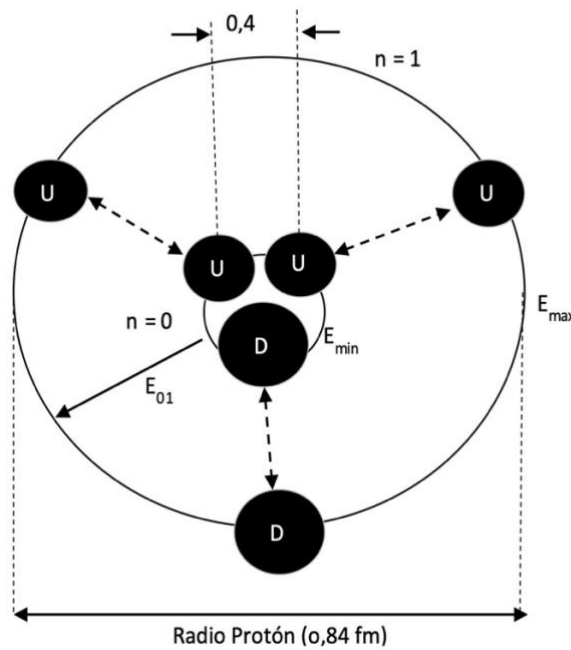


Las densidades de probabilidades para los dos primeros niveles energéticos de un *oscilador armónico-cuántico* se muestran en la figura 2.

Las medidas experimentales de masa y radio del protón son $0,938272089436 \text{ GeV}/c^2$ [12] y $0,833 \pm 0,010 \text{ fm}$ [13][14], respectivamente. También se ha comprobado que la *interacción nuclear fuerte* se vuelve fuertemente repulsiva por debajo de $0,4 \text{ fm}$, con lo que los quarks se encuentran confinados dentro de esos límites.

En el nivel cuántico 0 o de baja energía, la máxima probabilidad cuántica de encontrar a los quarks del protón es en su centro o radio mínimo ($0,4 \text{ fm}$), siendo su probabilidad de energía mínima. Opuestamente en su nivel cuántico 1 o de máxima probabilidad de energía, los quarks se hallarán con máxima probabilidad cuántica en sus extremos o radio máximo ($0,833 \text{ fm}$). De acuerdo con las densidades de probabilidades, las medidas experimentales de la masa y radio de protón corresponden a su nivel cuántico 1, o de máxima energía y radio.

Figura 3: Oscilación quarks en protón



La figura 3 ilustra la distribución de los quarks del protón en sus dos niveles cuánticos de energía.

Las medidas experimentales sobre la masa y radio del protón corresponden al nivel cuántico 1 de máximas probabilidades de energía y radio. Y las medidas más exactas sobre las masas de los quarks u y d [15] indican que representan tan solo el 0,96 % de su masa total, por ello en toda la *teoría cuántico-gravitatoria* se ha despreciado los efectos de su masa en los nucleones.

Los quarks del protón se encuentran elásticamente ligados mediante la *interacción nuclear fuerte* intercambiando *gluones* y en permanente oscilación cuántica entre los límites de su confinamiento, y en consecuencia se produce una oscilación energética desde su nivel 0 o de mínima energía, $E_{min} = \frac{1}{2}\hbar\omega = 0,31275736314333 \text{ GeV}$, a su nivel 1 o de máxima energía $E_{max} = \frac{3}{2}\hbar\omega = 0,93827208943 \text{ GeV}$, realizando un salto energético de valor $E_{01} = \hbar\omega = 0,62551472628667 \text{ GeV}$ con una frecuencia f de $1,51248786683 \cdot 10^{23} \text{ hz}$, deducidos de la *relación Planck/Einstein*, $E = h\nu$.

La superposición cuántica de ambos autoestados de energía son los *hadrones*, y particularmente, los *nucleones* como los únicos *hadrones* estables. Los aspectos fundamentales sobre el proceso de *hadronización* será ampliamente tratado por López, P. en la *Hipótesis Quark Desnudo* [16], como teoría independiente y a la vez complementaria, actualmente en preparación.

El salto energético entre sus dos niveles de energía supone aproximadamente un 66,66 % de su masa, y el restante 33% se corresponde con la energía del *punto cero* o nivel mínimo.

II. El pulso gravitatorio de la materia (PGM) y el quantum gravitatorio $\mathfrak{E}$

Newton midió los efectos gravitatorios entre dos masas cualesquiera dentro del campo gravitatorio de la Tierra, y descubrió que era proporcional a su producto dividido por el cuadrado de la distancia y por una constante G . Así G , surge como una constante de ajuste entre la fuerza realmente medida y la relación entre masas y distancia. Su deducción es totalmente empírica y carente de significado físico, pero es necesaria en cualquier formulación relativa a la fuerza gravitatoria

$$F_g = G \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \quad \text{N} \quad (5)$$

En su formulación clásica, la masa y los efectos gravitatorios que ella produce están entremezclados. Conocemos la fuerza final con la que dos masas se atraen, pero no sabemos el origen de esa fuerza. Y la masa claramente es una respuesta insuficiente.

Por ello, planteamos iniciar una reflexión teórico-física, cuyo objetivo es enlazar la *teoría cuántico-gravitatoria* con la *teoría clásica Newtoniana*, en primer lugar, para posteriormente relacionarla con la *relatividad general de Einstein*.

La formulación clásica de (5) ha sido perfectamente verificada en nuestro entorno del *Sistema Solar*, y si asumimos que G es universal, implica que es independiente del medio y por lo tanto solamente podrá estar relacionada con las masas M_1 y M_2 .

La forma más simple para medir la fuerza gravitatoria sobre la superficie de un cuerpo en términos de aceleración es la conocida gravedad o g .

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad m \cdot s^{-2} \quad (6)$$

El salto cuántico entre los dos niveles de energía de los quarks en los nucleones de valor $E_{PGM} = 0,62551472628667$ GeV, es transmitido al espacio adyacente en forma de pulso gravitatorio con información cuántica de su origen y naturaleza. Puede pues, definirse como una *carga gravitatoria* unidad inherente al nucleón, y puede ser expresada en función de su energía mínima o máxima como:

$$\begin{aligned} E_{PGM} &= E_{max} - E_{min} = 3E_{min} - E_{min} = 2E_{min} \\ E_{PGM} &= E_{max} - E_{min} = E_{max} - \frac{E_{max}}{3} = \frac{2}{3}E_{max} \end{aligned} \quad (7)$$

La *teoría cuántico-gravitatoria* propone un nuevo enfoque de (6) tal que:

$$g = \hat{G} \frac{N}{r^2} E_{pgm} \quad m \cdot s^{-2} \quad (8)$$

Ahora la gravedad g es proporcional al número de nucleones N que forman la masa M , y la constante gravitacional G es sustituida por una nueva constante $\hat{G}$.

Igualando ambas ecuaciones, (6) y (8), obtenemos:

$$GM = \hat{G}NE_{pgm} \quad (9)$$

Tanto G como M deben ser expresadas en unidades de eV.

La fundamental relación anterior tiene un claro límite inferior cuando $N = 1$, puesto que siempre será un entero positivo que se corresponde con el nucleón. Luego

$$GM_p = \hat{G}E_{pgm} \quad (10)$$

O expresándolo en términos de las energías de oscilación de los quarks del protón:

$$GE_{max} = \hat{G}(E_{max} - E_{min}) \quad (11)$$

con lo que definitivamente ahora en términos de la energía máxima:

$$\hat{G} = G \frac{E_{max}}{(E_{max} - E_{min})} = \frac{3}{2}G = 1,7847030695296 \cdot 10^{-46} \frac{m^3}{eV s^2} \quad (12)$$

La nueva constante $\hat{G}$ podemos interpretarla provisionalmente como la relación de transformación entre la energía efectiva gravitatoria trasladada al medio y la energía emitida por el nucleón. En el siguiente artículo dedicado a la *formulación cuántico-newtoniana* se reformulará totalmente.

Finalmente, definimos como *quantum gravitatorio* $\mathfrak{E}$ (de la materia aislada), al producto de:

$$\mathfrak{E} = \hat{G} \cdot E_{PGM} = 1,1163580520398 \cdot 10^{-37} m^3 s^{-2} \quad (13)$$

El quantum gravitatorio $\mathfrak{E}$ es la manifestación cuántica de la existencia de materia bariónica en el espacio-tiempo y nexa entre ella.

La relación (9) podemos transformarla en $\widetilde{GM} \equiv \widetilde{N\mathfrak{E}}$ (14).

Se trata de una de las deducciones más relevantes de la *teoría cuántico-gravitatoria*. Nos dice que la masa no puede separarse de los efectos gravitatorios que ella misma genera en términos clásicos, puesto que el término de la izquierda de la igualdad es clásico. Para poder separarlos, hay que utilizar el término derecho que corresponde a la mecánico-cuántica: la masa M es la superposición cuántica de los *quantums gravitatorios* de sus N nucleones. Si $\mathfrak{E}$ es la manifestación cuántica de la materia, N es su información cuántico-gravitatoria. $\mathfrak{E}$ le dice a otra materia que es materia, en tanto que N le dice cuanta materia es.

La formulación (8) de la teoría se reduce ahora a:

$$g = \frac{N}{r^2} \mathfrak{E} \quad m \cdot s^{-2} \quad (15)$$

De esta relación y de la *relación Planck-Einstein*: $E = h\nu$, podemos obtener:

$$\mathfrak{E} = \hat{G} \cdot h \cdot f_{PGM} \quad (16)$$

De (9) y (12) podemos fácilmente deducir M :

$$M = \frac{3}{2} N E_{\text{PGM}} \quad (17)$$

Pero tanto la masa obtenida con esta formulación, como su simple medida clásica, son insuficientes por si mismas para darnos información sobre nuestro universo. En ambos casos es imprescindible el uso de una constante gravitacional $\hat{G}$ o G , que dé sentido físico a la masa en un marco universal. Y eso es lo que nos dice la relación (14). No se pueden separar $\hat{G}$ y E_{pgm} , puesto que lo que medimos y percibimos es el *quantum gravitatorio* total de un cuerpo dado por $N\mathfrak{E}$. El universo es un infinito campo gravitatorio, donde toda la materia bariónica es a la vez partícipe y receptora.

La superposición de los *quantums gravitatorios* $\mathfrak{E}$ de todos los nucleones de un cuerpo, definen su masa M . Si situamos el origen de la masa gravitatoria en la *hadronización* de los quarks, y concretamente en la formación del *protón* con la emisión de su *pulso gravitatorio* (PGM), también estamos diciendo que ese es el origen temporal de la fuerza gravitatoria. Es pues, la masa una consecuencia de la atracción gravitatoria de la materia bariónica.

III. El Vector Gravitatorio de la Materia

Definimos como vector gravitatorio de la materia a:

$$\overline{V}_g = \frac{1}{d^2} N \overline{\mathfrak{E}} \quad m \cdot s^{-2} \quad (18)$$

Si $N = 1$ se trata de materia desagrupada y para valores de $N > 1$ es materia agrupada.

Su acción se ejerce en dos sentidos opuestos no excluyentes ni antagónicos:

- Para valores de $d \geq r$ actúa sobre el resto de materia bariónica.
- Para valores de $d < r$ actúa sobre sí mismo como auto-vector gravitatorio.

El *quantum gravitatorio* $\mathfrak{E}$ manifiesta la naturaleza de que es materia bariónica y N expresa su magnitud, y debe considerarse como un *número cuántico gravitatorio*. Ahora N adquiere el significado de *carga gravitatoria* de un cuerpo macroscópico, cuya información es transmitida por su propio *quantum*.

Figure 4

ESTUDIO CUÁNTICO-GRAVITATORIO Ag^{107}					
Mass Ag^{107} (Kg)	Nucleones Ag^{107}	$E_{\text{PGM}}(\text{eV})$	$\hat{G} (m^3/\text{eV} \cdot s^2)$	$\mathfrak{E}$	Proton mass(Kg)
1	5,978637398479E+26	6,2551472628667E+08	1,78470306952957E-46	1,11635805203977E-37	1,6726219259500E-27
Formulación Clásica Newtoniana (eV)			Formulación Cuántico-Gravitatoria (eV)		
6,674300000000E-11			6,6743000000018E-11		

En la figura 4 se muestra un estudio realizado sobre 1 Kg del isótopo de Ag¹⁰⁷. Por simplicidad y por no afectar al cálculo significativamente, hemos utilizado la masa del protón como único nucleón. El valor del radio se ha omitido al no influir en resultado final. Ambas formulaciones presentan idénticos valores.

Fácilmente podemos deducir la relación entre ambas:

$$V_g = \frac{N}{r^2} \mathfrak{E} = \frac{N}{r^2} \hat{G} E_{\text{PGM}} = \frac{N}{r^2} \hat{G} \frac{2}{3} M_p = G \frac{M}{r^2} \quad (19)$$

Empezando por la *formulación cuántico-gravitatoria* hemos llegado a la *formulación newtoniana*. Sin embargo, el camino inverso no se sustenta sin considerar la naturaleza cuántica de la fuerza gravitatoria. La *teoría cuántico-gravitatoria* no es la simple transformación de la masa, M de la teoría clásica en el producto de sus nucleones totales por la masa individual de cada uno de ellos, sino que es la manifestación de que cada nucleón transmite al espacio un pulso de energía de materia, cuyo origen está en la *oscilación armónico-cuántica* de sus *quarks* constituyentes, a modo de *carga de materia*.

Formulación Cuántico-Newtoniana o de la materia entrelazada

doi.org/10.62059/LatArXiV.preprints.327

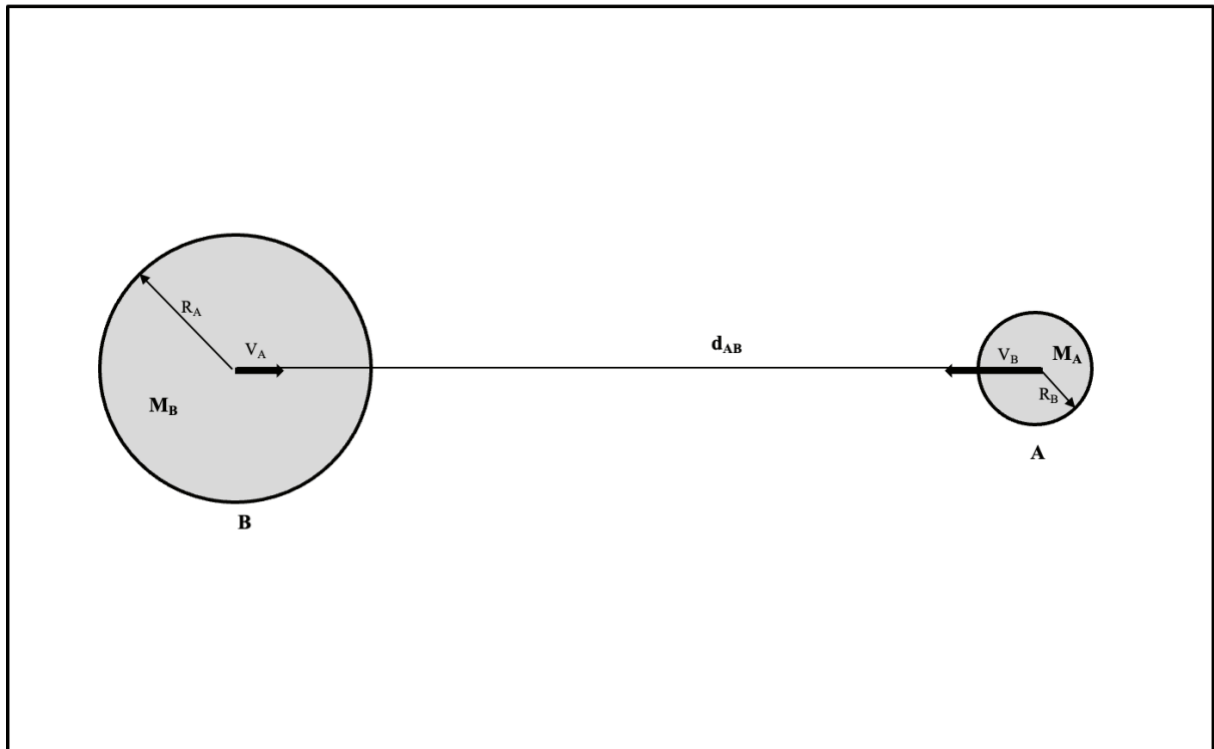
Si en la *formulación mecánico-cuántica* describíamos el origen cuántico de la fuerza gravitatoria y la manifestación como materia bariónica al espacio bajo la forma del *quantum gravitatorio* $\mathfrak{G}$ (de la materia aislada). En el presente artículo describimos y detallamos la relación gravitatoria entre cuerpos macroscópicos que, por simplicidad expositiva, serán esféricos, y su evolución en el tiempo. Con ello abordamos la *formulación cuántico-newtoniana* que estará dividida en varios epígrafes:

- La fuerza gravitatoria: La materia encuentra materia.
- La materia entrelazada: Análisis vectorial y mecánico-cuántico.
- El auto vector gravitatorio.

Introducimos de esta forma una nueva visión de la concepción newtoniana de la gravedad, sin que suponga un cuestionamiento de sus conceptos fundamentales, sino que pretende profundizar en la naturaleza de la fuerza dominante de nuestro universo.

I. La Fuerza gravitatoria: la materia encuentra materia

Figura 5: Sistema gravitatorio entre dos cuerpos



Sean los cuerpos esféricos estáticos A y B de la figura 5 de masas M_A y M_B , respectivamente, y d_{AB} la distancia que separa sus centros de masas. Las condiciones del entorno son la ausencia de cualquier otra materia bariónica y carecer de historia.

Newton nos enseñó que la fuerza gravitatoria que experimentan ambos cuerpos está descrita por:

$$F_{GAB} = G \frac{M_A \cdot M_B}{d_{AB}^2} \quad \text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (20)$$

Sus respectivos *vectores gravitatorios* serán:

$$\vec{V}_A = N_A \vec{\mathfrak{E}} \quad \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad \vec{V}_B = N_B \vec{\mathfrak{E}} \quad \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (21)$$

Y la fuerza gravitatoria expresada en términos de la *teoría cuántico-gravitatoria* es:

$$\vec{F}_{GAB} = \frac{3}{2} \frac{N_A \cdot N_B}{d_{AB}^2} \vec{\mathfrak{E}} \quad \text{eV} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (22)$$

para $N_B > N_A$.

Expresando (20) y (22) en unidades de eV e igualando, obtenemos:

$$G \cdot M_A \cdot M_B = \frac{3}{2} N_A \cdot N_B \cdot \vec{\mathfrak{E}} \quad (23)$$

$$\text{Siendo } \vec{\mathfrak{E}} = \hat{G} \cdot (E_{PGM} \cdot E_{PGM}) = \hat{G} \hbar^2 \omega^2 \quad (24)$$

Realmente se produce una transformación a nivel de sus respectivos quantums:

$$\vec{\mathfrak{E}} \cdot \vec{\mathfrak{E}} = \hat{G} E_{PGM} \cdot \hat{G} E_{PGM} \lesssim \hat{G} (E_{PGM} \cdot E_{PGM}) = \vec{\mathfrak{E}} \quad (25)$$

Las relaciones de (24) y (25) son la manifestación del *entrelazamiento gravitatorio* de la materia, cuya expresión es el *quantum gravitatorio universal* $\vec{\mathfrak{E}}$ (*de la materia entrelazada*). De aquí en adelante solo utilizaremos esta notación. La materia bariónica se reconoce mutuamente y queda entrelazada gravitatoriamente. Ahora el nuevo *quantum gravitatorio universal* toma las unidades de la energía y adquiere un carácter único, tal como se manifiesta en la naturaleza.

El concepto de *entrelazamiento gravitatorio* ya había sido anticipado por Vijay Balasubramanian et all.[17] dentro de la QFT, y posteriormente por Sougato Bose et all.[18],[19]. Y muy recientemente han sido verificados efectos de entrelazamiento por el detector ATLAS del LHC [20] y en simulaciones digitales dentro de un computador de IBM por Carlos Sabín [21]. Otras aportaciones provienen de Marios Christodoulou et all [22]. La aplicación del concepto cuántico de entrelazamiento a la atracción gravitatoria no es novedosa, y sigue una corriente actual de tratar de dar una explicación física al origen y naturaleza de la fuerza gravitatoria. Basta recordar las aportaciones que la consideran como una fuerza de origen entrópico.

Este *entrelazamiento gravitatorio*, cuya importante evolución en el tiempo será abordada más tarde, la medida de su intensidad es la fuerza gravitatoria debida a la atracción mutua entre los nucleones de dos cuerpos. De tal forma, que el cuerpo A percibe una *carga*

gravitatoria N_B del cuerpo B y viceversa. Y a la vista de (25), ya podemos decir que $\hat{G}$ es una constante de acoplamiento cuántica que desempeña un rol clave en el entrelazamiento.

Explicar con argumentos científicos la fuerza de la gravedad utilizando ideas de la mecánica-cuántica como el entrelazamiento cuántico, puede parecer muy forzado y poco científico, por la evidencia de que toda la materia bariónica se atrae. Pero desde la *Teoría Cuántica-Gravitatoria* precisamente pretendemos dar una respuesta coherente a esa evidencia, ¿por qué la materia se atrae? Si nos fijamos en fenómenos similares de la naturaleza, como las fuerzas de atracción generadas entre cuerpos con cargas eléctricas opuestas o campos magnéticos creados por materiales con esas propiedades, ¿cómo rechazar a priori que la materia bariónica, sus nucleones, posean una *carga gravitatoria*? Obviamente esta argumentación es más heurística que científica, pero la relevante relación de (25) si tiene un profundo significado científico.

Figura 6				
Estudio Gravitatorio Plata- Oro				
Masa Protón(Kg)	$G(m^3/Kg.s^2)$	$\hat{G} (m^3/eV.s^2)$	$E_{FGM}(Ev)$	$\mathcal{E}$
1,672621925950E-27	6,67430000000000E-11	1,78470306952957E-46	6,2551472628667E+08	6,982984013595780E-29
Masa Ag (Kg)		Masa Au (Kg)		Distancia (m)
3		4		1
Nucleones Plata (N_{ag})		Nucleones Oro (N_{au})		$Kg \rightarrow eV$
1,793591E+27		2,391455E+27		5,60958860300000E+35
Formulación Clásica Newtoniana (eV)		Formulación Cuántico-Gravitatoria (eV)		
4,492809265560350E+26		4,492809266224940E+26		

Figura 7				
Estudio Gravitatorio Sol - Júpiter				
Masa Protón(Kg)	G(m³/Kg.s³)	$\hat{G}$ (m³/eV.s²)	E_{PGM} (Ev)	$\mathfrak{E}$
1,672621925950E-27	6,67430000000000E-11	1,78470306952957E-46	6,2551472628667E+08	6,982984013595780E-29
Masa Sol (Kg)		Masa Júpiter (Kg)		Distancia Sol-Júpiter(m)
1,989100E+30		1,898700E+27		7,78412020000000E+11
Nucleones Sol (Ns)		Nucleones Júpiter		Kg → eV
1,189211E+57		1,135164E+54		5,60958860300000E+35
Formulación Clásica Newtoniana (eV)		Formulación Cuántico-Gravitatoria (eV)		
2,333622676989100E+59		2,333622677334300E+59		

En las figuras 6 y 7 se muestran dos estudios considerando solamente la masa del protón, en lugar de la masa media del nucleón. La comparación de los resultados obtenidos entre la teoría clásica y de la *teoría cuántico-gravitatoria*, no pueden ser más concluyentes.

Con ambos estudios hemos demostrado la validez de la formulación cuántico-gravitatoria para la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos. Y es razonable pensar que, si con dos formulaciones aparentemente diferentes se obtienen los mismos resultados, alguna relación tiene que existir entre ambas. Y efectivamente la hay como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 F_{GAB} &= \frac{3 N_A \cdot N_B}{2 d_{AB}^2} \mathfrak{E} = \frac{3 N_A \cdot N_B}{2 d_{AB}^2} \hat{G} \cdot (E_{PGM} \cdot E_{PGM}) \\
 &= \frac{3 N_A \cdot N_B}{2 d_{AB}^2} \hat{G} \left(\frac{2}{3} E_{max} \right) \left(\frac{2}{3} E_{max} \right) = \frac{N_A \cdot N_B}{d_{AB}^2} \frac{2}{3} \hat{G} (M_{exp}) (M_{exp}) \\
 &= G \cdot \frac{1}{d_{AB}^2} N_A M_{exp} \cdot N_B M_{exp} = G \frac{M_A \cdot M_B}{d_{AB}^2} eV \cdot m \cdot s^{-2} \quad (26)
 \end{aligned}$$

Como se muestra, ambas formulaciones son equivalentes, pero su gran diferencia es que en la *formulación cuántico-gravitatoria* es evidente el origen cuántico de la gravedad debido al *quantum gravitatorio universal* $\mathfrak{E}$. No olvidemos que $E_{PGM} = \hbar\omega$. Y aunque aparentemente las dos son la misma ecuación expresada en distintos términos, de la ecuación newtoniana no es posible obtener la ecuación cuántico-gravitatoria, porque el quantum gravitatorio $\mathfrak{E}$. no es un mero producto de los quantums de los dos cuerpos, sino el entrelazamiento gravitatorio de ambos.

Las condiciones impuestas al entorno son muy restrictivas pero necesarias, aunque aparentemente puedan parecer arbitrarias. Se trata de analizar una situación ideal de dos cuerpos macroscópicos que carecen de historia, y en un universo donde la única materia bariónica es la aportada por ellos. La necesidad viene impuesta para aislar nuestro laboratorio de ideas de la contaminación gravitatoria de nuestra vida física como materia. Actuar de otro modo nos obligaría a remontarnos a los momentos iniciales de nuestro universo, justo después de la

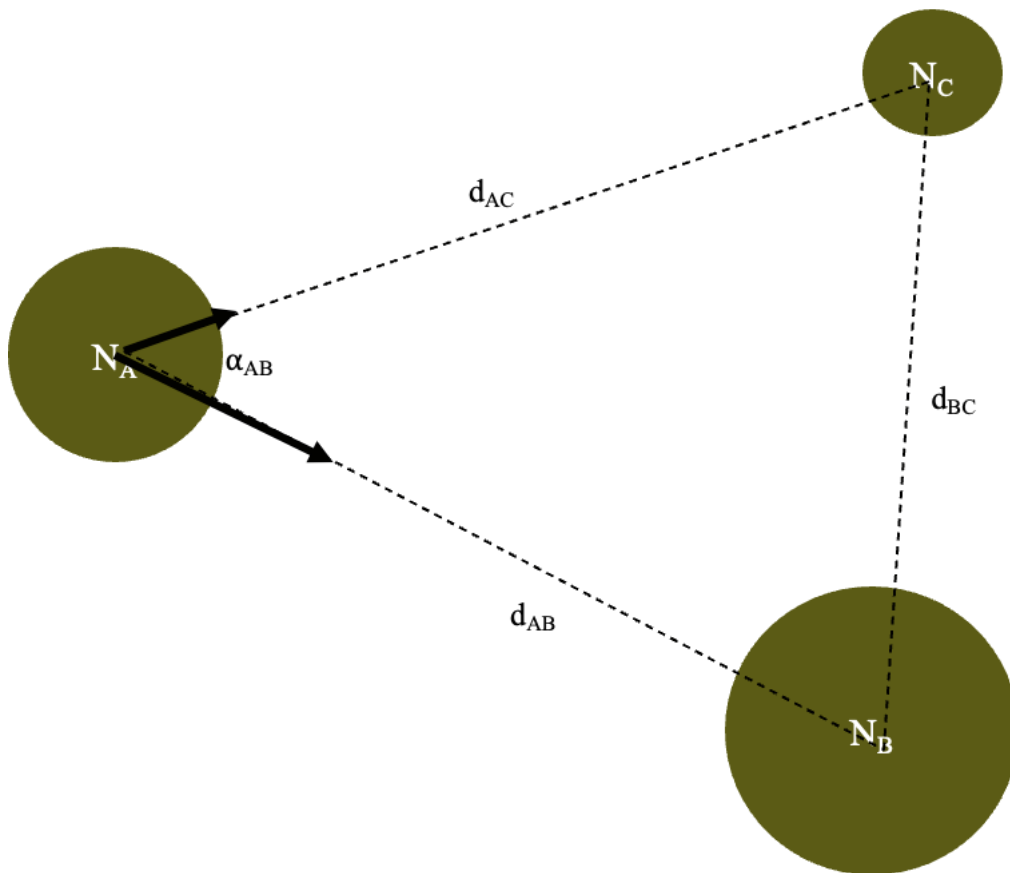
hadronización, lo que nos desviaría de nuestro actual objetivo. No obstante, su discusión y razonamiento detallado se abordará al final del presente capítulo.

Finalmente, el entrelazamiento gravitatorio mostrado por la relación (25) requiere un análisis más detallado y en un contexto más amplio donde la materia llena nuestro universo, y considerando su evolución en el tiempo. Primeramente, abordaremos un primario e instructivo análisis vectorial y posteriormente realizaremos un análisis mecánico-cuántico de su evolución temporal.

II. La materia entrelazada: Análisis vectorial

Sea un sistema gravitatorio ideal formado por tres cuerpos A, B y C en un instante cualquiera t de su evolución dinámica

Figura 8: La red cuántico-gravitatoria



Las fuerzas gravitatorias existentes en nuestro sistema serán las generadas por los tres cuerpos entre sí:

$$F_{AB} = \frac{3}{2} \cdot \frac{N_A \cdot N_B}{d_{AB}^2} \hat{\mathfrak{E}}; F_{AC} = \frac{3}{2} \cdot \frac{N_A \cdot N_C}{d_{AC}^2} \hat{\mathfrak{E}}; F_{BC} = \frac{3}{2} \cdot \frac{N_B \cdot N_C}{d_{BC}^2} \hat{\mathfrak{E}} \quad (27)$$

La única fuerza que se ejerce sobre ellos es la fuerza gravitatoria, no existe más materia alrededor y no nos interesa su evolución dinámica, ni si está en equilibrio gravitatorio. Tan solo queremos conocer el vector gravitatorio resultante sobre A debido a B y C.

Si situamos nuestro sistema de coordenadas sobre el cuerpo A, tal como se muestra en la figura 8, los vectores gravitatorios de B y C ejercerán sus efectos gravitatorios sobre A amortiguados por los cuadrados de las distancias que los separan.

El vector gravitatorio resultante será la suma vectorial de V_B y V_C :

$$\overrightarrow{V_{BC}} = \sqrt{|V_B|^2 + |V_C|^2 \pm 2 \cdot V_B \cdot V_C \cdot \cos \alpha_{AB}} \quad (28)$$

O en su forma desarrollada

$$\overrightarrow{V_{BC}} = \hat{\mathfrak{E}} \sqrt{\left| \frac{N_B}{d_{AB}^2} \right|^2 + \left| \frac{N_C}{d_{AC}^2} \right|^2 \pm 2 \cdot \frac{N_B \cdot N_C}{d_{AB}^2 d_{AC}^2} \cdot \cos \alpha_{AB}} \quad (29)$$

Muestra que el vector gravitatorio resultante a la que está sometido el cuerpo A es proporcional a la suma de los cuadrados de los vectores gravitatorios de B y C, aplicados en A, más/menos la relación entre el producto de los vectores gravitatorios de B y C, y el producto de las distancias que lo separan de A.

Siguiendo el mismo razonamiento para un sistema de n-cuerpos, podemos llegar a una expresión general:

$$\overrightarrow{V_R} = \hat{\mathfrak{E}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{N_i}{d_i^2} \right|^2 \pm \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n B_{ij}} \quad (30)$$

Evidentemente el valor de V_R será imposible de obtener si queremos considerar toda la materia del universo, que a su vez desconocemos. Denotaremos, por simplicidad, al módulo de la resultante gravitatoria universal sobre un punto cualquiera del espacio como $\vec{R}$. Y ahora será:

$$\overrightarrow{V_R} = \hat{\mathfrak{E}} \vec{R} \quad (31)$$

Pero no estamos interesados en la cuantización del vector V_R resultante sobre un cuerpo, sino en mostrar la relevante presencia del *quantum gravitatorio universal* $\hat{\mathfrak{E}}$ como nexo común a toda la materia bariónica.

Y aunque la resultante gravitatoria $\vec{R}$ cosmológica no pueda ser obtenida empíricamente, si podemos acotar sus primeros términos que serán los que definirán localmente su valor.

El análisis vectorial se agota en este punto. Independientemente de la complejidad de la formulación (30), ha alcanzado su objetivo poniendo de manifiesto que la materia bariónica, se

reconoce mutuamente y permanece entrelazada gravitatoriamente por medio del *quantum gravitatorio* que ella misma genera.

III. La materia entrelazada: Análisis mecánico-cuántico

De la combinación de las formulaciones (24) y (31) obtenemos:

$$\vec{V}_R = \hat{\mathcal{E}}\vec{R} = \hat{G} \hbar^2 \omega^2 \vec{R} \quad (32)$$

Donde ω representa a la frecuencia oscilación armónico-cuántica de los quarks en los nucleones y $\vec{R}$ el efecto gravitatorio de toda la materia que rodea al observador. En esta forma más detallada podemos subdividirla para el análisis en dos partes: los tres primeros términos comunes a toda la materia bariónica representan su *entrelazamiento gravitatorio*, en tanto que el último término representa la *carga gravitatoria* responsable de los efectos observados.

Si tal como estamos planteando toda la materia está *entrelazada gravitatoriamente* en el momento presente, también lo tuvo que estar desde su creación. Fue pues, en el proceso de *hadronización* dónde comenzó el entrelazamiento y la atracción gravitatorios de la materia. Luego hemos de situar nuestro análisis en aquellos primeros instantes de nuestro universo, donde la física de la mecánico-cuántica era la imperante en su interior.

La historia del universo antes del primer segundo fue bastante caótica, con un proceso inflacionario y la continua aniquilación entre materia y antimateria en el fenómeno conocido por *bariogénesis*. Por ello nos situaremos en la era leptónica cuando el universo tan sólo tenía aproximadamente 1 s y ambos procesos habían finalizado encontrándose el universo en equilibrio térmico.

Sus condiciones iniciales podrían resumirse las siguientes:

1. Temperatura aproximada de 10^{10} °K y en equilibrio térmico.
2. Universo pequeño y con factor de expansión $a \gg ct$.
3. Plasma de partículas: fotones, protones, neutrones, electrones y neutrinos.
4. Supuesta baja entropía.
5. Espacio-tiempo plano.

Estas condiciones definen a un universo pequeño, caliente y denso. Hay que señalar que su tamaño real es irrelevante para el estudio, aunque si es importante destacar su pequeño volumen comparado con el momento actual. De entre todas las partículas del plasma primigenio son los protones y neutrones los que realmente aportan más del 95% a la densidad. Fotones y neutrinos prácticamente no aportan, y los electrones suponen una ínfima parte. El hecho relevante es que, todos los protones y neutrones se crearon durante el proceso de hadronización, y desde entonces hasta nuestros días ha permanecido prácticamente constante. No se conoce ningún proceso natural que genere protones a partir de quarks no contenidos en materia previa, condición necesaria para la conservación del número bariónico.

La condición de baja entropía viene impuesta por la segunda ley de la termodinámica. La lógica de la ley nos dice que, si la entropía siempre aumenta en la dirección del tiempo, el universo deberá tener menor entropía en sus comienzos que en el momento actual. Cuantificarla en ambas situaciones no es tarea fácil ni necesaria por el momento. Nos debemos conformar con el razonamiento lógico, pero requerirá fuertes matizaciones con posterioridad.

La densidad de materia bariónica estimada actual Ω_B respecto a la densidad crítica Ω_C , es de 0,044. Como la densidad crítica estimada es de $9,47 \times 10^{-27}$ Kg/m³, la densidad de materia

bariónica es de $4,1668 \times 10^{-28} \text{ Kg/m}^3$ para un volumen estimado de universo observable de unos $43.500 \cdot 10^6$ años-luz. La densidad bariónica correspondiente a un universo de 4 años-luz es de $4,5314 \times 10^{-18} \text{ Kg/m}^3$, que es muy superior a la estimada para esa era del universo. Esta densidad se corresponde aproximadamente a $2,7 \times 10^{18}$ protones/cm³. La acelerada expansión pudo contribuir a una fuerte disminución de la densidad de materia, pero aun así en ese primer segundo podemos idealizar a nuestro universo como una bola de radiación y materia en forma de protones y neutrones.

Y en este contexto idealizado de un volumen en expansión poblado de protones y neutrones (el resto de las partículas no influyen significativamente) con una distribución isotrópica y uniforme, podemos despreciar al término B_{ij} de la ecuación (30), y dado que $N_i = 1$, obtenemos que para un nucleón en situado en su centro la atracción bariónica ejercida por el resto es:

$$\overline{V_R} = \hat{\mathfrak{G}} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left| \frac{1}{d_i^2} \right|^2} \quad (33)$$

Esta extrema idealización es otra perspectiva temporal de (32), donde ahora $\mathbf{R}$ no representa a la materia agrupada, sino a cada nucleón individualmente, paso previo a todo el proceso gravitatorio posterior. La materia bariónica realiza un intercambio de información cuántica simultáneo a su propia creación, compartiendo su *carga gravitatoria* indefinidamente. Este intercambio de información cuántica puede asimilarse a la *interacción de intercambio* descrita para el magnetismo por la teoría de Heitler-London.

Sougato Bose et all [18] describe el nivel más bajo de *entrelazamiento gravitatorio* entre dos osciladores armónico-cuánticos como:

$$\Delta\phi = \frac{2Gm^2}{d^3} x_A x_B \quad (34)$$

Su equivalente en la TCG sería:

$$\Delta\phi = 3\hat{\mathfrak{G}} \frac{N_A N_B}{d^3} x_A x_B = 3\hat{G} \hbar^2 \omega^2 \frac{N_A N_B}{d^3} x_A x_B \quad (35)$$

La ecuación (15) es el tercer término de una serie obtenida de dos osciladores armónico-cuánticos de masas iguales. Nuestro razonamiento es que, es igualmente válido este término para masas desiguales ($N_A \neq N_B$). En (35) la constante $\hat{G}$ desempeña el papel de *constante de entrelazamiento gravitatorio* que ya intuimos en (24), adquiriendo así un profundo sentido físico.

El cuadro físico que tratamos de describir es el de un universo pequeño, pero en expansión, con una altísima densidad de protones y neutrones dotados de gran energía cinética, portadores de *cargas gravitatorias* que producen su entrelazamiento global. Es la descripción de un universo cuántico que posteriormente la gravedad convirtió también en clásico, aunque no por ello ha dejado de ser cuántico. La fuerza gravitatoria es cuántica, como lo muestra el *entrelazamiento gravitatorio*, pero sus efectos observados por entes clásicos son evidentemente clásicos, y por ello son percibidos por nuestros sentidos.

La descripción física de la evolución temporal desde ese instante 0 hasta el presente, es un desafío científico todavía no resuelto. Evolucionar desde un plasma de protones y neutrones en ebullición hasta las estructuras de masa como estrellas y agujeros negros, es imposible sin

una atracción primaria de los fundamentales constituyentes de la materia, independientemente de que otros fenómenos físicos coadyuvaran. No olvidemos la propia repulsión eléctrica entre protones que es del orden de 36 veces superior a su atracción gravitatoria.

El proceso de la formación atómica provocó la neutralidad eléctrica, eliminando la consecuente repulsión, y contribuyendo considerablemente a la evolución gravitatoria, pero no pudo ser suficiente para que se creasen tan enormes masas en tan corto espacio de tiempo, tal como nos está mostrando el telescopio Webb [23][24]. Si a ello unimos la quinta condición inicial de un universo plano, puesto que el plasma homogéneo e isotrópico de protones y neutrones no podían distorsionar la geometría del espacio-tiempo, nos encontramos en una situación utópica de inmensas y diluidas nubes de HII, que por sí solas nunca hubieran colapsado en un universo en continua expansión. A pesar del rápido enfriamiento del universo, el débil *entrelazamiento gravitatorio* no fue suficiente para provocar por sí mismo el colapso de la materia que hoy conocemos. Tuvo que existir algún tipo de inestabilidades espaciotemporales para que ese universo dejara de ser tan homogéneo y uniforme, y desencadenara toda la gran evolución gravitatoria de la materia.

Existen actualmente tres hipótesis principales en esta línea de argumentación: *Energía oscura*; *Materia oscura* y *Agujeros Negros Primordiales* (ANP). Nuestras ideas van en apoyo de los ANP, como argumentaremos y desarrollaremos en profundidad en el capítulo dedicado a la *formulación cuántico-relativista*.

Formulación Cuántico-Relativista o de la materia como energía

El modelo cosmológico estándar Λ CDM trata de dar respuesta a la aparente falta de materia bariónica, basada en observaciones en el óptico y en la dinámica de las estrellas más exteriores de las galaxias, introduciendo entre sus parámetros la *materia oscura fría*. Las raíces del modelo estándar parten a su vez del modelo FLRW que supone al universo como a un fluido perfecto a escalas cosmológicas donde las galaxias son los elementos del fluido con una densidad de materia homogénea e isotrópica. Esta idealización conlleva algunos riesgos. El primero es considerar a todas las galaxias como masas homogéneas cuando las observaciones nos aportan diferencias importantes, y el segundo y más relevante es que no tiene en cuenta los efectos gravitatorios.

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T^{\alpha\beta} \quad (36)$$

En el origen de todos los modelos cosmológicos está la ecuación de la *Teoría General de la Relatividad*, en donde resulta fundamental definir el tensor de la materia $T^{\alpha\beta}$ para así poder obtener el tensor de Einstein $G_{\alpha\beta}$ y el tensor métrico $g_{\mu\nu}$ del espacio-tiempo. Consecuentemente el concepto de materia o masa es la clave para describir qué tipo de espacio-tiempo genera o provoca. Apoyándonos en los capítulos previos donde exponíamos los fundamentos de la *teoría cuántico-gravitatoria*, abordamos en este un giro conceptual de la **TGR** y su modelo cosmológico, sustituyendo a la masa por su *energía gravitatoria* equivalente y la consecuente modificación del lado derecho de la ecuación relativista de Einstein.

La exposición está dividida en tres partes:

1. Bases para un modelo cosmológico cuántico-gravitatorio: Se realiza un estudio de la evolución energética de nuestro universo considerándolo como un sistema cerrado y aplicándole las leyes de la termodinámica.
2. El hamiltoniano gravitatorio: Se define el hamiltoniano gravitatorio del universo que incluye toda la materia bariónica y sus relaciones de entrelazamiento. Deduciendo que la materia no puede garantizar la conservación de la energía del universo.
3. Ecuación relativista cuántico-gravitatoria: La sustitución del tensor energía-momento de la materia por el tensor de la energía gravitatoria en la ecuación de la Relatividad General, dada la constatación previa de la equivalencia entre materia bariónica y energía gravitatoria.

I. Bases para un Modelo Cosmológico Cuántico-Gravitatorio

La consideración del universo como un sistema cerrado en su sentido clásico, tiene fuertes implicaciones cosmológicas que no son objeto del presente artículo pero que son la base de todo su desarrollo posterior, aplicándolo en su sentido más restrictivo y fuerte como un todo absoluto en cualquier instante de su historia.

El modelo utiliza estos cuatro pilares físicos:

1. Leyes de la Termodinámica.
2. El espacio-tiempo definido por la **TGR**.
3. Teoría mecánico-cuántica.
4. Materia bariónica y energía gravitatoria son equivalentes.

Los tres primeros pilares son ya un acervo de la comunidad científica, en tanto que el último será el objeto principal de este artículo.

Estamos especialmente interesados en la primera ley de la termodinámica de la conservación de la energía durante toda la historia del universo, y por ello realizaremos una comparativa entre las energías de un momento primigenio y el momento presente.

Las condiciones iniciales cuando el universo tenía 1 s de antigüedad, finalizada la era inflacionaria, la hadronización y la bariogénesis podrían resumirse en las siguientes:

1. Temperatura aproximada de 10^{10} °K y en equilibrio térmico.
2. Universo pequeño y con factor de expansión $a \gg ct$.
3. Plasma de partículas: fotones, protones, neutrones, electrones y neutrinos.
4. Baja entropía.
5. Espacio-tiempo plano.

Estas condiciones definen a un universo pequeño, caliente y denso. Sus parámetros para este tiempo son: una energía total $E_u(t_0)$; N_u partículas bariónicas (protones y neutrones); volumen inicial $V_u(t_0)$; temperatura $T_u(t_0)$; entropía $S_u(t_0)$ y por último por un factor de expansión $a_u(t_0)$.

La energía $E_u(t_0)$ es la suma de las siguientes energías todas ellas positivas.

$$E_u(t_0) = E_{\gamma_0} + E_{\mu} + E_{C_0} + E_{P_0} + E_r + E_X + E_{BB_0} + E_{G_0} \quad (37).$$

E_{γ_0} es la energía debida a la radiación fotónica; E_{μ} es la energía debida a la masa en reposo de todas las partículas; E_{C_0} es la energía cinética de todas ellas; E_r es la energía residual debida principalmente a electrones y neutrinos; E_{P_0} incluye a las posibles energías potenciales, excluida la gravitatoria; E_X representa la energía asociada a la *radiación X de fondo*, debida al frenado entre electrones y protones, conocida como *bremsstrahlung*; E_{BB_0} es la energía remanente del Big Bang por la que el universo se sigue expandiendo y finalmente E_{G_0} engloba a todas las energías gravitatorias.

En el tiempo presente t_1 , las energías verificadas se detallan a continuación:

$$E_u(t_1) = E_{\gamma_1} + E_{\mu} + E_{C_1} + E_{P_1} + E_{BB_1} + E_M + E_{G_1} \quad (38)$$

La energía de radiación inicial E_{γ_1} ha desaparecido prácticamente al imponerse la materia sobre la radiación. E_{μ} ha permanecido prácticamente constante. E_{BB_1} tiene que haber disminuido por la propia expansión. E_{P_1} podemos considerarla constante, aunque su valor lo intuimos despreciable. E_r habrá

disminuido sensiblemente como consecuencia de la formación atómica. E_X aunque pudiera estar asociada a la *radiación X de fondo* actual como *bremsstrahlung*, su valor tiene que ser significativamente menor. E_M engloba a las energías asociadas a la radiación de la materia debido a su agrupamiento: fondo extra galáctico de luz (EBL), radiación X de fondo como posible origen en cuásares y estallidos de rayos gamma. La valoración cuantitativa de las energías cinéticas E_{C_1} y E_{C_0} requiere un análisis más detallado en sus respectivos tiempos.

El universo descrito en t_0 reúne las condiciones para poder aplicarle el *teorema de equipartición*, pudiendo definir su energía cinética en función de su temperatura por:

$$E_{C_0} = \frac{3}{2} N_T T_u \quad (39)$$

donde N_T incluye fotones, electrones, bariones y neutrinos. Huimos de aplicar el *teorema del virial* por dos razones fundamentales: la fuerte expansión y la exclusión de la energía potencial gravitatoria, amén de la muy posible presencia de fuerzas no conservativas.

Si tomamos nuestro tiempo presente con una edad estimada del universo de 13.800 millones de años y una temperatura de 2,7 °K, la tasa de enfriamiento resultante es de 7,25 °K/año. Obviamente no responde a su historia térmica, pues se enfrió mucho más rápidamente en sus primeros años. Pero si da respuesta a la hipótesis de que su enfriamiento no fue debido al crecimiento de su volumen, pues de haber sido así sería correcta y no hay evidencias de que el factor de expansión fuese mayor al principio (superada la era inflacionaria), sino que las últimas observaciones indican todo lo contrario.

El fuerte descenso de temperaturas en la época temprana del universo deviene en un factor decisivo en su evolución energética. Tenemos que abandonar momentáneamente el análisis de la energía cinética E_{C_1} en nuestro tiempo presente, para centrarnos en una época intermedia cuando el universo tenía 340.000 años, momento en que empezó a hacerse transparente emitiendo el *fondo cósmico de microondas* (FCM).

Podemos seguir aplicando el *teorema de equipartición* y entonces la energía cinética para este tiempo t_1 será:

$$E'_{C_1} = \frac{3}{2} N_T T'_u \quad (40)$$

El universo sufrió un drástico enfriamiento en sus primeros 340.000 años, pasando del primer minuto con una temperatura aproximada de más de 10^{10} °K a unos 4.000 °K. Esto supuso un descenso de la energía cinética 25×10^6 con respecto a la energía cinética inicial con el número total de partículas N_T constante.

La causa de este fortísimo descenso es actualmente atribuida a la gran expansión que experimentó nuestro universo en esa época. Nosotros diferimos de esa interpretación. La temperatura es una medida de la energía interna de las partículas contenidas en un sistema y es fundamentalmente cinética. Si el sistema es cerrado en su sentido más estricto como lo estamos considerando, y si el número de partículas existentes en el instante t_0 es constante en todo tiempo, y en equilibrio térmico, su expansión no puede conllevar disminución de temperatura. El nuevo volumen es debido a la expansión del espacio sin aportación de energía de cualquier tipo. No hay ninguna razón física para que la temperatura disminuya, dado que la energía cinética no ha podido variar por la ampliación de volumen y la energía térmica radiada es en conjunto nula por estar todas las partículas en equilibrio térmico en consecuencia, el nuevo volumen sigue a la misma temperatura. Evidentemente la densidad de energía si disminuye con el volumen, pero la energía debe mantenerse invariable.

La intensa radiación electromagnética que debió existir en esta etapa, debida fundamentalmente a la radiación fotónica pudo decaer, pero fue compensada por la transferencia de energía al resto de partículas aumentando su energía cinética. De todas formas, su posible disminución parece a todas luces insuficiente para compensar la pérdida de energía estimada.

Considerar al universo como un sistema cerrado, que abarca todo, sin límites ni bordes, en otras palabras, infinito en todo tiempo, puede ser especulativo y a la vez una hipótesis plausible. Por ello pensar que puede radiar energía fuera de él, es simplemente absurdo y por esa razón la ley de Stefan-Boltzmann de radiación de cuerpo negro no puede serle aplicada. Igualmente, el universo se ha estado expandiendo a velocidades superlumínicas, por lo que el plasma de partículas no ha podido ejercer presión sobre parte alguna del universo. Son pues otras causas las que generaron el descenso de temperatura.

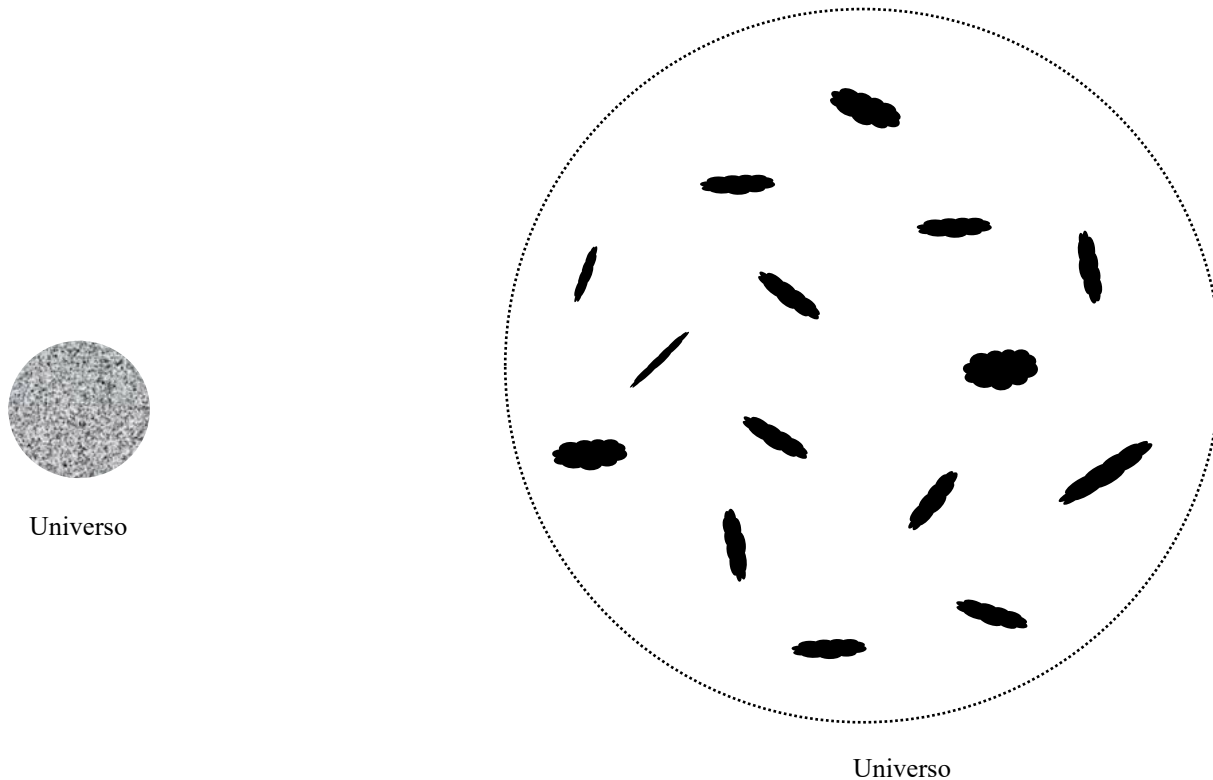


Figura 9

La figura representa esquemáticamente nuestro universo primigenio t_0 y el universo actual t_1 . Los dos únicos observables visuales son el tamaño y la distribución de la materia, y dos principios termodinámicos que se deben cumplir: la energía se ha conservado y la entropía ha aumentado.

Si retomamos la energía cinética E_{C_1} de nuestro tiempo presente, no podemos valorarla por el teorema de equipartición, pues nos encontramos con cuerpos de diferentes tamaños agrupados en galaxias también muy variables. Pero si podemos medir la energía cinética de nuestro sol y compararla con la energía que todas sus partículas componentes generarían en el tiempo t_0 . La energía cinética que genera nuestro Sol por su movimiento traslacional es aproximadamente de $3,9108 \times 10^{55}$ eV (Masa = $1,9891 \times 10^{30}$ Kg; Velocidad orbital = 2,51 Km/s), suponiendo que solo está compuesto por protones ($1,18921 \times 10^{57}$) a la temperatura de 10^{10} °K obtenemos una energía de $1,53717283 \times 10^{64}$ eV. Esto nos muestra que la agrupación de la materia significó también una reducción de la energía que no es compensada con su propio movimiento. La energía debida al movimiento rotacional no tiene naturaleza relacionada con la energía gravitatoria y podría demostrarse que ha sido constante en toda la historia del universo.

Concluyendo, la energía cinética $E_{C_1} \ll E_{C_0}$ y la aportación de la energía E_M a la energía total del universo puede considerarse despreciable, dada su inestabilidad y variabilidad, tanto en sus aspectos lumínicos como térmicos.

Todas las contribuciones energéticas a E_u han disminuido considerablemente, o se ha mantenido constante como es el caso de E_μ , solamente E_G podría garantizar la conservación de energía del universo. E_G representa a toda energía gravitatoria cuyo origen es la materia bariónica. Necesitamos pues, encontrar la expresión del hamiltoniano de E_G que nos sirva para cualquier instante de la historia de nuestro universo y así poder valorar su contribución a la conservación de la energía E_u .

II. El hamiltoniano gravitatorio

En todo el análisis energético evolutivo del epígrafe anterior ha estado prácticamente ausente la energía gravitatoria. La evidente conclusión de que $E_u(t_0) \gg E_u(t_1)$ presupone la no conservación de la energía total del universo y que sólo la energía gravitatoria E_G puede garantizarla. Abordamos por ello a continuación su estudio.

De la *Formulación Mecánico-Cuántica* sabemos que el equivalente a la masa en energía gravitatoria es:

$$M = N \cdot E_{max} = \frac{3}{2} N \cdot E_{PGM} \quad (41)$$

Esta formulación podemos transformarla multiplicando y dividiendo por $N \cdot \hat{G} \cdot E_{PGM}$, para transformarla en la forma del hamiltoniano gravitatorio de un cuerpo aislado de materia bariónica común:

$$\mathcal{H}_{CO} = \frac{3 N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{2 N \mathfrak{E}} = \frac{3}{2} \frac{E_{GEN}}{E_{EMI}} \quad (42)$$

Todo cuerpo compuesto por más de un nucleón está definido energéticamente como la relación entre la energía gravitatoria de entrelazamiento que lo mantiene cohesionado y la energía que emite como materia. Así la masa puede expresarse como relación entre energías de entrelazamiento interno y energía para entrelazamiento externo.

La relación fundamental del *entrelazamiento cuántico-gravitatorio* es :

$$\vec{\mathfrak{E}} \cdot \vec{\mathfrak{E}} = \hat{G} E_{PGM} \cdot \hat{G} E_{PGM} \approx \hat{G} (E_{PGM} \cdot E_{PGM}) = \hat{\mathfrak{E}} \quad (43)$$

Y expresa a nivel cuántico el *entrelazamiento gravitatorio* entre la materia bariónica. Esta misma relación también puede ser expresada en términos clásicos de energía, como la suma de las energías emitidas individualmente por cada cuerpo que se transformarán en la energía de entrelazamiento.

$$\mathfrak{E} + \mathfrak{E} + E_{EN} = \hat{\mathfrak{E}}$$

$$2\hat{G}E_{PGM} + E_{EN} = \hat{G} E_{PGM}^2 \quad (44)$$

La relación anterior muestra claramente la necesidad de introducir un nuevo término E_{EN} para garantizar la conservación de la energía.

$$E_{EN} = \hat{G}E_{PGM}(E_{PGM} - 2) \approx \hat{G}E_{PGM}^2 = \mathfrak{E} \quad (45) \text{ considerando que } E_{PGM} \gg \gg 2.$$

E_{EN} expresa la energía que genera el entrelazamiento cuántico-gravitatorio cuyo valor unitario es aproximadamente el propio *quantum gravitatorio universal* $\mathfrak{E}$. Esto significa que el *entrelazamiento gravitatorio* es una fuente continua de energía y de intercambio cuántico entre la materia. Luego el *quantum gravitatorio universal* $\mathfrak{E}$ tiene un doble valor físico: expresa el entrelazamiento cuántico-gravitatorio entre la materia y la energía gravitatoria que genera ese entrelazamiento. La consideración del *quantum gravitatorio* $\mathfrak{E}$ como energía no es arbitraria, dado que es el producto de E_{PGM} por la constante gravitacional cuántica $\hat{G}$, cuyas unidades son convencionales y heredadas de G .

El *entrelazamiento gravitatorio* es la manifestación física del reconocimiento atractivo de la materia entre sí, y puede observarse en dos formas diferentes: materia aislada y materia distante. La primera es consecuencia de sus efectos gravitatorios en el tiempo formando cuerpos agregados como estrellas y planetas, y la segunda trata de los efectos gravitatorios que se ejercen mutuamente entre ellos. Y si la materia agrupada es en sí misma energía gravitatoria, lo es por la única razón de que previamente esa misma materia ha emitido energía gravitatoria de acuerdo con (43) y anteriores. Hay pues un intercambio constante de energía entre la materia a través del espacio-tiempo. El Hamiltoniano que describe la interacción energética del entrelazamiento gravitatorio entre dos cuerpos de igual masa a bajas perturbaciones está definido por [18]:

$$\mathcal{H}_{EN} = 2 \frac{Gm^2}{d^3} \delta \hat{x}_A \cdot \delta \hat{x}_B \quad (46)$$

Multiplicando y dividiendo por G , recordando que $G = \frac{2}{3}\hat{G}$; $Gm = N\mathfrak{E}$, y sustituyendo:

$$\mathcal{H}_{EN} = 3 \frac{N^2 \mathfrak{E}^2}{d^3 \hat{G}} \cdot \delta \hat{x}_A \cdot \delta \hat{x}_B \quad (47)$$

Su última fracción entraña un profundo significado físico.

$$\frac{\mathfrak{E}^2}{\hat{G}} = \frac{\mathfrak{E}\mathfrak{E}}{\hat{G}} = \frac{\hat{G}E_{PGM} \cdot \hat{G}E_{PGM}}{\hat{G}} = \frac{\hat{G}^2(E_{PGM} \cdot E_{PGM})}{\hat{G}} = \hat{G}(E_{PGM} \cdot E_{PGM}) = \mathfrak{E} \quad (48)$$

Finalmente:

$$\mathcal{H}_{EN} = 3 \frac{N^2}{d^3} \mathfrak{E} \cdot \delta \hat{x}_A \cdot \delta \hat{x}_B \quad (49)$$

Esta es la expresión del hamiltoniano del entrelazamiento gravitatorio en términos de la **TCG**. En el supuesto de cuerpos de distinta masa tomaría la forma de:

$$\mathcal{H}_{EN} = 3 \frac{N_1 N_2}{d^3} \mathfrak{E} \cdot \delta \hat{x}_A \cdot \delta \hat{x}_B \quad (50)$$

El estudio del hamiltoniano de (50) entre cuerpos distantes es bastante más complejo en lo referente a su cuantificación y no tanto a su desarrollo matemático. Uno de los principios fundamentales que sostiene de la TCG es que todo cuerpo de materia bariónica está entrelazado gravitatoriamente con el resto de los cuerpos del universo. Quiere ello decir, que todos los cuerpos del universo están entrelazados mutuamente dos a dos. Se trata pues de una combinación de todos ellos tomados de dos en dos sin repetición. Su expresión matemática sería:

$$C_{SR} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad (51)$$

La cuantización solo es posible en entornos próximos en donde es conocido n y previa idealización. Combinando (50) y (51) podemos expresar el hamiltoniano del entrelazamiento a distancia como:

$$\mathcal{H}_{EN} = 3\mathbb{E} \sum_{ij}^n \mathbb{C}_n^2 \frac{N_i N_j}{d_{ij}^3} \quad (52)$$

$\mathbb{C}_n^2$ representa todas las combinaciones posibles entre cada dos cuerpos.

Como referencia cuantitativa, la energía de entrelazamiento con nuestro satélite es de $5,78 \times 10^{47}$ eV, once órdenes inferior a la energía de la Luna como masa ($4,1225 \times 10^{58}$ eV).

La última aportación al hamiltoniano total de la energía gravitatoria E_G es el caso especial de los *agujeros negros* como máxima expresión de la materia agrupada. Jacob D. Bekenstein [25] en 1972 formuló la *Segunda ley generalizada de la termodinámica* en la que expone que la suma de la entropía común y la entropía de los agujeros negros nunca decrece,

$$\delta(S_C + S_{BH}) > 0 \quad (53)$$

Es una forma más detallada de expresar la *segunda ley de la termodinámica*, puesto que introduce una diferenciación importante entre entropía común y entropía de los *agujeros negros*, entendiendo claramente que lo que no es entropía de los *agujeros negros* es entropía común. Su evolución en el tiempo es un reto de la física actual, puesto que la formación de los propios agujeros negros es motivo de discusión y análisis científico.

Posteriormente Stephen Hawking [26] propuso la formulación para medir la entropía de un *agujero negro*:

$$S_{BH} = \frac{1}{4} \frac{k_B c^3}{G \hbar} A_K \quad (54)$$

En ella se relaciona su entropía con su área con una *métrica de Kerr*, que es una de las soluciones de las ecuaciones de la *relatividad general* más apropiadas para el estudio de los *agujeros negros*. A su vez el área de su *horizonte de sucesos* A está dada por:

$$A_K = \frac{8\pi G^2}{c^4} m \left(m + \sqrt{m^2 - a^2} \right) \quad (55)$$

donde am es su momento angular y si $a = 0$, entonces se reduce a la *métrica de Schwarzschild*.

$$A_K = \frac{16\pi G^2}{c^4} m^2 \quad (56)$$

Combinando (54) y (56) obtenemos:

$$S_{BH} = 4\pi \frac{k_B G}{c\hbar} m^2 \quad (57)$$

Esta es la entropía de un agujero negro estático y de carga neutra dependiente de su masa. Multiplicando y dividiendo por G y recordando que $G = \frac{2}{3} \hat{G}$; $GM = N\mathfrak{E}$ y sustituyendo de acuerdo con (48):

$$S_{BH} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} N^2 \frac{\mathfrak{E}^2}{\hat{G}} \quad (58)$$

Y posteriormente:

$$S_{BH} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} N^2 \hat{\mathfrak{E}} \quad (59)$$

Esta es la expresión de la entropía de un *agujero negro* en términos de la *teoría cuántico-gravitatoria*. La entropía de la materia agrupada está directamente relacionada con la energía generada en su propio agrupamiento representada por $N^2 \hat{\mathfrak{E}}$. Pero su contribución al hamiltoniano gravitatorio es la relación entre la energía de entrelazamiento interno y la emitida, de acuerdo con (42), como materia que es, ya que (59) define sólo la energía gravitatoria entrelazada en el interior del *agujero negro*, y entonces deviene en:

$$\mathcal{H}_{AN} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N \mathfrak{E}} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{E_{GEN}}{E_{EMI}} \quad (60)$$

Ahora si estamos en condiciones de definir el hamiltoniano completo de la energía gravitatoria. Uniendo (42), (52) y (60) obtenemos:

$$\mathcal{H}_{GR} = \mathcal{H}_{CO} + \mathcal{H}_{AN} + \mathcal{H}_{EN} = \frac{3}{2} \sum_i^n \frac{N_i^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N_i \mathfrak{E}} + 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \sum_j^m \frac{N_j^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N_j \mathfrak{E}} + 3 \hat{\mathfrak{E}} \sum_{i,j}^{n+m} \mathbb{C}_n^2 \frac{N_{i,j} N_{i,j}}{d_{i,j}^3} \quad (61)$$

Los dos primeros términos representan la energía debida a la materia agrupada común y en agujeros negros, y el último término mide el intercambio de energía gravitatoria entre toda la materia incluida en los dos primeros

De los tres componentes del hamiltoniano, dos son de ámbito local ($\mathcal{H}_{CO} + \mathcal{H}_{AN}$) y uno cosmológico ($\mathcal{H}_{EN}$). Esta es pura energía no visible muy presente en entornos de alta concentración de materia como son las galaxias y especialmente sus centros galácticos. A pesar de la enorme complejidad de su cuantificación, podemos intentar realizar una aproximación. Nada más cercano y conocido que nuestra propia galaxia para poder valorarlo correctamente en comparación con el resto de energías.

La masa estimada de la Vía Láctea es aproximadamente de $1,28 \times 10^{12}$ masas solares con una población de unas 2×10^{11} estrellas. Nuestra idealización se centrará en su bulbo aceptando un tamaño aproximado de 16.000 años/luz y una población de estrellas de 2×10^{10} masas solares. Si en este modelo idealizado consideramos que todas las estrellas son idénticas a nuestro Sol, las combinaciones sin repetición entre cada dos estrellas solares del bulbo ascienden aproximadamente $1,999 \times 10^{20}$. La masa de nuestro agujero negro Sagitario A* la establecemos en 4×10^6 masas solares. Con estos datos obtenemos los siguientes resultados :

$$\mathcal{H}_{CO(1)} = 3\hat{\mathbb{E}} \frac{1}{2\hat{\mathbb{E}}} \sum_i^n N_i = \frac{3\hat{\mathbb{E}}}{2\hat{\mathbb{E}}} \cdot 1,28 \times 10^{12} \cdot 1,18921 \times 10^{57} = 1,42 \times 10^{78} \text{ eV}$$

$$\mathcal{H}_{CO(2)} = 3\hat{\mathbb{E}} \frac{1}{2\hat{\mathbb{E}}} \sum_i^n N_i = \frac{3\hat{\mathbb{E}}}{2\hat{\mathbb{E}}} \cdot 2 \times 10^{11} \cdot 1,18921 \times 10^{57} = 2,31 \times 10^{76} \text{ eV} \quad (62)$$

$$\mathcal{H}_{AN} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{N_k^2 \hat{\mathbb{E}}}{N_k \hat{\mathbb{E}}} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{\hat{\mathbb{E}}}{\hat{\mathbb{E}}} \cdot (4 \times 10^6 \cdot 1,18921 \times 10^{57}) = 2,449 \times 10^{76} \text{ eV}$$

$\mathcal{H}_{CO(1)}$ representa la energía estimada de la Vía Láctea que incluye a la materia oscura, mientras que $\mathcal{H}_{CO(2)}$ es la energía clásica debida sólo a su población idealizada de estrellas. A su vez $\mathcal{H}_{AN}$ representa la energía proporcionada por Sagitario A*.

$$\mathcal{H}_{EN(Bulbo)} = 3\hat{\mathbb{E}} \mathbb{C}_n^2 \frac{N_j^2}{d_j^3} = 3\hat{\mathbb{E}} \cdot 1,999 \times 10^{20} \cdot \frac{(1,18921 \times 10^{57})^2}{A_d} \approx \frac{6 \times 10^{106}}{A_d} \text{ eV} \quad (63)$$

El valor del hamiltoniano $\mathcal{H}_{EN}$ completo del bulbo es de enorme dificultad debido al factor de atenuación por distancia (d^3), aplicable a cada combinación de su entrelazamiento gravitatorio.

La energía asociada a la Vía Láctea deducida del movimiento de sus estrellas más alejadas del bulbo es un 30% superior a la suma de las energías asociadas a la materia común y agujero negro. El modelo actual Λ CDM propone que esa materia no visible es *materia oscura fría* con numerosas observaciones que se ajustan a sus predicciones, entre las que destacamos la reciente colaboración de SPT-3G D1 [27]. Nuestra propuesta es que la energía de entrelazamiento gravitatorio $\mathcal{H}_{EN}$ junto con el gas galáctico conforman esa materia no visible, pero para ello esta atenuación A_d no debería ser aproximadamente de un orden mayor de 28. Lo que sí parece evidente es que ambas teorías, aunque excluyentes, proponen la existencia de materia o su equivalente en energía no visibles y, necesitan de una prueba definitiva: para la primera detectar alguna de las partículas propuestas para la *materia oscura*, y para la segunda verificar observacionalmente al *quantum gravitatorio* $\hat{\mathbb{E}}$.

El alcance cosmológico de $\mathcal{H}_{EN}$ es bastante más amplio, abarcando a todo el universo. Su naturaleza física es la manifestación del entrelazamiento de la materia bariónica, y como tal también se ejerce y manifiesta entre las galaxias que conforman una gran estructura, Así entre cada galaxia existen canales gravitatorios a través de las cuales la materia está entrelazada. El conjunto de todos esos canales cuya expresión es el hamiltoniano de la materia entrelazada distante podría ser la denominada *red cósmica*. [28][29]

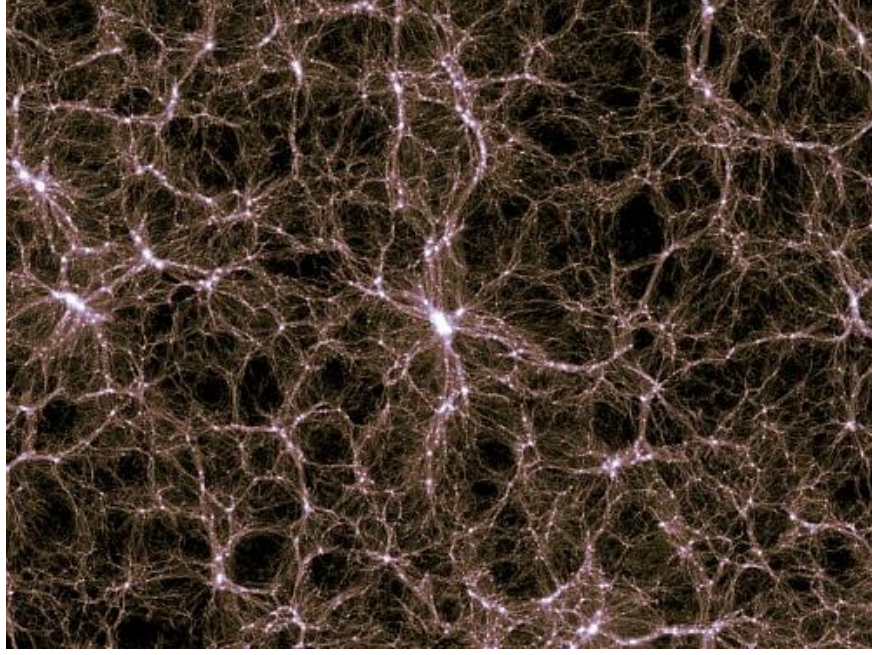


Imagen del Sloan Digital Sky Survey III que abarca 650 Millones años-luz y contiene 1,2 millones de galaxias [30].

Figura 10

Una última puntualización. La formulación de $\mathcal{H}_{EN}$ (46) que hemos utilizado hasta ahora debería ser modificada para poder utilizarlo a escalas cósmicas. No olvidemos que su origen sólo es válido para pequeñas perturbaciones o equivalentemente para espacio-tiempos de MinKowski planos, y precisamente no es el espacio-tiempo que cabe esperar en los centros galácticos.

El sentido en que debemos reformularla o adaptarla para que sea compatible con un espacio-tiempo curvo excede nuestros actuales conocimientos, y lo dejamos abierto a futuros estudios. De otro lado, es razonable argumentar que la energía gravitatoria empleada en el entrelazamiento debería ser independiente de la distancia, no así la fuerza, pues es una energía presente en toda la zona de intercambio.

Definido el *hamiltoniano gravitatorio* con sus tres componentes, debemos verificar si garantiza la conservación de la energía E_{G_1} en el tiempo t_1 . Esto supone un fuerte incremento con respecto a E_{G_0} , y a su vez tiene que estar sincronizado con el descenso de la energía cinética dependiente de la temperatura. La evolución en el tiempo del *hamiltoniano gravitatorio* resulta pues clave para entender la naturaleza de la energía gravitatoria.

Asumiendo inicialmente la ausencia de *agujeros negros* en t_0 , el hamiltoniano toma la forma siguiente:

$$\dot{\mathcal{H}}_{GR}(t_0) = \frac{3}{2} \mathbb{E} N + 3 \mathbb{E} \sum_i^N \mathbb{C}_N^2 \frac{1}{d^3} = \frac{3}{2} E_{PGM} N + 3 \mathbb{E} \sum_i^N \mathbb{C}_N^2 \frac{1}{d^3} \quad (64)$$

Como solo existen N nucleones individuales, la energía gravitatoria total es la suma de su energía común debida a su propia masa más la energía de entrelazamiento gravitatorio entre cada dos.

La siguiente y fundamental etapa fue la nucleosíntesis, que supuso el primer paso para el largo proceso de agrupación de la materia. Ahora el hamiltoniano es:

$$\dot{\mathcal{H}}_{GR}(t_0) = \frac{3\hat{\mathbb{C}}}{2\mathbb{C}} \sum_1^n N_i + 3\hat{\mathbb{C}} \sum_{ij}^n \mathbb{C}_n^2 \frac{N_i N_j}{d_{ij}^3} \quad i \neq j \quad (65)$$

Seguimos suponiendo la no existencia de agujeros negros aún. La materia común está formada por núcleos de hidrógeno y helio constituyendo el primer eslabón de la materia agrupada. Nada fundamental ha cambiado desde el punto de vista energético, salvo que la materia bariónica empieza a agruparse.

Sin embargo y contra lo que podría intuirse, la suma de ambos términos no solo no se mantiene constante en el tiempo, sino que decrece ligeramente con el agrupamiento de la materia. Todos los cálculos matemáticos con distintos grados de agrupación de la materia y sin agujeros negros muestran que la suma de los hamiltonianos $\dot{\mathcal{H}}_{CO}$ y $\dot{\mathcal{H}}_{EN}$ no es constante, sino que disminuye ligeramente al ritmo de agrupamiento de la materia. Esto es debido a que $\dot{\mathcal{H}}_{CO}$ es constante por serlo N y $\dot{\mathcal{H}}_{EN}$ disminuirá al ritmo de reducción de combinaciones posibles conforme se agrupa la materia. Esto nos conduce a que el hamiltoniano de los *agujeros negros*, $\dot{\mathcal{H}}_{AN}$, ha tenido que experimentar un fortísimo incremento que sirva para compensar la disminución de la energía del universo. Sobre el origen y naturaleza de los agujeros negros, aún hay muchas incógnitas que atañen a su evolución, pero nosotros estamos interesados en el papel que debieron desempeñar para mantener la conservación de la energía en los inicios de nuestro universo.

Imaginemos a nuestro universo como un sistema cerrado ideal, sin posibilidad de radiación al exterior, formado por un plasma solo de N protones, como el de la figura 11.A, de volumen inicial V_0 y temperatura T_0 . La energía promedio de sus energías cinéticas y potencial es $N.T_0$ de acuerdo con el *teorema del virial*, la energía correspondiente a sus masas E_{CO} , la energía asociada a sus relaciones gravitatorias distantes E_{EN0} y una energía inicial E_{EX0} que alimenta su expansión. Se asume la ausencia de agujeros negros en t_0 .



Figura A

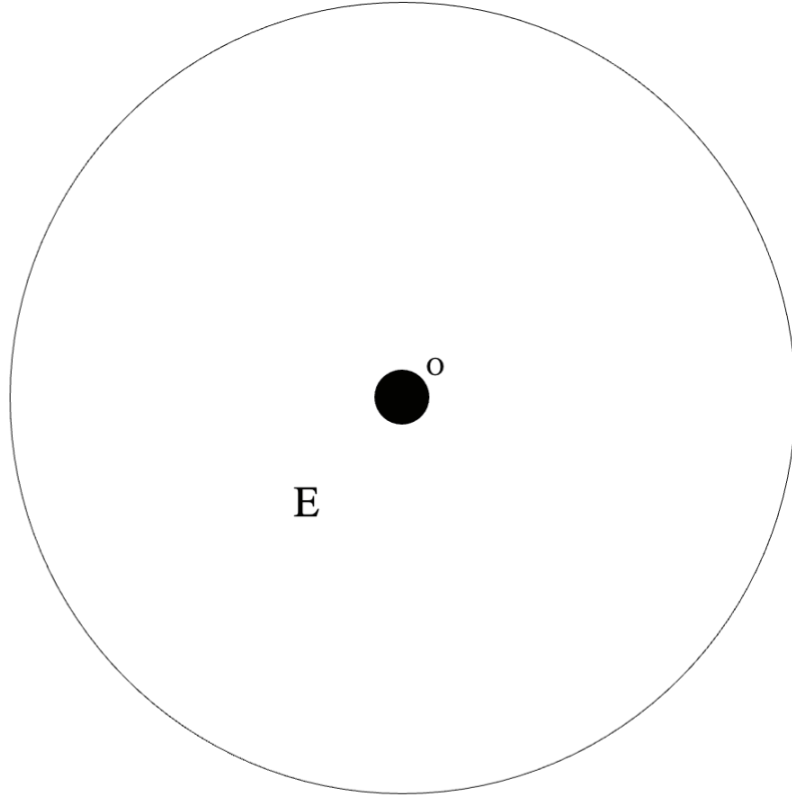


Figura B

Figura 11

Después de un cierto tiempo t_1 , su volumen comóvil es ahora V_1 , su temperatura T_1 , todos los N protones están agrupados en su centro formando un *agujero negro* y la energía de sus masas E_{C1} , tal como se muestra en la figura 11.B.

Se verifican las siguientes relaciones entre las variables en ambos tiempos:

$$V_1 \gg V_0; T_1 \ll T_0; NT_1 \ll NT_0; E_{EN1} \ll E_{EN0}; E_{EX1} \ll E_{EX0}; E_{EN1} = 0; \\ E_{C0} = E_{C1} \quad (66)$$

En todo tiempo la energía total del sistema debe ser constante: $E_u(t_0) = E_u(t_1)$ (67).

Sin embargo, la igualdad no se sostiene, puesto que $E_u(t_0) > E_u(t_1)$ (68). La energía E_{EN1} tiene que ser cero puesto que toda la masa está concentrada en un único cuerpo. Las energías debidas a sus masas E_{C0} y E_{C1} no han podido variar puesto que ello supondría la no constancia del número bariónico N . La energía promedio NT_1 ha disminuido proporcionalmente a su temperatura.

$$E_u(t_0) = NT_0 + E_{C0} + E_{EN0}; E_u(t_1) = NT_1 + E_{C1} + E_G \quad (69)$$

Hay dos respuestas posibles: o el modelo no es real o en la figura 11.B hay energía gravitatoria que no apreciamos. Sobre si se trata de un modelo real o no, puede ser algo especulativo, pero plantea una de las hipótesis cosmológicas en liza relativas al futuro de nuestro universo: el *Big Crunch*. Nos basta que sea válido, aunque esté alejado de la teoría actual. La segunda respuesta nos conduce a que la energía gravitatoria pueda estar concentrada en el *agujero negro* O, distribuida en el espacio E o en ambas.

La energía emitida como masa agrupada aislada es $N\mathfrak{E}$. Si la temperatura como hemos visto ha disminuido 25×10^6 grados y como la masa en O es masa aislada, tenemos que considerar solo la energía emitida $\mathfrak{E}$ que es del orden de 10^{-37} . Es pues imposible que aporte energía compensatoria suficiente independiente del valor de N . E_G es la representación del hamiltoniano gravitatorio $\mathcal{H}_{GR}$ de (26), que queda reducido a:

$$\mathcal{H}_{GR} = \mathcal{H}_{AN} = 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{E}} N \quad (70)$$

Considerando que la energía gravitatoria de un agujero negro es unas 8.231 veces superior a la energía de la materia común, comprobamos que sigue siendo totalmente insuficiente para garantizar la conservación de energía del modelo. Este ejercicio de idealización extrema pone de manifiesto que el *hamiltoniano gravitatorio* $\mathcal{H}_{GR}$, tal como está definido, tampoco garantiza la conservación de la energía en ningún momento de la historia de nuestro universo. Tuvo que existir pues, un fenómeno adicional muy importante que pudiera involucrar o no a un gran número de nucleones y con un fuerte carácter endotérmico. Este fenómeno pudo ser la formación de *agujeros negros primordiales* que concentraron la mayor parte de la energía del universo causando una drástica reducción de temperatura.

La primera propuesta sobre su existencia la realizaron Carr, B. J. y Hawking, S. W. (1974) [31] argumentando que su formación se habría producido por inestabilidades gravitacionales en las primeras etapas del universo. Con posterioridad y más recientemente son muchos los estudios y aportaciones [32],[33],[34],[35],[36],[37] y [38], abordando sus mecanismos de creación desde distintas ópticas, pasando desde la entropía hasta la materia oscura. Además, las últimas observaciones de JWST muestran agujeros negros muy supermasivos, cuya formación habría sido imposible como producto del colapso de una gran estrella, puesto que por el proceso de acreción no hubiera tenido el suficiente tiempo de adquirir tan enorme masa. Nuestra aportación no profundiza tanto en la naturaleza de su origen, sino en la necesidad de su existencia como garantía de la conservación de la energía en cumplimiento de la *primera ley de la termodinámica*.

También muestra que el hamiltoniano gravitatorio descrito en (61) es incompleto, pues debería contener un término de pura energía gravitatoria que podría estar asociado a la entropía. No olvidemos que la entropía es una medida de la energía no útil.

$$\mathcal{H}_{GR} = \frac{3}{2} \sum_i^n \frac{N_i^2 \mathfrak{E}}{N_i \mathfrak{E}} + 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \sum_j^m \frac{N_j^2 \mathfrak{E}}{N_j \mathfrak{E}} + 3\mathfrak{E} \sum_{i,j}^{n+m} \mathbb{C}_n^2 \frac{N_{i,j} N_{i,j}}{d_{i,j}^3} + \mathfrak{E} \sum_k^p PBH_p \quad (71)$$

El último término añadido representa la energía acumulada en los agujeros negros primordiales desarrollados en esa época temprana del universo, y cuya naturaleza responde a posibles discontinuidades del espacio-tiempo, convirtiéndose en verdaderos pozos de energía gravitatoria.

La probabilidad de la existencia de una *energía oscura* difusa de carácter anti-gravitatorio en los inicios del universo, la rechazamos puesto que sus efectos habrían impedido un universo tal como lo observamos. Igualmente si su carácter es gravitatorio, pues hubiera acelerado en mucho el agrupamiento de la materia barónica.

La relación entre masa y energía $E_m = mc^2$ deducida por Einstein puede ampliarse dándole un sentido mucho más amplio, puesto que toda la materia bariónica y su auto-interrelación es una forma de energía. La masa es energía bajo dos formas diferentes: como materia aislada y como materia entrelazada gravitatoriamente.

$$E_M = \sum_h^{m+n} m_h c^2 + \sum_i^n \frac{3}{2} \frac{N_i^2 \mathfrak{E}}{N_i \mathfrak{E}} + \sum_j^m 6 \frac{\pi k_B}{c\hbar} \frac{N_j^2 \mathfrak{E}}{N_j \mathfrak{E}} + 3\mathfrak{E} \sum_{i,j}^{n+m} \mathbb{C}_n^2 \frac{N_{i,j} N_{i,j}}{d_{i,j}^3} + \mathfrak{E} \sum_k^p BHP_p \quad (72)$$

donde m_h es la masa media del nucleón. En el límite inferior de $N=1$, se reduce a

$$E_M = m_h c^2 + \frac{3}{2} E_{PGM} + \hat{\mathfrak{E}} \sum_k^p BHP_p \quad (73)$$

La materia bariónica por ser materia es energía, $E_\mu = mc^2$, y como materia bariónica manifiesta su naturaleza intrínseca generando energía gravitatoria, el quantum gravitatorio $\hat{\mathfrak{E}}$ por la que se reconoce mutuamente y se agrega. Mientras que la energía de la materia en reposo, E_μ , no tiene efectos gravitatorios sobre el resto de materia circundante, la energía gravitatoria E_G es el motor que mueve toda la materia del universo.

III. Ecuación relativista cuántico-gravitatoria

La descripción del hamiltoniano gravitatorio (71) tiene importantes consecuencias en la **TGR** al establecer la equivalencia entre materia bariónica y energía gravitatoria. Consecuentemente, si la masa es energía gravitatoria, el *tensor de la materia* debe sustituirse por el *tensor de la energía gravitatoria* en la ecuación de la **TGR**, pues es esa energía la responsable de la geometría del espacio-tiempo.

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi}{c^4} E^{\alpha\beta} \quad (74)$$

$$E^{\alpha\beta} = E_{CO}^{\alpha\beta} + E_{AN}^{\alpha\beta} + E_{EN}^{\alpha\beta} + E_{PBH}^{\alpha\beta} \\ = \frac{3\hat{\mathfrak{E}}}{2\mathfrak{E}} \sum_i^n N_i + 6 \frac{\hat{\mathfrak{E}} \pi k_B}{\mathfrak{E} c \hbar} \sum_j^m N_k + 3\hat{\mathfrak{E}} \sum_{i,j}^{n+m} \mathbb{C}_n^2 \frac{N_{i,j} N_{i,j}}{d_{i,j}^3} + \hat{\mathfrak{E}} \sum_k^p PBH_p \quad (75)$$

El *tensor de la energía gravitatoria* es la suma del tensor de la energía interna de la materia común $E_{CO}^{\alpha\beta}$, del tensor de la energía debida a los agujeros negros $E_{AN}^{\alpha\beta}$, del tensor de la energía de entrelazamiento externo $E_{EN}^{\alpha\beta}$ y del tensor de agujeros negros primordiales $E_{PBH}^{\alpha\beta}$.

$E_{CO}^{\alpha\beta}$ solo tiene efectos locales y no difiere del tensor de la materia, pues la energía adopta la geometría de la masa, siendo pues sus resultados coincidentes con la **TGR**. $E_{AN}^{\alpha\beta}$ tiene efectos locales y cosmológicos siempre que $N_k > 0$. E_{EN} solo tiene efectos a nivel cosmológico tanto mayores cuanto mayor sea n y es nulo para $n = 1$. Los efectos cosmológicos del tensor $E_{PBH}^{\alpha\beta}$ son difíciles de cuantificar por la escasa información que disponemos, aunque previsiblemente sean los que más condicionen la geometría de nuestro universo. Los resultados de la **TCG** diferirán en más de la **TGR** cuanto mayor sea el alcance cosmológico, coincidiendo en entorno local.

La forma más simple del *hamiltoniano gravitatorio* es considerando un único cuerpo esférico, quedando reducido a entorno local:

$$\dot{\mathcal{H}}_{GR} = \frac{3}{2} \frac{N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N \mathfrak{E}} = \frac{3}{2} \frac{E_{GEN}}{E_{EMI}} \quad (42)$$

Y la solución a la ecuación de campo de Einstein válida para el exterior de un cuerpo masivo de simetría esférica, estático, uniforme y neutramente eléctrico es la solución de Schwarschild. La *línea elemento* de este espacio-tiempo está descrita en coordenadas esféricas y unidades CGS por la ecuación:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{rc^2} \right) dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{rc^2}} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \quad (76)$$

donde r representa el radio de la esfera con la condición de $r > 2GM/c^2$.

En este supuesto de entorno local ambas teorías coinciden, **TGR** y **TCG**, puesto que los efectos cosmológicos solo son apreciables en la cercanía de agujeros negros y en concentraciones importantes de estrellas. Bastará sustituir GM por el *hamiltoniano local*, y el nuevo *elemento línea* deviene en:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{3}{rc^2} \frac{N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N \mathfrak{E}} \right) dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{3}{rc^2} \frac{N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N \mathfrak{E}}} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \quad (77)$$

Ahora la condición para que no se produzca una singularidad es

$$r > \frac{3}{c^2} \frac{N^2 \hat{\mathfrak{E}}}{N \mathfrak{E}} = \frac{3}{c^2} \frac{E_{GEN}}{E_{EMI}} = \frac{3}{c^2} E_{PGM} N = \frac{3\hbar}{c^2} \omega N \quad (78)$$

Nótese que ahora el radio depende de parámetros cuánticos y la *constante gravitatoria cuántica* $\hat{G}$ está ausente. Toda la física relativista derivada de la solución de Schwarschild sigue siendo válida en la **TCG**.

Otra solución local a las ecuaciones de la **TGR** es la obtenida por Kerr aplicada al exterior de los agujeros negros. Igualmente puede obtenerse su equivalente en la **TCG**, pero su estudio y desarrollo exceden el objetivo del presente artículo. Las soluciones a nivel cosmológico que incluyan los tres componentes del hamiltoniano gravitatorio, también exceden nuestros propósitos.

ÍNDICE DE REFERENCIAS

1. Verlinde, E. P. (2016). Emergent gravity and the dark universe. arXiv:1611.02269
2. Llorenç Espinosa, Juan García-Bellido. (2021). Covariant formulation of non-equilibrium thermodynamics in General Relativity. arXiv:2106.16012v2 [gr-qc] 19 Oct 2021
3. Xjangdong Ji. A QCD analysis of the mass structure of the nucleon. arXiv:hep-ph/9410274v1 12 October 1994
4. Johnson, K. MIT-CTP-494 (1975) Acta Phys.Polonia. B 6 (865)
5. Silva, P.R. Analysis of the mass structure of the hadrons, arXiv:1108.2073 [physics-gen-ph] Agosto 2011
6. Thomas, A.W., Shanahan, P.E., Young, R.D. Strangeness in the nucleon: what have we learned? arXiv: 1202.6407 [nucl-th] 28 February 2012
7. Meyer, H.B. arXiv: 1106.3163 Febrero 2011
8. Horsley, R. et al. arXiv: 1110.4975. Octubre 2011
9. Shrödinger, E. An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. Phys.Rev. 28. 1049-1070 (1926)
10. Heisenberg, W. Heisenberg 1927.Sobre el Contenido Descriptivo de la Cinemática y la Mecánica Teórico Cuántica.Z.Phys.43:172-198 (1927)
11. Einstein, A. y Stern, O. Einige Argumente für die Annahme einer molekularem Agitation beim absolutem Nullpunkti. Annalen der Physik.Vol. 40:551-552
12. CODATA
13. N. Bezginov, T. Valdez, ..., E. A. Hessels, «A measurement of the atomic hydrogen Lamb shift and the proton charge radius,» Science 365: 1007-1012 (06 Sep 2019), doi: [10.1126/science.aau7807](https://doi.org/10.1126/science.aau7807)
14. Zeus Collaboration. “Limits on the effective quark radius from inclusive ep scattering at HERA”. Physics Letters B(12 Apr 2016) doi:10.1016/j.physletb.2016.04.007
15. FLAG Working Group (Sinya Aoki et al.), «Review of lattice results concerning low energy particle physics,» arXiv:1310.8555 [hep-lat], 31 Oct 2013.
16. Pablo López. Hipótesis Quark desnudo (pendiente publicación)
17. V. Balasubramanian, M. B. McDermott and M. Van Raamsdonk, “Momentum-space entanglement and renormalization in quantum field theory,” Phys. Rev. D 86 (2012), 045014 doi:10.1103/PhysRevD.86.045014 [arXiv:1108.3568 [hep-th]].
18. Sougato Bose, Anupam Mazundar, Martine Shut and Marko Toros. Mechanism for the quantum natured gravitons to entangle masses. arXiv: 2201.03583v3 [gr-qc] 18 Mayo 2022
19. Sougato Bose, Anupam Mazundar, Martine Shut and Marko Toros. Entanglement witness for the weak Equivalence Principle. arXiv: 11628v2 [gr-qc] 3 Marzo 2023.
20. The ATLAS Collaboration, Observation of quantum entanglement with top quarks at the ATLAS detector. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07824-z>. 18 Septiembre 2024.
21. Sabín, C. (2023). "Digital quantum simulation of quantum gravitational entanglement with IBM quantum computers". EPJ Quantum Technology. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-023-00161-6>.
22. Marios Christodoulou, Carlo Rovelli. On the possibility of laboratory evidence for quantum superposition of geometries. arXiv: 1808.05842v2 [gr-qc] 15 Octubre 2019
23. William M. Baker et al. A core in a star-forming disc as evidence of inside-out growth in the early Universe, Nature Astronomy (2024). DOI: [10.1038/s41550-024-02384-8](https://doi.org/10.1038/s41550-024-02384-8)

24. Mengyuan Xiao. Accelerated formation of ultra-massive galaxies in the first billion years. *Nature* (2024). DOI: 10.1038/s41586-024-08094-5
25. Bekenstein, J. D. (1972). Black holes and the second law. *Letters Nuovo Cimento*, 4, 737.
26. S. W. Hawking, Gravitational Radiation from Colliding Black Holes, *Phys. Rev. Lett.* 26, 1344-1346 (1971).
27. SPT-3G D1: CMB temperature and polarization power spectra and cosmology from 2019 and 2020 observations of the SPT-3G Main field,» arXiv:2506.20707 [astro-ph.CO] (25 Jun 2025), doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.20707>
28. R. M. Soneira, P. J. E. Peebles, «A computer model universe – Simulation of the nature of the galaxy distribution in the Lick catalog, *Astronomical Journal* 83: 845-860 (1978) [[ADSABS](#)],
29. P. J. E. Peebles, «The fractal galaxy distribution,» *Physica D* 38: 273-278 (1989), doi: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(89\)90205-4](https://doi.org/10.1016/0167-2789(89)90205-4)
30. Sloan Digital Sky Survey III. (arxiv.org/abs/1607.03155) , (arxiv.org/abs/1607.03155)
31. Carr, B. J.; Hawking, S. W. Black Holes in the Early Universe. (1 de agosto de 1974). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (en inglés) 168 (2): 399-415. ISSN 0035-8711. doi:10.1093/mnras/168.2.399.
32. Joseph Silk, Mitchell C. Begelman, Colin Norman, Adi Nusser, and Rosemary F. G. Wyse. Which came first: supermassive black holes or galaxies? Insights from JWST. 4 Jan 2024. arXiv:2401.02482v1[astro-ph.GA]
33. Juan Garcia-Bellido and Ester Ruiz Morales, “Primordial black holes from single field models of inflation,” *Phys. Dark Univ.* 18, 47–54 (2017), arXiv:1702.03901[astro-ph.CO].
34. Julia Monika Koulen, Stefano Profumo and Nolan Smyth. Primordial Black Holes and the First Stars. arXiv:2506.06171v2 [astro-ph.CO] 5 J 2025
35. Juan García Bellido, Andrei Linde y David Wands. Density perturbations and black hole formation in hybrid inflation. *Physical Review D*. vol. 54, nº 10, págs 6040-6058, Noviembre 1996.
36. Wenzer Qin, Sarah R. Geller, Shyam Balaji, Evan McDonough and David I. Kaiser. Planck Constraints and Gravitational Wave Forecasts for Primordial Black Hole Dark Matter Seeded by Multifield Inflation., ArXiv: 2303.02168v2[astro-ph.CO] 12 Jul 2023
37. Sébastien Clesse and Juan García-Bellido. Primordial black holes from hybrid inflation as dark matter and the seeds of galaxies. (2015). DOI: 10.1103/PhysRevD.92.023524
38. Sophic Geris et al. JADES reveals a large population of low mass black holes at high redshift. ArXiv(2025). DOI:10.48550/arxiv.2506.22147.