

Formulación Cuántico-Newtoniana o de la materia entrelazada

doi.org/10.62059/LatArXiv.preprints.327

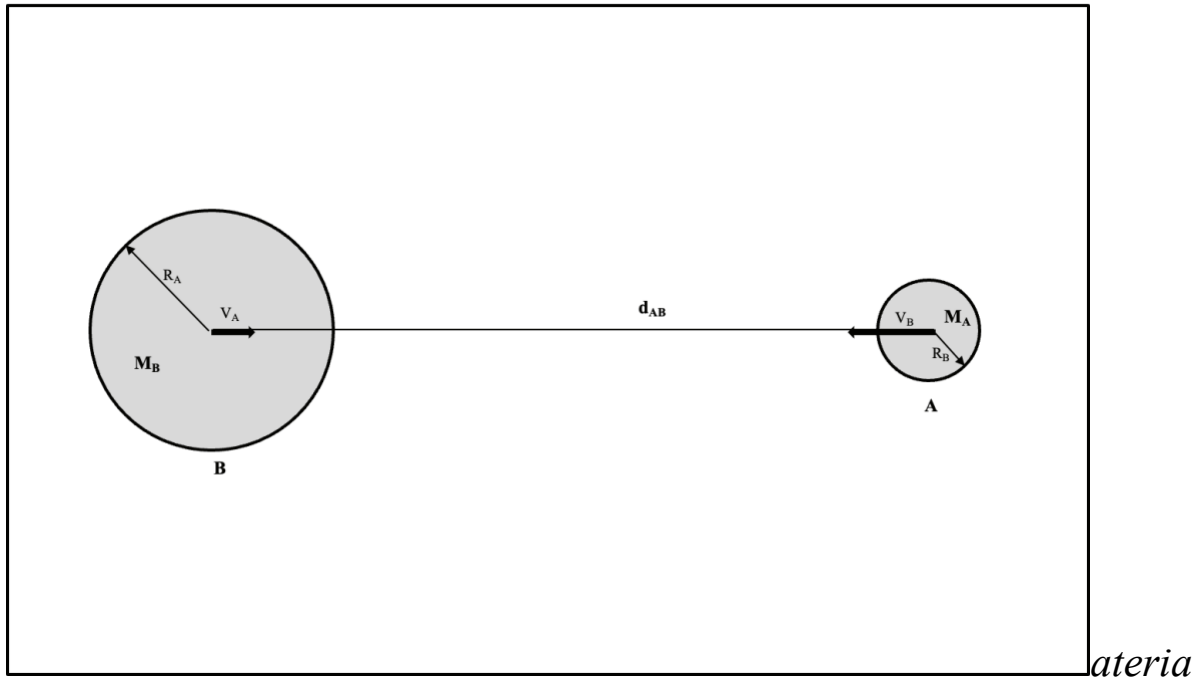
Si en la *formulación mecánico-cuántica* describíamos el origen cuántico de la fuerza gravitatoria y la manifestación como materia bariónica al espacio bajo la forma del *quantum gravitatorio* $\mathfrak{G}$ (*de la materia aislada*). En el presente artículo describimos y detallamos la relación gravitatoria 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 _{PGM} (Ev)	€
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 → 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(m ³ /Kg.s ²)	$\hat{G}$ (m ³ /eV.s ²)	E _{PGM} (Ev)	€
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:

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

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* $\hat{\mathfrak{E}}$. 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 $\hat{\mathfrak{E}}$ no es un mero producto de los quants de los dos cuerpos, sino el entrelazamiento gravitatorio de ambos.

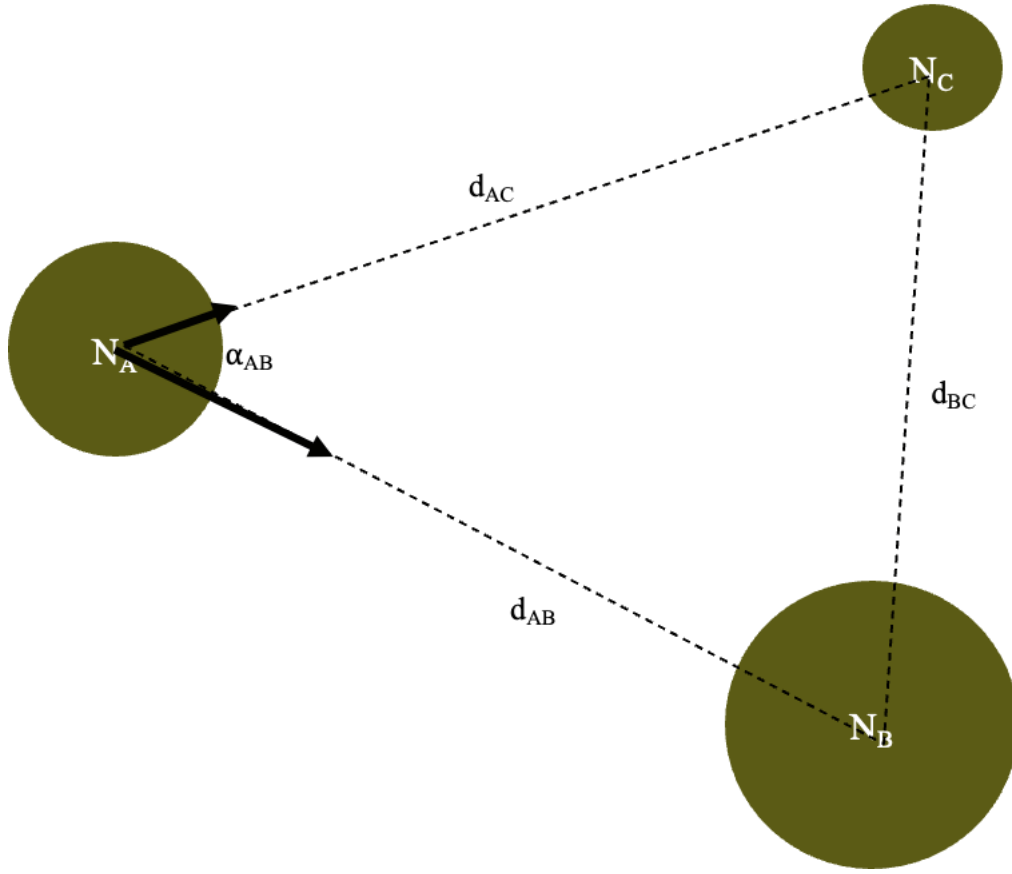
Las condiciones impuestas al entorno son muy restrictivas pero necesarias, aunque aparentemente puedan parecer arbitrarias. Se trata de analizar una situación ideal de dos cuerpos macroscópicos que carecen de historia, y en un universo donde la única materia bariónica es la aportada por ellos. La necesidad 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:

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

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

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

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:

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

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 $\overrightarrow{R}$. Y ahora será:

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

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* $\widehat{\mathfrak{E}}$ como nexo común a toda la materia bariónica.

Y aunque la resultante gravitatoria $\overrightarrow{R}$ 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:

$$\overrightarrow{V_R} = \widehat{\mathfrak{E}} \overrightarrow{R} = \hat{G} \hbar^2 \omega^2 \overrightarrow{R} \quad (32)$$

Donde ω representa a la frecuencia oscilación armónico-cuántica de los cuarks en los nucleones y $\overrightarrow{R}$ 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 cuarks 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 $4,1668 \times 10^{-28}$ Kg/m³ para un volumen estimado de universo observable de unos 43.500×10^6 años-luz. La densidad bariónica correspondiente a un universo de 4 años-luz es de $4,5314 \times 10^{-18}$ Kg/m³, 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:

$$\overline{V}_R = \mathfrak{E} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left| \frac{1}{d_i^2} \right|^2} \quad (33)$$

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 al [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:

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

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*.

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 cuark radius from inclusive ep scattering ah 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](https://arxiv.org/abs/1310.8555) [hep-lat], 31 Oct 2013.
16. Pablo López. Hipótesis Cuark 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 cuarks 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 all. 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/1607.03152)
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 García-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.