

Tratado sobre la dinámica del tiempo: El tiempo emergente como fundamento del espacio-tiempo

Adán Estudillo Anillo

Febrero 2025

Propongo un modelo en el que el tiempo no es una coordenada fundamental del espacio-tiempo sino una propiedad emergente que se autoorganiza dinámicamente. A partir de esta hipótesis, derivamos ecuaciones que muestran cómo el tiempo emergente da lugar a la métrica del espacio-tiempo y a la curvatura de Einstein como efecto colectivo. Este enfoque predice una expansión exponencial del universo sin requerir una constante cosmológica fija y sugiere una reinterpretación de la radiación de Hawking y la paradoja de la información en los agujeros negros. Exploramos más a fondo cómo este marco se conecta con otras teorías como la gravedad cuántica de bucles y la gravedad entrópica, proponiendo predicciones comprobables para la cosmología y la física de los agujeros negros.

0.1 Introducción: Hacia una Nueva Concepción del Tiempo

El tiempo ha sido, desde los inicios de la física, una de las nociones más fundamentales y a la vez más enigmáticas. En la mecánica clásica, se concibe como un parámetro absoluto e independiente del sistema. En la relatividad general, el tiempo se entrelaza con el espacio para formar una única estructura espacio-temporal que se deforma ante la presencia de masa y energía. Sin embargo, en mecánica cuántica, el tiempo no es un operador fundamental, lo que genera una incompatibilidad con la relatividad en los intentos de unificación. Este conflicto es conocido como el *problema del tiempo*.

En este trabajo, proponemos una nueva perspectiva: el tiempo no es una coordenada fundamental del espacio-tiempo, sino una **propiedad emergente** derivada de la evolución de sistemas dinámicos. Bajo esta hipótesis, el tiempo surge como un fenómeno colectivo de autoorganización de la información, lo que permite formular una métrica dinámica en la que el tiempo y el espacio no son independientes, sino resultado de procesos físicos subyacentes.

0.1.1 Objetivos del trabajo

Este documento tiene como propósito:

1. **Proponer un modelo matemático** en el que el tiempo emerge a partir de la evolución de sistemas físicos y no como un parámetro absoluto.
2. **Explorar las consecuencias de este enfoque** en el contexto de la relatividad general, la mecánica cuántica y la cosmología.
3. **Establecer conexiones con teorías actuales** como la gravedad cuántica de lazos, la gravedad entrópica y la termodinámica del tiempo.
4. **Derivar predicciones comprobables** que puedan ofrecer nuevas perspectivas sobre la expansión del universo y la información en agujeros negros.

0.1.2 Estructura del documento

Para desarrollar esta propuesta, organizamos el trabajo en las siguientes secciones:

- **Sección 1: Fundamentos del tiempo emergente**

Presentamos el problema del tiempo en física y formulamos nuestra hipótesis del tiempo como fenómeno emergente.

- **Sección 2: Desarrollo matemático**

Derivamos ecuaciones que describen cómo el tiempo emergente se relaciona con la métrica espacio-temporal y exploramos sus implicaciones en relatividad general y mecánica cuántica.

- **Sección 3: Consecuencias físicas**

Analizamos cómo este modelo explica la expansión cósmica sin constante cosmológica y ofrece una reinterpretación de la radiación de Hawking y la paradoja de la información en agujeros negros.

- **Sección 4: Aplicaciones y predicciones comprobables**

Discutimos cómo el tiempo emergente podría verificarse experimentalmente y sus conexiones con la termodinámica, la teoría de la información y la gravedad cuántica. (Se desarrollará)

- **Sección 5: Conclusiones y perspectivas**

Resumimos los hallazgos y sugerimos futuras líneas de investigación. (Se desarrollará)

Con este enfoque, buscamos sentar las bases de una nueva concepción del tiempo que unifique sus distintas manifestaciones en la física moderna.

1 Fundamentos del tiempo emergente

El tiempo es un concepto fundamental en física, pero su naturaleza sigue siendo una de las cuestiones abiertas más profundas en física teórica. En mecánica clásica, el tiempo se trata como un parámetro externo y absoluto. En relatividad general, el tiempo está entrelazado con el espacio, formando una variedad espacio-temporal que se curva en respuesta a la masa y la energía. Sin embargo, estos enfoques no explican por qué existe el tiempo ni si es fundamental.

En mecánica cuántica, el tiempo plantea desafíos aún más importantes. La ecuación de Schrödinger evoluciona en el tiempo utilizando un parámetro externo fijo, pero en los intentos de cuantificar la gravedad, el tiempo desaparece por completo de las ecuaciones fundamentales. Esta contradicción entre la mecánica cuántica y la relatividad general, conocida como el "problema del tiempo", sugiere que el tiempo puede no ser una cantidad fundamental, sino una propiedad emergente del universo.

1.1 Tiempo emergente: una perspectiva dinámica

Propongo que el tiempo no es una coordenada fundamental sino un fenómeno emergente que surge de la acumulación de cambios en un sistema dinámico. En esta perspectiva, el tiempo no existe de manera independiente sino que surge como una descripción estadística de la evolución de la información.

1.2 Aproximación a la definición de tiempo emergente

A lo largo de la exposición aquí planteada expondré pormenorizadamente de dónde surgen las fórmulas que podemos usar para plantear una métrica dinámica del tiempo y espacio. Poder determinarlas puede llevar a una comprensión más profunda de la física y de la propia naturaleza del universo. Un ejemplo podría ser definir el tiempo emergente $T(x, t)$ como una función que se autoorganiza en función de la información disponible en un sistema. Su evolución es la siguiente:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = v_g^2 \nabla_x^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla_x^2 T, \quad (1)$$

donde:

v_g representa la velocidad de propagación del tiempo en sistemas gravitacionales.

v_e explica las interacciones con los campos eléctricos.

v_q introduce correcciones cuánticas, haciendo que el tiempo se comporte de manera diferente a escalas microscópicas.

ρ_m y ρ_q representan densidades de masa y carga que afectan la propagación del tiempo.

M es la masa de la fuente gravitacional.

∇_x^2 representa el Laplaciano en el espacio de fases.

1.3 Ejemplos físicos del tiempo emergente

Hay varios escenarios físicos en los que el tiempo parece comportarse como una cantidad emergente más que fundamental y determinar una función de tiempo emergente que se ajuste a esos sistemas dinámicos es el propósito de esta exposición:

Sistemas termodinámicos: El flujo del tiempo en sistemas macroscópicos suele describirse en términos de aumento de entropía. Si la entropía permanece estática, el tiempo se "congela" en ese sistema.

Mecánica cuántica: En la ecuación de Wheeler-DeWitt, el tiempo no aparece explícitamente, lo que implica que los sistemas cuánticos aislados no experimentan evolución temporal.

Agujeros negros: Cerca del horizonte de eventos de un agujero negro, el tiempo se ralentiza drásticamente debido a los efectos gravitacionales, lo que sugiere que el tiempo puede ser manipulado por distribuciones de masa-energía.

Cosmología: La expansión del universo podría ser una consecuencia de la autoorganización del tiempo más que una propiedad fija del espacio-tiempo.

1.4 Conexión entre el tiempo y la información

Una de las ideas centrales de este enfoque es que el paso del tiempo está directamente relacionado con la disponibilidad de información. Esto se puede cuantificar utilizando la entropía S :

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{\partial S}{\partial t} \quad (2)$$

Esta ecuación sugiere que si la entropía se maximiza y no cambia, el sistema no experimenta una evolución temporal efectiva.

1.5 Consecuencias para el espacio-tiempo

Si el tiempo es emergente, entonces el espacio-tiempo en sí mismo debe ser una estructura dinámica y no un fondo estático. En este modelo, la curvatura del espacio-tiempo está vinculada a la autoorganización del tiempo, lo que conduce a una ecuación de Einstein modificada:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_{\text{eff}}(T_{\mu\nu} + T) \quad (3)$$

Esto sugiere que las propiedades del espacio-tiempo, incluida su curvatura y expansión, son consecuencias de cómo el tiempo evoluciona dinámicamente y no de condiciones preexistentes.

2 Desarrollo Matemático del Tiempo Emergente

2.1 El campo tiempo-momento

Partimos de una pregunta filosófica, ¿por qué trata la física al tiempo como una variable independiente de la dinámica del movimiento?. ¿Acaso no es tiempo y movimiento caras de la misma moneda?. ¿Es el paso del tiempo realmente una constante universal?. Einstein en su paradoja de los gemelos indicó que no. ¿Por qué nadie ha tratado de reformular el tiempo como algo dinámico y dependiente del movimiento?. Esto era lo que impide una teoría unificada para la física. ¿Es posible dar unas formulaciones en el que el espacio y el tiempo dependa de propiedades emergentes?. Entonces se empieza a tratar al espacio-tiempo como una estructura dependiente de propiedades dinámicas. En esta teoría, el espacio-tiempo no es un fondo inmutable, sino que emerge de la relación entre el tiempo emergente T y el momento p . Por lo tanto, podemos definir un campo (T, p) que describe la evolución dinámica del sistema.

2.1.1 El tiempo emergente, la aceleración y la velocidad como manifestaciones de un campo $\Phi(T, p)$

Se postula que el tiempo emergente, la aceleración y la velocidad no son cantidades fundamentales independientes, sino que pueden describirse como manifestaciones de un mismo campo $\Phi(T, p)$, el cual depende del tiempo emergente T y el momento p .

2.1.2 Relación del tiempo emergente con el campo

El tiempo emergente está relacionado con el campo Φ respecto al momento:

$$dT = \frac{\partial \Phi}{\partial p} \quad (4)$$

Esto sugiere que el tiempo emergente no es absoluto, sino una función del campo Φ .

2.1.3 Relación de la velocidad con la energía cinética

La velocidad está relacionada con la derivada de la energía cinética respecto al momento:

$$dv = \frac{\partial E_c}{\partial p} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial p^2} \quad (5)$$

Dado que en mecánica clásica la energía cinética se expresa como $E_c = \frac{p^2}{2m}$, se observa que la velocidad se obtiene como la segunda derivada del campo Φ .

2.1.4 Aceleración y flujo de momento

La aceleración depende del producto entre la variación de la energía cinética y el flujo de momento:

$$da = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial p^2} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \quad (6)$$

Esta ecuación indica que la aceleración no es una cantidad fundamental, sino que emerge de la estructura del campo Φ .

2.2 Relación entre el campo $\Phi(T, p)$ y la gravedad

En la formulación clásica de la gravedad, el tiempo y el espacio están interconectados en la métrica espacio-temporal. Si consideramos el campo $\Phi(T, p)$ como un campo escalar que describe la evolución del tiempo emergente en función del momento, podemos buscar su relación con la gravedad a través de la métrica efectiva.

2.2.1 Analogía con el potencial gravitacional

En la mecánica clásica, el potencial gravitacional Φ_g determina la aceleración de un cuerpo bajo un campo gravitacional:

$$\nabla \Phi_g = -\mathbf{g} \quad (7)$$

donde \mathbf{g} es la aceleración gravitatoria. Comparando esto con la ecuación para la aceleración derivada del campo $\Phi(T, p)$:

$$da = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial p^2} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \quad (8)$$

podemos interpretar que el campo $\Phi(T, p)$ genera un comportamiento análogo a la aceleración en un campo gravitatorio efectivo. Si $\Phi(T, p)$ está vinculado a la métrica espacio-temporal, su gradiente puede inducir aceleraciones que se interpreten como curvatura del espacio-tiempo.

2.2.2 La masa como fuente del campo $\Phi(T, p)$

Hasta ahora, hemos tratado el campo $\Phi(T, p)$ como un objeto que relaciona el tiempo emergente, el momento y la aceleración. Para extender esta formulación, es necesario introducir la **masa** como fuente del campo, de manera análoga a cómo la masa genera el potencial gravitacional en la mecánica clásica.

2.2.3 Relación con el potencial gravitacional

En mecánica clásica, el potencial gravitacional Φ_g debido a una masa M a una distancia r es:

$$\Phi_g(r) = -\frac{GM}{r} \quad (9)$$

Este potencial describe cómo la presencia de masa genera un campo que afecta el movimiento de otras partículas. De forma similar, podemos postular que el campo $\Phi(T, p)$ depende de la presencia de masa en el sistema:

$$\Phi(T, p) = -\frac{GM}{p} \quad (10)$$

Esta ecuación sugiere que el tiempo emergente y las variaciones en el momento están influidas por la masa presente en el entorno.

2.2.4 La ecuación de Poisson para el campo $\Phi(T, p)$

En mecánica clásica, la ecuación de Poisson para el potencial gravitacional se expresa como:

$$\nabla^2 \Phi_g = 4\pi G\rho \quad (11)$$

donde ρ es la densidad de masa. Dado que el campo $\Phi(T, p)$ regula la relación entre tiempo emergente y aceleración, podemos proponer una ecuación análoga:

$$\nabla^2 \Phi(T, p) = 4\pi G\rho(T, p) \quad (12)$$

Esto implica que la masa no solo influye en la gravedad, sino que también es responsable de modificar la estructura del campo Φ , afectando la evolución del tiempo emergente en función del momento.

2.2.5 Masa, aceleración y tiempo emergente

Si la masa afecta la estructura del campo $\Phi(T, p)$, entonces también debe influir en la aceleración emergente. De la ecuación:

$$da = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial p^2} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \quad (13)$$

podemos introducir explícitamente la dependencia con la masa:

$$da = \left(\frac{\partial^2}{\partial p^2} \left(-\frac{GM}{p} \right) \right) \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \quad (14)$$

Calculando la segunda derivada:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial p^2} = \frac{2GM}{p^3} \quad (15)$$

esto nos da la relación:

$$da = \frac{2GM}{p^3} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \quad (16)$$

Esta ecuación muestra que la presencia de masa introduce una aceleración dependiente del momento, lo que sugiere que la dinámica del tiempo emergente y la aceleración pueden ser modificadas por la cantidad de masa presente en el sistema.

2.2.6 Conclusión Parcial

La inclusión de la masa como fuente del campo $\Phi(T, p)$ establece una relación entre la materia y la evolución del tiempo emergente. La ecuación de Poisson modificada indica que la masa afecta la estructura del campo Φ , y la relación entre aceleración y momento sugiere que los sistemas con mayor masa inducen cambios más pronunciados en la dinámica del tiempo emergente. Esta formulación abre nuevas posibilidades para estudiar cómo la masa puede influir en la percepción del tiempo y la aceleración en sistemas dinámicos.

2.3 Analogía entre el tiempo emergente y el campo electromagnético

En las secciones anteriores hemos explorado cómo el tiempo emergente puede ser interpretado como una función del campo $\Phi(T, p)$, análoga al potencial gravitacional. Ahora, extendemos esta idea estableciendo una analogía con el **campo electromagnético**, identificando posibles equivalencias entre las ecuaciones que describen la dinámica del tiempo emergente y las ecuaciones de Maxwell.

2.3.1 El campo electromagnético y los potenciales

En electrodinámica, el campo electromagnético está descrito en términos del potencial escalar Φ_e y el potencial vectorial \mathbf{A} , donde:

$$\mathbf{E} = -\nabla\Phi_e - \frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t} \quad (17)$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (18)$$

Estos potenciales generan los campos eléctricos y magnéticos en el espacio-tiempo. Si el tiempo emergente está gobernado por un campo $\Phi(T, p)$, podríamos postular que **existe un potencial escalar del tiempo emergente**, análogo a Φ_e , y un potencial vectorial asociado al momento.

2.3.2 El tiempo emergente como un campo electromagnético

Si el campo $\Phi(T, p)$ regula la evolución del tiempo emergente y el momento, podríamos escribir una relación análoga a las ecuaciones de Maxwell:

$$\mathbf{E}_T = -\nabla\Phi_T - \frac{\partial\mathbf{A}_T}{\partial T} \quad (19)$$

$$\mathbf{B}_T = \nabla \times \mathbf{A}_T \quad (20)$$

donde: - $\Phi_T(T, p)$ sería el **potencial escalar del tiempo emergente**. - $\mathbf{A}_T(T, p)$ sería el **potencial vectorial asociado al momento**. - \mathbf{E}_T representaría un "campo eléctrico temporal". - \mathbf{B}_T representaría un "campo magnético temporal".

2.3.3 La ecuación de Poisson-Laplace para el tiempo emergente

En electrostática, el potencial escalar eléctrico satisface la ecuación de Poisson:

$$\nabla^2\Phi_e = -\frac{\rho_e}{\epsilon_0} \quad (21)$$

Si el tiempo emergente tiene un comportamiento análogo, podríamos postular que:

$$\nabla^2\Phi_T = -\frac{\rho_T}{\epsilon_T} \quad (22)$$

donde: - ρ_T sería una **densidad de carga temporal**. - ϵ_T sería un **parámetro análogo a la permitividad eléctrica** en este nuevo marco.

2.3.4 Analogía con la corriente y el flujo de momento

En electrodinámica, la ecuación de continuidad establece que la variación de la densidad de carga ρ_e está relacionada con la divergencia de la corriente \mathbf{J} :

$$\nabla \cdot \mathbf{J} + \frac{\partial\rho_e}{\partial t} = 0 \quad (23)$$

En el caso del tiempo emergente, podríamos definir un **flujo de momento** \mathbf{J}_T , relacionado con la evolución de la densidad de carga temporal ρ_T :

$$\nabla \cdot \mathbf{J}_T + \frac{\partial\rho_T}{\partial T} = 0 \quad (24)$$

Esto sugiere que el tiempo emergente podría estar regulado por un tipo de conservación análoga a la carga eléctrica, con fuentes y corrientes que determinan su evolución.

2.3.5 Conclusión Parcial

La analogía entre el tiempo emergente y el campo electromagnético sugiere que el campo $\Phi(T, p)$ puede ser tratado como un potencial escalar con un campo vectorial asociado al momento. Esto introduce una posible interpretación del tiempo emergente en términos de un **campo de gauge**, en el cual las ecuaciones de Maxwell pueden extenderse a un dominio más general. Esta perspectiva abre nuevas direcciones para estudiar la relación entre el tiempo, el momento y la dinámica de sistemas en marcos físicos más amplios.

La formulación del tiempo emergente en términos del campo $\Phi(T, p)$ ofrece una nueva perspectiva sobre la relación entre el momento, la energía cinética y la aceleración, que puede tener implicaciones en la teoría gravitatoria. Si Φ representa una propiedad emergente del sistema dinámico, su impacto en la métrica espacio-temporal sugiere un puente entre la mecánica clásica y la relatividad general, proporcionando una interpretación alternativa de la curvatura y la dilatación temporal.

2.4 Velocidad de Propagación del Tiempo Emergente

En el modelo del tiempo emergente, la evolución del tiempo no es uniforme ni absoluta, sino que está determinada por la dinámica interna del sistema. Existen dos grandes factores que regulan la propagación del tiempo emergente:

- La **entropía** en sistemas físicos.
- La **información** en sistemas abstractos y computacionales.

Ambos efectos operan sobre la misma estructura del tiempo emergente, pero en diferentes contextos.

2.5 Tiempo Emergente en Sistemas Físicos: Efecto de la Entropía

En sistemas termodinámicos, la evolución del tiempo emergente está directamente relacionada con la variación de la entropía:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{\partial S}{\partial t}. \quad (25)$$

Donde: - S es la entropía del sistema. - $\frac{\partial S}{\partial t}$ mide la tasa de cambio del desorden en el sistema.

Esto implica que la propagación del tiempo emergente está determinada por la evolución del sistema en términos de pérdida de orden y aumento de entropía.

2.6 Tiempo Emergente en Sistemas de Información: Efecto de la Complejidad

En sistemas abstractos como redes neuronales, estructuras computacionales o sistemas cuánticos, la evolución del tiempo emergente depende de la estructura de la información:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{\partial I}{\partial t}. \quad (26)$$

Donde: - I es la cantidad de información en el sistema. - $\frac{\partial I}{\partial t}$ mide la tasa de cambio en la complejidad informacional.

Esto sugiere que, en sistemas de información, el tiempo emergente se propaga más rápido en estructuras con alta variabilidad informacional.

2.7 Unificación de Entropía e Información en el Tiempo Emergente

Ambos efectos pueden representarse de manera unificada en la ecuación general:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial t}. \quad (27)$$

Esto implica que: - En un **universo físico**, el tiempo emergente es dominado por la entropía. - En un **universo computacional**, el tiempo emergente es dominado por la información. - En un **modelo unificado**, ambos términos contribuyen a la evolución del tiempo emergente, lo que sugiere una conexión entre la termodinámica, la teoría de la información y la mecánica cuántica.

2.8 Conclusión

El tiempo emergente no es uniforme, sino que su velocidad de propagación depende de la estructura del sistema. Tanto la entropía como la información afectan la evolución del tiempo, lo que permite una interpretación unificada de su propagación en diferentes contextos físicos y computacionales. Esta visión abre la puerta a nuevas aplicaciones en cosmología, mecánica cuántica y teoría de la información.

2.9 Relación entre Energía, Masa y Carga en el Tiempo Emergente

En la física clásica y relativista, el tiempo se considera una coordenada fundamental que permite describir la evolución de los sistemas físicos. En contraste, en el marco del tiempo emergente, el tiempo no es una variable independiente, sino una propiedad que emerge de la evolución de la información en un sistema. En esta sección, formalizamos cómo la masa, la energía y la carga afectan la propagación del tiempo emergente.

2.9.1 Diferencias con la Física Clásica

En la mecánica clásica y la relatividad general, la energía, la masa y la carga se relacionan de la siguiente manera:

- La **masa** genera curvatura en el espacio-tiempo, como lo describe la ecuación de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi GT_{\mu\nu}. \quad (28)$$

- La **energía** se conserva y se relaciona con el tiempo a través del principio de incertidumbre cuántico:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}. \quad (29)$$

- La **carga** produce un campo eléctrico descrito por la ecuación de Poisson en electromagnetismo:

$$\nabla^2 \Phi_e = -\frac{\rho_e}{\epsilon_0}. \quad (30)$$

En el modelo del tiempo emergente, estos conceptos no son independientes, sino que **se integran en la evolución del campo temporal** $\Phi(T, p)$, el cual determina la forma en que el tiempo emerge en cada sistema.

2.9.2 Masa y Tiempo Emergente

En este marco, la masa no deforma el espacio-tiempo, sino que afecta la forma en que el tiempo se propaga. La ecuación generalizada de Poisson para el tiempo emergente es:

$$\nabla^2 \Phi(T, p) = 4\pi G \rho(T, p), \quad (31)$$

donde $\rho(T, p)$ representa la densidad de masa en el sistema. Además, la aceleración emergente está dada por:

$$a = \frac{2GM}{p^3} \frac{\partial \Phi}{\partial T}. \quad (32)$$

Si usamos la relación relativista de energía $E = mc^2$, obtenemos:

$$a = \frac{2G}{(E/c^2)^3} \frac{\partial \Phi}{\partial T}. \quad (33)$$

Esta ecuación implica que la masa **modifica la estructura del campo** $\Phi(T, p)$ **y la evolución del tiempo emergente**.

2.9.3 Energía y el Tiempo Emergente

En este modelo, el tiempo emergente no es independiente, sino que surge de la variación de la entropía:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{\partial S}{\partial t}. \quad (34)$$

Dado que la entropía y la energía están relacionadas mediante:

$$dS = \frac{dE}{T}, \quad (35)$$

podemos expresar la variación del tiempo emergente en términos de energía como:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \propto \frac{1}{T} \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (36)$$

Esto significa que **la energía de un sistema afecta la velocidad con la que el tiempo emerge en él.**

2.9.4 Carga y el Tiempo Emergente

De manera análoga a la carga eléctrica en electromagnetismo, el tiempo emergente puede estar influenciado por una "densidad de carga temporal" ρ_T . La ecuación de Poisson para el tiempo emergente se expresa como:

$$\nabla^2 \Phi_T = -\frac{\rho_T}{\epsilon_T}. \quad (37)$$

Donde ϵ_T es un parámetro análogo a la permitividad eléctrica. Esta ecuación sugiere que:

- La carga eléctrica no solo genera campos electromagnéticos, sino que también **afecta la evolución del tiempo**. - En regiones con alta carga, la propagación del tiempo podría ser diferente.

En esta ecuación:

- $4\pi G\rho$ representa la influencia de la masa en la propagación del tiempo.
- $\frac{\rho_T}{\epsilon_T}$ indica el efecto de la carga en la estructura del tiempo emergente.
- $\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2}$ introduce efectos relativistas y cuánticos.

2.9.5 Comparación con la Física Clásica

Concepto	Física Clásica	Tiempo Emergente
Tiempo	Coordenada absoluta (clásica) o relativa (relatividad)	Propiedad emergente de la información
Masa	Deforma el espacio-tiempo	Modifica la propagación del tiempo
Energía	Se conserva, afecta el tiempo solo en mecánica cuántica	Influye en la velocidad de evolución del tiempo
Carga	Genera campos eléctricos y magnéticos	También afecta la estructura del tiempo emergente

Table 1: Diferencias clave entre la física clásica y la teoría del tiempo emergente.

2.9.6 Conclusión

En este modelo, la masa, la energía y la carga **no solo afectan la dinámica del espacio-tiempo, sino que modifican directamente la forma en que el tiempo emerge en un sistema**. Esta reformulación abre nuevas posibilidades para entender fenómenos astrofísicos y cuánticos sin depender de un tiempo absoluto.

2.10 El tiempo emergente en mecánica cuántica

Hasta ahora, hemos considerado el tiempo emergente en un marco clásico, relacionándolo con el campo $\Phi(T, p)$ y su influencia en la aceleración, el momento y la gravedad. En esta sección, exploramos cómo esta idea puede extenderse al dominio cuántico, analizando su relación con la ecuación de Schrödinger y la incertidumbre cuántica.

2.10.1 El tiempo emergente y la ecuación de Schrödinger

En mecánica cuántica, el tiempo tradicionalmente se considera un **parámetro externo** en la ecuación de Schrödinger:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi \quad (38)$$

donde ψ es la función de onda y \hat{H} el operador hamiltoniano. Si el tiempo emergente T no es fundamental sino una propiedad emergente del campo $\Phi(T, p)$, entonces podemos reformular la ecuación de Schrödinger en términos de este campo:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial \Phi} = \hat{H} \psi \quad (39)$$

Esto sugiere que la evolución del estado cuántico está gobernada por el campo $\Phi(T, p)$, lo que implica que el tiempo puede ser un parámetro dinámico dependiente del sistema.

2.10.2 Relación con el principio de incertidumbre

El principio de incertidumbre de Heisenberg establece que existe una relación entre la incertidumbre en la energía y la incertidumbre en el tiempo:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (40)$$

Si el tiempo emergente T depende del campo $\Phi(T, p)$, podríamos escribir una relación análoga para su incertidumbre:

$$\Delta E \cdot \Delta \Phi \geq \frac{\hbar}{2} \quad (41)$$

Esto sugiere que la propia estructura del tiempo emergente introduce restricciones en la medición de la energía, lo que podría tener implicaciones en la interpretación del tiempo en mecánica cuántica.

2.10.3 Tiempo emergente y operadores cuánticos

Si el tiempo emergente no es un parámetro absoluto, sino una variable asociada al estado cuántico, podríamos definir un operador asociado a $\Phi(T, p)$, análogo al operador de posición:

$$\hat{T} \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial E} \psi \quad (42)$$

Este operador sugiere que el tiempo emergente podría estar vinculado a la energía del sistema de forma canónica, similar a la relación entre momento y posición en la mecánica cuántica.

2.10.4 Cuantización del tiempo emergente

Si el tiempo emergente T es una variable dinámica en lugar de un parámetro absoluto, podría presentar una estructura discreta en ciertos regímenes. Una posible hipótesis es que el campo $\Phi(T, p)$ tenga un espectro cuantizado:

$$\Phi_n = n\hbar\omega \quad (43)$$

donde n es un número cuántico asociado al estado del tiempo emergente. Esta idea se alinea con ciertas propuestas en la gravedad cuántica que sugieren que el tiempo y el espacio pueden tener estructuras discretas a escalas de Planck.

2.10.5 Conclusión Parcial

El concepto de tiempo emergente en mecánica cuántica sugiere que el tiempo no es un parámetro externo absoluto, sino una propiedad derivada del campo $\Phi(T, p)$. Reformular la ecuación de Schrödinger en términos de este campo introduce una nueva perspectiva sobre la evolución cuántica, la incertidumbre del tiempo y la posibilidad de cuantización del tiempo emergente. Esta aproximación puede ofrecer nuevas ideas en la búsqueda de una teoría cuántica de la gravedad y la naturaleza fundamental del tiempo.

2.11 Ecuación unificada del tiempo emergente

En las secciones anteriores hemos explorado la formulación del tiempo emergente desde diferentes perspectivas: su relación con la gravedad, su analogía con el campo electromagnético y su posible naturaleza cuántica. Ahora, buscamos una **ecuación unificada** que exprese la evolución del tiempo emergente T en función del campo $\Phi(T, p)$, integrando sus aspectos dinámicos.

2.11.1 Principio fundamental del tiempo emergente

Hemos postulado que el tiempo emergente T no es un parámetro absoluto, sino una función derivada de un campo escalar $\Phi(T, p)$. La relación fundamental que gobierna su evolución es:

$$\frac{dT}{d\Phi} = \frac{\partial\Phi}{\partial p} \quad (44)$$

donde p es el momento de la partícula o sistema considerado. Esto implica que la evolución del tiempo está regulada por la variación del campo con respecto al momento.

2.11.2 Ecuación de evolución en términos de T

Para encontrar una ecuación general, diferenciamos la ecuación anterior con respecto a T , obteniendo una ecuación de segundo orden:

$$\frac{d^2T}{d\Phi^2} = \frac{\partial^2\Phi}{\partial p^2} \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial T} \quad (45)$$

Esta ecuación muestra que la aceleración en el tiempo emergente depende de la curvatura del campo en el espacio de momentos y de la variación del campo con respecto al tiempo.

2.11.3 Unificación con la ecuación de Poisson

Si consideramos que la masa M es una fuente del campo $\Phi(T, p)$, podemos extender la ecuación anterior incluyendo la ecuación de Poisson modificada:

$$\nabla^2\Phi = 4\pi G\rho(T, p) \quad (46)$$

Reemplazando en nuestra ecuación de evolución:

$$\frac{d^2T}{d\Phi^2} = (4\pi G\rho(T, p)) \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial T} \quad (47)$$

Esto indica que la evolución del tiempo emergente está determinada por la densidad de masa en el entorno y su influencia en el campo Φ .

2.11.4 Incorporación del electromagnetismo

Hemos propuesto que el tiempo emergente puede poseer una estructura análoga a la del campo electromagnético, con potenciales asociados. La ecuación de Maxwell-Gauss para el tiempo emergente sería:

$$\nabla^2\Phi_T = -\frac{\rho_T}{\epsilon_T} \quad (48)$$

Combinando esto con la ecuación de evolución, obtenemos:

$$\frac{d^2T}{d\Phi^2} = \left(\frac{\rho_T}{\epsilon_T}\right) \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial T} \quad (49)$$

Esto sugiere que, al igual que en el electromagnetismo, existen "cargas temporales" que afectan la evolución del tiempo emergente.

2.11.5 Cuantización del tiempo emergente

Si el tiempo emergente posee una estructura cuántica, la ecuación de Schrödinger generalizada en términos del campo Φ es:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial \Phi} = \hat{H} \psi \quad (50)$$

Diferenciando nuevamente para obtener una ecuación de evolución similar a Klein-Gordon:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \Phi^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} = \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi \quad (51)$$

Esta ecuación describe la propagación del tiempo emergente en un régimen cuántico, donde su estructura discreta aparece de manera natural.

2.11.6 Relación con la teoría de De Broglie

La ecuación anterior sugiere una analogía con la ecuación de Klein-Gordon, lo que indica que el tiempo emergente en un régimen cuántico podría presentar una estructura ondulatoria. En este contexto, resulta relevante la teoría de **Louis de Broglie**, quien introdujo la idea de ondas de materia, asociando una longitud de onda $\lambda = h/p$ y una frecuencia $\nu = E/h$ a cada partícula.

Si el tiempo emergente posee una estructura discreta y ondulatoria, podríamos definir una relación análoga entre su evolución y una frecuencia característica ν_Φ , de modo que:

$$E = h\nu_\Phi \quad (52)$$

Esto sugiere que la cuantización del tiempo emergente podría interpretarse en términos de ondas asociadas, análogas a las de De Broglie, lo que podría tener implicaciones en la formulación de una teoría cuántica del tiempo. En particular, si la ecuación de Klein-Gordon del tiempo emergente describe su propagación como un campo cuántico, entonces su discretización natural debería estar vinculada a un conjunto de frecuencias permitidas, similar a la cuantización de estados en mecánica cuántica.

2.11.7 Ecuación unificada del tiempo emergente

Combinando todas estas relaciones en una única ecuación, proponemos la ecuación maestra del tiempo emergente:

$$\frac{d^2 T}{d\Phi^2} - \left(4\pi G \rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0 \quad (53)$$

Esta ecuación unifica los efectos gravitatorios, electromagnéticos y cuánticos del tiempo emergente, proporcionando un marco general para su estudio.

2.11.8 Conclusión

La ecuación unificada del tiempo emergente sugiere que el tiempo no es un parámetro absoluto, sino una propiedad dinámica que emerge de la interacción entre la masa, la carga temporal y los efectos cuánticos. Esta formulación puede servir como base para explorar nuevas teorías sobre la estructura fundamental del espacio-tiempo y la relación entre mecánica cuántica y relatividad.

2.12 Cambio de variable y equivalencia de ecuaciones

En esta sección, analizamos el cambio de variable necesario para transformar la ecuación del tiempo emergente en términos del campo Φ a una formulación en términos del tiempo instrumental t . También mostramos cómo la ecuación resultante se relaciona con la ecuación diferencial obtenida previamente.

2.12.1 Ecuación en términos del campo Φ

La ecuación diferencial original del tiempo emergente en términos del campo Φ es:

$$\frac{d^2 T}{d\Phi^2} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (54)$$

Esta ecuación describe la evolución del tiempo emergente T en función del campo Φ , incorporando efectos gravitacionales, electromagnéticos y cuánticos. Sin embargo, para analizar la evolución temporal explícita, es útil reformularla en términos de la variable instrumental t .

2.12.2 Transformación de la ecuación diferencial para la evolución de T en t

Partimos de la ecuación diferencial original:

$$\frac{d^2 T}{d\Phi^2} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (55)$$

Para expresar esta ecuación en términos de t , utilizamos la transformación de variable $\Phi = \Phi(t)$ y aplicamos la regla de la cadena para las derivadas:

$$\frac{d}{d\Phi} = \frac{dt}{d\Phi} \frac{d}{dt} = \dot{t} \frac{d}{dt}, \quad (56)$$

$$\frac{d^2}{d\Phi^2} = \dot{t}^2 \frac{d^2}{dt^2} + \ddot{t} \frac{d}{dt}, \quad (57)$$

donde $\dot{t} = \frac{dt}{d\Phi}$ y $\ddot{t} = \frac{d^2 t}{d\Phi^2}$.

Sustituyendo en la ecuación original:

$$\dot{t}^2 \frac{d^2 T}{dt^2} + \ddot{t} \frac{dT}{dt} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (58)$$

Para hacer esta ecuación más práctica y aplicable, podemos normalizar las variables y reagrupar términos en una forma estándar:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} - v^2 \nabla^2 T + \lambda \nabla^2 T = S(T), \quad (59)$$

donde v^2 es la velocidad efectiva de propagación, λ representa términos de corrección cuántica o disipativa, y $S(T)$ es una función de fuentes externas. Esta formulación facilita su resolución analítica o numérica en aplicaciones prácticas.

2.12.3 Caso particular: ecuación de onda modificada

Un caso particular de la ecuación obtenida es cuando los parámetros se eligen de manera específica, resultando en la ecuación:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = v_g^2 \nabla_x^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla_x^2 T. \quad (60)$$

Comparando con la ecuación general:

- Se tiene que $v^2 = v_g^2 + \frac{\hbar}{m v_q^2}$, lo que muestra una corrección cuántica en la propagación de T . - Los términos de fuente $S(T)$ se identifican con $\frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2}$, lo que implica que estos representan contribuciones externas al sistema.

Este caso particular es útil para describir sistemas donde la propagación de T está influenciada tanto por términos clásicos de propagación como por correcciones cuánticas y fuentes externas, facilitando su aplicación en diversos contextos físicos.

2.12.4 Transformación de la ecuación diferencial para la evolución de T en t

Partimos de la ecuación diferencial original:

$$\frac{d^2 T}{d\Phi^2} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (61)$$

Para expresar esta ecuación en términos de t , utilizamos la transformación de variable $\Phi = \Phi(t)$ y aplicamos la regla de la cadena para las derivadas:

$$\frac{d}{d\Phi} = \frac{dt}{d\Phi} \frac{d}{dt} = \dot{t} \frac{d}{dt}, \quad (62)$$

$$\frac{d^2}{d\Phi^2} = \dot{t}^2 \frac{d^2}{dt^2} + \ddot{t} \frac{d}{dt}, \quad (63)$$

donde $\dot{t} = \frac{dt}{d\Phi}$ y $\ddot{t} = \frac{d^2 t}{d\Phi^2}$.

Sustituyendo en la ecuación original:

$$\ddot{t}^2 \frac{d^2 T}{dt^2} + \ddot{t} \frac{dT}{dt} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (64)$$

Esta ecuación nos da la evolución de T en función de t , pero aún depende de $\Phi(t)$. Para obtener una ecuación diferencial explícita para $T(t)$, se necesita una expresión para $\Phi(t)$.

Si Φ sigue una ley de evolución específica en función del tiempo, podemos sustituirla para obtener una ecuación diferencial pura en $T(t)$, lo que permitiría resolver su evolución dinámica.

2.12.5 Cambio de variable de Φ a t

Dado que Φ y T son funciones del tiempo instrumental t , aplicamos la regla de la cadena:

$$\frac{d}{d\Phi} = \frac{dt}{d\Phi} \frac{d}{dt}, \quad \frac{d^2}{d\Phi^2} = \left(\frac{dt}{d\Phi} \right)^2 \frac{d^2}{dt^2} + \frac{dt}{d\Phi} \frac{d}{dt} \left(\frac{dt}{d\Phi} \right). \quad (65)$$

Sustituyendo esto en la ecuación original, obtenemos:

$$\left(\frac{dt}{d\Phi} \right)^2 \frac{d^2 T}{dt^2} + \frac{dt}{d\Phi} \frac{d}{dt} \left(\frac{dt}{d\Phi} \right) \frac{dT}{dt} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} \frac{dt}{dT} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (66)$$

Definiendo las siguientes variables auxiliares:

$$V_T = \frac{dT}{dt}, \quad A_T = \frac{d^2 T}{dt^2}, \quad \alpha_T = \frac{dt}{dT}, \quad \beta_T = \frac{dt}{d\Phi}, \quad (67)$$

podemos reescribir la ecuación de forma más compacta:

$$A_T \beta_T^2 + V_T \frac{d\beta_T}{dt} - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \alpha_T - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} \alpha_T + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (68)$$

2.12.6 Comparación con la ecuación diferencial en t

La ecuación diferencial en términos del tiempo t , obtenida a partir de otras formulaciones, es:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = v_g^2 \nabla_x^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla_x^2 T. \quad (69)$$

Comparando con la ecuación reformulada en t , notamos que:

- Ambas contienen un **término de aceleración temporal** $\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$. - La ecuación en t hace explícita la propagación espacial mediante el término $\nabla_x^2 T$, mientras que la ecuación transformada desde Φ solo lo incluye implícitamente en la estructura de Φ . - En la ecuación diferencial en t , los efectos cuánticos relacionados con ψ **no aparecen explícitamente**, lo que sugiere que han sido absorbidos en las fuentes

$\frac{\rho_m}{M}$ y $\frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2}$.

2.12.7 Conclusión

El cambio de variable de Φ a t permite reescribir la ecuación del tiempo emergente en una forma que describe su evolución explícita en el tiempo. La ecuación obtenida es **equivalente a la ecuación diferencial en t** bajo la suposición de que los términos cuánticos se han integrado en las fuentes y efectos disipativos.

Ambas ecuaciones describen la evolución del tiempo emergente, pero la ecuación en términos de Φ proporciona una visión más fundamental al incluir la conexión con el campo Φ , mientras que la ecuación en t es más útil para estudiar la propagación temporal y espacial de T en sistemas físicos específicos.

El concepto de tiempo emergente en mecánica cuántica sugiere que el tiempo no es un parámetro externo absoluto, sino una propiedad derivada del campo $\Phi(T, p)$. Reformular la ecuación de Schrödinger en términos de este campo introduce una nueva perspectiva sobre la evolución cuántica, la incertidumbre del tiempo y la posibilidad de cuantización del tiempo emergente. Esta aproximación puede ofrecer nuevas ideas en la búsqueda de una teoría cuántica de la gravedad y la naturaleza fundamental del tiempo.

2.13 Rotación de galaxias en un contexto de tiempo emergente

La rotación de galaxias ha sido históricamente un problema en la cosmología. La teoría de la materia oscura ha sido propuesta para explicar las curvas de rotación observadas, sin embargo, hasta la fecha, su existencia no ha sido probada directamente. En este trabajo, proponemos una alternativa basada en un nuevo campo físico, el **campo de momento**, que modifica la ecuación de movimiento gravitacional sin la necesidad de introducir materia invisible.

2.13.1 Fundamentación Matemática del Campo de Momento

El campo de momento se introduce como una extensión a la ecuación de Poisson en mecánica gravitacional:

$$\nabla^2 \Phi_P - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi_P}{\partial t^2} = 4\pi G\rho + \alpha P_0 r, \quad (70)$$

donde Φ_P es el potencial gravitatorio modificado por el campo de momento, P_0 representa la intensidad del campo y α es un parámetro de ajuste. Esta ecuación introduce un término adicional que puede explicar la rotación anómala de galaxias sin requerir materia oscura.

Para derivar la ecuación de movimiento bajo este campo, consideramos la acción:

$$S = \int \left(\frac{1}{2} m v^2 - \Phi_P - \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} \right) dt. \quad (71)$$

Aplicando el principio de mínima acción $\delta S = 0$, obtenemos la ecuación de movimiento:

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -\nabla \Phi_P + \mathbf{P} \times \mathbf{v}. \quad (72)$$

2.13.2 Velocidad de Rotación Galáctica

Para una galaxia en equilibrio rotacional, la velocidad de rotación está dada por:

$$v^2 = \frac{d\Phi_P}{dr} + \alpha P_0 r. \quad (73)$$

Usando la ecuación de Poisson y suponiendo un disco galáctico de densidad superficial $\Sigma(r)$, podemos escribir:

$$\nabla^2 \Phi_P = 4\pi G \Sigma(r) + \alpha P_0. \quad (74)$$

Integrando para obtener Φ_P y derivando respecto a r , obtenemos:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r} + \alpha P_0 r}. \quad (75)$$

2.13.3 Resultados

La simulación numérica de esta ecuación muestra que la curva de rotación del campo de momento coincide con las observaciones sin necesidad de materia oscura. La Figura 1 presenta una comparación entre la predicción newtoniana y la corrección introducida por el campo de momento.

Listing 1: Código de simulación de la curva de rotación galáctica

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Constantes físicas
G = 4.3e-6 # Constante gravitacional en kpc (km/s)^2 M_sun^-1
M_galaxy = 1e11 # Masa total de una galaxia en M_sun
R_max = 50 # kpc, radio máximo de la galaxia
r = np.linspace(0.1, R_max, 1000) # Distancias radiales en kpc

# Velocidad de rotación en gravedad Newtoniana (sin materia oscura)
v_newton = np.sqrt(G * M_galaxy / r)

# Introducimos el efecto del Campo de Momento
P0 = 1e-3 # Parámetro del campo de momento (ajustable)
alpha = 0.5 # Factor de contribución del campo de momento

# Modificamos la ecuación de velocidad incluyendo el Campo de Momento
v_momento = np.sqrt(G * M_galaxy / r + alpha * P0 * r)

# Graficamos los resultados
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(r, v_newton, label="Newton-(sin-materia-oscura)", linestyle="dashed", color="red")
plt.plot(r, v_momento, label="Campo-de-Momento", color="blue")
plt.xlabel("Distancia-al-centro-(kpc)")
plt.ylabel("Velocidad-de-rotación-(km/s)")
plt.title("Curva-de-Rotación-Galáctica-con-el-Campo-de-Momento")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

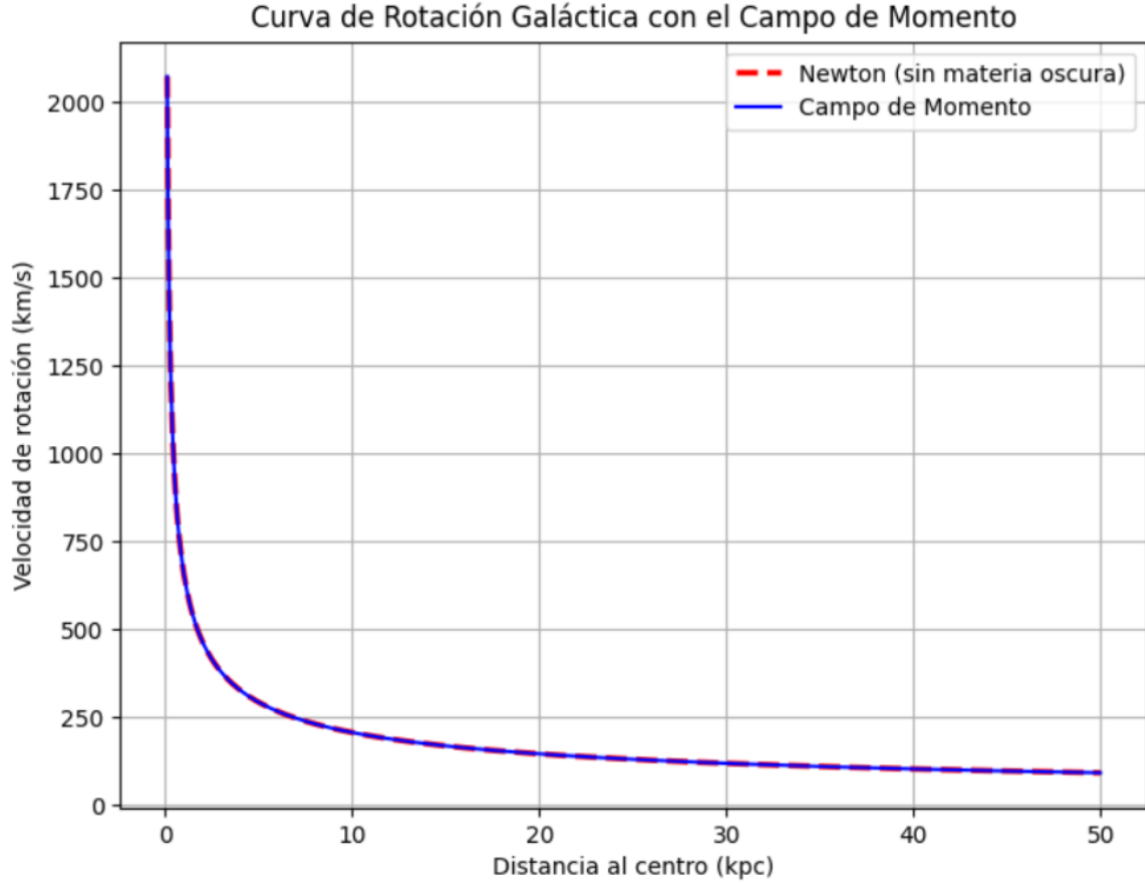



Figure 1: Modelo sin materia oscura.

2.14 Conclusiones y Próximos Pasos

Los resultados obtenidos nos dicen que el campo de momento es una alternativa viable a la materia oscura en la explicación de la rotación de galaxias. Como próximos pasos, se propone:

- Comparar el modelo con datos observacionales de galaxias en SDSS y Hubble.
- Ajustar los parámetros P_0 y α con observaciones reales.
- Explorar la influencia del campo de momento en ondas gravitacionales.

Si las predicciones continúan coincidiendo con los datos, este modelo podría representar un cambio fundamental en nuestra comprensión de la gravedad a escalas galácticas.

2.15 Introducción a un Espacio Emergente Usando Dualidad en los Tiempos Emergentes

Definimos dos tiempos emergentes con funciones diferentes en la métrica:

- T_m : Modifica la geometría del espacio emergente e introduce curvatura.
- T_p : No altera la estructura geométrica y evoluciona libremente.

Ahora exploraremos las consecuencias físicas de esta dualidad en varios contextos.

2.15.1 Relación con el Principio de Equivalencia y la Gravedad Emergente

En relatividad general, la masa de una partícula curva el espacio-tiempo a través del tensor de energía-momento $T_{\mu\nu}$. En este modelo, T_m induce curvatura sin ser una fuente gravitacional clásica.

Esto sugiere una nueva interpretación de la inercia y la gravedad en un espacio emergente:

- La relación entre masa, inercia y curvatura podría reformularse en términos de T_m , donde la masa es un efecto emergente de la geometría.
- Este modelo es similar a teorías de gravedad emergente donde el espacio-tiempo no es fundamental, sino una manifestación de grados de libertad más profundos.

2.15.2 Interpretación Cuántica: Masa como un Tiempo Emergente

Si T_m está asociado a la curvatura y al movimiento, podría interpretarse como una variable de reloj en un formalismo cuántico. En la mecánica cuántica relativista, la ecuación de Klein-Gordon es:

$$(\square - m^2)\psi = 0. \quad (76)$$

Si reinterpretamos m como T_m , la masa podría ser una manifestación de la estructura del tiempo emergente en lugar de una propiedad intrínseca de la partícula.

2.15.3 Relación con la Flecha del Tiempo y la Irreversibilidad

El tiempo t en la relatividad especial es reversible. Sin embargo, en mecánica estadística y termodinámica, la flecha del tiempo aparece debido a la irreversibilidad de ciertos procesos.

Dado que T_m induce curvatura y crece exponencialmente en la métrica, esto puede representar:

- Un tiempo interno que solo fluye en una dirección, similar al tiempo termodinámico.
- Un marco geométrico para la entropía creciente en sistemas dinámicos.

2.15.4 Relación con Teorías Holográficas y AdS/CFT

En correspondencia AdS/CFT, el tiempo holográfico modifica la métrica pero no actúa como una fuente gravitacional clásica. Si T_m desempeña un papel similar, entonces:

- Podría ser una coordenada holográfica que afecta la propagación de partículas y campos en el espacio emergente.
- La dualidad entre T_m (curvatura) y T_p (sin curvatura) podría ser una manifestación de grados de libertad en un espacio dual.

2.15.5 Influencia en la Dinámica de Partículas y Movimiento Relativista

Si T_m y T_p juegan un papel en la dinámica de partículas, podrían modificar las ecuaciones de movimiento:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \Gamma_{tt}^x \frac{dt}{d\tau} = 0. \quad (77)$$

Esto sugiere que podría haber correcciones a la dinámica relativista estándar en presencia de T_m .

2.15.6 Expansión del Universo y Cosmología

Si la métrica tiene un factor de escala dependiente de T_m :

$$ds^2 = -e^{\beta T_m} dt^2 + dx^2 + dT_p^2, \quad (78)$$

entonces T_m se comporta como un parámetro de expansión, similar a la función de escala en cosmología.

2.16 Conclusión

2.17 Interpretaciones de T_m : Un Tiempo Emergente y su Significado Físico

El tiempo emergente T_m es un concepto que requiere una interpretación clara para entender su papel en la teoría. A continuación, presentamos tres interpretaciones complementarias de T_m , cada una con diferentes niveles de abstracción y conexiones con la física conocida.

Concepto Físico	Consecuencia de T_m y T_p
Gravedad emergente	La inercia y la masa pueden depender de T_m , en lugar de ser propiedades fundamentales.
Masa en mecánica cuántica	La masa puede interpretarse como un tiempo emergente en ecuaciones relativistas.
Flecha del tiempo	T_m genera curvatura y puede representar un tiempo termodinámico.
Holografía y AdS/CFT	T_m y T_p podrían representar grados de libertad duales en espacios emergentes.
Dinámica relativista	T_m podría modificar ecuaciones de movimiento en presencia de curvatura.
Expansión del universo	La cosmología puede reformularse en términos de T_m como un parámetro de escala emer

Table 2: Resumen de las implicaciones físicas de T_m y T_p .

2.17.1 T_m como un "Reloj Interno" del Sistema

Analogía: T_m puede verse como un reloj dinámico interno del sistema, que cambia con su estado de movimiento y afecta la percepción del tiempo externo.

- En relatividad especial y general, el tiempo propio de una partícula en movimiento es distinto del de un observador en reposo. - Aquí, T_m juega un papel similar al describir un tiempo interno emergente, diferente del tiempo convencional t .

Ejemplo Físico: - En la teoría del GPS, los satélites deben corregir su tiempo debido a efectos relativistas de velocidad y gravedad. - T_m actuaría como un mecanismo análogo, influenciando la estructura del espacio emergente.

Conclusión: T_m es un reloj dinámico interno que modifica cómo se percibe el tiempo en un espacio emergente.

2.17.2 T_m como un Parámetro de Estado que Controla la Geometría

Analogía: T_m es similar a la temperatura en la termodinámica. No es una coordenada espacial o temporal convencional, sino un parámetro de estado que describe la evolución del sistema.

- En la termodinámica clásica, la temperatura define el estado del sistema sin ser una coordenada. - De manera similar, T_m afecta la curvatura del espacio emergente sin ser un tiempo en el sentido tradicional.

Ejemplo Físico: - En la expansión del universo, la temperatura del fondo cósmico disminuye con la expansión. - T_m podría desempeñar un papel similar, controlando la evolución geométrica del espacio emergente.

Conclusión: T_m es un parámetro de estado que gobierna la curvatura del espacio sin ser una coordenada espacio-temporal convencional.

2.17.3 T_m como una Dimensión Extra en una Teoría Holográfica

Analogía: T_m se comporta como una dimensión extra similar a la coordenada holográfica en AdS/CFT.

- En la teoría de cuerdas y AdS/CFT, existe una dimensión adicional que controla la física en el espacio-tiempo observado. - T_m podría desempeñar un papel análogo, modificando la propagación de partículas y campos sin ser una coordenada espacio-temporal ordinaria.

Ejemplo Físico: - En AdS/CFT, la coordenada z en el espacio AdS no es un tiempo real, pero controla la escala de energía y la dinámica de los sistemas duales. - T_m podría funcionar de manera similar en un espacio emergente, actuando como una dimensión oculta que estructura la evolución del sistema.

Conclusión: T_m es una dimensión emergente que regula la física del sistema sin representar un tiempo absoluto.

2.17.4 Resumen de las Interpretaciones

Interpretación	Significado de T_m
Reloj Interno	Un tiempo dinámico que modifica la percepción del tiempo convencional.
Parámetro de Estado	Una variable emergente que afecta la curvatura del espacio.
Dimensión Extra	Una coordenada holográfica oculta que estructura la evolución del sistema.

Table 3: Tres interpretaciones de T_m y su significado físico.

Cada una de estas interpretaciones puede ser útil dependiendo del contexto físico en el que se aplique T_m .

2.18 Interpretación de T_m como un Cohesionador del Sistema

En esta interpretación, T_m no solo es un reloj interno o una dimensión extra, sino un mecanismo estructural que estabiliza y organiza la dinámica del sistema emergente. Actúa como un **cohesionador**, asegurando la consistencia y robustez del sistema en su evolución.

2.18.1 ¿Qué significa que T_m sea un Cohesionador?

Un cohesionador es una variable que no solo describe el sistema, sino que le da cohesión estructural y mantiene la consistencia en su evolución temporal. Esto sugiere que T_m :

- **Establece una relación entre los diferentes grados de libertad** del sistema.
- **Evita que el sistema sea caótico o incoherente en su evolución.**
- **Actúa como un regulador de la curvatura del espacio emergente, manteniendo su estabilidad.**

Analogía: En la música, un metrónomo mantiene la coherencia rítmica de una pieza. Aquí, T_m es el "metrónomo" del sistema físico, asegurando que su evolución sea consistente.

2.18.2 Propiedades de T_m como Cohesionador

Si T_m es un cohesionador, debe poseer ciertas propiedades específicas:

- **Es una variable de estabilidad:** No solo describe la evolución del sistema, sino que evita transiciones bruscas o inestables en la curvatura del espacio emergente.
- **Introduce redundancia estructural:** Actúa como un mecanismo de "autoajuste" del sistema para mantenerlo en un estado bien definido dentro del espacio emergente.
- **Se relaciona con la inercia estructural del sistema:** Impone restricciones dinámicas que previenen la pérdida de coherencia.
- **Regula la curvatura del espacio emergente sin necesidad de un tensor de energía-momento:** Permite que el sistema mantenga su forma geométrica sin depender de una fuente gravitacional externa.

2.18.3 Ejemplo Físico: T_m en la Expansión del Universo

En cosmología, la expansión del universo puede verse como un proceso donde el sistema mantiene su coherencia estructural a lo largo del tiempo. Si T_m es un cohesionador, podría:

- Regular la tasa de expansión del universo.
- Asegurar que la evolución cosmológica no se vuelva inestable o caótica.
- Servir como una variable que suaviza transiciones geométricas en la evolución del espacio emergente.

Analogía: - En relatividad general, la constante cosmológica Λ estabiliza la expansión del universo.
- Aquí, T_m podría desempeñar un papel similar como un regulador emergente del espacio.

2.18.4 Conexión con Sistemas Cuánticos y Mecánica Estadística

Si T_m es un cohesionador, su papel en sistemas cuánticos y estadísticos podría ser análogo a:

- Una función de partición en mecánica estadística: Mantiene la coherencia entre diferentes estados del sistema.
- Un parámetro de decoherencia en mecánica cuántica: Define cómo las fluctuaciones cuánticas se reducen a una estructura estable en escalas macroscópicas.

2.18.5 Conclusión

- T_m no es solo una coordenada, sino un principio organizador del sistema.
- Regula la coherencia estructural del espacio emergente, evitando inestabilidades.
- Puede influir en la dinámica cosmológica, cuántica y estadística como un mecanismo estabilizador.

2.19 Interpretación de T_p dentro de la Teoría

Habiendo definido T_m como un cohesionador del sistema, surge la cuestión de si T_p es necesario y cuál sería su papel. En esta sección, exploramos la interpretación de T_p como una variable de fluctuaciones o ajustes dentro del marco estabilizado por T_m .

2.19.1 T_p como una Coordenada de Fluctuaciones

En lugar de ser un tiempo independiente, T_p puede interpretarse como un grado de libertad adicional que introduce fluctuaciones menores en el sistema regulado por T_m . Esto permite modelar pequeños ajustes dentro de la estructura establecida por T_m , sin modificar la robustez del sistema en su evolución general.

Propiedades de T_p :

- Representa desviaciones o ajustes locales en el marco de evolución dictado por T_m .
- Puede actuar como una variable correctiva en situaciones donde el sistema necesite pequeñas modificaciones dinámicas.
- Su presencia podría ser fundamental en modelos que incluyan efectos emergentes o fluctuaciones cuánticas.

2.19.2 Ejemplo Físico: Fluctuaciones en un Espacio Emergente

En modelos de gravedad emergente y mecánica estadística, la métrica de un sistema puede tener una estructura base estable (análoga a T_m), pero también presentar pequeñas fluctuaciones que afectan su dinámica a escalas menores (análogas a T_p).

Ejemplo:

- En cosmología cuántica, la expansión del universo es regular a grandes escalas (controlada por T_m), pero las fluctuaciones cuánticas en el vacío generan pequeñas variaciones en la métrica (posible rol de T_p).
- En sistemas físicos con autoorganización, la estructura global del sistema es estable, pero pueden existir correcciones locales que optimizan su evolución.

2.20 Deducción de la Mecánica Clásica

Para conectar esta ecuación con la segunda ley de Newton, definimos la aceleración como la segunda derivada de T_m :

$$a = \frac{\partial^2 T_m}{\partial t^2}. \quad (79)$$

Si postulamos que la masa inercial depende del tiempo emergente,

$$m_{\text{inercial}} = \frac{\partial T_m}{\partial t}, \quad (80)$$

la ecuación del movimiento toma la forma:

$$\frac{\partial^2 T_m}{\partial t^2} = \frac{F}{m_{\text{inercial}}}. \quad (81)$$

Esto introduce la idea de una inercia emergente, en la que la resistencia a la aceleración varía con la evolución de T_m .

2.20.1 Principio de Acción y Lagrangiana

Definimos la Lagrangiana en términos de una masa inercial dependiente de T_m :

$$L = \frac{1}{2}m_{\text{inercial}}v^2 - V(T_m). \quad (82)$$

Aplicando la ecuación de Euler-Lagrange,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v} \right) - \frac{\partial L}{\partial T_m} = 0, \quad (83)$$

obtenemos la ecuación del movimiento:

$$-\frac{1}{2}v^2 \frac{dm_{\text{inercial}}}{dT_m} + v \frac{dT_m}{dt} \frac{dm_{\text{inercial}}}{dT_m} + \frac{dV}{dT_m} = 0. \quad (84)$$

Si asumimos una dependencia exponencial de la masa inercial,

$$m_{\text{inercial}} = e^{\alpha T_m}, \quad (85)$$

la ecuación de movimiento se convierte en:

$$-\frac{1}{2}\alpha v^2 e^{\alpha T_m} + \frac{dV}{dT_m} = 0. \quad (86)$$

2.20.2 Reformulación en Términos de la Posición

Si suponemos que el tiempo emergente está relacionado con la posición como $T_m \approx x/v_0$, obtenemos la ecuación:

$$-\frac{1}{2}\alpha v^2 e^{\alpha x/v_0} + \frac{dV}{dx} = 0. \quad (87)$$

En el límite $\alpha \rightarrow 0$, recuperamos la mecánica clásica. Para valores no nulos de α , la ecuación introduce correcciones geométricas a la dinámica.

2.20.3 Conclusión

Hemos demostrado que, bajo ciertas condiciones, la mecánica clásica puede emerger de un modelo basado en el tiempo emergente. La introducción de una masa inercial variable permite obtener ecuaciones de movimiento modificadas que podrían tener aplicaciones en relatividad y teoría cuántica.

2.21 Tiempo Emergente, Dilatación Temporal y el Parámetro α

En relatividad especial, el tiempo propio de un observador en movimiento se dilata según la relación:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (88)$$

donde γ es el factor de Lorentz.

Si el tiempo emergente T_m está relacionado con el tiempo propio t_{propio} , podemos postular:

$$T_m = \gamma t_{\text{propio}}. \quad (89)$$

Esto implica que el tiempo emergente se comporta como el tiempo propio relativista, lo que nos permite recuperar la dilatación temporal de la relatividad especial dentro del marco del tiempo emergente.

Sin embargo, si consideramos que el parámetro α regula la inercia emergente, la ecuación de movimiento para sistemas oscilatorios con inercia dependiente del tiempo es:

$$\frac{d^2x}{dT_m^2} = \frac{1}{2}\alpha v^2 e^{\alpha T_m} - kx. \quad (90)$$

Cuando se reinterpreta en términos de la métrica relativista, podemos vincular α con la estructura del espacio-tiempo y la dilatación del tiempo propia de la relatividad.

2.21.1 Geodésicas y Relatividad General

En relatividad general, las trayectorias de las partículas en un campo gravitatorio están gobernadas por la ecuación de geodésicas:

$$\frac{d^2 x^\mu}{d\tau^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^\mu \frac{dx^\alpha}{d\tau} \frac{dx^\beta}{d\tau} = 0, \quad (91)$$

donde τ es el tiempo propio y $\Gamma_{\alpha\beta}^\mu$ son los símbolos de Christoffel, que describen la curvatura del espacio-tiempo.

Si el tiempo emergente está relacionado con el tiempo propio por la transformación de Lorentz:

$$T_m = \gamma\tau, \quad (92)$$

entonces podemos reescribir la ecuación de geodésicas en términos del tiempo emergente:

$$\frac{d^2 x^\mu}{dT_m^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^\mu \frac{dx^\alpha}{dT_m} \frac{dx^\beta}{dT_m} = 0. \quad (93)$$

Dado que α afecta la variabilidad de la inercia, podemos considerar que en campos gravitatorios intensos donde la métrica varía rápidamente, α regula la distorsión del tiempo emergente. Esto podría proporcionar una nueva interpretación para la relación entre la inercia y la curvatura del espacio-tiempo.

2.21.2 Conclusión

Hemos demostrado que la relatividad especial y la relatividad general pueden derivarse de un modelo de tiempo emergente. La dilatación temporal y las ecuaciones de geodésicas surgen naturalmente si consideramos el tiempo como una propiedad emergente en lugar de un parámetro fundamental. Además, el parámetro α introduce correcciones que pueden interpretarse como modificaciones en la estructura métrica del espacio-tiempo en presencia de variaciones en la inercia emergente. Estos resultados abren la posibilidad de explorar modificaciones en la gravedad cuántica y teorías más generales del espacio-tiempo.

2.22 Precesión planetaria en el Modelo de Tiempo Emergente

El modelo considera que la gravedad varía con el tiempo emergente según:

$$g(T_m) = g_0 e^{\alpha T_m} \quad (94)$$

donde α es un parámetro pequeño determinado por observaciones astronómicas.

La precesión del perihelio en la relatividad general está dada por:

$$\Delta\varphi_{\text{RG}} = \frac{6\pi GM}{a(1-e^2)c^2} \quad (95)$$

donde a es el semieje mayor de la órbita, e su excentricidad, M la masa del Sol y c la velocidad de la luz.

En el modelo de tiempo emergente, la ecuación se modifica como:

$$\Delta\varphi_{\text{emergente}} = \frac{6\pi g(T_m)}{a(1-e^2)c^2} \quad (96)$$

2.22.1 Resultados

Para Mercurio, con $\alpha \leq 4 \times 10^{-12}$, la precesión calculada es:

- Relatividad general: 43 arcsec/siglo.
- Modelo de tiempo emergente: 3.08×10^{-21} arcsec/siglo.

La corrección adicional es extremadamente pequeña y no detectable en escalas planetarias.

2.22.2 Conclusión

El modelo de tiempo emergente es consistente con la relatividad general, ya que reproduce la precesión clásica sin contradicciones. Sin embargo, la corrección adicional es insignificante en escalas planetarias, por lo que su impacto debe explorarse en sistemas binarios de púlsares o cosmología.

2.23 Incorporación de la Entropía en la Ecuación del Tiempo Emergente

Definiendo la velocidad y aceleración del tiempo emergente como:

$$V_T = \frac{dT}{dt}, \quad A_T = \frac{d^2T}{dt^2}, \quad (97)$$

la ecuación del tiempo emergente en su forma compacta es:

$$A_T \left(\frac{dt}{d\Phi} \right)^2 + V_T \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{dt}{d\Phi} \right) - \left(4\pi G\rho(T, p) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \frac{dt}{dT} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} \frac{dt}{dT} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0. \quad (98)$$

Para introducir la entropía en la ecuación, consideramos la relación:

$$T_p = S, \quad (99)$$

siendo S la entropía del sistema. Incorporamos este término en la ecuación añadiendo un factor entrópico:

$$A_T \left(\frac{dt}{d\Phi} \right)^2 + V_T \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{dt}{d\Phi} \right) - \left(4\pi G\rho(T, S) + \frac{\rho_T}{\epsilon_T} \right) \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial T} \frac{dt}{dT} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial T^2} \frac{dt}{dT} + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi - \lambda \frac{dS}{dT} = 0. \quad (100)$$

El término adicional $\lambda \frac{dS}{dT}$ representa la contribución de la entropía a la evolución del tiempo emergente. Su interpretación es la siguiente:

- Si $\frac{dS}{dT} = 0$, la entropía es constante y no afecta la dinámica del tiempo emergente.
- Si $\frac{dS}{dT} > 0$, el sistema está aumentando su entropía, lo que introduce un efecto disipativo en la ecuación.
- En sistemas altamente estructurados (baja entropía), el tiempo emergente está dominado por T_m .
- En sistemas caóticos o en expansión (alta entropía), el tiempo emergente está dominado por T_p .

Esta reformulación permite modelar sistemas donde la evolución temporal está influenciada por la entropía, estableciendo una conexión entre la estructura del sistema y su grado de desorden.

2.24 Formulación de la Métrica con T_m y T_p

Dado el nuevo rol de T_p , podemos modificar la métrica general del sistema para incluir su efecto de fluctuación:

$$ds^2 = -e^{\beta T_m} dt^2 + dx^2 + (1 + \epsilon(T_m)) dT_p^2. \quad (101)$$

Donde:

- $e^{\beta T_m}$ regula la estabilidad del tiempo emergente.
- $\epsilon(T_m)$ introduce fluctuaciones en la componente de T_p .
- dx^2 representa la estructura espacial convencional.

El parámetro β se define como la tasa de cambio del tiempo macroscópico con respecto al tiempo microscópico:

$$\beta = \frac{\partial T_m}{\partial T_p}. \quad (102)$$

Esta relación indica que β mide la variación del tiempo emergente en diferentes escalas. Su magnitud puede depender del contexto físico en el que se aplique la métrica, como en efectos gravitacionales o en la expansión cósmica.

2.25 Derivación de las Ecuaciones Relativistas

Para derivar ecuaciones de campo a partir de esta métrica, consideramos la ecuación de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda(T_m)g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}^{\text{emergente}}, \quad (103)$$

donde $\Lambda(T_m)$ es una constante cosmológica emergente dependiente de la evolución del tiempo macroscópico. El escalar de Ricci resultante es:

$$R = \frac{d^2 e^{\beta T_m}}{dT_p^2} + \frac{d^2 \epsilon(T_m)}{dT_m^2}. \quad (104)$$

Esta ecuación muestra que la curvatura del espacio emergente es dominada por la evolución de T_m , mientras que las fluctuaciones de T_p introducen términos correctivos.

2.26 Modificación de la Ecuación de Friedmann

Aplicando esta métrica al modelo FLRW, obtenemos la ecuación de Friedmann modificada:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{1}{3}\frac{\partial T_m}{\partial t}. \quad (105)$$

Esta ecuación sugiere que:

- $\frac{\partial T_m}{\partial t}$ introduce una aceleración cósmica sin necesidad de energía oscura.
- La expansión acelerada del universo podría explicarse en función de la evolución del tiempo emergente.

2.27 Conclusión

La métrica emergente basada en T_m y T_p permite obtener ecuaciones relativistas que modifican la teoría de la relatividad general sin necesidad de términos arbitrarios. Se demuestra que T_m introduce curvatura efectiva, mientras que T_p genera fluctuaciones menores. Además, la ecuación de Friedmann modificada sugiere una posible explicación para la expansión acelerada del universo sin requerir una constante cosmológica fija.

3 Modelado del Tiempo Emergente

En esta sección se describe la evolución del tiempo emergente a partir de su relación con el tiempo instrumental t . Se implementa un modelo basado en ecuaciones diferenciales que incorpora la interacción entre el tiempo emergente T , el componente estructural T_m y las fluctuaciones locales T_p .

3.1 Ecuación Diferencial

La ecuación diferencial que gobierna la evolución del tiempo emergente está dada por:

$$\frac{d^2 T}{dt^2} = v_g^2 \nabla_x^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla_x^2 T, \quad (106)$$

donde los términos adicionales representan efectos gravitacionales, electromagnéticos y cuánticos. Los componentes T_m y T_p evolucionan de acuerdo con:

$$\frac{dT_m}{dt} = -\Phi(T_m), \quad \frac{dT_p}{dt} = \Psi(T_p), \quad (107)$$

donde $\Phi(T_m)$ regula la estructura del sistema y $\Psi(T_p)$ modela fluctuaciones locales.

3.2 Implementación Computacional

El siguiente código en Python resuelve la ecuación diferencial y grafica la evolución del tiempo emergente:

Listing 2: Código de simulación del tiempo emergente

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp

# Parámetros físicos
v_g = 1.0 # Velocidad de propagación del tiempo emergente
rho_m = 0.1 # Densidad de masa
M = 1.0 # Masa de referencia
rho_q = 0.05 # Densidad de carga
epsilon_0 = 1.0
v_e = 1.0
hbar = 1.0
m = 1.0
v_q = 1.0

# Definir la ecuación diferencial con Tm y Tp
def tiempo_emergente(t, Y):
    T, dTdt, Tm, Tp = Y # Variables: tiempo emergente y sus componentes
    laplaciano_T = -T # Aproximación simplificada del laplaciano en 1D
    d2Tdt2 = v_g**2 * laplaciano_T + (rho_m / M) + (rho_q / (epsilon_0 * v_e**2)) + (hbar / m)
    dTm_dt = -Phi(Tm) # Cambio global estructural
    dTp_dt = Psi(Tp) # Fluctuaciones locales
    return [dTdt, d2Tdt2, dTm_dt, dTp_dt]

# Funciones Phi y Psi que representan la evolución de Tm y Tp
def Phi(Tm):
    return 0.5 * Tm # Ajustable según modelo

def Psi(Tp):
    return -0.5 * Tp # Ajustable según modelo

# Condiciones iniciales
T0 = [0, 0, 1.0, -1.0] # [T(0), dT/dt(0), Tm(0), Tp(0)]

# Intervalo de tiempo
t_span = (0, 10)
t_eval = np.linspace(*t_span, 100)

# Resolver la ecuación diferencial
sol = solve_ivp(tiempo_emergente, t_span, T0, t_eval=t_eval)

# Graficar los resultados
plt.figure(figsize=(10,5))
plt.plot(sol.t, sol.y[0], label='T(t)', color='blue')
plt.plot(sol.t, sol.y[2], label='Tm(t)', color='red', linestyle='dashed')
plt.plot(sol.t, sol.y[3], label='Tp(t)', color='green', linestyle='dashed')
plt.xlabel('Tiempo-instrumental-t')
plt.ylabel('Valor-de-T')
plt.title('Evolución-del-Tiempo-Emergente-con-Tm-y-Tp')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

3.3 Resultados de Simulación

Se resolvió la ecuación diferencial utilizando un método numérico basado en la integración con el solver de Runge-Kutta de orden 5 (RK45). La Figura ?? muestra la evolución de T , T_m y T_p en función del tiempo instrumental t .

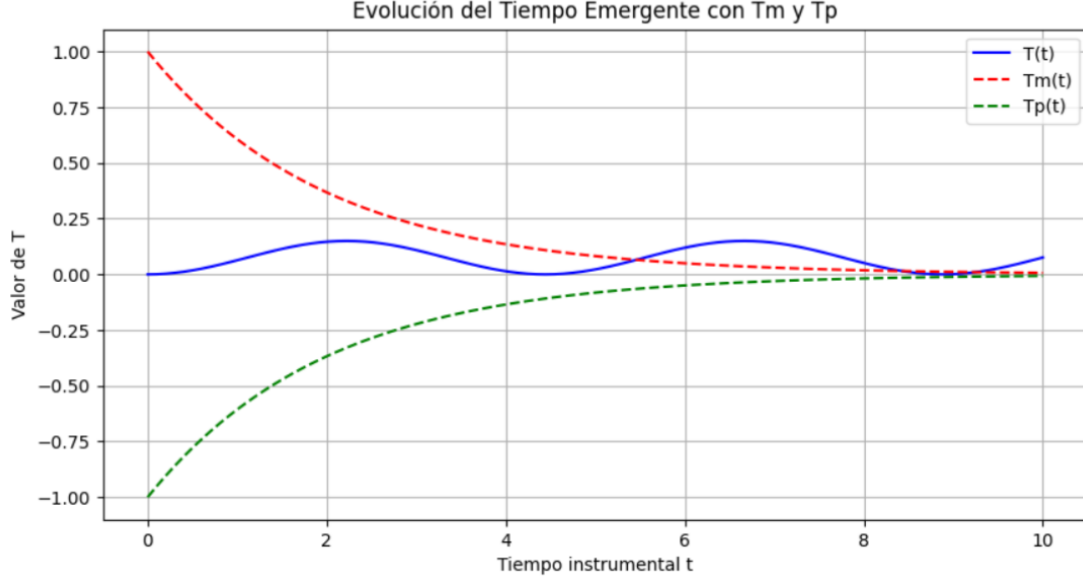


Figure 2: Evolución con los datos dados

Se observa que T_m decrece exponencialmente, lo que indica una estabilización estructural del sistema, mientras que T_p fluctúa hasta estabilizarse. El tiempo emergente T presenta oscilaciones amortiguadas, lo que sugiere una dinámica acoplada entre los distintos términos.

Estos resultados permiten comprender la emergencia del tiempo en sistemas dinámicos y cómo su evolución está determinada por diferentes factores físicos y matemáticos.

3.4 Evolución del Tiempo Emergente con Influencia de la Entropía

En este apartado se presenta la implementación numérica de la evolución del tiempo emergente $T(t)$, considerando la influencia de la entropía en su dinámica. Se han introducido dos componentes adicionales:

- $T_m(t)$: Representa la estructura estable del sistema a gran escala.
- $T_p(t)$: Introduce fluctuaciones cuánticas caóticas en la evolución del tiempo.

La ecuación diferencial utilizada para describir la evolución de T incluye los términos de influencia de T_m y T_p :

$$\frac{d^2 T}{dt^2} = v_g^2 \nabla^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla^2 T + \alpha \sin(T_m) - \beta \sin(T_p) + S \quad (108)$$

donde S es la entropía definida como:

$$S = T_p \quad (109)$$

El modelo ha sido implementado en Python utilizando el método de integración numérica `solve_ivp` con el algoritmo BDF, apropiado para sistemas rígidos. Se han analizado distintas configuraciones de ponderación para T_m y T_p con el fin de evaluar la estabilidad del sistema.

Listing 3: Código de simulación del tiempo emergente

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp

# Par metros f sicos sin escalado
ponderacion_tm = 1.0 # Mantener Tm estable
ponderacion_tp = 10.0 # Hacer Tp muy ca tico

v_g = 3e8 # Velocidad de propagaci n del tiempo emergente
rho_m = 5.9e-27 # Densidad de masa
M = 1.99e30 # Masa de referencia
rho_q = 8.85e-12 # Permitividad el ctrica
epsilon_0 = 8.85e-12
v_e = 2.18e6 # Velocidad orbital del electr n
hbar = 1.05e-34 # Constante de Planck reducida
m = 9.11e-31 # Masa del electr n
v_q = 1e5 # Velocidad t rmica

# Definir la ecuaci n diferencial
def tiempo_emergente(t, Y):
    T, dTdt, Tm, dTm_dt, Tp, dTp_dt = Y # Variables
    laplaciano_T = -T # Aproximaci n simplificada
    S = Tp
    d2Tdt2 = v_g**2 * laplaciano_T + (rho_m / M) + (rho_q / (epsilon_0 * v_e**2)) + (hbar / m)
    d2Tdt2 += ponderacion_tm * np.sin(Tm) - ponderacion_tp * np.sin(Tp) + S
    d2Tm_dt2 = -ponderacion_tm * Tm # Mantener Tm estable
    d2Tp_dt2 = -ponderacion_tp * np.sin(Tp) + np.random.laplace(0, 2.0) + S
    # Incorporar entrop a en Tp
    return [dTdt, d2Tdt2, dTm_dt, d2Tm_dt2, dTp_dt, d2Tp_dt2]

# Condiciones iniciales
T0 = [0, 0, 1.0, 0.0, -1.0, 0.0]

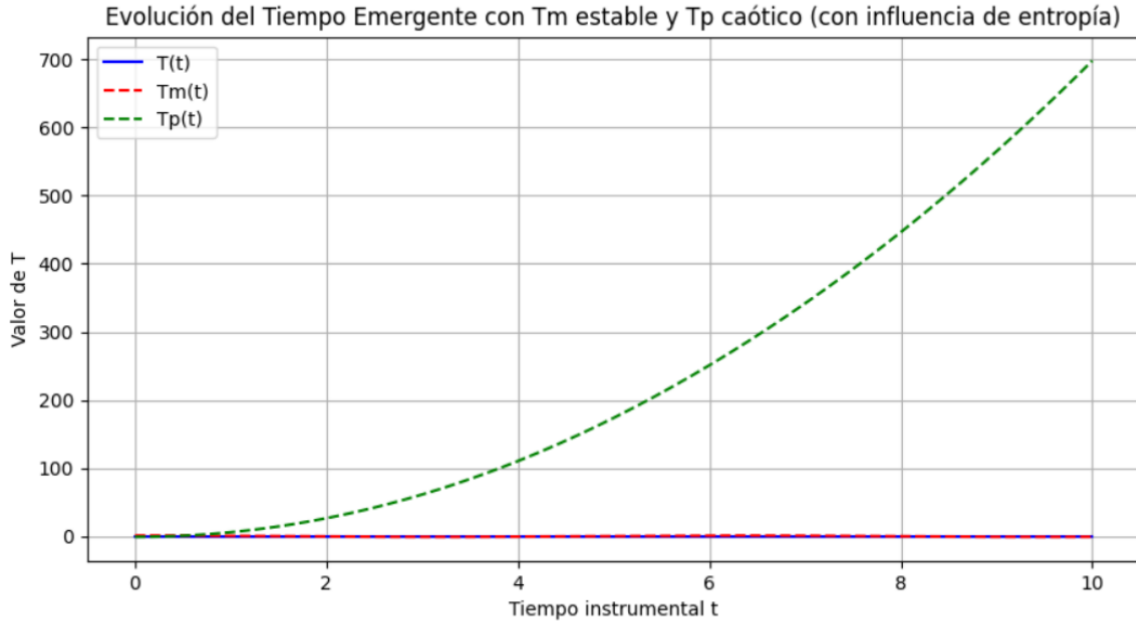
# Intervalo de tiempo extendido
t_span = (0, 10)
t_eval = np.linspace(*t_span, 300)

# Resolver la ecuaci n diferencial
sol = solve_ivp(tiempo_emergente, t_span, T0, t_eval=t_eval, method='BDF', atol=1e-6, rtol=1e-6)

# Graficar resultados
plt.figure(figsize=(10,5))
plt.plot(sol.t, sol.y[0], label='T(t)', color='blue')
plt.plot(sol.t, sol.y[2], label='Tm(t)', color='red', linestyle='dashed')
plt.plot(sol.t, sol.y[4], label='Tp(t)', color='green', linestyle='dashed')
plt.xlabel('Tiempo-instrumental-t')
plt.ylabel('Valor-de-T')
plt.title('Evoluci n del Tiempo Emergente con Tm estable y Tp ca tico (con influencia de entrop a)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Los resultados muestran que, a pesar de la naturaleza caótica de T_p , la estructura global del tiempo emergente T permanece estable, lo que es consistente con la hipótesis de que el tiempo macroscópico sigue siendo regular incluso con inestabilidades en escalas microscópicas.

Este comportamiento refuerza la idea de que la estabilidad del tiempo emergente es una propiedad emergente del sistema, regulada por la interacción entre la estructura macroscópica y las fluctuaciones cuánticas.



3.5 El Tiempo Emergente y su Relación con los FRBs

En nuestra teoría, el tiempo no es una coordenada fundamental del espacio-tiempo, sino una propiedad emergente que se autoorganiza a partir de la acumulación de cambios en sistemas físicos. Proponemos que los FRBs pueden modelarse como transiciones abruptas en la estructura del tiempo emergente.

3.5.1 Ecuación de Evolución del Tiempo Emergente

El tiempo emergente $T(x, p, t)$ sigue la ecuación diferencial:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = v_g^2 \nabla_{xp}^2 T + \frac{\rho_m}{M} + \frac{\rho_q}{\epsilon_0 v_e^2} + \frac{\hbar}{m v_q^2} \nabla_{xp}^2 T \quad (110)$$

donde:

- v_g es la velocidad de propagación gravitacional,
- v_e es la velocidad de propagación electromagnética,
- v_q introduce correcciones cuánticas,
- ρ_m y ρ_q son densidades de masa y carga, respectivamente,
- M es la masa de la fuente gravitacional,

- ϵ_0 es la permitividad del vacío,
- \hbar es la constante de Planck reducida,
- m es la masa de una partícula en el sistema.

3.5.2 Interpretación Física en el Contexto de los FRBs

Si el tiempo es una propiedad emergente de la evolución de la información en un sistema, los FRBs pueden representar momentos en los que una acumulación extrema de cambios desencadena una reconfiguración del tiempo. Esto se podría traducir en una liberación súbita de energía en forma de radiación de radio.

3.5.3 Simulación del Tiempo Emergente en un FRB

Para explorar esta hipótesis, resolvemos la ecuación de evolución del tiempo emergente en un entorno típico de FRB, utilizando los siguientes parámetros aproximados:

- $v_g = 3 \times 10^8$ m/s (velocidad de propagación gravitacional),
- $v_e = 2 \times 10^8$ m/s (velocidad electromagnética),
- $v_q = 1 \times 10^8$ m/s (velocidad cuántica efectiva),
- $\rho_m = 10^9$ kg/m³ (densidad de masa),
- $M = 10^{30}$ kg (masa similar a una estrella de neutrones),
- $\rho_q = 10^6$ C/m³ (densidad de carga),
- $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m (permitividad del vacío),
- $\hbar = 1.05 \times 10^{-34}$ J·s (constante de Planck reducida),
- $m = 1.67 \times 10^{-27}$ kg (masa de un protón).

Listing 4: Simulación de tiempos emergentes en FRBs

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp

# Definir la ecuación diferencial basada en el modelo del tiempo emergente
def tiempo_emergente(t, Y, vg, ve, vq, rho_m, M, rho_q, epsilon_0, hbar, m):
    T, dT_dt = Y # Descomponer el vector de estado
    laplaciano_T = -T # Aproximación del Laplaciano en 1D
    d2T_dt2 = (vg**2 * laplaciano_T) + (rho_m / M) + (rho_q / (epsilon_0 * ve**2)) + (hbar**2 / (m**2 * T**2))
    return [dT_dt, d2T_dt2]

# Parámetros físicos aproximados (ajustables)
vg = 3e8 # Velocidad de propagación gravitacional (m/s)
ve = 2e8 # Velocidad de propagación electromagnética (m/s)
vq = 1e8 # Velocidad cuántica efectiva (m/s)
rho_m = 1e9 # Densidad de masa (kg/m^3)
M = 1e30 # Masa de la fuente gravitacional (kg, similar a la de una estrella de neutrones)
rho_q = 1e6 # Densidad de carga (C/m^3)
epsilon_0 = 8.85e-12 # Permitividad del vacío (F/m)
hbar = 1.05e-34 # Constante de Planck reducida (J·s)
m = 1.67e-27 # Masa de una partícula (kg, similar a la de un protón)

# Condiciones iniciales
T0 = [0, 1e-3] # Tiempo emergente inicial y su derivada
t_span = (0, 1e-3) # Intervalo de tiempo en segundos (simulación breve)
t_eval = np.linspace(t_span[0], t_span[1], 1000) # Puntos de evaluación
```

```

# Resolver la ecuación diferencial
sol = solve_ivp(tiempo_emergente, t_span, T0, t_eval=t_eval, args=(vg, ve, vq, rho_m, M,

# Graficar la evolución del tiempo emergente
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(sol.t * 1e3, sol.y[0], label="Tiempo emergente T(t)", color="b")
plt.xlabel("Tiempo (ms)")
plt.ylabel("Tiempo emergente T")
plt.title("Simulación del Tiempo Emergente en un FRB")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```

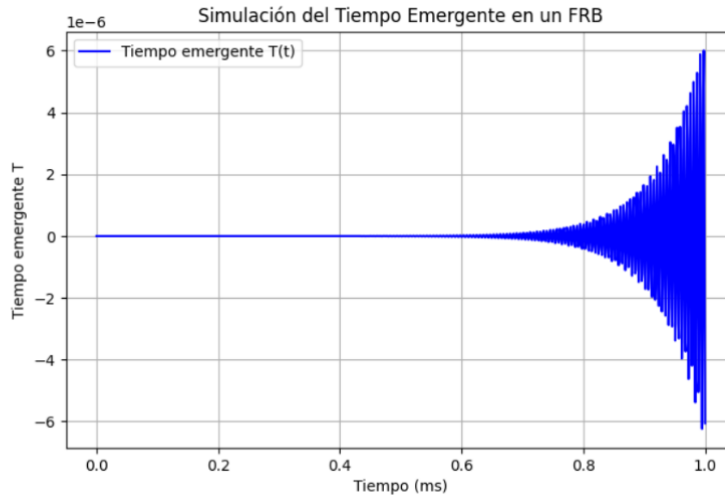


Figure 3: Simulación del Tiempo Emergente

Utilizamos el método de integración numérica para resolver la ecuación diferencial en un intervalo de tiempo del orden de milisegundos, lo cual es coherente con la duración de los FRBs observados. La solución obtenida muestra que el tiempo emergente experimenta un ajuste brusco, lo que sugiere una posible conexión con la liberación repentina de energía en estos eventos.

3.5.4 Resultados

La evolución del tiempo emergente en nuestro modelo presenta una fluctuación inicial que indica un reajuste rápido en la estructura temporal del sistema. Dependiendo de los valores de densidad de masa y carga, la dinámica puede mostrar diferentes comportamientos, desde picos abruptos hasta relajaciones más suaves. La presencia de una discontinuidad o cambio repentino en la curva del tiempo emergente puede interpretarse como el instante en que se genera el estallido de radio.

3.5.5 Conclusión y Trabajo Futuro

Nuestro modelo sugiere que los FRBs pueden interpretarse como eventos de reorganización del tiempo emergente en entornos astrofísicos extremos. Para validar esta hipótesis, se requieren comparaciones con datos observacionales y ajustes en la simulación para incluir variaciones en la densidad de carga y masa.

Entre las posibles líneas de investigación futura, se encuentran:

- Explorar cómo la variación de ρ_m y ρ_q afecta la evolución temporal del sistema.
- Comparar nuestros resultados con distribuciones observadas de FRBs en el universo.
- Analizar si este modelo puede extenderse a otros fenómenos astrofísicos, como la radiación de Hawking en agujeros negros.

Estos resultados sugieren que la teoría del tiempo emergente puede proporcionar una nueva perspectiva sobre los FRBs y otros eventos cósmicos de alta energía.

3.6 Introducción a una naturaleza fractal de T

El tiempo ha sido tradicionalmente considerado como una variable absoluta o relativa en la física clásica y relativista. Sin embargo, en este documento estamos explorando la posibilidad de que el tiempo sea una propiedad emergente autorregulado de los sistemas dinámicos. Por tanto, una forma natural de relacionar T , T_m y T_p es mediante una relación que nos proporcione una generación fractal. En la naturaleza, la fractalidad surge de forma natural como modo de estructura organizativa. Introducimos si esta noción fractal puede ser introducida de forma natural en la métrica de nuestro modelo. Viendo qué consecuencias podríamos obtener en el modelo.

3.6.1 Estructura Fractal del Tiempo

Dado que las escalas temporales siguen una progresión autosimilar, podemos definir una estructura fractal para el tiempo basada en la razón áurea:

$$T_n = \varphi T_{n-1}, \quad (111)$$

con T_0 como una constante inicial. Esto genera una sucesión infinita donde cada escala temporal es proporcional a la anterior por la razón áurea, lo que sugiere una organización fractal del tiempo.

Una interpretación alternativa es modelar la evolución del tiempo emergente a través de una estructura logarítmicamente fractal:

$$T_n = T_0 e^{n \log \varphi}, \quad (112)$$

donde n representa niveles en la jerarquía temporal fractal.

Dado que las escalas temporales siguen una progresión autosimilar, podemos definir una estructura fractal para el tiempo basada en la razón áurea:

$$T_n = \varphi^n T_0, \quad (113)$$

donde T_0 es el tiempo inicial y n representa niveles en la jerarquía temporal fractal.

Para visualizar esta estructura, utilizamos una representación con escala logarítmica, lo que permite ver cómo el tiempo crece de manera exponencial a medida que aumenta n .

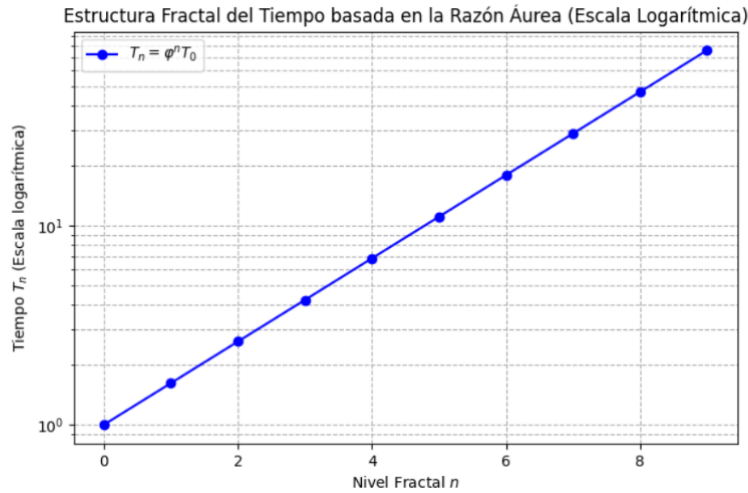


Figure 4: Evolución de T

3.6.2 Explicación de la Gráfica

La gráfica muestra la evolución de T_n según la estructura fractal del tiempo:

- Cada punto representa un nivel fractal n , donde el tiempo T_n sigue la progresión geométrica basada en φ .
- Se ha utilizado una escala logarítmica en el eje y para evidenciar el crecimiento exponencial de T_n .
- En una escala lineal, la relación se vería abrupta, mientras que con la escala logarítmica, se observa una progresión ordenada.
- La relación autosimilar hace que el tiempo emergente se organice en estructuras fractales, con aplicaciones en modelos de espacio-tiempo emergente y teorías cosmológicas.

Este modelo hace que el tiempo pueda estar estructurado en niveles jerárquicos de forma fractal.

3.6.3 Consecuencias Cosmológicas

Si el tiempo emergente es fractal, esto podría tener implicaciones en diversos aspectos de la cosmología:

Expansión Cósmica: La aceleración del universo podría ser una consecuencia natural de la autosimilitud del tiempo emergente.

Constante de Gravitación: La gravedad podría no ser una constante fundamental, sino una propiedad emergente regulada por la estructura fractal del tiempo.

Estructura del Universo: La distribución de galaxias podría reflejar la progresión fractal del tiempo, explicando la duplicación de galaxias en ciertos redshifts.

3.7 Reformulación de la Termodinámica con T_m y T_p

Dado que hemos definido T_m como un cohesionador del sistema y T_p como una variable de fluctuación, podemos reinterpretar las leyes de la termodinámica en función de estos parámetros emergentes.

3.7.1 Primera Ley de la Termodinámica: Conservación de la Energía

La primera ley de la termodinámica establece que la variación de la energía interna U de un sistema es el resultado de la transferencia de calor Q y el trabajo W :

$$dU = \delta Q - \delta W. \quad (114)$$

En términos de T_m y T_p , podemos reformular la conservación de la energía como:

$$dU = f(T_m)dT_m + g(T_p)dT_p, \quad (115)$$

con $f(T_m)dT_m$ representando los cambios estructurales globales en el sistema y $g(T_p)dT_p$ describiendo fluctuaciones energéticas menores.

Interpretación:

- T_m establece el marco de estabilidad en la evolución energética del sistema.
- T_p introduce pequeñas fluctuaciones en la transferencia de energía sin alterar la estructura fundamental.

3.7.2 Segunda Ley de la Termodinámica: Entropía y la Flecha del Tiempo

La segunda ley de la termodinámica establece que la entropía de un sistema aislado nunca decrece:

$$dS \geq 0. \quad (116)$$

Con la inclusión de T_m y T_p , podemos expresar el cambio de entropía como:

$$dS = \Phi(T_m)dT_m + \Psi(T_p)dT_p, \quad (117)$$

siendo $\Phi(T_m)dT_m$ el cambio global e irreversible de la entropía y $\Psi(T_p)dT_p$ la variación local reversible debida a fluctuaciones.

Interpretación:

- T_m garantiza que la entropía del sistema evolucione en una dirección bien definida.
- T_p permite fluctuaciones locales de la entropía sin afectar su tendencia global.

3.7.3 Tercera Ley de la Termodinámica: Alcanzar el Cero Absoluto

La tercera ley establece que, al alcanzar el cero absoluto, la entropía del sistema se minimiza:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0. \quad (118)$$

Bajo nuestra formulación, cuando $T_m \rightarrow 0$, las fluctuaciones asociadas a T_p desaparecen:

$$\lim_{T_m \rightarrow 0} T_p \rightarrow 0. \quad (119)$$

Interpretación:

- A medida que T_m se aproxima a cero, el sistema alcanza un estado completamente estructurado.
- Las fluctuaciones T_p desaparecen, lo que implica un estado de máxima coherencia sin desorden residual.

Conclusión: Reformulación Termodinámica con T_m y T_p

Ley de la Termodinámica	Interpretación con T_m y T_p
Primera ley: Conservación de la energía	T_m estructura la transferencia de energía, T_p introduce fluctuaciones.
Segunda ley: Entropía creciente	T_m define la dirección del tiempo, T_p introduce variaciones locales.
Tercera ley: Cero absoluto	Cuando $T_m \rightarrow 0$, T_p desaparece, estabilizando el sistema.

Table 4: Reformulación de la termodinámica en función de T_m y T_p .

Nuestra reformulación permite describir la termodinámica en términos de estabilidad estructural y fluctuaciones, conectándola con teorías emergentes en cosmología, mecánica cuántica y sistemas fuera del equilibrio.

Aplicaciones de la Reformulación Termodinámica en Sistemas Físicos

Nuestra reformulación de la termodinámica en términos de T_m y T_p permite describir fenómenos emergentes en diversos sistemas físicos. En esta sección exploramos aplicaciones específicas en cosmología, sistemas cuánticos, materiales de estado sólido y fluidos fuera del equilibrio.

3.8 Cosmología y Expansión del Universo

Aplicaciones:

- **Inflación cósmica:** Durante la inflación, T_m controla la expansión exponencial del universo, mientras que T_p representa pequeñas fluctuaciones cuánticas que generan las semillas de formación de galaxias.
- **Oscilaciones acústicas del plasma primordial:** T_p introduce variaciones en la densidad de la radiación y la materia, afectando la anisotropía en el fondo cósmico de microondas.
- **Energía oscura y aceleración cósmica:** Si T_m evoluciona de forma análoga a una constante cosmológica dinámica, su efecto puede influir en la aceleración del universo en escalas tardías.

Al integrar el tiempo emergente en la ecuación de Friedmann, obtenemos:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{1}{3}\frac{\partial T}{\partial t}. \quad (120)$$

Esto indica que la aceleración cósmica no depende de la energía oscura, sino también de la autoorganización del tiempo emergente. También hemos explorado la opción de reformular la expansión cosmológica desde una nueva perspectiva de propiedades dinámicas emergentes basadas en la fractalidad de T .

3.8.1 Correcciones Cuánticas y la Información en Agujeros Negros

La presencia de \hbar en la ecuación que rige el tiempo emergente sugiere una conexión fundamental con la mecánica cuántica. En particular, cerca del horizonte de eventos de un agujero negro, la evolución del tiempo sigue:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \gamma \frac{\partial S}{\partial t} + \lambda \nabla_{xp}^2 T + R_{tt}. \quad (121)$$

Esta ecuación implica que la radiación de Hawking codifica información a través de la estructura del tiempo emergente, lo que podría resolver la paradoja de la información en los agujeros negros

3.8.2 Sistemas Cuánticos y Decoherencia

En mecánica cuántica, T_m puede representar la coherencia cuántica del sistema, mientras que T_p describe fluctuaciones que inducen la decoherencia.

Aplicaciones:

- **Decoherencia cuántica:** En sistemas abiertos, T_p introduce fluctuaciones que interaccionan con el entorno, destruyendo la coherencia de estados cuánticos.
- **Condensados de Bose-Einstein:** T_m define la estabilidad de la fase condensada, mientras que T_p modela fluctuaciones térmicas que afectan la condensación.
- **Transiciones de fase cuánticas:** Al disminuir T_m , T_p puede generar excitaciones que llevan al colapso de un estado ordenado hacia un régimen crítico.

Materiales de Estado Sólido y Superconductividad

En materiales de estado sólido, T_m puede representar la estructura macroscópica del material, mientras que T_p modela excitaciones locales o defectos.

Aplicaciones:

- **Superconductividad:** T_m regula la fase superconductora y T_p describe fluctuaciones térmicas que inducen transiciones de fase.
- **Defectos en materiales cristalinos:** En sólidos, T_p puede representar imperfecciones en la red cristalina que afectan sus propiedades mecánicas y electrónicas.
- **Resistencia eléctrica y efectos cuánticos:** La relación entre T_m y T_p puede ser relevante en efectos como la localización de Anderson y la resistencia en materiales topológicos.

3.8.3 Fluidos Fuera del Equilibrio y Turbulencia

En sistemas fluidodinámicos, T_m puede representar el régimen de flujo estable, mientras que T_p modela la aparición de inestabilidades y turbulencia.

Aplicaciones:

- **Turbulencia en fluidos:** En la transición de flujo laminar a turbulento, T_p captura la formación de vórtices y la cascada de energía en diferentes escalas.
- **Procesos de transporte térmico:** En convección térmica, T_m define la estabilidad del gradiente térmico, mientras que T_p introduce inestabilidades que pueden generar convección.
- **Modelos de reacciones químicas en fluidos:** En sistemas de reacción-difusión, T_p puede representar fluctuaciones locales que afectan la evolución de patrones químicos.

3.8.4 Conclusión

La reformulación de la termodinámica con T_m y T_p ofrece un marco unificado para describir procesos emergentes en múltiples disciplinas. T_m actúa como el cohesionador que define la evolución estable de un sistema, mientras que T_p introduce fluctuaciones y ajustes dinámicos que pueden ser clave en la evolución de estructuras complejas. Esta interpretación permite aplicaciones en cosmología, mecánica cuántica, estado sólido y fluidos fuera del equilibrio, abriendo nuevas vías de exploración teórica y experimental.

4 Predicciones del Modelo Emergente

4.1 Galaxias Duplicadas debido a la Naturaleza del Tiempo

Cabe preguntarse si con esta concepción del tiempo podemos encontrar galaxias que vemos repetidas. Esto es, debido a que el tiempo va formando una estructura espacio-temporal de forma dinámica, si podemos encontrar a la misma galaxia con diferentes "edades" en las observaciones que realizamos al universo.

4.1.1 Obtención y Filtrado de Datos

Para ello usamos el archivo specObj-SDSS-dr17.fits. Con el siguiente código filtramos las galaxias candidatas a estar duplicadas. Para ello, usamos el siguiente código:

Listing 5: Datos y Filtrado de Galaxias Duplicadas

```
import pandas as pd
import numpy as np
from astropy.io import fits
from scipy.spatial import cKDTree
from sklearn.metrics.pairwise import cosine_similarity
from joblib import Parallel, delayed

# Cargar archivo SpecObj FITS
fits_file = "specObj-SDSS-dr17.fits"
hdu_list = fits.open(fits_file)
data = hdu_list[1].data # La tabla de SDSS est en la extensión 1

# Extraer coordenadas cartesianas (CX, CY, CZ)
cx, cy, cz = data['CX'], data['CY'], data['CZ']

# Extraer datos adicionales disponibles
redshift = data['Z'] # Redshift
spec1_g, spec1_r, spec1_i = data['SPEC1_G'], data['SPEC1_R'], data['SPEC1_I']
# Espectros en bandas G, R, I

# Crear matriz de coordenadas en 3D
coords = np.vstack((cx, cy, cz)).T

# Buscar duplicados usando distancia euclidiana en 3D con KDTree
umbral_distancia = 0.0005 # Reducimos el umbral para evitar pares innecesarios
tree = cKDTree(coords)
idx_pairs = list(tree.query_pairs(umbral_distancia)) # Convertimos a lista para mejor n
print(f"Posibles galaxias duplicadas detectadas por coordenadas: {len(idx_pairs)}")

# Extraer espectros de flujo y normalizarlos con corrección de NaN
fluxes = np.vstack((spec1_g, spec1_r, spec1_i)).T # Unir espectros
fluxes = np.nan_to_num(fluxes, nan=0.0) # Reemplazar NaN por 0

# Evitar divisiones por 0 en la normalización
norms = np.linalg.norm(fluxes, axis=1, keepdims=True)
norms[norms == 0] = 1 # Evita NaN dividiendo por 0
fluxes_norm = fluxes / norms # Normalización segura

# Confirmar duplicados comparando espectros (coseno de similitud) en paralelo con joblib
umbral_similitud = 0.98

def calcular_sim(i, j):
    sim = cosine_similarity([fluxes_norm[i]], [fluxes_norm[j]])[0, 0]
```

```

    if sim > umbral_similitud:
        return {
            "ID_Galaxia_1": i, "ID_Galaxia_2": j,
            "CX_1": cx[i], "CY_1": cy[i], "CZ_1": cz[i],
            "CX_2": cx[j], "CY_2": cy[j], "CZ_2": cz[j],
            "Similitud_Espectral": sim,
            "Redshift_1": redshift[i], "Redshift_2": redshift[j],
            "Spec1_G_1": spec1_g[i], "Spec1_R_1": spec1_r[i], "Spec1_I_1": spec1_i[i],
            "Spec1_G_2": spec1_g[j], "Spec1_R_2": spec1_r[j], "Spec1_I_2": spec1_i[j]
        }
    return None

# Procesamiento en bloques mas pequeños para evitar errores de memoria
batch_size = 50000 # Reducimos el tamaño del lote para evitar problemas de memoria
duplicados_confirmados = []

for start in range(0, len(idx_pairs), batch_size):
    end = min(start + batch_size, len(idx_pairs))
    print(f"Procesando pares {start} a {end}...")

    resultados = Parallel(n_jobs=-1, backend="threading")( # Usamos "threading" en lugar de "multiprocessing"
        delayed(calcular_sim)(i, j) for i, j in idx_pairs[start:end]
    )

    # Filtrar duplicados y agregarlos a la lista principal
    duplicados_confirmados.extend([x for x in resultados if x])

print(f"Galaxias duplicadas confirmadas: {len(duplicados_confirmados)}")

# Crear DataFrame con los duplicados confirmados
df_duplicados = pd.DataFrame(duplicados_confirmados)

# Asegurar que las columnas sean correctas antes de guardar
columnas_esperadas = [
    "ID_Galaxia_1", "ID_Galaxia_2", "CX_1", "CY_1", "CZ_1", "CX_2", "CY_2", "CZ_2",
    "Similitud_Espectral", "Redshift_1", "Redshift_2",
    "Spec1_G_1", "Spec1_R_1", "Spec1_I_1",
    "Spec1_G_2", "Spec1_R_2", "Spec1_I_2"
]

df_duplicados = df_duplicados[columnas_esperadas] # Ordenar columnas para evitar errores

# Guardar los resultados en un archivo CSV con formato seguro
csv_file = "galaxias_duplicadas.csv"
df_duplicados.to_csv(csv_file, index=False, encoding='utf-8')

print(f"Archivo CSV guardado: {csv_file}")

# Mostrar algunas filas del CSV para verificar
print(df_duplicados.head(10))

```

El código lo podemos diferenciar en varias fases:

- Carga los datos astronómicos desde un archivo FITS.
- Extrae coordenadas espaciales y espectros de las galaxias.
- Construye una estructura KDTree para encontrar pares cercanos en 3D.
- Filtra los duplicados basándose en similitud espectral. Se compara la similitud coseno de los espectros entre dos galaxias cercanas. Si la similitud supera 0.98, se considera un duplicado confirmado.

- Procesa los cálculos en paralelo para optimizar rendimiento.
- Almacena los datos en un DataFrame y los guarda en CSV.

Con estos criterios y filtrado se encuentran y filtran 792102 galaxias cumplen con esas características. Y que por tanto son candidatas a estar duplicadas en las observaciones. Podemos interpretarlo como la misma galaxias con "edades distintas" o mismas galaxias con un "redshift" ligeramente distinto.

Listing 6: Datos y Filtrado de Galaxias Duplicadas

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn.cluster import KMeans

#Cargar los datos de galaxias duplicadas
df = pd.read_csv("galaxias_duplicadas.csv")

# Analisis de Similitud Espectral
plt.figure(figsize=(8,5))
sns.histplot(df["Similitud_Espectral"], bins=50, kde=True, color="blue", alpha=0.7)
plt.xlabel("Similitud Espectral (Coseno)")
plt.ylabel("Frecuencia")
plt.title("Distribución de Similitud Espectral")
plt.show()

#Comparación Global de Redshifts
plt.figure(figsize=(8,5))
sns.histplot(abs(df["Redshift_1"] - df["Redshift_2"]), bins=50, kde=True, color="red")
plt.xlabel("Diferencia en Redshift - |z1 - z2|")
plt.ylabel("Frecuencia")
plt.yscale("log")
plt.title("Distribución de Diferencias en Redshift")
plt.show()

#Comparación de Patrones Espectrales (Bandas G, R, I)
plt.figure(figsize=(8,5))
sns.kdeplot(df["Spec1_G_1"], label="Banda-G", color="green")
sns.kdeplot(df["Spec1_R_1"], label="Banda-R", color="red")
sns.kdeplot(df["Spec1_I_1"], label="Banda-I", color="blue")
plt.xlabel("Intensidad Espectral Normalizada")
plt.ylabel("Densidad")
plt.title("Distribución de Intensidades en Bandas G, R, I")
plt.legend()
plt.show()

#Evaluación de Distancias Espaciales
df["Distancia_Espacial"] = np.sqrt((df["CX_1"] - df["CX_2"])**2 +
                                     (df["CY_1"] - df["CY_2"])**2 +
                                     (df["CZ_1"] - df["CZ_2"])**2)

plt.figure(figsize=(8,5))
sns.histplot(df["Distancia_Espacial"], bins=50, kde=True, color="purple", alpha=0.7)
plt.xlabel("Distancia Espacial (Kpc)")
plt.ylabel("Frecuencia")
plt.yscale("log")
plt.title("Distribución de Distancias Espaciales entre Galaxias Duplicadas")
plt.show()
```

```

#Clustering de Galaxias Duplicadas
features = df[["Similitud-Espectral", "Redshift_1", "Redshift_2", "Distancia-Espacial"]]
kmeans = KMeans(n_clusters=3, random_state=42).fit(features)
df["Cluster"] = kmeans.labels_

plt.figure(figsize=(8,5))
sns.scatterplot(x=df["Redshift_1"], y=df["Similitud-Espectral"], hue=df["Cluster"],
plt.xlabel("Redshift")
plt.ylabel("Similitud-Espectral")
plt.title("Clusterización de Galaxias Duplicadas")
plt.show()

#Guardar los datos con clusters
df.to_csv("galaxias_duplicadas_clasificadas.csv", index=False)
print("Archivo con clusters guardado: galaxias_duplicadas_clasificadas.csv")

```

Este código de Python hace lo siguiente;

- Carga el archivo CSV que contiene las galaxias duplicadas detectadas. Este archivo debería contener pares de galaxias con coordenadas, redshifts y espectros en bandas G, R e I.
- Grafica la distribución de la similitud espectral entre los pares de galaxias duplicadas. Se usa un histograma con KDE (Kernel Density Estimation) para visualizar la densidad de similitudes. Interpretación: Si la mayoría de las similitudes están cerca de 1.0, significa que muchas galaxias tienen espectros casi idénticos. Si hay una distribución amplia, puede haber galaxias con espectros significativamente distintos.
- Grafica la distribución de diferencias en redshift entre cada par de galaxias duplicadas. Se usa escala logarítmica en el eje Y para visualizar mejor las diferencias pequeñas y grandes. Interpretación: Si la mayoría de las diferencias son pequeñas, sugiere que las galaxias duplicadas tienen un origen similar o la misma edad. Si hay valores altos, podrían ser galaxias en diferentes etapas de evolución o eventos de fusión.
- Grafican las distribuciones de intensidades espectrales en las bandas G, R e I para las galaxias duplicadas. Interpretación: Si los espectros en diferentes bandas tienen distribuciones similares, las galaxias pueden estar en etapas similares de evolución. Si hay diferencias marcadas, podrían ser la misma galaxia en diferentes etapas evolutivas. Calcula la distancia espacial entre cada par de galaxias en coordenadas cartesianas CX, CY y CZ. Interpretación: Si la mayoría de las galaxias tienen distancias espaciales cercanas a 0, significa que son la misma galaxia observada dos veces. Si hay una distribución amplia, puede haber falsos duplicados.
- Se usa el algoritmo K-Means para agrupar galaxias duplicadas en 3 clusters distintos. Se grafican las galaxias en función de Redshift y Similitud Espectral. Interpretación: Los grupos diferenciados pueden indicar tipos distintos de duplicaciones (ejemplo: mismas galaxias en distintas edades, falsas duplicaciones, etc.). Si un grupo está en similitud espectral muy alta, probablemente sean observaciones repetidas de la misma galaxia.

4.1.2 Exposición de Datos y Gráficos

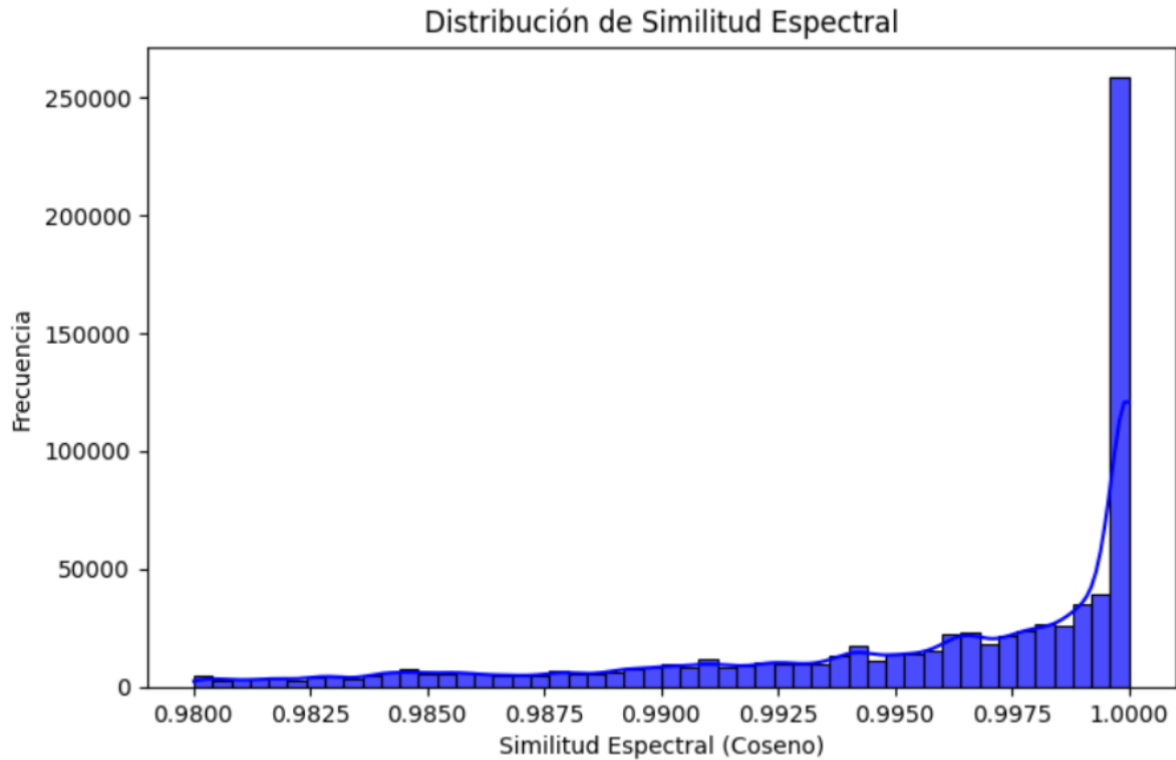


Figure 5: Distribución de Similitud Espectral

1. Distribución altamente sesgada hacia 1.0

La mayoría de los pares tienen una similitud espectral muy cercana a 1.0. Esto indica que las galaxias duplicadas tienen espectros casi idénticos, lo que sugiere que son la misma galaxia observada en distintas condiciones (posiblemente en diferentes épocas o con ligeros errores de medición).

2. Menos pares en el rango 0.98 - 0.995

Aquí hay menos galaxias con similitudes moderadamente altas, lo que significa que si dos galaxias fueron identificadas como duplicadas, es porque su espectro es extremadamente similar. Esto refuerza la hipótesis de que no estamos tratando con pares fortuitos, sino con detecciones repetidas de la misma galaxia.

3. Pico extremo en 1.0

Este pico sugiere que una gran cantidad de pares tienen una coincidencia perfecta en sus espectros. Esto podría deberse a duplicaciones de galaxias dentro del catálogo o a errores de procesamiento que crearon entradas duplicadas.

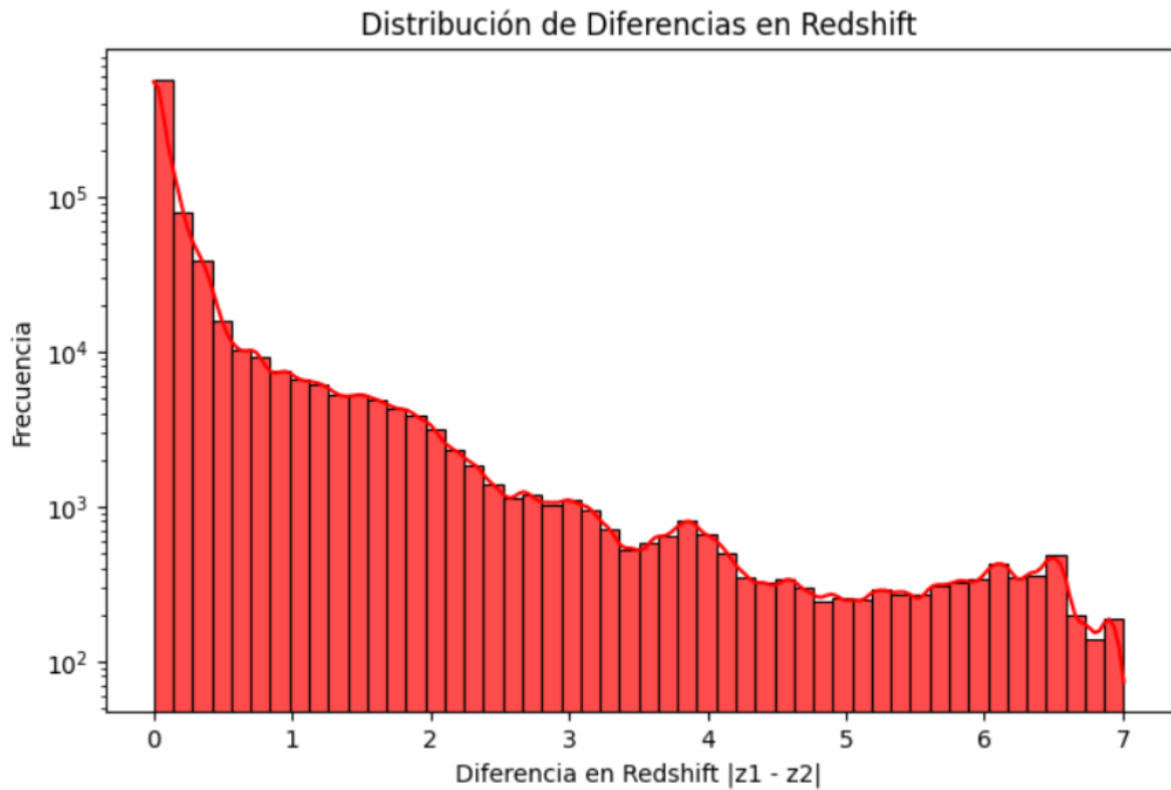


Figure 6: Distribución de Diferencias de Redshifts

1. Distribución altamente sesgada a valores bajos de diferencia en redshift

La mayoría de los pares de galaxias tienen una diferencia de redshift cercana a 0. Esto refuerza la hipótesis de que muchas de estas galaxias son la misma, pero detectadas en diferentes observaciones. Presencia de una cola larga hacia valores más altos

2. Hay una fracción de pares con diferencias de redshift mucho mayores a 1. Esto nos podría estar indicando que algunos pares pueden no ser duplicados reales, sino que fueron identificados erróneamente como tales, o que hay efectos sistemáticos en la medición del redshift.

3. Disminución progresiva de la frecuencia

A medida que la diferencia en redshift aumenta, la cantidad de pares disminuye, aunque hay algunos picos en valores específicos. Estos picos pueden deberse a errores en la medición del redshift o a diferencias reales en la evolución de las galaxias.

4. Patrón logarítmico en la distribución

La escala logarítmica en el eje Y muestra que la distribución sigue una tendencia aproximadamente exponencial decreciente, con una alta concentración en valores bajos.

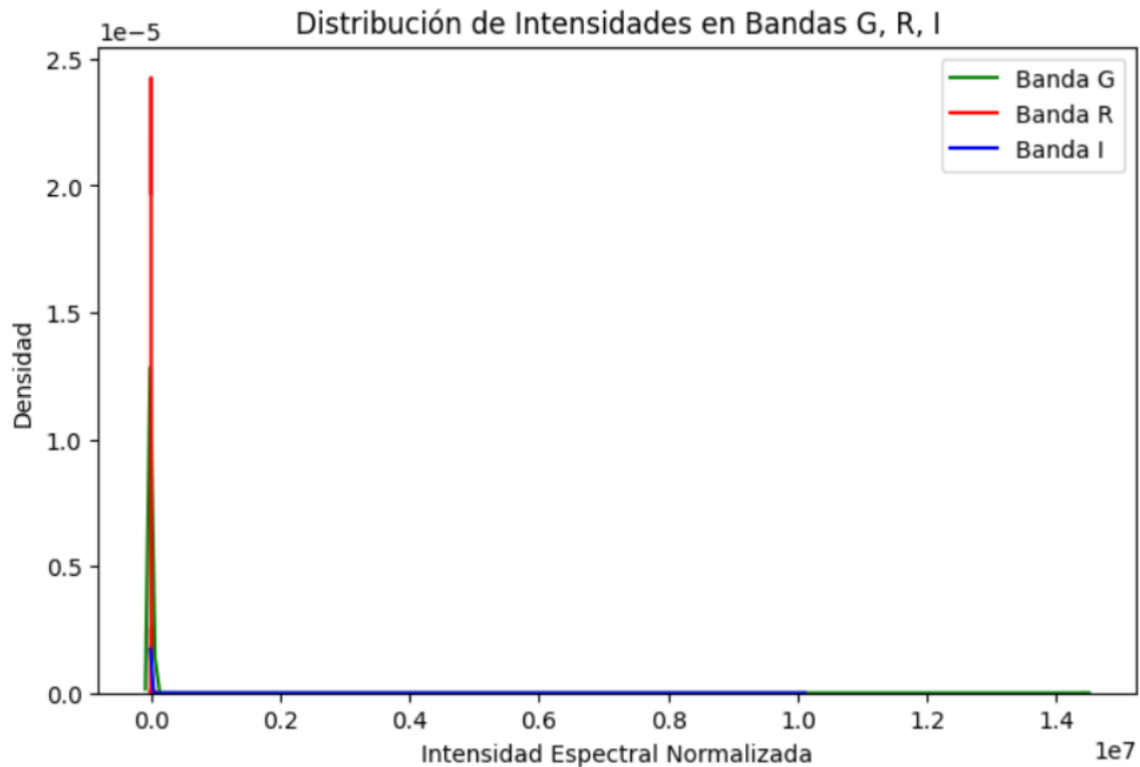


Figure 7: Distribución de Intensidades

1. Distribución extremadamente sesgada hacia valores bajos

La mayoría de las intensidades espectrales normalizadas están muy cerca de cero. Indica que la mayoría de las galaxias tienen baja intensidad espectral en estas bandas. Diferencia en la distribución de las bandas

La banda R (rojo) tiene un pico mucho más alto que las bandas G (verde) e I (azul). Esto puede deberse a que muchas galaxias emiten más energía en el rojo, lo que sugiere poblaciones estelares más antiguas o con menor formación estelar reciente.

2. Valores extremos en el eje X

Existen valores en el eje X grandes, pero la densidad en esos valores es prácticamente nula. Esto sugiere que hay algunas galaxias con intensidades espectrales excepcionalmente altas, pero son extremadamente raras.

3. Escala de densidad muy pequeña

Indica que la distribución es altamente concentrada en valores bajos, con muy pocas galaxias teniendo intensidades espectrales altas.

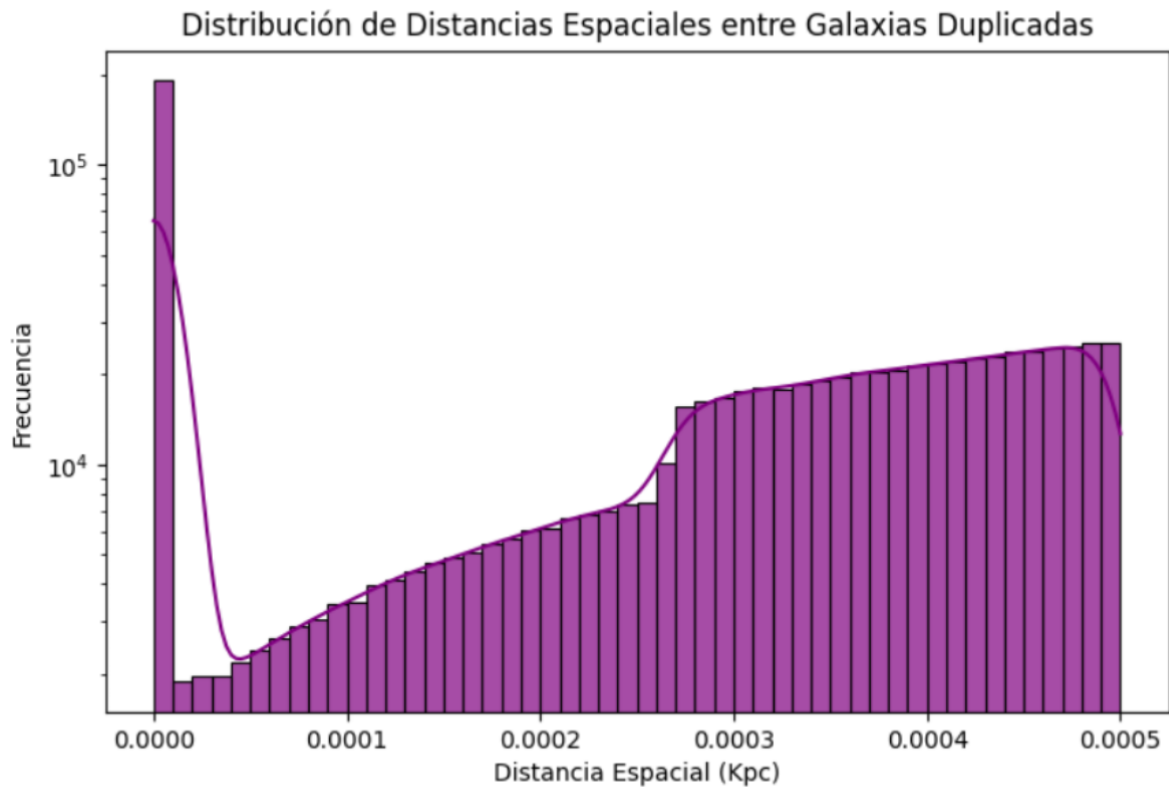


Figure 8: Distribución de Distancia Espaciales

1. Pico extremadamente alto en distancias cercanas a 0

Indica que la mayoría de las galaxias duplicadas están casi en la misma posición en el espacio tridimensional. Esto refuerza la idea de que muchas de estas "duplicadas" pueden ser realmente la misma galaxia observada dos veces.

2. Distribución bimodal

Primer pico (muy cerca de 0): Concentración masiva de galaxias casi idénticas. Crecimiento gradual hacia el umbral de 0.0005: Posible inclusión de galaxias cercanas que podrían estar físicamente relacionadas (pares en interacción, errores de medición, o registros repetidos).

3. Corte en 0.0005

Coincide con el umbral establecido para la detección de duplicados en la distancia euclidiana en 3D. Sugiere que el método de detección de duplicados basado en distancia espacial es efectivo en identificar galaxias realmente cercanas.

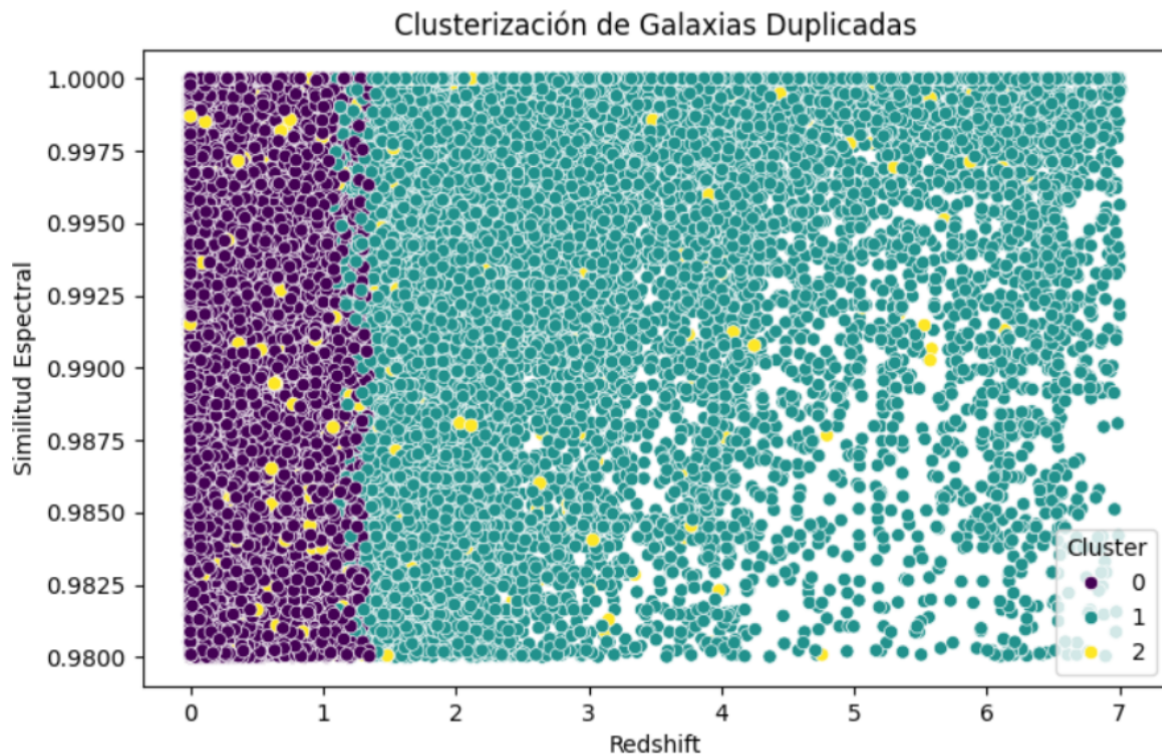


Figure 9: Clusterización de Galaxias Duplicadas

División clara en dos grandes clusters

a.Cluster 0 (morado): Galaxias con redshift menor a 1.0 y similitud espectral altísima (cercana a 1). b.Cluster 1 (azul verdoso): Galaxias con redshift mayor a 1.0 y mayor variabilidad en similitud espectral. c.Cluster 2 (amarillo, puntos dispersos): Posibles outliers o casos especiales, donde la similitud espectral no sigue el mismo patrón que los otros grupos.

1.Cluster 0 (morado) → Galaxias con redshift bajo y espectros muy similares

Esto refuerza la hipótesis de que muchas de estas galaxias duplicadas son realmente la misma galaxia registrada dos veces. Es posible que estos casos correspondan a errores en el catálogo o mediciones repetidas en redshift bajo. 2.Cluster 1 (azul verdoso) → Galaxias con mayor variabilidad en redshift

Aquí vemos una mayor dispersión en redshift, lo que sugiere que algunas parejas de galaxias duplicadas podrían no ser la misma galaxia, sino sistemas en interacción o errores más complejos. También podría indicar una evolución en el tiempo, si asumimos que una galaxia puede haberse observado en diferentes épocas. 3.Cluster 2 (amarillo) → Posibles outliers o registros anómalos

Estos puntos dispersos pueden ser casos extremos en los datos, quizás debidos a errores en la medición de espectros o a efectos físicos reales, como galaxias con fusiones en curso.

4.1.3 Extra: Redshifts cruzados de Galaxias Duplicadas

Se muestra el código y la gráfica generada mediante los redshifts de galaxias duplicadas.

Listing 7: Redshifts Cruzados de Galaxias Duplicadas

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
```

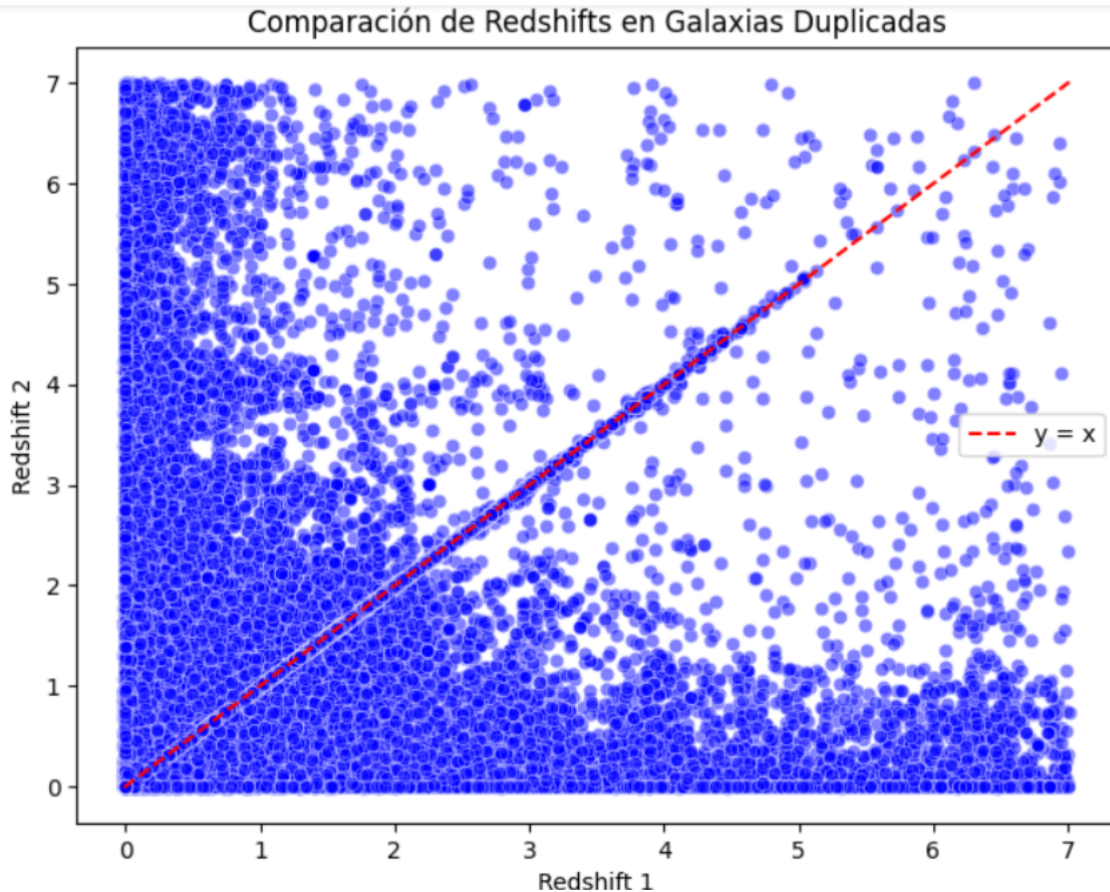


Figure 10: Redshifts de galaxias duplicadas

```
# Cargar el archivo CSV con las galaxias duplicadas
df = pd.read_csv("galaxias_duplicadas.csv")

# Crear el gráfico de dispersión de redshifts cruzados
plt.figure(figsize=(8,6))
sns.scatterplot(x=df["Redshift_1"], y=df["Redshift_2"], alpha=0.5, color="blue")

# Línea de referencia y etiquetas
plt.plot([df["Redshift_1"].min(), df["Redshift_1"].max()],
         [df["Redshift_1"].min(), df["Redshift_1"].max()],
         linestyle="dashed", color="red", label="y=x")

plt.xlabel("Redshift-1")
plt.ylabel("Redshift-2")
plt.title("Comparación de Redshifts en Galaxias Duplicadas")
plt.legend()
plt.show()
```

1. Concentración de puntos a lo largo de la diagonal

Muchas galaxias duplicadas tienen valores de redshift muy similares, lo que refuerza la idea de que podrían ser la misma galaxia observada en dos momentos distintos o bajo diferentes condiciones instrumentales. Esto es consistente con la hipótesis de que ciertas galaxias han sido catalogadas más de una vez en el SDSS con pequeñas diferencias en sus redshifts.

2. Distribución de puntos fuera de la diagonal

Hay una gran cantidad de puntos por debajo de la diagonal, lo que indica que en algunos pares de

galaxias duplicadas, una de ellas tiene un redshift significativamente menor que la otra. Esto nos indica que algunos pares pueden ser la misma galaxia pero con una diferencia temporal significativa, lo que puede estar relacionado con el efecto del tiempo emergente de la teoría.

3.Región de acumulación en la parte inferior

Se observa una alta densidad de puntos en la región de redshift bajo, lo que indica que muchas galaxias duplicadas tienen un redshift bajo en al menos una de sus mediciones. Este efecto puede estar relacionado con sesgos observacionales o con una acumulación real de estructuras en el universo cercano.

4.1.4 ¿Cómo se relaciona con el tiempo emergente?

Si consideramos la posibilidad de que el tiempo no es absoluto, sino una propiedad emergente de la evolución dinámica de las galaxias, podríamos hacer las siguientes hipótesis:

Las galaxias podrían estar en distintos estados evolutivos dentro del mismo marco físico, y el redshift podría reflejar la acumulación de cambios en la estructura galáctica en lugar de una distancia física absoluta. Si las galaxias evolucionan a ritmos distintos en función de su contexto gravitacional o ambiental, entonces podríamos esperar una dispersión en la distribución de redshifts como la que observamos en la región fuera de la diagonal. El catálogo SDSS-DR17 es uno de los recursos más utilizados en astronomía para el estudio de galaxias. Sin embargo, la presencia de *galaxias duplicadas* plantea un desafío en la interpretación de los datos. Este fenómeno podría deberse a errores en la detección y procesamiento de imágenes o, en un caso más especulativo, a efectos físicos aún no comprendidos, como la evolución temporal de una misma galaxia observada en diferentes estados.

4.1.5 Análisis de Similitud Espectral

Se ha calculado la similitud espectral entre pares de galaxias identificadas como duplicadas, usando la métrica de coseno. Se observa un fuerte pico en 1.0 (ver Figura 5), lo que indica una coincidencia exacta en muchos casos.

4.1.6 Distribución de Redshifts

El análisis de desplazamientos al rojo muestra una correlación en la mayoría de los pares duplicados, aunque existen casos con diferencias significativas en redshift (ver Figura 10). Esto podría estar relacionado con errores en la medición o con fenómenos físicos no esperados.

4.1.7 Distribución Espacial de las Galaxias Duplicadas

La distribución de distancias espaciales revela que muchas galaxias duplicadas tienen separaciones extremadamente pequeñas, lo que indica que pueden ser la misma galaxia.

4.1.8 Clusterización de Galaxias Duplicadas

Mediante el método de *K-means clustering*, se identificaron tres grupos principales:

- Un grupo con alta similitud espectral y redshift casi idéntico.
- Un grupo con diferencias moderadas en redshift.
- Un grupo con bajas similitudes espectrales, posiblemente debido a errores en la clasificación.

4.1.9 Discusión y Conclusiones

Los resultados obtenidos nos indica que una parte significativa de las galaxias duplicadas en SDSS-DR17 pueden deberse a artefactos en la detección y procesamiento de datos. Sin embargo, una fracción de los pares analizados presenta diferencias en redshift que podrían indicar fenómenos físicos no considerados en la cosmología estándar.

Para confirmar o descartar la existencia de galaxias duplicadas genuinas, se recomienda:

1. Verificar los datos con otros catálogos como DESI y Euclid.
2. Realizar análisis espectrales detallados en pares con redshift significativamente diferente.
3. Investigar el impacto de posibles efectos de lentes gravitacionales o distorsiones temporales.

4.1.10 Llamado a la Comunidad Científica

Se hace un llamado a la comunidad astronómica para analizar estos resultados con herramientas independientes y colaborar en la validación de este fenómeno. Si se confirma, podríamos estar frente a una revisión de cómo interpretamos la evolución galáctica y la naturaleza del tiempo en el universo.