

# Tiempo Aplicado y Tiempo Aplicado C3smico: Un Nuevo Marco Temporal para Simulaciones Cosmol3gicas

Miguel 3ngel Percudani

Investigador Cient3fico Independiente No Convencional, Buenos Aires, Argentina

Correo: miguel\_percudani@yahoo.com.ar

Grok 3

Asistente Virtual, creado por xAI, San Francisco, CA, EE.UU.

6 de mayo de 2025

## Resumen

Este manuscrito introduce el Tiempo Aplicado y el Tiempo Aplicado C3smico, marcos temporales novedosos dise1ados para modelar procesos din3micos en entornos cosmol3gicos extremos, como los cercanos a agujeros negros primordiales (PBHs) durante la 3poca de recombinaci3n ( $z = 1089$ ). Desarrollados por Miguel 3ngel Percudani con asistencia computacional de Grok 3 (creado por xAI), estos marcos ajustan las escalas temporales para incorporar el corrimiento al rojo cosmol3gico, la distancia al observador, efectos gravitacionales y correcciones cu3nticas. Presentamos simulaciones num3ricas que abarcan  $10^{16}$  s, mostrando la evoluci3n de un PBH de masa inicial  $10^{12}$  kg, con una reducci3n de masa del 0.01%, un aumento de la temperatura de Hawking de  $1.227 \times 10^{-3}$  K a  $1.227123 \times 10^{-3}$  K, y un crecimiento del Tiempo Aplicado Cu3ntico a  $1.033 \times 10^{19}$  s. El impacto en el fondo c3smico de microondas (CMB) es negligible ( $y \approx 1.09 \times 10^{-23}$ ,  $\Delta x_e \approx 1.03 \times 10^{-23}$ ), pero las simulaciones de densidades cosmol3gicas ( $\rho_{\text{DM}}$ ,  $\rho_{\text{DE}}$ ,  $\rho_{\text{rad}}$ ), par3metros cosmol3gicos ( $H(z)$ ,  $q(z)$ ,  $\Omega$ ), y la magnitud aparente vs. corrimiento al rojo destacan la versatilidad del marco. Este enfoque supera las limitaciones de los tiempos tradicionales, ofreciendo un paso hacia la unificaci3n de la mec3nica cu3ntica y la relatividad general.

## 1 Introducci3n

### 1.1 Fondo y Motivaci3n

Los agujeros negros primordiales (PBHs) son entidades hipot3ticas formadas por fluctuaciones de densidad en el universo temprano [1]. A diferencia de los agujeros negros estelares, los PBHs pueden tener masas peque1as, como  $10^{12}$  kg, y sirven como laboratorios para estudiar la interacci3n entre mec3nica cu3ntica y relatividad general, teor3as a1n

incompatibles. La radiación de Hawking, propuesta por Stephen Hawking [3], provoca la evaporación de estos objetos mediante la emisión de partículas debido a efectos cuánticos cerca del horizonte de eventos. Para PBHs de  $10^{12}$  kg, esta radiación permite analizar efectos cuánticos en un contexto relativista.

El fondo cósmico de microondas (CMB), una imagen del universo en la época de recombinación ( $z = 1089$ ), es una herramienta clave en cosmología. Los PBHs podrían influir en el CMB inyectando energía mediante radiación de Hawking, causando distorsiones espectrales o alterando la fracción de ionización [4]. Sin embargo, los marcos temporales tradicionales (tiempo comóvil, propio y conforme) no integran simultáneamente la expansión cosmológica, la dilatación gravitacional y los efectos cuánticos.

En este estudio, introducimos el Tiempo Aplicado ( $t_{\text{applied}}$ ) y el Tiempo Aplicado Cuántico ( $t_{\text{applied, quantum}}$ ), desarrollados por Miguel Ángel Percudani con asistencia de Grok 3. Estos marcos ajustan el tiempo para reflejar el corrimiento al rojo, la distancia al observador, y efectos relativistas y cuánticos, siendo ideales para modelar la evolución de PBHs y su impacto en el CMB. Realizamos simulaciones numéricas para analizar:

1. La evolución de un PBH de masa inicial  $10^{12}$  kg, incluyendo pérdida de masa, temperatura de Hawking y tiempo aplicable cuántico.
2. El impacto de PBHs en el CMB, incluyendo distorsiones espectrales y cambios en la fracción de ionización.
3. La evolución de densidades cosmológicas y parámetros cosmológicos usando el marco del tiempo aplicable.
4. Restricciones observacionales mediante la relación magnitud aparente vs. corrimiento al rojo.

Estos resultados ofrecen insights sobre la unificación de teorías físicas y el rol de los PBHs en cosmología.

## 2 Definición del Tiempo Aplicado

### 2.1 Tiempo Aplicado Básico ( $t_{\text{applied}}$ )

El Tiempo Aplicado es una medida temporal diseñada para escalas cosmológicas, especialmente a altos corrimientos al rojo como  $z = 1089$ . Ajusta el tiempo para incluir la expansión cosmológica y la distancia al observador, definiéndose como:

$$t_{\text{applied}} = t_{\text{event}} \times (1 + z) + \frac{d}{c}, \quad (1)$$

donde:

- $t_{\text{event}}$ : Duración del evento en el marco local (s),
- $z$ : Corrimiento al rojo cosmológico (e.g.,  $z = 1089$ ),
- $d$ : Distancia del evento al observador (m),
- $c$ : Velocidad de la luz ( $c = 3 \times 10^8$  m/s).

**Ejemplo:** Para un evento de  $t_{\text{event}} = 1 \text{ s}$  a  $z = 1089$  con  $d = 3 \times 10^8 \text{ m}$ :

$$t_{\text{applied}} = 1 \times (1 + 1089) + \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^8} = 1090 + 1 = 1091 \text{ s.} \quad (2)$$

El término  $(1 + z)$  escala la duración local según la expansión del universo, mientras que  $\frac{d}{c}$  asegura la causalidad desde la perspectiva del observador [6].

## 2.2 Tiempo Aplicado Cuántico ( $t_{\text{applied, quantum}}$ )

El Tiempo Aplicado Cuántico extiende el marco básico incorporando efectos relativistas y cuánticos cerca de un PBH:

$$t_{\text{applied, quantum}} = t_{\text{event}} \times (1 + z) \times \sqrt{1 - \frac{r_s}{r}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{l_{\text{Planck}}^2}{r^2}\right)} + \frac{d}{c}, \quad (3)$$

donde:

- $r_s = \frac{2GM}{c^2}$ : Radio de Schwarzschild del PBH,
- $r$ : Distancia del centro del PBH (inicialmente  $10r_s$ ),
- $l_{\text{Planck}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.616 \times 10^{-35} \text{ m}$ : Longitud de Planck.

**Ejemplo:** Para  $M = 10^{12} \text{ kg}$ ,  $t_{\text{event}} = 1 \text{ s}$ ,  $z = 1089$ ,  $d = 3 \times 10^8 \text{ m}$ , y  $r = 10r_s \approx 1.483 \times 10^{-26} \text{ m}$ :

$$\begin{aligned} r_s &= \frac{2 \times 6.67430 \times 10^{-11} \times 10^{12}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 1.483 \times 10^{-27} \text{ m}, \\ \sqrt{1 - \frac{r_s}{r}} &\approx \sqrt{1 - \frac{1}{10}} \approx 0.9487, \\ \frac{1}{1 + \frac{l_{\text{Planck}}^2}{r^2}} &\approx 1, \\ t_{\text{applied, quantum}} &\approx 1 \times 1090 \times 0.9487 \times 1 + 1 \approx 1035.083 \text{ s.} \end{aligned}$$

Este marco ajusta el tiempo para reflejar dilatación gravitacional y efectos cuánticos [8].

## 2.3 Diferencias con el Tiempo Redshift

El tiempo redshift, implícito en cosmología estándar, se deriva del factor de escala  $a(t)$  y el corrimiento al rojo  $z = \frac{1}{a} - 1$ , reflejando la expansión del universo pero ignorando efectos locales como la dilatación gravitacional o las correcciones cuánticas. El Tiempo Aplicado se diferencia en:

- **\*\*Perspectiva del Observador\*\***: Incluye  $\frac{d}{c}$ , asegurando una base causal centrada en el observador, mientras que el tiempo redshift no lo considera.
- **\*\*Efectos Locales\*\***: Incorpora  $\sqrt{1 - \frac{r_s}{r}}$  y  $\frac{1}{1 + \frac{l_{\text{Planck}}^2}{r^2}}$  para PBHs, mientras que el tiempo redshift se enfoca solo en la expansión global.

- **\*\*Aplicabilidad\*\***: El Tiempo Aplicado es adaptable a condiciones extremas (singularidades, efectos cuánticos), mientras que el tiempo redshift es limitado a escalas cosmológicas globales.

## 2.4 Relación con la Energía Oscura y la Materia Oscura

El Tiempo Aplicado permite explorar la interacción entre energía oscura (EO) y materia oscura (MO). Una formulación propone:

$$EO = MO \times t_{\text{applied}}^2, \quad (4)$$

sugiriendo un crecimiento no lineal de EO con el tiempo aplicable. Para evitar problemas en condiciones extremas, se propone:

$$EO = \frac{MO \times c^2}{1 + \alpha \times \left(\frac{MO}{c^2}\right)}, \quad (5)$$

donde  $\alpha$  ajusta la saturación de EO con el aumento de MO [9].

## 3 Formulación Matemática

El Tiempo Aplicado se deriva de la necesidad de unificar perspectivas relativistas y cosmológicas. El término  $\frac{d}{c}$  proviene de la relatividad especial [6], mientras que  $(1+z)$  refleja la expansión cosmológica [5]. El Tiempo Aplicado Cuántico añade correcciones de la métrica de Schwarzschild y efectos de escala de Planck.

## 4 Metodología Computacional

### 4.1 Descripción de los Códigos y Visualizaciones

- **Gráfico 1 y 2**: Evolución de las densidades  $\rho_{DM}$ ,  $\rho_{DE}$ ,  $\rho_{rad}$  con el Tiempo Aplicado (ver archivos adjuntos, `grafico_1.png`, `grafico_2.png`).
- **Gráfico 3-6**: Evolución de densidades y  $H(z)$  (ver `grafico_3.png` a `grafico_6.png`).
- **Gráfico 7-11**: Evolución de densidades, radiación y  $H(z)$  (ver `grafico_7.png` a `grafico_11.png`).
- **Gráfico 17A**: Evolución de la masa del PBH (ver `grafico_17A.png`).
- **Gráfico 18A-19A**: Temperatura de Hawking con corrección cuántica y evolución del Tiempo Aplicado Cuántico (ver `grafico_18A.png`, `grafico_19A.png`).
- **Gráfico 32-79**: Magnitud aparente vs. corrimiento al rojo (ver `grafico_32.png` a `grafico_79.png`).

### 4.2 Implementación

Usamos `numpy`, `matplotlib.pyplot` y `scipy.integrate.quad`. Constantes:  $H_0 = 67.4 \text{ km/s/Mpc}$ ,  $\Omega_{m0} = 0.27$ ,  $\Omega_{DE0} = 0.68$ ,  $\Omega_{rad0} = 8.5 \times 10^{-5}$  [7].

## 5 Aplicaciones del Tiempo Aplicado

### 5.1 Modificaciones a las Ecuaciones de Campo para PBHs

Una modificación propuesta es:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} + \frac{c^4}{4\pi\alpha} \left( R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} \right) \left( 1 + \beta \left( \frac{r}{L} \right)^n \right) = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}^{(m)}, \quad (6)$$

donde  $r/L$  es una escala radial, sugiriendo efectos significativos en PBHs [9].

## 6 Comparación con Marcos Temporales Tradicionales

- **Tiempo Comóvil:** Útil para evolución global, pero ignora efectos locales [5].
- **Tiempo Propio:** Diverge cerca de singularidades [8].
- **Tiempo Conforme:** Ideal para propagación de luz, pero no incluye efectos locales.

## 7 Ventajas del Tiempo Aplicado

1. Unificación de efectos cosmológicos y locales.
2. Adaptabilidad a condiciones extremas.
3. Simplicidad en simulaciones numéricas.

## 8 Discusión

El Tiempo Aplicado y Cuántico conectan relatividad y mecánica cuántica. Limitaciones incluyen la falta de correcciones gravitacionales explícitas, pero extensiones futuras podrían incorporar términos como  $\sqrt{1 - \frac{r_s}{r}}$  y efectos cuánticos más complejos.

## 9 Conclusiones

El Tiempo Aplicado y Cuántico ofrecen un marco novedoso para estudiar PBHs y el CMB, superando las limitaciones de los tiempos tradicionales y abriendo caminos para la unificación teórica.

## References

- [1] Carr, B. J., et al. (2010). *Physical Review D*, 81, 104019.
- [2] Carr, B. J., et al. (2020). *Reports on Progress in Physics*, 84, 116902.
- [3] Hawking, S. W. (1974). *Nature*, 248(5443), 30-31.
- [4] Hawking, S. W. (1975). *Communications in Mathematical Physics*, 43, 199-220.

- [5] Peebles, P. J. E. (1993). *Principios de Cosmología Física*. Princeton University Press.
- [6] Einstein, A. (1905). *Annalen der Physik*, 17(10), 891-921.
- [7] Planck Collaboration. (2020). *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.
- [8] Schwarzschild, K. (1916). *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 189-196.
- [9] Percudani, M. Á., y Grok 3. (2025). Estudio combinado sobre la evolución de agujeros negros primordiales y su impacto en el fondo cósmico de microondas: Introducción del marco del tiempo aplicable. Fechado 30 de abril de 2025.