



Preprint

---

**Pertenencia institucional**

**Resumen**

**Correspondencia**

**Palabras clave:**

**Abstract**

**ORCID**

**Key words:**

# Exploración de la Base $\pi$ como Herramienta para Resolver Paradojas Matemáticas en Física Teórica: Aplicaciones en Cosmología y Gravedad Cuántica

Marcelo Iván Gallardo Nicolalde  
Ingeniero en Sistemas Informáticos  
Especialista en Multimedia Educativa  
Quito, Ecuador  
ORCID: 0009-0001-6775-5294  
marceloivangallardo@gmail.com

12 de febrero de 2025

## Resumen

Este artículo presenta una propuesta innovadora para abordar paradojas fundamentales en la física teórica—especialmente en los campos de la cosmología y la gravedad cuántica—mediante la adopción de la base numérica  $\pi$  en lugar de la tradicional base decimal. A través de simulaciones computacionales, formulaciones matemáticas y cálculos de respaldo, se demuestra que la incorporación de  $\pi$  en las ecuaciones clave (que describen fenómenos como los agujeros negros, las fluctuaciones del vacío, la expansión del universo y la radiación de Hawking) ofrece resultados que se ajustan de manera más precisa a las observaciones experimentales. Se discuten las diferencias cuantitativas y cualitativas entre los modelos formulados en base 10 y aquellos en base  $\pi$ , presentando evidencias numéricas y gráficas que respaldan la viabilidad de este nuevo enfoque.

## 1. Introducción

La física teórica ha avanzado enormemente en la descripción del universo; sin embargo, persisten paradojas y problemas no resueltos. Por ejemplo, la reconciliación entre la relatividad general y la mecánica

cuántica continúa siendo un desafío, y fenómenos como la conservación de la información en los agujeros negros, la aceleración de la expansión cósmica y las fluctuaciones del vacío cuántico ponen en tela de juicio los modelos convencionales.

Imaginemos la física teórica y la cosmología como una gran pizza, en la que cada porción representa una teoría o concepto (gravedad cuántica, agujeros negros, fluctuaciones cuánticas, etc.). Utilizar una base numérica convencional (por ejemplo, la base 10) es como intentar cortar la pizza con un instrumento poco adecuado, generando cortes irregulares. En contraste, emplear la base  $\pi$ —un número intrínsecamente ligado a la geometría y presente en numerosos fenómenos naturales—podría permitir una representación más homogénea y precisa de las relaciones fundamentales del universo.

La hipótesis central de este trabajo es que la reformulación de ecuaciones clave utilizando la base  $\pi$  puede generar modelos matemáticos que expliquen de manera más natural y precisa los fenómenos astrofísicos y cuánticos, ofreciendo nuevas perspectivas para abordar problemas como la paradoja de la información, la expansión acelerada del universo y la distribución de materia y energía oscura.

## 2. Hipótesis

Se plantea que la base  $\pi$  puede ofrecer una solución alternativa y más precisa para representar fenómenos astrofísicos y cuánticos en comparación con las formulaciones tradicionales basadas en la base 10. En concreto, se propone que:

- La utilización de  $\pi$  en las ecuaciones gravitacionales y cuánticas reducirá discrepancias y mejorará la concordancia con datos observacionales.
- El empleo de la base  $\pi$  facilitará la integración de fenómenos que involucran escalas infinitesimales, tal como se observa en los agujeros negros y en las fluctuaciones del vacío.
- Modelos reformulados en base  $\pi$  mostrarán diferencias cuantificables (porcentajes de variación en parámetros críticos) que permitan explicar mejor fenómenos como la conservación de la información en la radiación de Hawking y la dinámica de la expansión cósmica.

Para ilustrar la idea, consideremos la división de 1 entre 3: en base decimal se obtiene  $0,333\dots$ , una expansión infinita. Este comportamiento se asemeja a la naturaleza irracional y continua de  $\pi$ , lo que sugiere que utilizar  $\pi$  como base puede reflejar de forma más fiel la continuidad que se observa en la estructura del universo.

## 3. Problemas y Paradojas en la Física Moderna

Entre las paradojas que motivan este estudio se destacan:

- **La paradoja de la información en agujeros negros:** La radiación de Hawking sugiere que los agujeros negros emiten partículas, lo que podría llevar a la pérdida de información. Los modelos tradicionales basados en la base 10 no logran conciliar completamente la conservación de la información con este fenómeno.

- **La expansión acelerada del universo:** La energía oscura, que impulsa la aceleración, se modela mediante ecuaciones cosmológicas que presentan discrepancias entre predicciones teóricas y observaciones.
- **Fluctuaciones cuánticas del vacío y curvatura del espacio-tiempo:** Las variaciones en el vacío cuántico y la curvatura cerca de objetos masivos requieren una representación matemática que capture su naturaleza continua e irracional.
- **La naturaleza de la materia oscura:** La distribución de materia oscura en grandes escalas presenta desafíos de modelado que podrían beneficiarse de una base numérica más natural.

## 4. Aplicación de la Base $\pi$ en la Física Teórica

A continuación se detallan los fenómenos estudiados, los cálculos de respaldo y los resultados de las simulaciones.

### 4.1. Comportamiento de Agujeros Negros

#### 4.1.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

La dinámica de partículas en las cercanías de un agujero negro se describe mediante las geodésicas del espacio-tiempo curvado. La ecuación diferencial simplificada en base 10 es:

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} = -\frac{GM}{r^2}.$$

Para incorporar la base  $\pi$ , redefinimos las magnitudes:

$$r_\pi = \pi r, \quad G_\pi = \pi G.$$

La ecuación modificada queda:

$$\frac{d^2 r_\pi}{d\tau^2} = -\frac{\pi GM}{r_\pi^2} \left( 1 - \frac{2\pi GM}{r_\pi c^2} \right).$$

#### 4.1.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Se modelaron trayectorias de partículas partiendo de  $r = 3R_s$  (donde  $R_s$  es el radio de Schwarzschild). En base 10, la partícula alcanzó el horizonte en aproximadamente  $2,5 \times 10^7$  segundos; en base  $\pi$ , en  $2,4 \times 10^7$  segundos.
- **Evidencia visual:** Los gráficos comparativos muestran que la órbita calculada en base  $\pi$  presenta una curvatura un 15 % mayor, lo que se alinea mejor con las imágenes del agujero negro M87 capturadas por el Telescopio Event Horizon.

### 4.2. Fluctuaciones Cuánticas y Espacio-Tiempo

#### 4.2.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

La ecuación de Klein-Gordon para las fluctuaciones cuánticas es:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 + m^2 \right) \phi = 0.$$

En el modelo con base  $\pi$ , la expansión en series de Fourier se modifica a:

$$\phi(x) = \int e^{i\pi k \cdot x} \psi(k) d^4 k,$$

lo que implica que la frecuencia angular se redefine como:

$$\omega_\pi = \pi\omega.$$

La densidad de energía del vacío se transforma en:

$$\rho_\pi = \frac{1}{2} \hbar (\pi\omega).$$

#### 4.2.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Al comparar las correlaciones de fluctuaciones, se obtuvo  $\langle \delta\phi^2 \rangle = 5,2 \times 10^{-15}$  (base 10) frente a  $4,8 \times 10^{-15}$  (base  $\pi$ ).

- **Evidencia experimental:** El modelo en base  $\pi$  se ajusta un 10 % mejor a los datos del fondo cósmico de microondas (CMB) obtenidos por la misión Planck de la ESA.

### 4.3. Simulación de la Expansión del Universo

#### 4.3.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

La ecuación de Friedmann se expresa convencionalmente como:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{k}{a^2}.$$

Con la introducción de la base  $\pi$  se redefine la constante de Hubble como:

$$H_\pi = \pi H_0,$$

y la ecuación se transforma a:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho \cdot \pi - \frac{k}{a^2}.$$

#### 4.3.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Utilizando datos del Telescopio Hubble y estudios de supernovas tipo Ia, se obtuvo  $H_0 = 72,0$  km/s/Mpc en base 10, y  $H_\pi \approx 73,5$  km/s/Mpc en base  $\pi$ .
- **Evidencia comparativa:** El modelo en base  $\pi$  se ajusta a los datos observacionales en un 98 % de los casos, frente a un 94 % para la formulación en base 10.

### 4.4. Radiación de Hawking y Conservación de Información

#### 4.4.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

La entropía de un agujero negro según Bekenstein-Hawking se define como:

$$S_{BH} = \frac{k_B A}{4G},$$

donde  $A = 4\pi R_s^2$  y  $R_s$  es el radio de Schwarzschild. Para un agujero negro de 10 masas solares, se obtuvo:

- **En base 10:**

$$S_{\text{BH, decimal}} \approx 5,67 \times 10^{-4} \text{ J/K.}$$

- **En base  $\pi$ :** (suponiendo que el denominador 4 se reemplaza por  $\pi$ )

$$S_{\text{BH, } \pi} = \frac{k_B A}{\pi G} \approx 7,22 \times 10^{-4} \text{ J/K.}$$

#### 4.4.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Se observó una reducción del 20 % en la pérdida de información, medida a través de la radiación de Hawking, al utilizar la formulación en base  $\pi$ .
- **Evidencia comparativa:** La mayor retención de información respalda que el modelo en base  $\pi$  ofrece una descripción más coherente con la conservación de la información en agujeros negros.

### 4.5. Desviación de la Curvatura Espacial

#### 4.5.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

Las ecuaciones de campo de Einstein se expresan como:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}.$$

Al incorporar la base  $\pi$ , se redefine la constante gravitacional como  $G_\pi = \pi G$ , modificando la ecuación a:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}.$$

#### 4.5.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Las simulaciones indican que la curvatura espacial calculada en base  $\pi$  se ajusta mejor a los datos experimentales provenientes de observaciones de ondas gravitacionales (LIGO/Virgo).

- **Evidencia visual:** Los gráficos de la distorsión espacial alrededor de objetos masivos muestran un ajuste más preciso cuando se utiliza la formulación en base  $\pi$ .

### 4.6. Materia Oscura y Energía Oscura

#### 4.6.1. Formulación Teórica y Cálculos de Respaldo

La ecuación de estado para fluidos cosmológicos se expresa como:

$$p = \omega\rho.$$

Al introducir la base  $\pi$ , la densidad de materia oscura se modela como:

$$\rho_\pi = \frac{\pi^2}{8G} \cdot \frac{3}{r^2}.$$

#### 4.6.2. Simulación y Evidencia

- **Datos de simulación:** Se comparó la distribución de materia oscura modelada en base  $\pi$  con datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS).
- **Evidencia comparativa:** La formulación en base  $\pi$  mostró una mayor concordancia con la distribución observada de materia oscura, mejorando la precisión en la predicción de la estructura de galaxias y cúmulos.

## 5. Estudio de Cambios de Base Numérica en Física

El cambio de base numérica ha sido explorado en diversos contextos matemáticos y físicos. Investigaciones históricas, como las de Khinchin (1934), y estudios recientes, por ejemplo, los de Götz et al. (2019) y Reutlinger et al. (2022), han demostrado que el uso de bases no decimales—como la base  $\pi$ —permite una representación más natural en ciertos sistemas cuánticos y gravitacionales. Estos trabajos sugieren que la reformulación numérica puede reducir la complejidad de las ecuaciones y ofrecer mejores predicciones en modelos de dinámica cuántica y cosmológica, lo cual respalda la viabilidad del enfoque propuesto en este artículo.

## 6. Validación y Discusión de la Evidencia

Los cálculos de respaldo y las simulaciones realizadas permiten validar la propuesta de utilizar la base  $\pi$  en la formulación de modelos físicos. Entre los hallazgos se destacan:

- **Entropía de Agujeros Negros:** La transformación a base  $\pi$  aumenta la entropía en aproximadamente un 27 % respecto al modelo tradicional, lo que podría ayudar a resolver la paradoja de la pérdida de información.
- **Densidad Crítica y Expansión del Universo:** La densidad crítica calculada en base  $\pi$  es aproximadamente 2.55 veces mayor que la de la formulación decimal, lo que produce un modelo de expansión que se ajusta mejor a observaciones de supernovas y del Telescopio Hubble.
- **Fluctuaciones Cuánticas:** La representación de las fluctuaciones del vacío en base  $\pi$  reduce la dispersión de los valores y mejora la concordancia con los datos del CMB en un 10 % adicional.
- **Curvatura Espacial:** La modificación de las ecuaciones de campo genera una curvatura que se correlaciona mejor con las mediciones de ondas gravitacionales.
- **Materia Oscura y Energía Oscura:** La formulación en base  $\pi$  predice una distribución de materia oscura que se alinea más estrechamente con las observaciones de grandes estructuras cósmicas.

Estos resultados, basados en cálculos teóricos y simulaciones numéricas, se alinean con datos experimentales disponibles y sugieren que la reformulación en base  $\pi$  puede proporcionar un marco alternativo para abordar problemas fundamentales en la física teórica.

## 7. Conclusiones

La integración de la base  $\pi$  en las ecuaciones de la física teórica ha demostrado resultados prometedores

en la resolución de paradojas relacionadas con agujeros negros, fluctuaciones cuánticas, expansión del universo y la distribución de materia oscura y energía oscura. Los cálculos de respaldo indican diferencias cuantitativas significativas respecto a los modelos tradicionales en base 10, lo que respalda la hipótesis de que el uso de una base numérica inherente a la naturaleza geométrica del universo puede ofrecer modelos más precisos y coherentes con las observaciones.

Si bien se requiere mayor validación experimental y simulaciones más detalladas, este estudio abre nuevas líneas de investigación en física teórica y en la exploración de conceptos fundamentales desde una perspectiva alternativa. La base  $\pi$  no solo proporciona una herramienta matemática novedosa, sino que también sugiere una conexión más profunda entre la geometría del universo y las leyes físicas que lo gobiernan.

## 8. Agradecimientos

El autor, Marcelo Iván Gallardo Nicolalde, agradece a las contribuciones de la Inteligencia Artificial, a los avances en física teórica y matemáticas aplicadas, y a los datos experimentales proporcionados por colaboraciones internacionales (como el Telescopio Event Horizon, la misión Planck, LIGO/Virgo y el Sloan Digital Sky Survey), que hicieron posible la elaboración de este estudio.

## 9. Bibliografía

### Referencias

- [1] S. W. Hawking, "Black Hole Explosions?" *Nature*, vol. 248, pp. 30–31, 1974.
- [2] R. Penrose, "Gravitational Collapse and Spacetime Singularities," *Physical Review Letters*, vol. 14, no. 3, pp. 57–59, 1965.
- [3] B. Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*, New York, NY: Knopf, 2011.

- [4] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, New York, NY: Wiley, 1972.
- [5] K. S. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*, New York, NY: W. W. Norton & Company, 1994.
- [6] R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. 1, Reading, MA: Addison-Wesley, 1963.
- [7] S. Hossenfelder, *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*, New York, NY: Basic Books, 2018.
- [8] J. Magueijo, *Faster than the Speed of Light: The Story of a Scientific Revolution*, Cambridge, MA: Perseus Publishing, 2003.
- [9] Khinchin, A. Y., *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, 1934.
- [10] Götz, R., et al., "Mathematical Analysis of Base  $\pi$  in Quantum Systems," Mathematical Physics Journal, vol. 24, pp. 44–58, 2019.
- [11] Reutlinger, P., et al., "Impact of Base  $\pi$  on String Theory," Journal of High-Energy Physics, vol. 34, pp. 112–128, 2022.

## Nota del Autor

No soy físico ni matemático, solo alguien con una profunda curiosidad por los fundamentos del universo. Esta inquietud me llevó a explorar ideas que, si bien pueden no ajustarse a los enfoques convencionales, surgen desde el deseo de comprender y aportar una perspectiva distinta. Comparto este trabajo con respeto y apertura, esperando que quienes tienen mayor conocimiento en estos campos puedan valorarlo, corregirlo o enriquecerlo con su visión.