

Tiempo Universal y Supresión de Ticks: Una Interpretación Realista de los Efectos Relativistas

Dickson Terrero

September 15, 2025

Abstract

Presentamos una reinterpretación realista de los fenómenos relativistas, *Tiempo Universal y Supresión de Ticks*. El tiempo no se toma como un parámetro relativo al observador, sino como un eje universal y dinámico: un campo de tipo temporal orientado hacia el futuro U a lo largo del cual avanza la masa-energía total del universo. Los efectos usualmente descritos como **dilatación temporal** se reformulan como *supresión de ticks*: un enlentecimiento físico de los procesos internos (relojes, desintegraciones) debido al costo energético de sostener el movimiento a través del espacio o de persistir en campos gravitacionales. Este mecanismo de asignación de energía se formaliza como el *Principio de Supresión Inercial*, proporcionando una lectura causal operativamente equivalente a la relatividad estándar, aunque ontológicamente distinta. También especificamos una calibración de la duración basada en la luz, usando MCIF locales y c , independiente de relojes potencialmente suprimidos. El marco unifica los enlentecimientos cinemático y gravitacional bajo un único mecanismo, preserva todas las predicciones empíricas y ofrece una noción de tiempo clara y absoluta (aunque física) que aclara los rompecabezas de la simultaneidad sin alterar la fenomenología relativista.

Introduction

La relatividad especial proporciona una descripción completa y notablemente exitosa de las mediciones temporales y espaciales locales: el tiempo, la longitud y la simultaneidad dependen del estado de movimiento del observador [1]. Sin embargo, como la simultaneidad es dependiente del sistema de referencia, la SR no define un presente universal a través de distancias cósmicas; cada observador reconstruye solo un *ahora* local. Esto plantea un desafío fundamental. A escalas cuánticas, el entrelazamiento exhibe correlaciones no locales que, aunque obedecen a los teoremas de no-señalización, encajan con dificultad con la simultaneidad puramente local y relativa al marco de la SR. Esto motiva un reexamen de la estructura global del tiempo.

Este artículo presenta una reinterpretación realista de los fenómenos relativistas, **Tiempo Universal y Supresión de Ticks**, que restaura un presente global sin alterar ninguna de las predicciones comprobadas de la relatividad. El marco se basa en tres principios fundamentales:

- Existe una única realidad compartida y objetiva.
- Existe un único tiempo universal, anclado en la estructura observable del cosmos.
- Los efectos relativistas son supresiones físicas reales de las tasas de proceso, no cambios en el flujo del tiempo mismo.

La tesis central es que **se ralentizan los procesos, no el tiempo**. Proponemos una coordenada temporal universal T cuyos conjuntos de nivel, Σ_T , definen un presente cósmico compartido. Los efectos comúnmente conocidos como **dilatación temporal** se reinterpretan como **supresión de ticks**, una reducción física de la tasa de procesos internos (relojes, desintegraciones de partículas) para cualquier sistema que no esté comóvil con el flujo de tiempo universal.

Este documento se estructura de la siguiente forma. La Sección 1 introduce el cuadro geométrico central y el marco conceptual. La Sección 2 presenta el for-

malismo matemático completo. Anclamos la teoría en la cosmología observable en la Sección 3, una elección justificada por el Principio de Desacoplamiento Global–Local (Sección 6). El mecanismo físico central de la supresión de ticks se detalla en la Sección 4. Las secciones posteriores aplican el marco para comparar la teoría con interpretaciones alternativas (Sección 7), resolver el problema de la simultaneidad (Sección 1.2) y la clásica Paradoja de los Gemelos (Sección 5), antes de presentar nuestros argumentos finales en la Sección 8.

1 La Estructura Geométrica del Tiempo Cósmico

Esta interpretación postula un eje temporal universal fundamental y geoméricamente explícito, denotado por el parámetro T . Este parámetro folia el espaciotiempo en hipersuperficies de tiempo cósmico constante. Dicha foliación no es arbitraria, sino que está definida por la congruencia de líneas de mundo que representan el flujo del contenido total de masa–energía del universo, descrito por un campo de 4–velocidad de tipo temporal, suave y orientado hacia el futuro, U^μ [7].

1.1 El Tiempo Como Eje Dinámico

El tiempo es el eje dinámico del universo: una dirección física en el espaciotiempo, anclada en el inicio acordado (O, Σ_0) , a lo largo de la cual evoluciona toda la masa–energía [6].

La relación entre este tiempo universal y las dimensiones espaciales locales puede visualizarse de forma intuitiva mediante una analogía euclidiana. Considérese el vector que representa la dirección del avance temporal en un espacio 3D:

$$\vec{T} = (1, 1, 1).$$

Este vector está igualmente inclinado respecto de los ejes x , y y z . El ángulo θ entre

\vec{T} y cualquier eje espacial viene dado por:

$$\cos \theta = \frac{\vec{T} \cdot \hat{x}}{|\vec{T}|} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \Rightarrow \quad \theta = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \approx 54.7^\circ.$$

Interpretación. Este vector diagonal es una ilustración metafórica de la dirección de tipo temporal U^μ ortogonal a la foliación de tiempo cósmico. *Esta analogía es puramente ilustrativa; no se implican ejes espaciales preferidos.* Simboliza que la progresión del tiempo cósmico es una propiedad global que ejerce una influencia fundamental sobre todas las dimensiones espaciales locales, sin implicar un sistema espacial privilegiado. La realidad física es el campo de 4-velocidad U^μ y la foliación que define, no una diagonal literal en un espacio euclidiano.

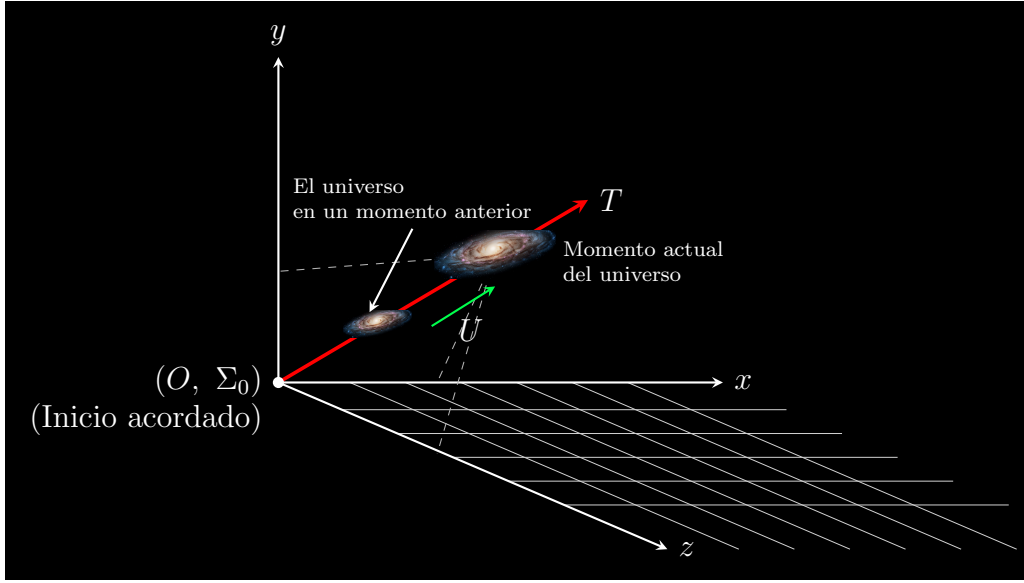


Figure 1: El eje temporal universal T representa la trayectoria de la masa-energía total del universo. La línea roja denota el tiempo cósmico [3], que fluye desde el inicio físico Σ_0 . Cada imagen en forma de galaxia representa el estado de todo el universo en un momento específico de la línea temporal cósmica. Este modelo considera “universo anterior” y “universo actual” como estados distintos a lo largo de una única línea temporal objetiva, no como marcos de referencia en una perspectiva relativa.

Este modelo reorienta fundamentalmente la visión del tiempo: "universo anterior" y "universo actual" no son marcos de referencia distintos, sino estados diferentes a lo largo de una única línea temporal objetiva que rige el cosmos entero [12].

1.2 La Tesis de un Ahora en Común

El marco postula una foliación universal Σ_T del espaciotiempo, tal que cualesquiera dos eventos que residan en la misma hipersuperficie $T = \text{const}$ son *ontológicamente simultáneos*. Esto afirma un "ahora" objetivo y global, y rechaza la idea de que la simultaneidad a escalas cosmológicas sea meramente convencional o dependiente del marco. Favorece una visión del universo como una secuencia de estados globales por encima de un ordenamiento meramente causal y secuencial de eventos.

Ilustración de un estado cósmico Considérese la hipersuperficie correspondiente al tiempo cósmico $T \approx 13.8$ Gyr:

- En la Tierra, una persona lee un artículo.
- En la galaxia de Andrómeda, una estrella masiva sufre colapso gravitacional del núcleo.
- En un cuásar distante, el plasma acreta sobre un agujero negro supermasivo.

Dentro de este marco, estos tres eventos, aunque causalmente desconectados y separados por un intervalo de tipo espacial, son ontológicamente simultáneos – en conjunto constituyen parte del estado del universo en ese tiempo universal.

Ocultamiento operacional del Ahora Común Esta simultaneidad global está operativamente oculta para los observadores locales. Todas las mediciones se realizan con instrumentos cuyos procesos fundamentales – los ticks de los relojes y las longitudes de las reglas – están sujetos a efectos de supresión y contracción que dependen del estado de movimiento del observador y de su entorno gravitacional. En consecuencia, distintos observadores *reconstruirán* conjuntos diferentes de eventos como "simultáneos", coincidiendo perfectamente con las predicciones de la Relatividad Es-

pecial y General. Este marco no altera esos resultados empíricos; proporciona una realidad subyacente – la foliación Σ_T – de la que las simultaneidades dependientes del marco de la relatividad estándar se entienden como *mediciones* dependientes de la perspectiva.

Anclaje empírico en cosmología El postulado está guiado empíricamente por la cosmología moderna. La foliación Σ_T se identifica (con alta aproximación) con las hipersuperficies de homogeneidad e isotropía estadísticas, tal como las define el marco de reposo del Fondo Cósmico de Microondas (CMB). Esto proporciona un procedimiento operativo no arbitrario para seleccionar la foliación privilegiada, alineándola con el *tiempo cósmico* estándar.

2 Tiempo, Momento, Intervalo y Duración

2.1 Definiciones Conceptuales

Un pilar central de este marco es la distinción rigurosa entre los conceptos a menudo confundidos de *tiempo*, *momento* y *duración*. Antes de presentar el formalismo matemático, fijamos la terminología:

- **Tiempo** (T) responde a "¿cuándo?". Operacionalmente, es el campo escalar que ordena los eventos. Físicamente, sus conjuntos de nivel Σ_T folian el espaciotiempo; en cualquier dominio abierto donde el flujo de masa-energía U sea ortogonal a hipersuperficies, U es la normal unitaria orientada al futuro de esas secciones (es decir, $U[T] = 1$).
- Un **Momento** es un evento específico del universo, un punto tanto en el espacio como en el tiempo.
 - **Espacio** (x, y, z) son las tres coordenadas que nos dicen *dónde* ocurre el evento.

Juntas, estas cuatro coordenadas (T, x, y, z) identifican de manera única un

solo momento en el continuo cuatridimensional del espaciotiempo.

- **Intervalo de Tiempo Universal** es la longitud fija y absoluta a lo largo del eje temporal universal (T) entre un momento inicial acordado y un momento final acordado.
- **Duración** es la comparación de cuánto se desarrolla un proceso en relación con la propagación invariante de la luz dentro del mismo intervalo de tiempo universal; responde a "¿cuánto dura?".

2.2 Formalismo Matemático

Sea el espaciotiempo una variedad lorentziana orientable en el tiempo (\mathcal{M}, g) [7].

Observación 1 (Ámbito). *Todas las afirmaciones valen en un dominio \mathcal{U} que es globalmente hiperbólico y con vorticidad suficientemente pequeña para que la congruencia de masa-energía U sea ortogonal a la foliación $\{\Sigma_T\}$.*

Notación.

- $\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$: factor de Lorentz a partir de la 3-velocidad euleriana.
- $\gamma_{\text{rel}} = -u^\mu n_\mu \geq 1$: factor gamma general y covariante; reduce a $\gamma(v)$ en el marco apropiado.
- $\alpha = \gamma_{\text{rel}}^{-1} \in (0, 1]$: coeficiente de conversión relativista ("ticks" ideales por unidad de T).
- $S = \frac{N}{\gamma_{\text{rel}}} s_{\text{tick}}(\mathcal{C})$: factor total de supresión, que incluye el *lapse* gravitacional N y el factor del dispositivo s_{tick} .

Definición 1 (Tiempo). *Un **campo de tiempo** (universal) es un escalar suave $T : \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{R}$ cuyo gradiente $\nabla_\mu T$ es de tipo temporal y apunta al futuro en un dominio abierto $\mathcal{D} \subseteq \mathcal{M}$. Los conjuntos de nivel*

$$\Sigma_T := \{ p \in \mathcal{D} \mid T(p) = \text{const} \} \quad (1)$$

folian \mathcal{D} en hipersuperficies de tiempo universal constante.

Definición 2 (Campo de flujo cósmico). *Un campo vectorial unitario, suave, de tipo temporal y orientado hacia el futuro U^μ en \mathcal{D} representa la congruencia de masa-energía, elegido de modo que $U[T] = 1$. $MCIF(U)$ denota un marco inercial momentáneamente comóvil con U .*

Observación 2. *La coordenada temporal universal T no es un parámetro abstracto, sino que está físicamente anclada a la transformación única y continua del universo. Todos los sistemas y observadores comparten el mismo avance dT entre dos secciones Σ_T y Σ_{T+dT} , lo que sustenta su carácter independiente del observador. Esto la distingue de la duración propia dependiente de la trayectoria $d\tau$, que mide la evolución interna de un subsistema específico [2].*

Definición 3 (Momento (Evento)). *Un **momento** es un evento $p \in \mathcal{M}$, identificado de forma única en coordenadas adaptadas a la foliación por $(T(p), \vec{x}(p))$.*

Definición 4 (Intervalo de Tiempo Universal). *En un dominio $\mathcal{D} \subseteq \mathcal{M}$ que admite la foliación por T , para $p_1 = (T_1, \vec{x}_1)$, $p_2 = (T_2, \vec{x}_2) \in \mathcal{D}$ con $T_2 \geq T_1$,*

$$\Delta T(p_1, p_2) = T_2 - T_1 \geq 0, \quad |\Delta T| = |T_2 - T_1| \quad (2)$$

ΔT es independiente de la trayectoria y depende solo de T_1, T_2 (no de las posiciones espaciales).

Definición 5 (Duración (calibración basada en la luz)). *Definimos la duración sin depender de relojes físicos, usando la propagación de la luz como invariante universal [1, 6]:*

1. *Fijar la foliación universal mediante T (con $U[T] = 1$, $T|_{\Sigma_0} = 0$). Elegir dos eventos S y E en la misma línea de flujo de U , con $T_S := T(S)$ y $T_E := T(E)$.*
2. *A lo largo de esa línea de mundo, en cada $MCIF(U)$ local, un pulso de luz co-local satisface $dt_{MCIF} = d\ell_{\text{light}}^{MCIF}/c$.*

3. **Calibración de T .** Fijamos afínmente T de modo que a lo largo de U ,

$$dT \equiv \frac{d\ell_{\text{light}}^{\text{MCIF}(U)}}{c}, \quad \Rightarrow \quad \Delta T(S, E) = \int_{T_S}^{T_E} \frac{d\ell_{\text{light}}^{\text{MCIF}(U)}}{c}. \quad (3)$$

En adelante usamos dT como la unidad universal de duración.

4. Para cualquier línea de mundo tipo temporal γ y un reloj B transportado a lo largo de ella,

$$\Delta\tau_B = \int_{T_S}^{T_E} S(\gamma) dT = \int_{T_S}^{T_E} \alpha(v, \Phi) s_{\text{tick}}(\gamma) dT \leq \Delta T(S, E), \quad (4)$$

donde $\alpha(v, \Phi) \in (0, 1]$ es el coeficiente de conversión cinemático/gravitacional (donde v es la 3-velocidad medida por la tríada ortonormal adaptada a T), y $s_{\text{tick}}(\gamma) \in (0, 1]$ es un factor de dispositivo/material.

Observación 3 (Factor del dispositivo). El factor $s_{\text{tick}}(\gamma) \in (0, 1]$ modela imperfecciones no relativistas de un reloj físico. Un reloj atómico ideal tiene $s_{\text{tick}} = 1$, por lo que $S = \alpha$ y la lectura refleja solo la supresión relativista. Salvo que se indique lo contrario, fijamos $s_{\text{tick}} = 1$ en las derivaciones.

Observaciones. (i) La calibración es local y válida en espaciotiempo curvo. (ii) La luz proporciona la cota superior invariante para la duración: para movimiento tipo temporal, $d\tau \leq dT$.

El factor de supresión es, por tanto,

$$S(\gamma) := \frac{d\tau}{dT} = \alpha(v, \Phi) s_{\text{tick}}(\gamma) \in [0, 1], \quad (5)$$

y la duración total reportada sobre $[T_{\text{start}}, T_{\text{end}}]$ es

$$\Delta\tau_{\text{clk}}(\gamma) = \int_{T_{\text{start}}}^{T_{\text{end}}} \alpha(v, \Phi) s_{\text{tick}}(\gamma) dT \leq \Delta T. \quad (6)$$

Resumen

Una duración existe solo para un proceso completado y acotado por dos momentos universales, mientras que el tiempo universal T avanza sin cota. Las distinciones clave son:

La pregunta	La respuesta (en este marco)
¿Cuándo ocurrió? \Rightarrow	Tiempo: La coordenada global T .
¿Dónde y cuándo? \Rightarrow	Momento: Un evento único $p(T, \vec{x})$.
”¿Cuánto dura?” ideal \Rightarrow	Intervalo de Tiempo Universal: $\Delta T = T_{\text{end}} - T_{\text{start}}$.
”¿Cuánto dura?” real \Rightarrow	Duración (lectura del reloj): La integral suprimida y dependiente de la trayectoria $\Delta\tau_{\text{clk}} = \int S dT \leq \Delta T$.

3 Anclaje Cosmológico del Tiempo Universal

Para anclar el eje temporal universal T en la cosmología moderna, definimos el campo de flujo cósmico U^μ de manera operacional como la congruencia de observadores para quienes el Fondo Cósmico de Microondas (CMB) es isotrópico – es decir, aquellos con un dipolo del CMB nulo, que definen el ”marco de reposo cósmico” [4].

En un dominio cosmológico \mathcal{U}_{cos} bien aproximado por un modelo FLRW, este U^μ es la congruencia comóvil U_{CMB}^μ , que define el *tiempo cósmico* estándar, t_{cos} , a través de la métrica:

$$ds^2 = -c^2 dt_{\text{cos}}^2 + a^2(t_{\text{cos}}) d\ell^2.$$

En este marco, identificamos el tiempo universal T con este tiempo cósmico observable:

$$T \equiv t_{\text{cos}} + \text{const.}$$

Las hipersuperficies de tiempo universal constante, Σ_T , coinciden así con las secciones de homogeneidad estándar de FLRW. Se asume que esta construcción vale en un

dominio globalmente hiperbólico con vorticidad suficientemente pequeña, de modo que U^μ sea ortogonal a hipersuperficies.

Para un observador en este espaciotiempo, las variaciones en la duración acumulada se codifican en el factor de supresión S , que toma en cuenta su velocidad peculiar v_{pec} relativa al marco de reposo cósmico y cualquier potencial gravitacional local:

$$d\tau = S dT, \quad (7)$$

$$S = \sqrt{1 - \frac{v_{\text{pec}}^2}{c^2}} \times \sqrt{-g_{00}(\mathbf{x})},$$

donde asumimos un reloj ideal ($s_{\text{tick}} = 1$) y v_{pec} es la 3-velocidad física medida por observadores eulerianos.

Esto resuelve la aparente paradoja del “movimiento en un universo en expansión”: las galaxias comóviles se separan porque *las distancias propias entre líneas de mundo en Σ_T crecen* (flujo de Hubble), aunque no estén “moviéndose a través del espacio” en relación con el marco de reposo cósmico [4]. La expansión por sí misma no induce supresión de ticks; solo el movimiento peculiar y los potenciales gravitacionales locales lo hacen. Esto equivale a una *foliación temporal preferida (comóvil con el CMB)*, no a un éter material ni a un medio de reposo espacial.

La existencia matemática y la construcción anclada en el CMB del campo de tiempo universal T se desarrollan en el Apéndice A; como consecuencia inmediata, el Corolario 1 establece la ley de proyección $d\tau/dT = N/\gamma_{\text{rel}}$. Interpretamos esta ley físicamente en la Sec. 4.

4 El Mecanismo Físico de la Supresión de Ticks

Este artículo reinterpreta los fenómenos relativistas no como variaciones en la propia estructura del tiempo, sino como cambios físicos en la tasa a la que los sistemas

materiales atraviesan procesos internos [1, 3]. El efecto, *supresión de ticks*, está gobernado por los principios que se exponen a continuación.

4.1 Principio de acoplamiento masa–energía (El “Axioma de las ataduras existenciales”)

El grado en que un sistema físico está acoplado al eje temporal universal T está determinado por su masa–energía. Este acoplamiento facilita los procesos internos del sistema (“ticks”). Tener masa en reposo es sostener transformación interna, con la energía de reposo

$$E_0 = mc^2 \quad (8)$$

que establece la tasa base de ticks no suprimida en el gauge T (idealizado $s_{\text{tick}} = 1$). Cualquier desviación del comovimiento con el flujo universal –ya sea por movimiento o por gravedad– inclina la cuatro–velocidad del sistema u^μ en relación con la normal a la sección n^μ . Esto reduce la proyección

$$S = \frac{d\tau}{dT}, \quad (9)$$

suprimiendo la conversión del tiempo universal dT en duración propia $d\tau$.

Observación 4 (Interpretación). *Frases como “costo energético” son interpretativas. No se requiere trabajo continuo para mantener el movimiento inercial o una posición estática en un campo gravitacional. La reducción $S = d\tau/dT$ (cf. (5)) es consecuencia directa del estado geométrico del sistema, no una nueva ley dinámica.*

4.2 El Factor General de Supresión

El factor total de supresión S unifica todos los efectos relativistas. En el formalismo 3+1 adaptado al T , la métrica toma la forma

$$ds^2 = -N^2 dT^2 + h_{ij}(dx^i + N^i dT)(dx^j + N^j dT). \quad (10)$$

Para un objeto con 3-velocidad física v (medida por observadores eulerianos), el factor de supresión para un reloj ideal ($s_{\text{tick}} = 1$) es

$$S = \alpha(v, \Phi) = \frac{N}{\gamma_{\text{rel}}(v)}, \quad \gamma_{\text{rel}}(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (11)$$

Este es el coeficiente de conversión relativista completo utilizado en todo el marco (cf. (14)). Se reduce a los límites bien conocidos:

- **Puramente cinemático (espaciotiempo plano):** En una región sin gravedad, el *lapse* es trivial ($N = 1$) y la supresión se debe únicamente al movimiento:

$$S = \frac{1}{\gamma_{\text{rel}}(v)} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (12)$$

Así, la tasa de tiempo propio es explícitamente

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dT \leq dT, \quad (13)$$

con igualdad solo en el límite no suprimido ($v = 0$, reloj ideal $s_{\text{tick}} = 1$).

- **Puramente gravitacional (observador estático):** Con $v = 0$ ($\gamma_{\text{rel}} = 1$), la supresión es $S = N$. En un espaciotiempo estático, esto se convierte en el factor exacto

$$S = \sqrt{-g_{00}}, \quad (14)$$

y en el límite de campo débil con potencial newtoniano $\Phi < 0$,

$$S \approx \sqrt{1 + \frac{2\Phi}{c^2}}. \quad (15)$$

4.3 El Límite sin Masa

Una partícula sin masa como un fotón no tiene masa en reposo y, por lo tanto, no posee acoplamiento al eje T que sostenga procesos internos. Su supresión es máxima

($S = 0$) y su tiempo propio se anula de manera idéntica:

$$d\tau = 0. \quad (16)$$

La velocidad de la luz c es, por tanto, el límite nulo que separa las líneas de mundo masivas (tipo temporal) de las sin masa (nulas). Para cualquier objeto con masa, el límite $v \rightarrow c$ es inalcanzable con energía finita.

5 Aplicación: La Paradoja de los Gemelos

Para demostrar el poder explicativo del marco, lo aplicamos a la clásica paradoja de los gemelos. La distinción clave está entre el *Intervalo de Tiempo Universal* fijo ΔT y la duración acumulada dependiente de la trayectoria $\Delta\tau$.

Preparación

- **Fijación de gauge.** Adaptamos el tiempo universal T al gemelo que permanece en casa (euleriano, normal a la sección, ideal, no suprimido), de modo que a lo largo de esta línea de mundo $S = 1$ y $dT = d\tau$.
- **Factor de supresión/conversión.** Para cualquier proceso a lo largo de una línea de mundo tipo temporal \mathcal{C} ,

$$S(\mathcal{C}) := \alpha(v, \Phi) s_{\text{tick}}(\mathcal{C}) \in (0, 1], \quad (17)$$

donde $\alpha(v, \Phi)$ es el coeficiente de conversión cinemático/gravitacional estándar (“ticks por unidad de T ”). Aquí v denota la 3-velocidad *física* medida por observadores eulerianos (la tríada ortonormal adaptada a T). En espaciotiempo plano ($\Phi = 0$),

$$\alpha(v, \Phi) = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (18)$$

En campos estáticos con *lapse* $N = \sqrt{-g_{00}}$,

$$\alpha(v, \Phi) = N \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (19)$$

Para relojes atómicos ideales, fijamos $s_{\text{tick}} = 1$.

- **Duración medida.** Los ticks acumulados son

$$\Delta\tau(\mathcal{C}) = \int_{\mathcal{C}} S dT = \int_{\mathcal{C}} \alpha dT \quad (\text{relojes ideales}). \quad (20)$$

Gemelo en casa. Para la línea de mundo del gemelo en casa $\mathcal{C}_{\text{home}}$, la elección de gauge da $S = \alpha = 1$ en todo momento. Así,

$$\Delta\tau_{\text{home}} = \int_{\mathcal{C}_{\text{home}}} 1 dT = \Delta T. \quad (21)$$

Gemelo viajero. Consideremos una ida y vuelta a velocidad constante v en espaciotiempo plano. Entonces

$$\alpha(v) = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1, \quad (22)$$

de modo que sobre el mismo intervalo universal ΔT ,

$$\Delta\tau_{\text{trav}} = \int_{\mathcal{C}_{\text{trav}}} \alpha dT = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Delta T < \Delta T. \quad (23)$$

(*Giro.* Un giro instantáneo no contribuye a la medida de T ; para aceleraciones finitas, la integral anterior aún produce la misma desigualdad.)

Resolución

Existe un Intervalo de Tiempo Universal fijo ΔT entre la partida y la reunión, pero los ticks acumulados $\Delta\tau = \int S dT$ dependen de la trayectoria. El gemelo viajero tiene un *coeficiente de conversión menor* $\alpha(v)$ (menos ticks por unidad de T), por lo

tanto

$$\Delta\tau_{\text{home}} - \Delta\tau_{\text{trav}} = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right) \Delta T \geq 0. \quad (24)$$

No hay “ralentización del propio tiempo”, solo distinta supresión integrada a lo largo de la trayectoria.

Ejemplo numérico

Para $v = 0.8c$ y $\Delta T = 10$ años:

$$\alpha = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6, \quad \Delta\tau_{\text{home}} = 10 \text{ años}, \quad \Delta\tau_{\text{trav}} = 0.6 \times 10 = 6 \text{ años}. \quad (25)$$

El gemelo con la conversión ideal ($\alpha = 1$) acumula mayor duración y termina más envejecido.

Observación 5 (Sin desviación de T). *Todos los observadores comparten el mismo Intervalo de Tiempo Universal ΔT ; el factor $\alpha(v, \Phi) \leq 1$ es un coeficiente de conversión (“ticks por unidad de T ”), no una desviación geométrica respecto de T . Las diferencias en el envejecimiento surgen únicamente de $S = \alpha s_{\text{tick}}$ vía $d\tau = S dT$ (cf. (5)).*

6 Principio de Desacoplamiento Global–Local (Postulado)

Postulado (Estabilidad temporal global). En escalas de suavizado suficientemente grandes (cosmológicas), existe una congruencia suave, de tipo temporal y orientada hacia el futuro U cuyo flujo define una foliación $\{\Sigma_T\}$ que es *estable bajo reconfiguraciones locales y compactas de masa–energía* [7]. Las interacciones locales (colisiones, formaciones, dispersiones) reordenan la materia y la curvatura *dentro* de las secciones Σ_T , pero no redefinen la dirección temporal global U ni la foliación en primer orden.

Anclaje operacional (cosmología). Elija U como la congruencia comóvil para la cual el dipolo del CMB se anula; es decir, el flujo de energía a gran escala es cero (marco de Landau–Lifshitz) [6]. Entonces T coincide con el tiempo cósmico estándar salvo pequeños efectos de velocidad peculiar e inhomogeneidad. Esto constituye una *foliación temporal preferida (comóvil con el CMB)*, no un éter material ni un medio espacial de reposo.

Compatibilidad con RG (definición de U). Sea $\bar{T}^{\mu\nu}(L)$ el tensor energía–momento promediado por coarse–graining sobre una escala de suavizado L que excede la escala de homogeneidad. Defina U^μ como el vector propio unitario de tipo temporal de $\bar{T}^\mu{}_\nu$ (marco de energía) [7]. Suponga *hiperbolicidad global* y *vorticidad pequeña* en esas escalas (de modo que U sea ortogonal a hipersuperficies) y admita una foliación $\{\Sigma_T\}$. La retroreacción debida a las inhomogeneidades se absorbe en $\bar{T}^{\mu\nu}$; la inclinación residual δU de cualquier subsistema compacto de energía E_S se suprime como

$$\|\delta U\| = O\left(\frac{E_S}{E_H}\right), \quad (26)$$

donde E_H es la energía en un dominio a escala de Hubble.

Qué significa ”no perturbado”. ”No perturbado” no significa absolutamente inmune; significa *insensibilidad promediada*: los eventos locales producen solo cambios de orden superior en U y en $\{\Sigma_T\}$. Así, el eje temporal universal T proporciona un ordenamiento global estable, mientras que toda la dinámica local (incluidas las interacciones fuertes) transcurre dentro de las secciones Σ_T .

Ejemplo: Fusión Vía Láctea–Andrómeda

- *Este marco:* La colisión MW–M31 reconfigura la distribución de masa y la curvatura local, pero la congruencia comóvil a gran escala (marco de reposo del CMB) y la foliación $\{\Sigma_T\}$ persisten; cualquier inclinación inducida en U es despreciable en escalas cosmológicas de suavizado.

- *Cosmología estándar:* Las líneas de mundo siguen geodésicas en un fondo (aproximadamente) FLRW; la fusión aparece como dos líneas de mundo que se intersectan en el bloque espaciotemporal, con el “tiempo cósmico” definido por la congruencia comóvil [6].

Observación. Este postulado es análogo en espíritu al Principio Cosmológico [6]: postula una estructura temporal a gran escala estadísticamente homogénea e isotrópica frente a la cual se desarrolla la física local.

7 Comparación con la Teoría del Éter de Lorentz

7.1 Principios Compartidos

Tanto la Teoría del Éter de Lorentz (LET) como el presente marco (Tiempo Universal y Supresión de Ticks) rechazan la idea de que el tiempo sea intrínsecamente relativo [9]. Coinciden en los siguientes puntos fundamentales:

- Existe un tiempo absoluto o universal.
- Los efectos relativistas son fenómenos físicos reales resultantes de cambios en los sistemas, no ilusiones.
- Las interpretaciones puramente basadas en el observador proporcionan una descripción incompleta de la realidad física.

7.2 Diferencias clave

Table 1: Distinciones entre la Teoría del Éter de Lorentz (LET) y el presente marco.

Aspecto	Teoría del Éter de Lorentz (LET)	Este marco
Éter	Postula un medio material indetectable	Sin éter; <i>foliación temporal preferida (comóvil con el CMB)</i>
Marco preferido	El marco de reposo del éter	Foliación <i>temporal</i> preferida; ningún medio de reposo <i>espacial</i> preferido
Ralentización de relojes	Efecto aparente debido al movimiento a través del éter	Efecto físico real: supresión de tasas internas
Simultaneidad	Absoluta pero empíricamente oculta	Absoluta y ontológicamente fundamental
Geometría	Sin un marco moderno explícito de espaciotiempo	Geométrico: el eje temporal universal T define la foliación $\{\Sigma_T\}$
Compatibilidad moderna	Indistinguible operacionalmente de la RE	Equivalente operacionalmente; añade una interpretación causal (mecanicista) de la supresión

Notas. Este marco postula una *foliación temporal preferida*, no un éter material ni un medio *espacial de reposo*. Las predicciones permanecen como en RE/RG en todos los regímenes comprobados.

7.3 Abordando el Desafío de Michelson–Morley

Un desafío importante para cualquier teoría que postule un tiempo universal es explicar el resultado nulo del experimento de Michelson–Morley y sus sucesores [8, 9].

Este marco reemplaza el éter por una estructura temporal compartida: el eje universal T . La pregunta central pasa a ser: *¿Cuál es el mecanismo físico de la supresión de ticks en este modelo?* La propuesta es que tanto la velocidad como la gravedad son manifestaciones de una causa subyacente más profunda: **la desviación del comovimiento con el eje T** [12].

Reglas y relojes. Dado que la metrología espacial se construye a partir de los mismos procesos suprimidos que los relojes, las longitudes medidas paralelas al movimiento se contraen por $1/\gamma$ en el gauge T (coincide con la RE; ver también (22)). Junto con la supresión sincronizada de tasas, esto produce el resultado nulo de Michelson–Morley.

7.4 El Principio de Supresión Inercial

Este marco se fundamenta en el siguiente mecanismo físico:

1. **El estado natural.** El estado no suprimido de un objeto es estar comóvil con el flujo universal, definido por el campo de flujo cósmico U . En ese estado, su cuatro-velocidad u^μ está alineada con U^μ y sus procesos internos avanzan a su tasa máxima.
2. **La causa de la supresión.** Cualquier desviación de ese estado (cinemática o gravitacional) inclina la cuatro-velocidad u^μ del sistema con respecto al flujo universal.
3. **El efecto.** Esta inclinación geométrica reduce la tasa de acumulación de tiempo propio del sistema. El efecto se cuantifica mediante el factor total de supresión $S \in (0, 1]$, definido en (5), que relaciona la duración medida con el flujo de tiempo universal:

$$d\tau = S dT.$$

Un valor menor de S implica menos "ticks" acumulados por unidad de tiempo universal. Operacionalmente, los procesos internos del sistema corren más lento: esto es la **supresión de ticks**.

7.5 De la Geometría al Mecanismo: Reinterpretando la Métrica

Esta interpretación no descarta la Relatividad General; proporciona una reinterpretación física de su estructura matemática. La formulación estándar,

$$c^2 d\tau^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu, \tag{27}$$

se entiende tradicionalmente como definitoria de la geometría del espaciotiempo [3]. En este marco, se reinterpreta como una **medida de supresión**: una descripción física de cómo el estado cinemático o gravitacional de un sistema reduce su tasa de ticks en relación con el tiempo universal dT .

Esto conduce a la reformulación causal

$$d\tau = (\text{factor de supresión}) \times dT, \quad (28)$$

con los límites familiares:

- **Supresión cinemática:** $S = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (cf. (12)), donde v es la 3-velocidad *física* medida por observadores eulerianos (la tríada ortonormal adaptada a T).
- **Supresión gravitacional (estática):** $S = \sqrt{-g_{00}}$ (cf. (14)); en el campo débil con $\Phi < 0$, $S \approx \sqrt{1 + 2\Phi/c^2}$ (cf. (15)).

7.6 Explicación del Resultado Nulo de Michelson–Morley

El Principio de Supresión Inercial proporciona una explicación clara del resultado nulo:

- El interferómetro (reglas, espejos, átomos) es un sistema físico sujeto a la misma ley de supresión $d\tau = S dT$ (cf. (7)).
- Cualquier intento de detectar movimiento absoluto usando instrumentos materiales fracasa porque **todos los procesos materiales se suprimen al unísono**.
- La propagación de la luz, al ser sin masa, permanece no suprimida ($d\tau = 0$, ver (16)) y mantiene la velocidad c ; pero la supresión sincronizada de relojes y reglas (las longitudes se contraen por $1/\gamma$ paralelas al movimiento en el gauge T) cancela las anisotropías esperadas, produciendo un resultado nulo.

Esto no es una conspiración, sino una ley universal: la materia no puede detectar su propio movimiento con respecto al eje T usando herramientas hechas de la misma materia, porque todas se ven afectadas por el mismo mecanismo de supresión [14, 15].

8 Discusión: Caso de un Tiempo Universal

Tesis (inferencia a la mejor explicación). No afirmamos la realidad de un campo de tiempo universal T basándonos en un único experimento decisivo – dado que el marco es operacionalmente equivalente a la relatividad estándar en todos los regímenes comprobados. En cambio, sostenemos que todo el edificio de la relatividad y la cosmología modernas se interpreta de forma más coherente como la *medición de* y la *desviación respecto de* un único eje temporal. La realidad de T se propone como la mejor explicación de dos hechos generales: (i) que las duraciones locales son universalmente *suprimibles* por estados cinemáticos y gravitacionales, y (ii) que esas supresiones se componen *jerárquicamente* a través de sistemas anidados (p. ej., persona \rightarrow Tierra \rightarrow Sistema Solar \rightarrow Galaxia).

Argumento por coherencia. El caso a favor de T descansa en su capacidad singular para unificar y explicar los fenómenos observados con una ontología causal simple:

1. **Ley de supresión universal.** El fenómeno central se establece sin apelar a T : para cualquier congruencia de referencia n^μ , los relojes ideales obedecen la ley local de supresión $d\tau/d\sigma = 1/\gamma_{\text{rel}}$ (cf. Corolario 2). Esto es un rasgo geométrico indiscutible de la relatividad.
2. **Anidamiento jerárquico.** En la práctica, el factor neto de supresión de cualquier sistema local se factoriza en un producto de efectos (p. ej., gravedad terrestre, potencial galáctico, movimiento peculiar). Este hecho empírico – crucial desde experimentos de laboratorio hasta GPS y cronometraje astrofísico

– refleja de forma natural la desviación total de un sistema respecto de un estado no suprimido.

3. **Anclaje empírico.** La cosmología proporciona un marco privilegiado: el marco de reposo del CMB (U_{CMB}^μ). A escalas cosmológicas, esta congruencia es hipersuperficie–ortogonal, lo que permite construir una función de tiempo global T vía $U[T] = 1$. Las hipersuperficies Σ_T son aquellas en las que los observables cosmológicos son estadísticamente isotrópicos.
4. **Unificación y mecanismo.** Con este anclaje cósmico, los diversos efectos de supresión se unifican en una única ley de proyección causal: $d\tau/dT = N/\gamma_{\text{rel}}$ (cf. Corolario 1). La "dilatación temporal" cinemática y gravitacional se revela como dos manifestaciones de la desviación de un sistema respecto del movimiento con el flujo universal de masa–energía U^μ .

Por tanto, postular T como un eje temporal global y real ofrece un relato simple, causal y ontológicamente claro que subsume todos los fenómenos relativistas de tasas sin alterar ninguna predicción empírica de RE o RG. Es una mejora interpretativa justificada por su mayor poder explicativo y coherencia.

Estatus epistémico. Empíricamente, el marco sigue siendo indistinguible de la RE/RG estándar en todos los regímenes probados. Así, T se apoya no como un postulado falsable por separado, sino como la *mejor explicación* de la arquitectura de las leyes relativistas. El argumento es de inferencia metafísica, no de falsación empírica.

Conclusión

La mayoría de nosotros hemos creído que el tiempo es solo relativo e ignorado la existencia de un tiempo universal o absoluto. También hemos confiado en las mediciones de los relojes. Sin embargo, los relojes no miden el tiempo en sí, sino la tasa

de sus propios procesos internos. Como estos procesos están sujetos a supresión, los relojes pueden – y de hecho lo hacen – subregistrar la duración universal.

Por el contrario, la propagación de la luz no es suprimible: proporciona la calibración invariante del eje temporal universal T . El gran paso en falso ha sido confundir los recuentos suprimidos de ticks con el “tiempo”, creando la ilusión de que el tiempo mismo se dilata. Lo que realmente varía es la capacidad de los sistemas físicos para convertir el avance universal dT en sus propios ticks $d\tau$.

Este trabajo ha presentado un marco que reformula los fenómenos relativistas no como propiedades geométricas del “tiempo en sí” [1, 3], sino como consecuencias de una única ley de supresión,

$$d\tau = S dT, \quad S = \alpha(v, \Phi) s_{\text{tick}} \in (0, 1], \quad (29)$$

con relojes *ideales* que obedecen $S = \alpha = \gamma_{\text{rel}}^{-1}$ (donde $\gamma_{\text{rel}} = -u^\mu n_\mu \geq 1$, cf. (5)). En campos gravitacionales estáticos el factor canónico es

$$S = \sqrt{-g_{00}}, \quad \text{y en el campo débil con } \Phi < 0 : \quad S \approx \sqrt{1 + \frac{2\Phi}{c^2}}. \quad (30)$$

A esto lo llamamos el *Principio de Supresión Inercial*:

La desviación respecto del flujo temporal universal reduce la proyección $d\tau/dT$, suprimiendo así las tasas de los procesos internos.

Esto unifica la “dilatación temporal” cinemática y gravitacional bajo una única descripción causal sin alterar las predicciones de RE/RG.

Las implicaciones son cuádruples:

1. **Fondo temporal universal.** El tiempo se modela como un campo escalar físico y universal T que proporciona una foliación *temporal* preferida (comóvil con el CMB); esto *no* es un éter material ni un medio espacial de reposo. La foliación proporciona un orden absoluto y una vara común para las duraciones.

2. **Equivalencia operacional.** Se reproducen todas las pruebas estándar –vidas medias de muones, Hafele–Keating, Pound–Rebka, GPS–, puesto que S coincide con los factores de RE/RG en los límites relevantes. El cambio es interpretativo, no predictivo. [19, 14, 15, 16, 17, 13]
3. **Mecanismo sobre metáfora.** La ralentización de relojes y la extensión de vidas medias se atribuyen a una reducción del factor de proyección $S = d\tau/dT$ (cf. (9)). Expresiones como “asignación de energía” son atajos interpretativos de esta proyección; *no se requiere trabajo continuo* para mantener el movimiento inercial o una posición estática en un campo gravitacional [14, 15].
4. **Ontología más clara.** Las descripciones dependientes del marco se recuperan como perspectivas sobre una realidad única ordenada por T . La métrica sigue codificando la estructura del espaciotiempo, pero aquí tiene una lectura física: determina *cuánto* del flujo universal convierte un sistema en sus propios ticks [7].

En suma, los efectos relativistas estándar pueden *reinterpretarse* como supresión de la dinámica interna respecto de un flujo temporal universal, en lugar de como un cambio del propio flujo del tiempo. Esta perspectiva de *Tiempo Universal y Supresión de Ticks* permanece plenamente compatible con el éxito empírico de la relatividad, a la vez que ofrece un relato causal y realista de por qué los relojes en movimiento marchan más lento y los relojes en pozos gravitacionales marcan menos.

Lección 1. El tiempo fluye universalmente; lo que varía no es el tiempo en sí, sino la capacidad de cada sistema para manifestar cambio dentro de él.

$$\boxed{d\tau = S dT, \quad S = \alpha(v, \Phi) = \gamma_{\text{rel}}^{-1}, \quad (\text{reloj ideal})} \quad (31)$$

A Apéndice A: Estructura global de la Foliación-T

Tiempo local vs. tiempo patrón. Cada subsistema puede usar una etiqueta de tiempo local T_i , pero en cualquier dominio que admita un campo de tiempo universal T requerimos $T_i = a_i T + b_i$ (gauge afín). Los ticks físicos obedecen $d\tau = S dT$ con $S \in (0, 1]$. Existe un T “maestro” global cuando la foliación se extiende a toda \mathcal{M} ; en caso contrario, trabajamos con un atlas de foliaciones $\{(\mathcal{U}_a, T_a)\}$ que satisface $T_a = \alpha_{ab} T_b + \beta_{ab}$ en las intersecciones.

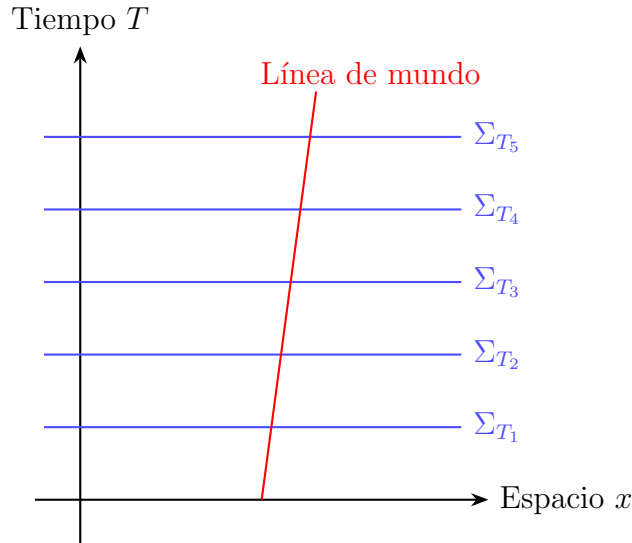


Figure 2: Diagrama de espaciotiempo que ilustra la foliación del espaciotiempo en hipersuperficies de tiempo universal constante Σ_T (líneas azules). Un objeto físico sigue una línea de mundo tipo temporal (curva roja) que atraviesa la secuencia de “presentes” universales.

Observación 6 (Analogía de calendario). *El intervalo universal ΔT es como el cambio en el sello de fecha (no repetible, orden global), mientras que las etiquetas*

locales $T_i = a_i T + b_i$ desempeñan el papel de husos horarios/calendarios. Los ticks físicos cumplen $d\tau = S dT$ (menos ticks por unidad de T si $S < 1$), de modo que los relojes pueden discrepar en los ticks transcurridos para el mismo cambio de fecha, pero no en el ordenamiento suministrado por T .

Existencia y Construcción de la Foliación del Tiempo Universal

Teorema 1 (Existencia en Dominios Cosmológicos). *Sea (M, g) una región espatiotemporal orientable en el tiempo y globalmente hiperbólica que modele el universo a gran escala. Entonces está garantizada la existencia de una función de tiempo suave $T : M \rightarrow \mathbb{R}$ con gradiente de tipo temporal y orientado hacia el futuro, y sus conjuntos de nivel $\{\Sigma_T\}$ son hipersuperficies de Cauchy de tipo espacial (por tanto, una foliación 3+1).*

Prueba. La hiperbolicidad global implica la existencia de funciones de tiempo de Cauchy suaves cuyas hojas son hipersuperficies de Cauchy (resultados clásicos debidos a Geroch; Bernal-Sánchez). Por tanto, queda garantizada la existencia de un T suave con ∇T de tipo temporal, que folia M por secciones espaciales Σ_T . En dominios cosmológicos bien aproximados por FLRW, este T coincide (salvo una constante aditiva y pequeñas correcciones inhomogéneas) con el tiempo cósmico estándar. \square

Construcción operacional (anclada en el CMB). Para hacer T empírico y no solo existencial, defina el *marco de energía* a gran escala U^μ como el vector propio temporal del tensor de energía-momento promediado $\bar{T}^\mu{}_\nu$ (marco de Landau-Lifshitz) en escalas de suavizado $L \gtrsim 100$ Mpc (*que exceden la escala de homogeneidad/BAO y el tamaño de las mayores estructuras ligadas*). Observacionalmente, U^μ es el *marco de reposo del CMB* (dipolo nulo). Cuando la vorticidad de U^μ es despreciable en esas escalas (consistente con los límites actuales), el teorema de Frobenius

da ortogonalidad a hipersuperficies. Entonces T se *construye* mediante

$$U[T] = 1, \quad T|_{\Sigma_0} = 0,$$

esto es, T aumenta una unidad por unidad de tiempo propio a lo largo de la congruencia de U , con hoja inicial Σ_0 (p.ej., la superficie del big bang en FLRW). En FLRW exacto, esto produce $T \equiv t_{\text{cos}} + \text{const.}$

Descomposición geométrica 3+1 inducida por T . En coordenadas adaptadas a T , la métrica toma la forma

$$ds^2 = -N^2 dT^2 + h_{ij}(dx^i + N^i dT)(dx^j + N^j dT),$$

con *lapse* $N > 0$, *shift* N^i , métrica espacial h_{ij} y normal unitaria n^μ a Σ_T .

Corolario 1 (Supresión de ticks a partir de T). *Sea u^μ la 4-velocidad de cualquier línea de mundo temporal, y defínase*

$$\gamma_{\text{rel}} := -u_\mu n^\mu \geq 1.$$

Entonces la tasa de tiempo propio relativa a la foliación universal satisface

$$\boxed{\frac{d\tau}{dT} = \frac{N}{\gamma_{\text{rel}}} \equiv S(T, x) \leq 1}.$$

En particular: (i) plano y sin gravedad $N = 1 \Rightarrow d\tau/dT = \sqrt{1 - v^2/c^2}$; (ii) gravedad estática en reposo $v = 0 \Rightarrow d\tau/dT = \sqrt{-g_{00}}$ (campo débil $\approx \sqrt{1 + 2\Phi/c^2}$); y (iii) en general los factores se multiplican.

Prueba. Descomponga $u^\mu = \gamma_{\text{rel}}(n^\mu + v^\mu)$ con $n_\mu v^\mu = 0$ y $|v|$ la 3-velocidad física medida por un observador euleriano, esto es $|v|^2 = h_{ij}v^i v^j$. Entonces $un = -\gamma_{\text{rel}}$ y, en el elemento de línea 3+1, $d\tau^2 = N^2 dT^2 - h_{ij}(dx^i + N^i dT)(dx^j + N^j dT)$. Eliminando dx^i vía u^μ se obtiene $d\tau/dT = N/\gamma_{\text{rel}}$. \square

Principio (Principios de Selección (Unicidad Opcional).). *Para evitar arbitrariedad entre funciones de tiempo admisibles, puede seleccionarse T por un criterio geométrico:*

- **CMC/Tiempo de York:** *elegir hojas de curvatura media constante $K(T) = \text{const}$;*
- **Tiempo armónico:** *resolver $\square T = 0$ con ∇T de tipo temporal;*
- **Cizalla/giro mínimos:** *minimizar una acción construida a partir de la cizalla/vorticidad de la congruencia a gran escala.*

Cada opción reduce al tiempo cósmico estándar en FLRW y produce la misma ley de supresión $d\tau/dT = N/\gamma_{\text{rel}}$.

Canal empírico

1. **Fijar una escala de suavizado L** (p. ej. 100–200 Mpc) y construir el marco de energía U^μ a partir de CMB/gran estructura (“boosts” que anulan el dipolo).
2. **Integrar** la ecuación de transporte $U[T] = 1$ a lo largo de la congruencia de U con una Σ_0 elegida para obtener un campo $T(x)$ sobre un fondo Λ CDM.
3. **Validar isotropía en las hojas:** comprobar que las estadísticas de anisotropía BAO/CMB son máximamente isotrópicas en Σ_T (consistencia con el tiempo cósmico comóvil).
4. **Comprobaciones de tasa de reloj:** para sistemas locales con velocidad v y potencial Φ , verificar que las tasas observadas obedecen $f(T) = f_0 (N/\gamma_{\text{rel}})$ (GPS, corrimiento gravitatorio al rojo, relojes en anillos de almacenamiento).
5. **Acotar vorticidad residual:** cuantificar cuán pequeño debe ser un giro no nulo de U^μ para estropear la ortogonalidad a hipersuperficies; comparar con límites observacionales, p. ej., cotas de isotropía/vorticidad del CMB de la Colaboración *Planck* [5, 4].

Ámbito y limitaciones. El teorema de existencia se aplica en dominios cosmológicos globalmente hiperbólicos; inhomogeneidades fuertes o vorticidad a gran escala significativa pueden requerir un atlas de foliaciones $\{(U_a, T_a)\}$ con mapas de transición afines. Dentro de su ámbito, la ley de supresión $d\tau/dT = N/\gamma_{\text{rel}}$ es una proyección geométrica forzada, independiente de la microfísica del reloj (relojes ideales que respetan la Lorentz).

B Supresión de Ticks Sin el Campo del Tiempo Universal

Trabajamos enteramente dentro de la RG estándar, asumiendo solo la hipótesis del reloj (los relojes ideales avanzan por tiempo propio) y una elección de *observadores de referencia* que formen una congruencia de tipo temporal.

Definición 6 (Congruencia de referencia). *Sea n^μ un campo vectorial suave, orientado hacia el futuro, unitario y de tipo temporal ($n_\mu n^\mu = -1$), interpretado como el campo de 4-velocidad de una familia de observadores eulerianos. Denotemos por σ su parámetro de tiempo propio a lo largo de las curvas integrales de n^μ .*

Lema 1 (Descomposición local y factor relativo). *Para cualquier línea de mundo tipo temporal con 4-velocidad u^μ , descompóngase*

$$u^\mu = \gamma_{\text{rel}}(n^\mu + v^\mu), \quad n_\mu v^\mu = 0, \quad \gamma_{\text{rel}} = -u_\mu n^\mu \geq 1,$$

donde v^μ es espacial con respecto a n^μ (i.e. $n_\mu v^\mu = 0$) y su magnitud $|v|$ es la 3-velocidad física medida en el marco de reposo local de la congruencia n^μ . En una tétrada ortonormal con $e_{(0)}^\mu = n^\mu$, se tiene $u^{(0)} = \gamma_{\text{rel}}$ y $|v|^2 = \delta_{ij}u^{(i)}u^{(j)}/\gamma_{\text{rel}}^2$ (equivalentemente $|v|^2 = h_{ij}v^i v^j$).

Corolario 2 (Supresión relativa a la congruencia). *La tasa de tiempo propio del reloj*

en movimiento relativa al tiempo propio de los observadores de referencia es

$$\boxed{\frac{d\tau}{d\sigma} = \frac{1}{\gamma_{\text{rel}}} \leq 1} \quad (\text{Ley de supresión de ticks relativa a la congruencia}). \quad (32)$$

Así, para cualquier par de eventos colocalizados comparados por los observadores de referencia, un reloj ideal con 4-velocidad u^μ acumula menos ticks que la referencia (“reloj más lento”) por el factor $1/\gamma_{\text{rel}}$.

Prueba. Elija una tétrada ortonormal $\{e_{(a)}^\mu\}$ con $e_{(0)}^\mu = n^\mu$. Entonces $u^{(0)} = \gamma_{\text{rel}}$ es la componente temporal de u^μ medida por los observadores de referencia. La hipótesis del reloj da $d\tau$ como el intervalo invariante del reloj, y el incremento de tiempo propio de los observadores de referencia es $d\sigma$. La dilatación temporal estándar en este marco ortonormal local produce $d\tau = d\sigma/\gamma_{\text{rel}}$. \square

Forma coordenada (ADM, opcional). Si se introduce una función temporal t cuyas hipersuperficies de $t = \text{const}$ son ortogonales a n^μ (de modo que n^μ es la normal unitaria) con *lapse* N y *shift* N^i , entonces

$$ds^2 = -N^2 dt^2 + h_{ij}(dx^i + N^i dt)(dx^j + N^j dt),$$

y la tasa relativa a t es

$$\frac{d\tau}{dt} = \sqrt{N^2 - h_{ij}(v^i + N^i)(v^j + N^j)} = \frac{N}{\gamma_{\text{rel}}} \quad (\text{para } N^i = 0).$$

Esto reproduce los factores familiares: (i) plano, $N = 1 \Rightarrow d\tau/dt = \sqrt{1 - v^2/c^2}$; (ii) estacionario en reposo, $v = 0 \Rightarrow d\tau/dt = \sqrt{-g_{00}}$; (iii) en general, los factores cinemático y gravitacional se multiplican cuando $N^i = 0$.

Observaciones. (1) No se requiere foliación global ni tiempo universal: la supresión es una afirmación *local, relativa a la congruencia* codificada por $\gamma_{\text{rel}} = -u \cdot n$.

(2) Al elegir la congruencia *cósmica* $n^\mu = U_{\text{CMB}}^\mu$ e introducir su foliación ortogonal se recupera la ley de proyección de tiempo universal $d\tau/dt = N/\gamma_{\text{rel}}$ como caso particular.

(3) Cualquier reloj ideal cuya dinámica integre sobre $d\tau$ (transiciones atómicas, osciladores, desintegraciones) hereda el mismo factor de supresión relativo a los observadores de referencia.

(4) *Conexión energética opcional.* En el marco de n^μ , una partícula de masa en reposo m tiene energía $E = -p_\mu n^\mu = m\gamma_{\text{rel}}c^2$ y momento espacial $p^{(i)} = m\gamma_{\text{rel}}v^i$; el mismo γ_{rel} que realza (E, \mathbf{p}) suprime $d\tau/d\sigma$ vía (32), en línea con la narrativa mecanicista de “presupuesto energético” utilizada en otras partes del artículo.

C Glosario de símbolos

Símbolo	Descripción	Unidades
T	La coordenada de tiempo universal.	s
dT	Incremento infinitesimal de tiempo universal.	s
Σ_T	Hipersuperficie de tiempo universal constante T .	— ¹
U^μ	4-velocidad del campo de flujo cósmico.	Adimensional (o m/s)
n^μ	Campo vectorial unitario normal a las hojas Σ_T .	Adimensional
N	<i>Lapse</i> en el formalismo 3+1.	Adimensional
N^i	<i>Shift</i> en el formalismo 3+1.	m/s
h_{ij}	Métrica espacial 3D en una hoja Σ_T .	Adimensional
S	Factor total de supresión ($S = d\tau/dT$).	Adimensional
α	Coeficiente de conversión relativista ($S = \alpha$ para relojes ideales).	Adimensional

¹Indica “no aplicable”; se usa para conceptos que no son magnitudes físicas con unidades.

$d\tau$	Incremento infinitesimal de tiempo propio (duración).	s
γ_{rel}	Factor gamma relativista (de Lorentz) ($\alpha = 1/\gamma_{\text{rel}}$).	Adimensional
v	3-velocidad física relativa a observadores eulerianos.	m/s
v_{pec}	Velocidad peculiar relativa al marco del CMB.	m/s
Φ	Potencial gravitatorio newtoniano.	m^2/s^2
$g_{\mu\nu}$	Tensor métrico 4D de espaciotiempo.	Adimensional
\mathcal{M}	Variedad de espaciotiempo 4D.	—
MCIF	Marco Inercial Momentáneamente Comóvil.	—
CMB	Fondo Cósmico de Microondas.	—
E	Energía; p.ej., energía de reposo $E_0 = mc^2$.	J (julios)
\mathcal{D}	Dominio abierto dentro de la variedad de espaciotiempo \mathcal{M} .	—

References

- [1] A. Einstein, “Zur Elektrodynamik bewegter Körper,” *Annalen der Physik* **17**, 891–921 (1905).
- [2] Lorentz, H. A., Einstein, A., Minkowski, H., & Weyl, H. (1952). *The Principle of Relativity*. Dover Publications.
- [3] H. Minkowski, “Raum und Zeit (1908),” in *The Principle of Relativity*, Dover (1952).
- [4] Planck Collaboration, Y. Akrami *et al.*, *Planck 2018 results. VII. Isotropy and statistics of the CMB*, *Astronomy & Astrophysics* **641**, A7 (2020), arXiv:1906.02552.

- [5] Planck Collaboration, P. A. R. Ade *et al.*, *Planck 2015 results. XVIII. Background geometry and topology*, *Astronomy & Astrophysics* **594**, A18 (2016), arXiv:1502.01593.
- [6] W. Rindler, *Relativity: Special, General, and Cosmological*, 2nd ed., Oxford University Press (2006).
- [7] S. M. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*, Addison–Wesley (2004).
- [8] A. A. Michelson and E. W. Morley, “On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether,” *American Journal of Science* **34**, 333–345 (1887).
- [9] H. A. Lorentz, “Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity less than that of light,” *Proc. Roy. Neth. Acad. Arts Sci.* **6**, 809–831 (1904).
- [10] V. Berzi and V. Gorini, “Reciprocity principle and the Lorentz transformations,” *Journal of Mathematical Physics* **10**, 1518–1524 (1969).
- [11] J.-M. Lévy–Leblond, “One more derivation of the Lorentz transformation,” *American Journal of Physics* **44**, 271–277 (1976).
- [12] N. D. Mermin, “Relativity without light,” *American Journal of Physics* **52**, 119–124 (1984).
- [13] N. Ashby, “Relativity in the Global Positioning System,” *Living Reviews in Relativity* **6**, 1 (2003).
- [14] J. C. Hafele and R. E. Keating, “Around–the–World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains,” *Science* **177**, 166–168 (1972).
- [15] J. C. Hafele and R. E. Keating, “Around–the–World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains,” *Science* **177**, 168–170 (1972).

- [16] R. V. Pound and G. A. Rebka Jr., “Apparent Weight of Photons,” *Physical Review Letters* **4**, 337–341 (1960).
- [17] J. Bailey *et al.*, “Measurements of relativistic time dilatation for positive and negative muons in a circular orbit,” *Nature* **268**, 301–305 (1977).
- [18] C. W. Chou, D. B. Hume, T. Rosenband, and D. J. Wineland, “Optical clocks and relativity,” *Science* **329**, 1630–1633 (2010).
- [19] C. M. Will, “The Confrontation between General Relativity and Experiment,” *Living Reviews in Relativity* **17**, 4 (2014).
- [20] E. Noether, “Invariante Variationsprobleme,” *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 235–257 (1918). [Eng. trans.: *Transport Theory and Statistical Physics* **1**, 186–207 (1971).]