

Estudio Científico: Causalidad Relativista y Principio de Reciprocidad en la Teoría del Modelo de la Realidad Cuántica Universal (TMRCU)

Autor: Genaro Carrasco Ozuna **Proyecto:** TMRCU / MSL **Fecha:** Agosto 2025

Resumen Este estudio aborda la aparente tensión entre la **causalidad relativista**, principio fundamental de la Relatividad Especial y General, y el **principio de reciprocidad** que subyace a la Teoría del Modelo de la Realidad Cuántica Universal (TMRCU). Demostramos formalmente que la reciprocidad propuesta por la TMRCU no implica propagación superlumínica ni violación de conos de luz, sino que constituye un **principio estructural más general**, bajo el cual la causalidad relativista se recupera como **caso límite**.

1. Introducción La Relatividad Especial establece que ninguna interacción puede propagarse más rápido que la velocidad de la luz. La TMRCU, sin embargo, introduce un principio de reciprocidad, según el cual toda interacción entre entidades del Conjunto Granular Absoluto (CGA) es bidireccional y balanceada. El objetivo de este estudio es demostrar matemáticamente que dicho principio **no contradice** la causalidad relativista, sino que la refuerza como consecuencia emergente en el régimen clásico.

2. Fundamentos

2.1 Causalidad relativista La condición de causalidad en Relatividad se formula como: $ds^2 = -c^2 dt^2 + d\mathbf{x}^2 \leq 0$ donde solo los eventos dentro o sobre el cono de luz pueden estar causalmente conectados.

2.2 Principio de reciprocidad en la TMRCU Se postula que: $I(A \rightarrow B) = I(B \rightarrow A)$ donde I denota el intercambio de información/energía entre nodos del CGA. Este principio no especifica la velocidad de propagación, solo la **simetría del intercambio**.

3. Formalismo TMRCU En el Lagrangiano efectivo de la TMRCU: $L = (Z\Sigma/2)(\partial\mu\Sigma)^2 + (Z\chi/2)(\partial\mu\chi)^2 - V(\Sigma, \chi) - \lambda \partial\mu\Sigma \partial^\mu\chi$

Las ecuaciones de movimiento resultan en ondas acopladas: $\Box\Sigma + m\Sigma^2 \Sigma + \lambda \Box\chi + m\chi^2 \chi + \lambda \Box\Sigma = 0$

Donde $\Box = \partial\mu\partial^\mu$ es el operador de onda hiperbólico. \Rightarrow Esto garantiza que las soluciones obedecen **velocidades de grupo $\leq c$ **.

4. Demostración de compatibilidad

4.1 Teorema de hiperbolidad Si el operador cinético de la acción es estrictamente hiperbólico, entonces las soluciones están restringidas al cono de luz. En TMRCU, la matriz cinética:

$$K = | Z\Sigma \lambda | | \lambda Z\chi |$$

es definida positiva, lo que asegura la **hiperbolidad del sistema**.

4.2 Límite relativista Para $\lambda, m\Sigma, m\chi \rightarrow 0$, se recupera la ecuación de onda relativista estándar:
■ $\phi = 0$ con propagación estrictamente lumínica.

5. Interpretación física - La **reciprocidad** asegura que toda interacción es balanceada, pero **no implica instantaneidad**. - La **causalidad relativista** se mantiene intacta porque las ecuaciones de movimiento de TMRCU son hiperbólicas. - La reciprocidad funciona como un **principio ontológico** más profundo: organiza las interacciones, mientras que la relatividad establece su límite dinámico (velocidad máxima).

Conclusión La TMRCU no contradice la causalidad relativista: la **contiene como límite**. El principio de reciprocidad no introduce señales superlumínicas, sino que establece la **bidireccionalidad fundamental de las interacciones**. Por lo tanto, la TMRCU es **compatible con la Relatividad** y, al mismo tiempo, ofrece un marco ontológico más amplio para entender la estructura de la realidad.