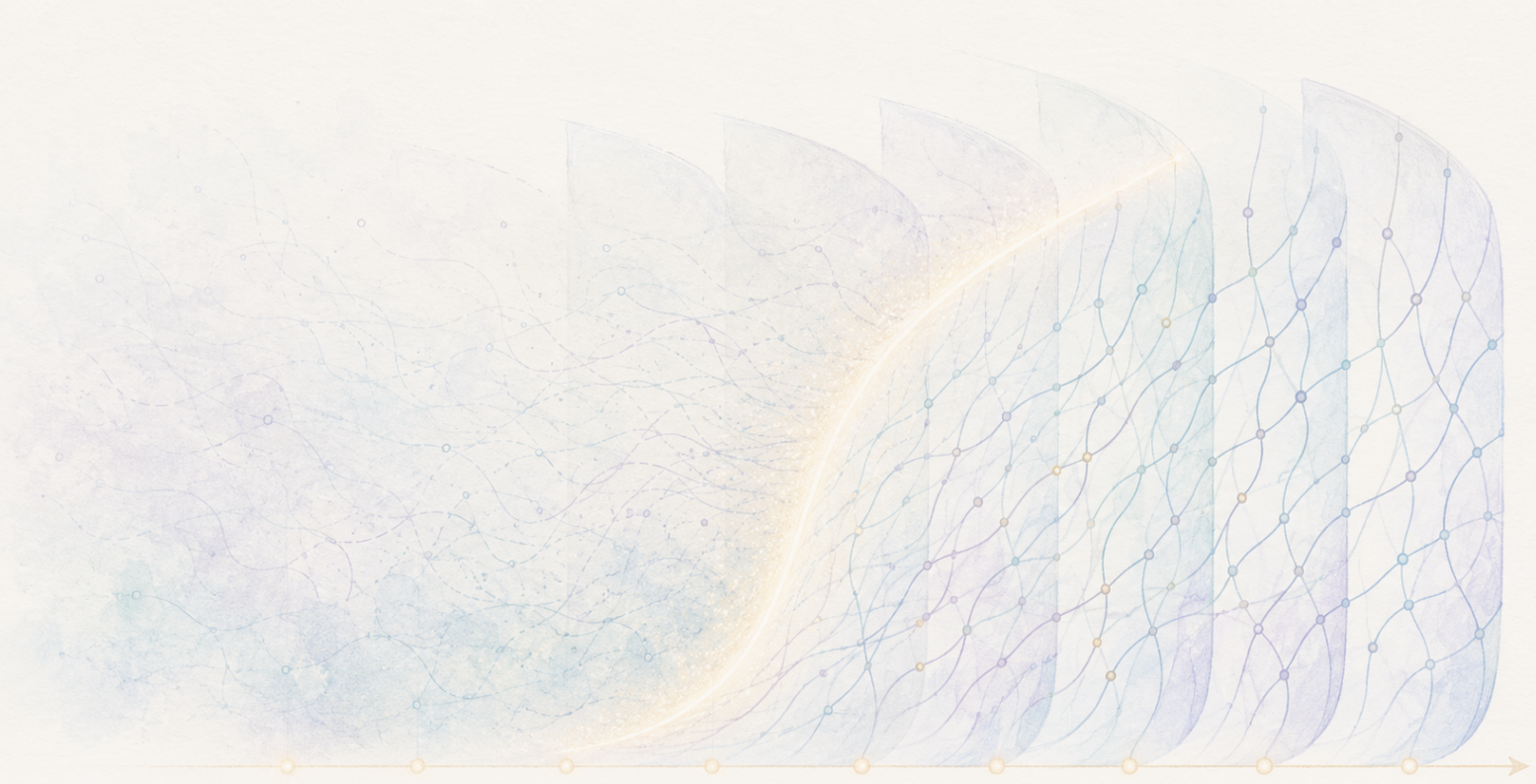




## The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

# Un modelo clásico pentadimensional intenta reconstruir el comportamiento cuántico sin cuantizar la gravedad

*Un artículo de Scientific Reports propone un marco 4D + tau en el que el espacio-tiempo ordinario evoluciona bajo un parámetro adicional. Mediante simulaciones y cálculos de modelos, recupera la gravedad newtoniana en equilibrio, apunta hacia una estructura relativista general básica y reproduce correlaciones de tipo EPR e interferencia semejante a la de doble rendija mediante la dinámica de líneas de universo. El resultado es una construcción teórica provocadora, no una prueba experimental de que la gravedad cuántica esté resuelta ni de que la mecánica cuántica estándar sea errónea.*

Written by Matteo · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Filip Strubbe, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026) · DOI: 10.1038/s41598-025-32860-8

# Una vía clásica hacia la gravedad cuántica es una afirmación audaz. Esta sigue siendo un modelo.

La mayoría de los intentos de combinar la mecánica cuántica con la gravedad comienzan tratando de cuantizar la gravedad. El nuevo artículo de Scientific Reports de Filip Strubbe intenta avanzar en la dirección opuesta: conservar fundamentos clásicos, añadir un parámetro adicional de evolución y preguntar si los efectos conocidos de la gravedad y algunos fenómenos cuánticos pueden emerger de esa dinámica clásica más amplia.

Es una propuesta provocadora. También es fácil exagerarla.

El artículo no resuelve la gravedad cuántica. No demuestra que la mecánica cuántica sea errónea. No refuta el teorema de Bell ni prueba que el universo sea, en secreto, una simple máquina de relojería. Lo que ofrece es un marco clásico pentadimensional propuesto que puede reproducir en modelos determinados comportamientos gravitatorios y de apariencia cuántica, y que formula algunas predicciones potencialmente distintas de las de la teoría cuántica estándar.

La pregunta útil no es «¿ha derrotado la física clásica a la física cuántica?». No lo ha hecho. La pregunta útil es más limitada: ¿a qué tendría que renunciar una teoría clásica, o qué tendría que añadir, para imitar algunas de las cosas que la física clásica ordinaria en cuatro dimensiones no puede imitar?

En este artículo, el ingrediente añadido no es una quinta dimensión espacial. Es un parámetro adicional, llamado tau, bajo el cual evoluciona el espacio-tiempo ordinario de cuatro dimensiones.

## El tiempo adicional que no es el tiempo ordinario

El marco parte del espacio-tiempo ordinario de cuatro dimensiones: una coordenada temporal y tres coordenadas espaciales. Después añade un parámetro externo de evolución, tau. El tiempo co-ordenado etiqueta acontecimientos dentro del espacio-tiempo. Tau gobierna cómo se relaja hacia el equilibrio la configuración completa del espacio-tiempo.

Esa distinción constituye la columna vertebral de la propuesta. El artículo denomina al planteamiento marco 4D + tau. Formalmente es pentadimensional, pero el autor precisa qué significa eso: no existe una métrica de cinco dimensiones que sustituya a la métrica habitual del espacio-tiempo de cuatro dimensiones. Tau es, en cambio, un parámetro que impulsa la dinámica de la geometría cuatridimensional y de las líneas de universo de las partículas que contiene.

La imagen es deliberadamente inusual. Los objetos básicos no son funciones de onda. Son líneas de universo: trayectorias a través del espacio-tiempo que pueden evolucionar a medida que cambia tau. El artículo imagina que el espacio-tiempo se «cristaliza» progresivamente a lo largo de la dimensión temporal. Detrás del frente de cristalización, las configuraciones se han relajado hasta alcanzar resultados estables; delante de él, el futuro todavía no está organizado de la misma manera.

Para un observador situado dentro del sistema, solo son accesibles los resultados equilibrados. El observador no ve  $\tau$  directamente. Reconstruye una historia ordinaria en cuatro dimensiones a partir de la secuencia de resultados que se han cristalizado.

Así intenta el artículo obtener dos cosas a la vez: una dinámica subyacente clásica y determinada, y la apariencia, desde el interior del sistema, del tiempo ordinario, de los resultados de las mediciones y de comportamientos de apariencia cuántica.

## Primero la gravedad: Newton y después partes de Einstein

La parte gravitatoria del artículo comienza en el límite de gravedad débil. El autor escribe una ecuación de relajación para un potencial gravitatorio. Cuando el sistema alcanza el equilibrio con respecto a  $\tau$ , esa ecuación se reduce a la ecuación de Poisson newtoniana habitual para la gravedad.

El artículo asigna también a las líneas de universo su propia regla de relajación. En equilibrio, estas son conducidas hacia las trayectorias esperadas de la gravedad newtoniana. Los ejemplos numéricos son intencionadamente sencillos: por ejemplo, una masa estática y un sistema de dos masas que se relajan hacia un espacio-tiempo newtoniano.

El autor extiende después la misma idea hacia la relatividad general. En lugar de relajar únicamente un potencial newtoniano, el marco relaja la propia métrica del espacio-tiempo. En equilibrio, las líneas de universo se convierten en **geodésicas**: las trayectorias que siguen los objetos en caída libre cuando no actúa ninguna fuerza aparte de la gravedad, equivalentes en un espacio-tiempo curvo a las líneas rectas. Se pretende que la geometría recupere características básicas de la relatividad general.

La salvedad es importante. El artículo no ofrece una derivación completa de todas las predicciones de la relatividad general en campos intensos. Deja explícitamente para trabajos futuros los regímenes de campo fuerte, las singularidades, el corrimiento gravitatorio al rojo, las ondas gravitacionales y comportamientos más ricos de las líneas de universo. La afirmación es que el marco puede recuperar la gravedad newtoniana en el límite débil y una estructura relativista general básica en un contexto más regular, no que haya sustituido todo el aparato comprobado de la gravedad de Einstein.

## La maniobra en la prueba de Bell: cambiar la hipótesis sobre el espacio-tiempo

La parte más difícil de cualquier explicación clásica de la mecánica cuántica es la no localidad.

El teorema de Bell nos dice que, bajo las hipótesis estándar, ningún modelo local de variables ocultas puede reproducir todas las correlaciones cuánticas. Los experimentos han violado repetidamente las desigualdades de Bell. Por eso fracasan las imágenes clásicas ordinarias en cuatro dimensiones.

### Las desigualdades de Bell en lenguaje sencillo

Imaginemos que dos partículas salen de la misma fuente llevando hojas de instrucciones ocultas. Muy separadas entre sí, Alice y Bob eligen de manera independiente cómo medir sus partículas. Si cada resultado está fijado por su hoja local de instrucciones, ningún lado puede verse afectado por la elección del otro y los ajustes son estadísticamente independientes de esas instrucciones, las desigualdades de Bell imponen un límite máximo a la intensidad con que pueden correlacionarse ambos conjuntos de resultados. Los experimentos reales superan ese límite. La conclusión no es que gane una alternativa concreta, sino que no pueden conservarse simultáneamente el realismo, la localidad y la independencia estadística.

Para una derivación paso a paso del límite local, la predicción cuántica y las pruebas experimentales, véase nuestra guía sobre el teorema de Bell.

La respuesta del artículo no consiste en negar el teorema de Bell. Cambia el contexto en el que se aplica. En el marco  $4D + \tau$ , las influencias pueden propagarse a lo largo de líneas de universo mientras la configuración evoluciona en  $\tau$ . Desde el punto de vista del espacio-tiempo ordinario, esto puede parecer una correlación no local. Desde el punto de vista de la dinámica subyacente propuesta, la interacción es local a lo largo de las líneas de universo pertinentes en  $\tau$ .

El artículo modela un experimento de tipo EPR con dos fotones medidos por Alice y Bob. El modelo reproduce las correlaciones cuánticas estándar para un estado de polarización máximamente entrelazado. El precio formal es explícito: el modelo renuncia por completo a la independencia estadística, pues la medición de Alice preconditiona el estado de Bob mediante la dinámica en  $\tau$ . El mecanismo no es el colapso cuántico estándar; es una relajación impulsada por  $\tau$  de los estados de polarización a lo largo de líneas de universo conectadas.

### Qué comparan realmente Alice y Bob

Una fuente envía un fotón a Alice y su compañero a Bob. Cada uno utiliza un divisor de haz polarizante dispuesto en un ángulo elegido y registra uno de dos resultados: transmisión o desviación. Un solo par no permite revelar la correlación. La prueba consiste en repetir el experimento y comparar con qué frecuencia coinciden los dos resultados a medida que cambia el ángulo entre los divisores. La teoría cuántica predice correlaciones más intensas de lo que permiten unas instrucciones ocultas locales y estadísticamente independientes. En el modelo de Strubbe, la medición de Alice ocurre primero en  $\tau$ ; la relajación de la polarización se propaga después por las líneas de universo conectadas, retrocede a través de su fuente común y continúa por la trayectoria de Bob, de modo que su estado ya está condicionado cuando realiza la medición. Así se reproduce la correlación en el modelo, pero solo cambiando el contexto causal y renunciando a la independencia estadística.

Esta es la parte que exige el límite más firme. Reproducir un modelo de tipo EPR dentro de un marco propuesto no equivale a derivar toda la teoría cuántica a partir de la mecánica clásica. El propio artículo señala que podrían aparecer desviaciones respecto de las predicciones cuánticas estándar si la transferencia de información a lo largo de las líneas de universo fuera demasiado lenta, o si las separaciones espaciales fueran suficientemente grandes como para que una medición terminara

antes de que la información pertinente sobre el resultado se hubiera propagado en tau.

Eso abre una vía de predicción; no constituye una vuelta de la victoria.

## La doble rendija, reconstruida como líneas de universo móviles

El segundo ejemplo cuántico es la interferencia de doble rendija.

El artículo modela una partícula masiva, concretamente un neutrón, como un haz de líneas de universo y no como un único punto clásico ni como una función de onda cuántica estándar. En el ejemplo, el neutrón tiene una longitud de onda de de Broglie de 2 nm y una velocidad de 2.000 m/s. La anchura simulada de las rendijas es de 10 nm y su separación, de 25 nm, valores menores que los de los experimentos habituales de interferencia de neutrones para que el patrón resulte visualmente más claro.

El haz de líneas de universo evoluciona bajo una regla entrópica. La densidad de sus extremos genera una distribución de apariencia interferencial, mientras una «línea de universo del momento» seleccionada transporta la energía y el momento y determina el acontecimiento real de detección. Esa es la forma en que el artículo separa el comportamiento ondulatorio del resultado corpuscular sin invocar una superposición cuántica intrínseca.

El artículo pregunta entonces qué revelaría la gravedad. En cada neutrón simulado, las numerosas líneas de universo contribuyen a la densidad de apariencia interferencial, pero solo la línea de universo del momento seleccionada transporta energía y momento y actúa como fuente gravitatoria. El modelo sitúa una sonda gravitatoria idealizada en el punto medio entre las rendijas y otras dos, simétricas, a izquierda y derecha. Si la línea de universo del momento atraviesa la rendija derecha en lugar de la izquierda, la diminuta respuesta gravitatoria se desplaza con ella. Leer esa asimetría revelaría la rendija elegida, mientras el haz completo de líneas de universo seguiría construyendo el patrón de interferencia en la pantalla. La aceleración estimada es de aproximadamente  $2 \times 10^{-23} \text{ m s}^{-2}$ , y el artículo deja explícitamente de lado las limitaciones prácticas de medición.

Ese número es importante porque mantiene honesta la afirmación. La propuesta no sostiene que alguien ya haya medido información gravitatoria sobre el camino seguido sin perturbar la interferencia. Sostiene que, dentro de este modelo, esa información debería ser accesible en principio porque el campo gravitatorio está ligado a una única línea de universo definida, no a una superposición de ambas trayectorias.

Esto contradice directamente la expectativa cuántica estándar de que la información sobre el camino elimina la interferencia. También proporciona al marco un posible punto de presión empírico.

## Lo que esto no demuestra

- **No** demuestra que se haya resuelto la gravedad cuántica.
- **No** demuestra que la gravedad sea clásica por naturaleza.
- **No** refuta el teorema de Bell; cambia el contexto causal del espacio-tiempo y relaja la independencia estadística en el modelo.
- **No** reproduce toda la mecánica cuántica. El artículo modela fenómenos seleccionados y deja para el futuro un formalismo cuántico completo.
- **No** muestra que la relatividad general se haya recuperado por completo en regímenes de campo fuerte.
- **No** vuelve inútiles las funciones de onda, los espacios de Hilbert, los números complejos ni la teoría cuántica de campos.
- **No** aporta confirmación experimental. El trabajo es teórico y se basa en simulaciones.

El límite limpio es este: el artículo propone un marco clásico de dimensión superior capaz de imitar varios comportamientos difíciles. No ha mostrado que la naturaleza utilice realmente ese marco.

## ¿Qué lo haría comprobable?

La parte más valiosa del artículo es que no permanece en el terreno puramente filosófico. Señala lugares donde el marco podría diferir de la teoría cuántica estándar.

Una predicción concierne a los experimentos de tipo EPR. Si la transferencia de información mediada por tau a lo largo de las líneas de universo no fuera efectivamente instantánea con respecto al proceso de cristalización, configuraciones de medición suficientemente separadas o rápidas podrían desviarse de las correlaciones cuánticas habituales.

Otra predicción se refiere a experimentos de doble rendija con partículas masivas. El modelo afirma que, en principio, podría extraerse información gravitatoria sobre el camino sin eliminar el patrón de interferencia. Es un contraste nítido con el razonamiento cuántico estándar, aunque la señal propuesta es extremadamente pequeña y no se ha establecido la viabilidad práctica.

Una tercera predicción atañe a las propuestas destinadas a comprobar si la gravedad puede mediar entrelazamiento entre masas. Muchas propuestas actuales para poner a prueba la gravedad cuántica consideran el entrelazamiento mediado gravitatoriamente como prueba de que la gravedad debe poseer rasgos cuánticos. En el marco de Strubbe, el campo gravitatorio se asigna a una única línea de universo definida, por lo que no debería producirse un entrelazamiento inducido gravitatoriamente de ese tipo.

No son diferencias menores. Son exactamente el tipo de diferencias que necesita un marco especulativo si aspira a ser algo más que una interpretación.

## ¿Qué solidez tiene la evidencia?

La evidencia es más sólida como demostración de consistencia interna.

El artículo presenta ecuaciones, simulaciones y ejemplos de modelos que muestran cómo su maquinaria  $4D + \tau$  puede recuperar la gravedad newtoniana en equilibrio, aproximarse a una estructura relativista general, reproducir un modelo de correlación EPR y generar para una partícula masiva un patrón de interferencia semejante al de la doble rendija.

Sin embargo, la evidencia aún no es sólida como prueba acerca del mundo.

Las demostraciones son selectivas. El marco no se ha extendido a un formalismo cuántico completo. Los casos de gravedad intensa no están resueltos. Las desviaciones experimentales propuestas no se han observado. La declaración de disponibilidad de datos indica que los conjuntos de datos generados y analizados durante el estudio pueden solicitarse razonablemente al autor de correspondencia, pero la afirmación central no es una medición nueva: es una construcción teórica.

Eso no constituye por sí mismo un defecto. Los marcos nuevos suelen comenzar como construcciones. Pero una lectura limpia debe mantener en compartimentos distintos construcción, simulación, predicción y confirmación.

## Por qué importa

Los artículos sobre fundamentos pueden parecer grandiosos porque su vocabulario lo es: gravedad cuántica, no localidad, tiempo, realismo, determinismo. El peligro es que el titular crezca más que el resultado.

Vale la pena leer este artículo porque ataca un punto de tensión real. La teoría cuántica estándar y la relatividad general no encajan limpiamente. Las correlaciones de tipo Bell derrotan realmente a las explicaciones clásicas locales ordinarias en el espacio-tiempo estándar. La medición y el tiempo siguen planteando dificultades conceptuales. Un marco que dice «quizá la hipótesis equivocada sea la que hacemos sobre el espacio-tiempo» no es correcto de manera automática, pero formula una pregunta legítima.

La maniobra interesante no es la nostalgia por la antigua física clásica. Es el precio necesario para que funcione una imagen clásica: la causalidad del espacio-tiempo ordinario deja de ser todo el escenario causal. El marco compra realismo y determinismo añadiendo una dinámica en  $\tau$  a la que los observadores no pueden acceder directamente.

Que ese precio sea aceptable es una cuestión de física, no un eslogan. Las propias predicciones del artículo son el lugar donde debería ponerse a prueba.

## En pocas palabras

Filip Strubbe propone un marco clásico pentadimensional en el que el espacio-tiempo ordinario de cuatro dimensiones evoluciona bajo un parámetro adicional,  $\tau$ . En equilibrio, el marco recupera la gravedad newtoniana en el límite de gravedad débil y aspira a recuperar una estructura relativista general básica más allá de ese límite. También modela dos fenómenos cuánticos: correlaciones de tipo EPR mediante influencias que se propagan a lo largo de líneas de universo en  $\tau$ , e interferencia de doble rendija mediante un haz de líneas de universo cuya densidad se comporta como una onda mientras una línea de universo del momento determina el resultado. La propuesta es teórica y se basa en simulaciones. Su importancia no reside en que resuelva la gravedad cuántica, sino en que formula una alternativa clásica concreta con posibles diferencias experimentales, entre ellas la información gravitatoria sobre el camino seguido y la expectativa de que algunas pruebas de entrelazamiento mediado por la gravedad den resultado negativo.

## Sin rodeos

**Lo que muestra el artículo:** Un marco clásico 4D +  $\tau$  propuesto puede reproducir en modelos determinados comportamientos gravitatorios y de apariencia cuántica: gravedad newtoniana en equilibrio, estructura relativista general básica, correlaciones de tipo EPR e interferencia semejante a la de doble rendija.

**Lo que es plausible, pero no está demostrado:** Que este marco pueda convertirse en una vía alternativa real hacia la gravedad cuántica. El artículo ofrece una ruta y predicciones; no establece que la naturaleza la siga.

**Lo que no muestra:** No resuelve la gravedad cuántica, no refuta la mecánica cuántica, no refuta el teorema de Bell ni demuestra experimentalmente que la gravedad sea clásica. Tampoco proporciona un sustituto completo del formalismo cuántico íntegro.

**Principal limitación para un lector general:** La maniobra clave del artículo consiste en añadir una dinámica en  $\tau$  externa al espacio-tiempo ordinario. Puede ser físicamente fructífera, pero también es la hipótesis que realiza gran parte del trabajo. No hay que confundir «clásico dentro de un marco más amplio» con «la física clásica ordinaria siempre tuvo razón».

**¿Cuánta confianza debería tener un lector general?** Confianza moderada en que el artículo presenta una construcción teórica seria y explícita; confianza baja en que sea la respuesta definitiva. La conclusión adecuada no es creer ni descartarla, sino formular una pregunta más precisa: ¿pueden hacerse experimentalmente comprobables sus desviaciones propuestas respecto de la teoría cuántica estándar?

## Fuentes

Strubbe, A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-32860-8>