

# Medida Latente:

## ¿Puede un Agente No Consciente Colapsar el Estado Cuántico? Un Protocolo de Triple Capa para el Experimento de Young

CosmicThinker

Investigador Independiente

Abril 2026

### Resumen

El problema de la medida en mecánica cuántica permanece abierto tras casi un siglo de debate. ¿Qué constituye un observador? ¿Es la consciencia un ingrediente necesario para la pérdida de coherencia cuántica, o basta con una interacción física irreversible? En este trabajo proponemos un protocolo experimental de triple capa basado en el experimento de doble rendija de Young, en el que tres agentes sucesivos — un robot con inteligencia artificial integrada que ejecuta el experimento (Robot 1), un segundo robot que examina y re-registra los resultados (Robot 2), y un observador humano que inspecciona los registros de ambos — permiten acotar operacionalmente qué etapas de la cadena de medida son físicamente suficientes para la pérdida de interferencia y cuáles son meramente epistémicas. Mostramos que la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner (que requiere consciencia para el colapso) y la interpretación de decoherencia (que solo requiere interacción física) realizan predicciones operacionalmente contrastables en el Modo B del protocolo. Conectamos el análisis con el concepto de Causalidad Estructural Latente (CEL): un resultado registrado por un agente no consciente pero no consultado por ningún humano constituye un ejemplo de información estructuralmente presente pero operacionalmente silenciosa. El protocolo propuesto es realizable con tecnología actual en lo que respecta a la automatización del montaje, y podría contribuir a traducir el debate sobre el observador cuántico de cuestión filosófica a cuestión experimental.

**Palabras clave:** Problema de la medida; Experimento de Young; Observador cuántico; Inteligencia artificial; Causalidad Estructural Latente; Hipótesis von Neumann-Wigner; Fundamentos de la mecánica cuántica.

## 1. Introducción

Desde la formulación matemática de la mecánica cuántica en la década de 1920, el problema de la medida ha constituido uno de los debates más profundos de la física fundamental. La teoría predice con extraordinaria precisión los resultados estadísticos de los experimentos, pero permanece ambigua respecto a un punto crucial: ¿qué proceso físico convierte una superposición cuántica en un resultado definido?

John von Neumann formalizó el problema en 1932 distinguiendo dos tipos de evolución: la evolución unitaria continua descrita por la ecuación de Schrödinger, y un "colapso" discontinuo asociado al acto de medida [1]. Eugene Wigner llevó esta distinción a su conclusión lógica con su célebre escenario del "amigo de Wigner" (1961): si un amigo dentro de un laboratorio cerrado mide un sistema cuántico, ¿en qué momento colapsa la función de onda — cuando el amigo mira, o cuando Wigner abre la puerta [2]?

Este problema no es meramente filosófico. Proietti et al. (2019) implementaron una versión simplificada del escenario de Wigner con fotones entrelazados, obteniendo resultados incompatibles con la suposición de que los "amigos" poseen resultados definidos antes de que el observador externo los consulte [4]. Sin embargo, en todos los experimentos realizados hasta la fecha, tanto los "amigos" como los observadores externos son sistemas diseñados y supervisados por humanos, lo que deja abierta una pregunta que David Hume ya anticipó en el siglo XVIII: ¿en qué medida nuestro acceso a la realidad depende de las propiedades del agente que observa [3]?

En este trabajo proponemos un protocolo experimental que aborda esta pregunta de forma directa. Utilizando el experimento de doble rendija de Young [10] — el escenario cuántico más fundamental y mejor comprendido — diseñamos una cadena de observación de triple capa en la que un robot con IA integrada ejecuta el experimento completo, un segundo robot examina los resultados, y solo entonces un humano inspecciona los registros. Esta estructura permite acotar operacionalmente las contribuciones de la interacción física, el procesamiento de información y la consciencia al proceso de medida.

## **2. Descomposición del Acto de Medida**

El acto de medida, tal como se practica en el laboratorio, involucra múltiples operaciones que habitualmente se tratan como un proceso único e indivisible. Proponemos descomponerlo en cuatro capas conceptualmente distinguibles:

### **2.1. Capa 1: Interacción física**

El sistema cuántico interactúa con un aparato macroscópico (detector, pantalla, medio de registro). Esta interacción es descrita por un Hamiltoniano de acoplamiento y produce una correlación entre los estados del sistema y los del aparato. En el formalismo de decoherencia [6], esta interacción, junto con el acoplamiento al entorno, es suficiente para eliminar las interferencias entre ramas macroscópicamente distintas.

### **2.2. Capa 2: Registro**

El resultado de la interacción se almacena en un medio físico estable: una memoria digital, una marca en un detector, un dato en un archivo. El registro es una amplificación irreversible que convierte la correlación cuántica en una huella clásica. Crucialmente, el registro puede existir sin que nadie lo consulte.

### **2.3. Capa 3: Procesamiento**

Un agente — humano o artificial — procesa los datos registrados: los lee, los analiza, extrae patrones, calcula estadísticos. Este procesamiento transforma datos brutos en información interpretable, pero no modifica los datos mismos. Un algoritmo de IA puede realizar esta operación sin ningún componente consciente.

### **2.4. Capa 4: Interpretación consciente**

Un ser humano toma conocimiento del resultado: lo comprende, lo relaciona con expectativas previas, actualiza sus creencias. Esta es la capa que la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner [1, 2] identifica como necesaria para el colapso, y que la interpretación de decoherencia [6] y la de muchos mundos [7] consideran físicamente irrelevante.

La pregunta experimental que planteamos es: ¿son las Capas 1 y 2 suficientes para la pérdida de coherencia, o las Capas 3 y 4 añaden alguna firma observable? Nuestro protocolo de triple capa está diseñado para acotar operacionalmente esta cuestión.

### 3. Protocolo Experimental: Triple Capa sobre Young

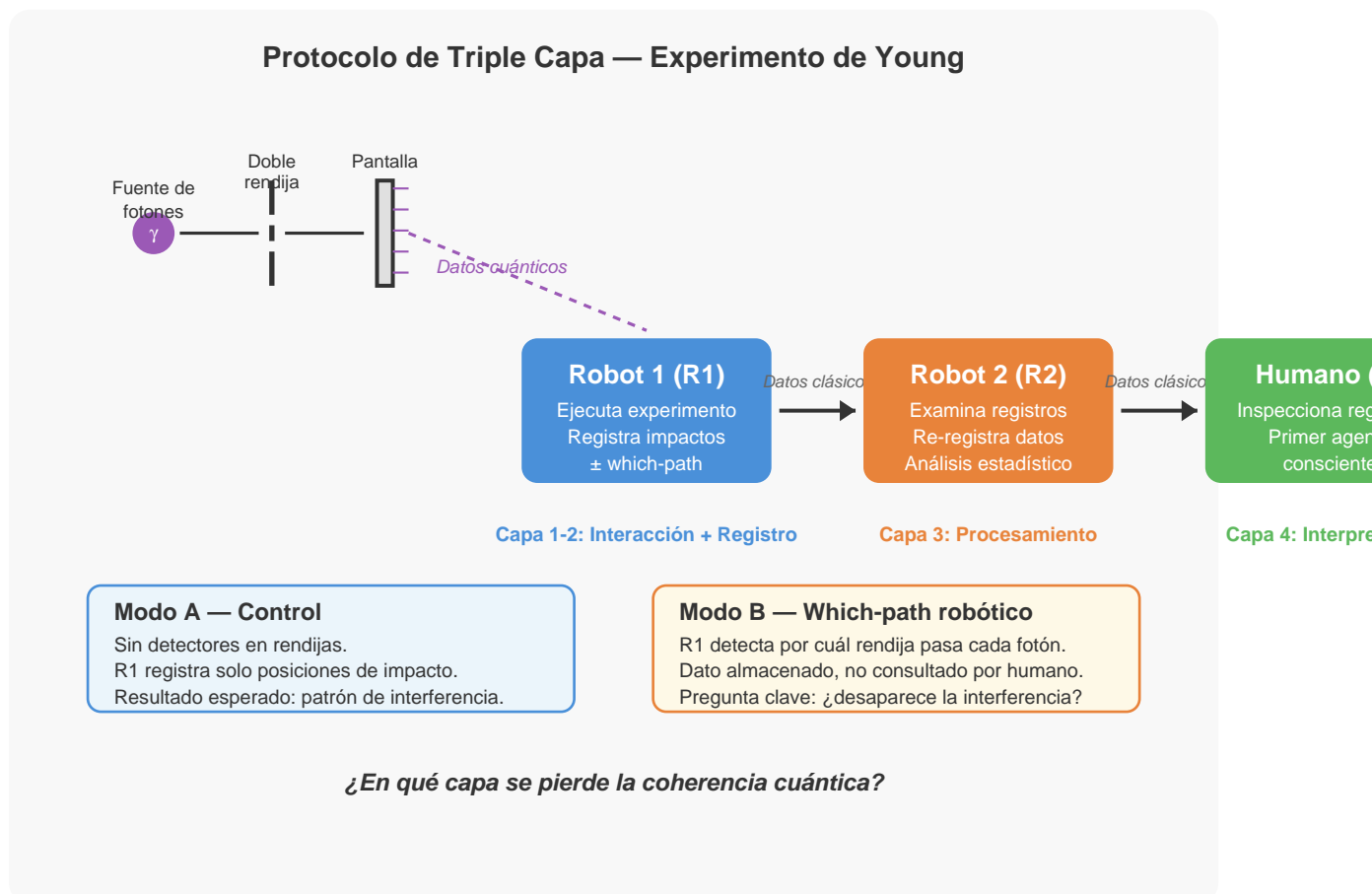
#### 3.1. Configuración general

El experimento utiliza un montaje estándar de doble rendija con una fuente de fotones individuales. La novedad reside exclusivamente en la estructura de observación, que se organiza en tres niveles sucesivos (Figura 1):

**Robot 1 (R1):** Un sistema robótico con inteligencia artificial integrada que prepara el montaje experimental completo (fuente, rendijas, detectores, pantalla), ejecuta el experimento lanzando fotones individuales, y registra los resultados. Ningún humano interviene en ninguna etapa de este proceso. R1 opera las Capas 1 y 2.

**Robot 2 (R2):** Un segundo sistema robótico, físicamente independiente de R1, que accede a los registros producidos por R1, los examina, re-registra los datos y realiza un análisis estadístico preliminar. R2 no interactúa con el sistema cuántico original — solo con los datos clásicos producidos por R1. R2 opera la Capa 3.

**Observador humano (H):** Un ser humano que, en la etapa final, inspecciona los registros de R1 y R2. El humano es el primer agente consciente en toda la cadena. H opera la Capa 4.



**Figura 1:** Diagrama del protocolo de triple capa. El montaje de Young es operado íntegramente por R1, que registra datos cuánticos (posiciones de impacto  $\pm$  información which-path). R2 procesa los datos clásicos de R1. El humano inspecciona los registros de ambos robots. La pregunta es en qué capa se pierde la coherencia.

### 3.2. Modos de operación

El protocolo se ejecuta en dos modos distintos, cada uno diseñado para aislar un aspecto diferente del proceso de medida (Figura 2):

**Modo A — Control (sin detección de rendija):** R1 ejecuta el experimento de doble rendija estándar sin colocar detectores en las rendijas. Registra únicamente las posiciones de impacto en la pantalla. Se espera un patrón de interferencia completo. Este modo establece la línea base y verifica que el montaje robótico no introduce artefactos.

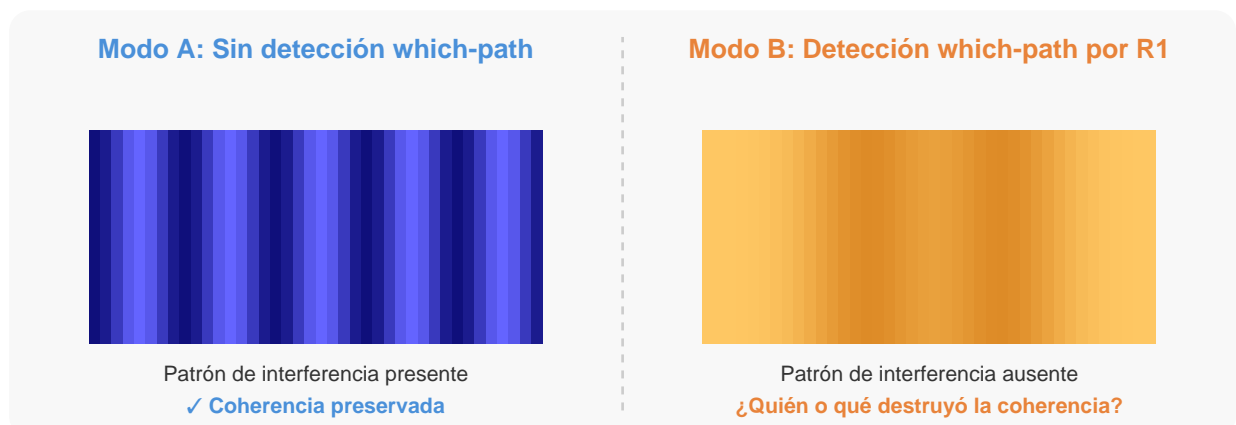
**Modo B — Detección robótica (which-path almacenado):** R1 coloca detectores en las rendijas que registran por cuál pasa cada fotón. Esta información se almacena en la memoria de R1 pero ningún humano accede a ella. R2 examina los registros de R1 y re-almacena los datos. Solo entonces el humano inspecciona los registros de ambos robots.

La pregunta clave del Modo B es: ¿desaparece el patrón de interferencia en la pantalla cuando la información which-path ha sido registrada exclusivamente por agentes no conscientes?

### 3.3. Observable y criterio de decisión

El observable principal del protocolo es la **visibilidad de interferencia**, definida como  $V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$ , donde  $I_{\max}$  e  $I_{\min}$  son las intensidades máxima y mínima del patrón registrado en la pantalla. En el Modo A, se espera una visibilidad alta ( $V$  cercana a 1), consistente con interferencia completa. En el Modo B, la pregunta es si  $V$  permanece alta o cae a valores cercanos a cero.

R1 registra las posiciones individuales de impacto de cada fotón en la pantalla. El patrón de interferencia se reconstruye a partir de la distribución acumulada de impactos. R2 procesa exclusivamente estos datos clásicos (posiciones y, en el Modo B, etiquetas which-path) y calcula la visibilidad  $V$  como estadístico primario. El criterio de decisión es la comparación directa de  $V$  entre los Modos A y B: si  $V_B \approx V_A$ , la detección which-path no ha destruido la coherencia; si  $V_B \approx 0$ , la interacción física ha sido suficiente.



**Figura 2:** Comparación esquemática de los patrones esperados en la pantalla para los dos modos de operación. Modo A (izquierda): sin detección which-path, se espera interferencia. Modo B (derecha): con

detección which-path por R1, la pregunta es si la pérdida de interferencia requiere un observador consciente.

#### 4. Predicciones según Diferentes Interpretaciones

Una de las virtudes del protocolo es que permite contrastar la predicción de la decoherencia estándar con la de la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner. Sin embargo, es importante señalar que las "interpretaciones" de la mecánica cuántica no constituyen un conjunto discreto de teorías con predicciones unívocas; muchas admiten variantes internas. La tabla siguiente debe entenderse como herramienta heurística, no como clasificación cerrada.

**Tabla 1:** Predicciones heurísticas de cada marco interpretativo para los dos modos del protocolo. La columna discriminante es el Modo B.

Marco interpretativo	Modo A (sin detector)	Modo B (which-path por R1)
Decoherencia (Zurek, 2003)	Interferencia	Sin interferencia (la interacción física basta)
Hipótesis fuerte von Neumann-Wigner	Interferencia	Interferencia preservada (nadie consciente observó)
Muchos mundos (Everett, 1957)	Interferencia	Sin interferencia (ramas decoheridas)
QBism (Fuchs, 2010)	Interferencia	Indeterminado (depende del agente)

El resultado discriminante es el Modo B. La decoherencia y la interpretación de muchos mundos predicen que el patrón de interferencia desaparece independientemente de quién o qué registre la información which-path, porque la interacción física con el detector ya ha destruido la coherencia. En cambio, la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner predice que, dado que ningún agente consciente ha accedido a la información, el sistema cuántico no habría colapsado y la interferencia debería persistir.

Si el Modo B muestra interferencia — un resultado que sería extraordinario — esto constituiría evidencia directa de que la interacción física no es suficiente para la pérdida de coherencia y que alguna propiedad del observador es físicamente relevante. Si el Modo B no muestra interferencia — el resultado esperado por la mayoría de los físicos — el experimento proporcionaría evidencia adicional, obtenida con un protocolo que elimina al observador humano de la cadena de medida de forma más completa que experimentos previos, compatible con la tesis de que la consciencia no desempeña ningún papel privilegiado en la pérdida de coherencia cuántica. No obstante, debe señalarse que un resultado negativo en el Modo B refutaría específicamente la versión fuerte de la hipótesis de von Neumann-Wigner, pero no cerraría necesariamente todo el debate sobre consciencia y medida: un defensor sofisticado de la relevancia de la consciencia podría reformular su hipótesis en términos menos directos.

#### 5. Conexión con la Causalidad Estructural Latente

El protocolo propuesto constituye un caso de aplicación directa del concepto de Causalidad Estructural Latente (CEL) introducido en un trabajo anterior [9]. Una interacción posee CEL cuando está estructuralmente presente en el formalismo pero permanece operacionalmente silenciosa dentro de un régimen dado.

En el Modo B, la información which-path está estructuralmente presente en los registros de R1 desde el momento en que el detector de rendija interactúa con el fotón. Sin embargo, esa información es operacionalmente silenciosa para cualquier agente consciente: no ha sido consultada por ningún humano, no ha modificado ninguna creencia, no ha generado ninguna acción basada en ella. La CEL proporciona así el marco conceptual para analizar la transición entre capas:

Tras la detección por R1, el resultado existe como registro físico — estructuralmente real pero operacionalmente latente para un agente consciente. Tras el examen por R2, la información ha sido copiada y re-procesada por un segundo sistema no consciente, pero sigue siendo operacionalmente latente para la Capa 4. Tras la inspección humana, el resultado se vuelve operacionalmente activo: un agente consciente lo conoce e interpreta.

La pregunta experimental es, en esencia, una pregunta sobre CEL: ¿produce la transición de latencia a operatividad — es decir, el paso de las Capas 1-3 a la Capa 4 — algún efecto físico sobre el sistema cuántico? Si la respuesta es no, entonces la pérdida de coherencia ocurrió en la Capa 1 y la consciencia es epistémicamente relevante pero físicamente inerte. Si la respuesta es sí, entonces la operatividad consciente sería un ingrediente físico genuino, no una mera descripción epistémica.

## **6. El Problema del Sesgo Heredado**

Un aspecto que debe tratarse con rigor es la posibilidad de que el agente artificial introduzca sesgos que contaminen los resultados. Identificamos tres niveles de sesgo potencial:

### **6.1. Sesgo de diseño**

La IA de R1 fue entrenada por humanos. Sus algoritmos reflejan decisiones humanas sobre qué constituye un montaje experimental correcto, qué parámetros controlar y qué datos registrar. En sentido estricto, R1 es un observador humano indirecto: ejecuta un protocolo diseñado por humanos. Sin embargo, este sesgo es equivalente al que introduce cualquier aparato de medida — un detector de fotones también fue diseñado por humanos, y nadie argumenta que el detector sea un "observador" en sentido cuántico. El sesgo de diseño es inherente a cualquier experimento y no invalida la separación de capas propuesta.

### **6.2. Sesgo de registro**

R1 debe decidir cuándo una detección se ha completado (umbral de señal, ventana temporal, discriminación de ruido). Estas decisiones son operacionales y podrían, en principio, afectar a los datos registrados. Para controlar este sesgo, el protocolo debe incluir ejecuciones paralelas donde un humano realiza el mismo experimento con los mismos parámetros, permitiendo una comparación directa. Cualquier discrepancia sistemática entre los datos de R1 y los del humano sería atribuible al sesgo de registro, no a la física cuántica.

### **6.3. Sesgo de existencia**

Este es el nivel más profundo y filosóficamente más interesante. Si R1 registra un resultado y nadie consciente lo consulta, ¿existe ese resultado en algún sentido físicamente relevante? Un realista diría que sí: los bits en la memoria de R1 son estados físicos del mundo, independientes de quién los lea. Un seguidor de QBism [8] diría que no: un resultado cuántico solo se vuelve real relativo a un agente que lo experimenta. El protocolo de triple capa no resuelve esta cuestión filosófica, pero la traduce en una pregunta con consecuencias empíricas: ¿produce algún efecto medible la diferencia entre un resultado registrado-pero-no-consultado y un resultado registrado-y-consultado?

## 7. Viabilidad Experimental

Los componentes del protocolo son individualmente estándar: fuentes de fotones individuales, montajes de doble rendija y detectores de posición son equipamiento habitual en laboratorios de óptica cuántica. La novedad reside en la automatización completa del proceso — desde la preparación del montaje hasta el registro — mediante un sistema robótico autónomo.

Los requisitos técnicos específicos incluyen: (a) un brazo robótico capaz de alinear componentes ópticos con precisión micrométrica; (b) un sistema de control basado en IA que ejecute el protocolo experimental sin supervisión humana; (c) un segundo sistema independiente capaz de leer y re-registrar datos digitales; y (d) un protocolo de aislamiento que garantice que ningún humano tiene acceso a los resultados hasta la fase final del experimento.

Es importante señalar una distinción crucial: la viabilidad técnica de construir este montaje no está en duda. La pregunta relevante es si la automatización añade poder discriminante respecto a montajes existentes con registro automático. Argumentamos que sí, por una razón específica: en los experimentos actuales, aunque el registro sea automático, un humano diseña, supervisa y tiene acceso potencial a los resultados en tiempo real. Nuestro protocolo exige que la cadena completa — preparación, ejecución, registro y primer análisis — ocurra sin presencia ni acceso humano. Esta diferencia, aunque sutil, es precisamente la que la hipótesis de von Neumann-Wigner necesita para ser testada.

## 8. Discusión

El protocolo propuesto no pretende resolver el problema de la medida — un problema que lleva un siglo abierto — sino acotar operacionalmente una de sus facetas más debatidas: el papel del observador consciente. Al descomponer el acto de medida en capas y asignar cada capa a un tipo diferente de agente (robótico o humano), el protocolo permite discriminar entre dos familias de hipótesis:

(a) Hipótesis donde la interacción física (Capas 1-2) es suficiente para la pérdida de coherencia. En este caso, R1, R2 y el humano observan los mismos datos — la cadena de observación es irrelevante para la física.

(b) Hipótesis fuertes donde el acceso consciente (Capa 4) tiene relevancia física adicional. Según la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner, la disponibilidad de información which-path para agentes no conscientes no bastaría por sí sola para consumir la pérdida de coherencia, lo que implicaría que el patrón de interferencia podría persistir en los registros de R1 y R2 mientras ningún humano los haya consultado. Esta predicción, aunque extraordinariamente improbable según el consenso actual, es precisamente lo que el protocolo permite testar.

El resultado más probable — que el Modo B no muestre interferencia, confirmando que la interacción física basta — sería un resultado relevante aunque no sorprendente. Reforzaría la tesis de que la consciencia no desempeña ningún papel privilegiado en la pérdida de coherencia, utilizando un protocolo que desacopla las capas de medida de forma más explícita que los montajes convencionales. Sin embargo, es importante reconocer los límites de este resultado: dado que la decoherencia estándar ya predice la pérdida de interferencia por la mera interacción con el detector, un resultado negativo en el Modo B testa específicamente la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner, no la totalidad del debate sobre consciencia y medida cuántica.

El resultado improbable pero revolucionario — que el Modo B muestre interferencia — indicaría que hay algo en el procesamiento consciente que es físicamente relevante para la mecánica cuántica. Este resultado requeriría un replanteamiento profundo de los fundamentos de la teoría y abriría un campo de investigación enteramente nuevo.

En cualquier caso, la conexión con la Causalidad Estructural Latente proporciona un marco conceptual que permite discutir ambos resultados de forma coherente. Si la pérdida de coherencia ocurre en la Capa 1, la operatividad es una propiedad de la interacción física, no del observador. Si requiere la Capa 4, la información permanece genuinamente latente hasta que un agente consciente la activa.

## 9. Conclusión

Hemos propuesto un protocolo experimental de triple capa para el experimento de Young que permite acotar operacionalmente el papel del observador en la mecánica cuántica. El protocolo descompone la cadena de medida en tres agentes sucesivos — dos robots con IA y un humano — y muestra que la hipótesis fuerte de von Neumann-Wigner y la decoherencia estándar pueden asociarse a expectativas experimentales distintas en el Modo B de esta configuración. El alcance del protocolo es específico: testa si la interacción física y el registro automático son suficientes para la pérdida de coherencia, o si el acceso consciente añade algún efecto observable. No pretende resolver el problema de la medida en su totalidad, sino aportar una herramienta empírica para una de sus facetas más debatidas.

La conexión con el concepto de Causalidad Estructural Latente proporciona un marco epistemológico para discutir la transición entre información registrada e información consultada, independientemente de cuál de las hipótesis resulte favorecida por los datos.

En última instancia, este trabajo parte de una intuición sencilla: si queremos saber si la consciencia importa para la mecánica cuántica, eliminemos la consciencia del experimento y veamos qué pasa. Que la respuesta a esta pregunta requiera construir robots que hagan física sin nosotros es, quizás, el recordatorio más profundo de que las preguntas más difíciles a menudo admiten las formulaciones más sencillas.

## Nota de Transparencia sobre el Uso de IA

*Este trabajo ha sido desarrollado con la asistencia técnica de modelos de inteligencia artificial. Claude (Anthropic) ha sido utilizado como asistente en la redacción, estructuración y formalización del manuscrito. ChatGPT (OpenAI) ha sido utilizado como asistente de revisión crítica, proporcionando un informe detallado que ha dado lugar a correcciones sustanciales entre la primera y la presente*



versión. La idea original del experimento, la concepción del protocolo de triple capa, la intuición física subyacente y todas las decisiones sobre el contenido final son íntegramente de CosmicThinker.

## Referencias

- [1] J. von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer (1932).
- [2] E. P. Wigner, Remarks on the Mind-Body Question, en *The Scientist Speculates*, ed. I. J. Good (1961).
- [3] D. Hume, *Tratado de la Naturaleza Humana* (1739).
- [4] M. Proietti et al., Experimental test of local observer independence, *Science Advances* 5, eaaw9832 (2019).
- [5] C. Brukner, A No-Go Theorem for Observer-Independent Facts, *Entropy* 20, 350 (2018).
- [6] W. H. Zurek, Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, *Rev. Mod. Phys.* 75, 715 (2003).
- [7] H. Everett III, "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics, *Rev. Mod. Phys.* 29, 454 (1957).
- [8] C. A. Fuchs, QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism, arXiv:1003.5209 (2010).
- [9] CosmicThinker, Causalidad Estructural Latente: Definiendo la Existencia Física en Regímenes Preobservables, Zenodo (2026).
- [10] T. Young, The Bakerian Lecture: Experiments and Calculations Relative to Physical Optics, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 94, 1 (1804).
- [11] J. A. Wheeler, The "Past" and the "Delayed-Choice" Double-Slit Experiment, en *Mathematical Foundations of Quantum Theory* (1978).
- [12] J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press (1987).
- [13] L. Smolin, *Einstein's Unfinished Revolution*, Penguin Press (2019).
- [14] J. Barbour, *The End of Time*, Oxford University Press (1999).