Lógica y Física: Ontologías, Teorías y Datos Empíricos

Logic and Physics. Ontologies, Theories and Empirical Data

Lógica e Física: Ontologias, Teorias e Dados Empíricos

J.A.F. Cuesta
Departamento de Lógica y Filosofía Teórica, Facultad de Filosofía
Universidad Complutense de Madrid, España
Investigador predoctoral UCM–Santander
josealef@ucm.es
0000-0002-9637-9291

→ **Recibido:** 31/03/2026
→ **Aceptado:** 13/07/2026
→ **Publicado:** 31/10/2026

→ **Artículo Dossier II**
"Filosofía y Fundamentos de la Física"
© 2026 J.A.F. Cuesta
CC BY 4.0

→ **Cómo citar:** Cuesta, J.A.F. (2026). Lógica y Física: Ontologías, Teorías y Datos Empíricos. *Culturas Científicas*, 7(1), pp. 131–151
doi.org/10.35588/cc.v7d8358

[RESUMEN]

Las lógicas cuánticas estándar constituyen el único formalismo lógico no clásico extraído del interior de una teoría científica formulada con lógica clásica. Este rasgo motiva un modelo epistemológico de tres capas: L1 fija la ontología formal, L2 contiene las teorías y sus estructuras de eventos, y L3 comprende los datos empíricos. El modelo muestra que Putnam y Kripke comparten un mismo compromiso con el monismo lógico y permite sostener que la lógica es empírica en L2 y *a priori* en sentido funcional en L1.

[PALABRAS CLAVES]

Lógicas cuánticas; monismo lógico; Problema de la Adopción; retículo de Hilbert; modelo de tres capas

[ABSTRACT]

Standard quantum logics are the only non-classical logical formalism extracted from within a scientific theory formulated in classical logic. This feature motivates a three-layer epistemological model: L1 fixes formal ontology, L2 contains theories and their event structures, and L3 comprises empirical data. The model shows that Putnam and Kripke share the same monist assumption, and it allows one to maintain that logic is empirical at L2 and *a priori* in a functional sense at L1.

[KEY WORDS]

Quantum logics; logical monism; Adoption Problem; Hilbert lattice; three-layer model

1. Introducción

La relación entre la *lógica* y la *física* admite tres formas básicas de caracterización: como *aplicación*, como *reconstrucción* y como *descubrimiento*. Las dos primeras han protagonizado, en la historia reciente de la filosofía, las propuestas para clarificar la relación entre lógica y física. La última permanece marginal.

En este artículo argumentaré que solo la última forma de caracterizar la relación entre lógica y física es correcta. Y que cualquier respuesta que pretenda aclarar cómo se relacionan la física y la lógica debe ofrecer una interpretación de la posibilidad de descubrimiento de una lógica *en* una teoría física, por extraño que suene.

Esta tercera forma de caracterización solo pudo plantearse tras el estudio de las lógicas cuánticas estándar ($\mathcal{QL}$s) y, si bien sus consecuencias filosóficas no han sido aún exploradas de manera exhaustiva, ignorarla bloqueará, de entrada, cualquier posibilidad interpretativa del caso tan singular que suponen estas lógicas cuánticas —haciendo que cualquier respuesta termine por ser, de una manera u otra, o bien incompleta o bien insatisfactoria.

El propósito de este artículo es presentar, por primera vez en español, una serie de resultados reunidos en publicaciones y seminarios recientes de manera sistemática (Cuesta, 2025; Fernández Cuesta et al., 2025; Cuesta y Jorge, 2026; Lombardi et al., 2026).[1] El argumento central consiste en identificar algunas propiedades *sui generis* de las $\mathcal{QL}$s —entre las que destaca la de haber sido *descubiertas* (Birkhoff y Von Neumann, 1936), algo intuitivo si hablamos de una *lógica*— y mostrar que esta propiedad justifica la construcción de un modelo epistemológico estratificado capaz de clarificar la relación entre lógica y física en su versión general.

Históricamente, la sistematización aristotélica de la lógica en el *Organon* estableció el marco inferencial canónico de la filosofía occidental. Las alternativas megáricas y estoicas —que habían desarrollado una lógica proposicional y una teoría de los condicionales más rica que el silogismo— quedaron progresivamente marginadas y terminaron perdiéndose hasta ser completamente fragmentarias y marginales. Mientras tanto, la física avanzaba de manera sostenida: de Arquímedes y Ptolomeo a Copérnico, de Galileo a Newton. La asimetría es llamativa: la física progresó durante siglos; la lógica, dentro del marco aristotélico, apenas lo hizo. Kant lo formuló con precisión en el prólogo a la segunda edición de la *Crítica de la razón pura*:

> "Que la lógica ha tomado este camino seguro desde los tiempos más antiguos es algo que puede inferirse del hecho de que no ha necesitado dar ni un paso atrás desde Aristóteles, salvo que se quieran considerar como correcciones la supresión de ciertas superficialidades innecesarias o la clarificación de lo expuesto, aspectos que afectan más a la elegancia que a la certeza de la ciencia. Lo curioso de la lógica es que tampoco haya sido capaz, hasta hoy, de avanzar un solo paso. Según todas las apariencias se halla, por tanto, definitivamente concluida" (Kant, 1787, B viii).

[1]Versiones anteriores de estos resultados han sido discutidas en los seminarios del Buenos Aires Logic Group, el Taller Complutense de Filosofía Analítica (Madrid) y el Institut Wiener Kreis (Viena) entre 2024 y 2025. Agradezco a Eduardo Barrio, Elia Zardini, Georg Schiemer, Mauricio Suárez y a todos los asistentes sus comentarios.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

Esta imagen de una disciplina concluida frente a una física en expansión consolidó la oposición entre conocimiento *a priori* y conocimiento *a posteriori* con ambas como máximos representantes de los dos tipos de justificaciones inferenciales hasta nuestros días. El surgimiento, sin embargo, de la lógica formal contemporánea —de Frege y Peano a los *Principia Mathematica*— y de la mecánica cuántica a comienzos del siglo XX supuso un golpe de efecto para esta consideración clásica, dando lugar a nuevos proyectos sistemáticos de fundamentación y clarificación de la relación entre ambas disciplinas.

La primera forma de relación posible entre ambas disciplinas, la *aplicación*, consiste en seleccionar un sistema lógico —mayormente no clásico— de manera independiente y aplicarlo a la teoría física como una herramienta externa. Los primeros proyectos de este tipo tomaron las lógicas trivalentes de Łukasiewicz para tratar los enunciados de indeterminación cuántica: Zawirski (1931) fue el primero en proponer esta vía, seguido por Février (1937) en París y posteriormente por Reichenbach (1944).

A este núcleo se añaden durante las décadas siguientes las lógicas difusas e intuicionistas (Cattaneo et al., 1993), paraconsistentes (Da Costa y Krause, 1994) y modales —incluyendo las caracterizaciones modales de lo que presentaré más adelante como *lógicas cuánticas estándar* (Goldblatt, 1993; Dalla Chiara y Giuntini, 2002); la aplicación de semánticas modales para interpretaciones de muchos-mundo (Wilson, 2020) o para interpretaciones modales (Lombardi et al., 2026) además de distintas semánticas, por ejemplo dinámicas y epistémicas para la modelización de procesos dinámicos de flujos de información cuántica (Baltag y Smets, 2006, 2008, 2011).

El caso de la mecánica cuántica, carente de un consenso interpretativo y en expansión en nuevos procesos de computación y manejo de la información, ha sido especialmente interesante, pero no ha sido el único. Así, por ejemplo, encontramos también casos de aplicación de distintas semánticas modales en relatividad especial y general en los trabajos de Andréka et al. (1999). En cualquier caso, esta forma de relación asume, de entrada, la independencia previa entre lógica y física —algo exigido por la propia noción de *aplicación*— y, como mucho, en lo que respecta a la interpretación filosófica del estatus epistemológico de cada una de las dos disciplinas permite argumentar a favor de un cierto pluralismo lógico moderado —pues se puede admitir que se trata de meras *logicae docentes*, i.e., herramientas formales aplicadas con mayor o menor interés.

Sin duda, la fuerza de estos programas descansa en explicitar ciertas propiedades dinámicas o formales —sobre todo probabilísticas— que podían resultar no evidentes o intuitivas en la presentación ortodoxa de la teoría cuántica y, en ese sentido, los resultados que cada una de estas aplicaciones arroja son valiosos en sí mismos. Pero las consecuencias para la clarificación en torno a la relación entre lógica y física y, como ya he comentado, la interpretación particular de las lógicas cuánticas serán muy limitadas —en caso de que puedan llegar a apreciarse.

Esto no sucede con la segunda forma de relación entre lógica y física que ha sido históricamente estudiada: la *reconstrucción*. Aquí nos encontramos ante un intento de relación más ambicioso. Desde los mismos inicios de la lógica formal que he mencionado a finales del XIX y principios del XX encontramos que la confluencia entre la forma lógica de todo enunciado y la generalización y extensión de las propiedades de la lógica estándar a contextos de discusión metafísica se topan de bruces con un problema, por otro lado esperable. La justificación empírica —forzada sobre todo por Russell (1918, 1924) en la búsqueda de construcción de un sistema realista— del conocimiento y el reconocimiento de los enunciados físicos por su forma lógica

llevan al atomismo lógico y su teoría de la *acquaintance* por medio de los *sense data* —y la admisión de que los únicos nombres propios genuinos podrán ser los deícticos— a una serie de callejones sin salida.[2]

Estos motivaron la redacción del *Tractatus* por parte de Wittgenstein (1921); así se lo confiesa el propio Wittgenstein a Russell cuando le habla de su manuscrito por primera vez aún preso en un campo de concentración italiano en 1918 (Russell, 2009). Y si bien de este quedarán aún algunos ecos en el modelo que presentaré en este artículo y de cómo planteó que debíamos concebir la relación entre lógica y física, no así de su popularización y generalización en la tradición neopositivista posterior, especialmente en el Círculo de Viena. Para los integrantes de este —si bien es difícil generalizar dada la heterogeneidad y pluralidad del grupo— fue un programa más o menos común investigar la identificación de los enunciados en la física a partir de su propia *forma lógica*.

De entre todas las posibles soluciones, sin duda la que más éxito tuvo fue la de definir los *enunciados protocolares*. Pero estos, de nuevo y al igual que había sucedido con los átomos lógicos russellianos, terminaron por encontrar límites insuperables relacionados, principalmente, por la complejidad de la práctica científica en la que se insertaban esos enunciados (Hempel, 1965). El programa era acuciante en los años 30 y 40 del siglo XX y se llegó a pensar también como una solución al problema de la interpretación de los enunciados indeterminados en mecánica cuántica (Schlick, 1936; Hermann, 1936; Cassirer, 1956).

La idea ahora no era, como antes, aplicar una nueva lógica para modelizar estos enunciados, sino reconstruir las propias teorías explicitando todos los compromisos lógicos —fueran clásicos o no (Carnap, 1934, 1950)— y realizando un ejercicio de *clarificación* y depuración utilizando la lógica como filtro de impurezas dentro de nuestras mejores teorías.[3]

Pero los problemas derivados de los enunciados protocolares —y alternativas similares— no hicieron que el proyecto muriese completamente —como, por otro lado, sí sucedió con

[2]En lo que al presente artículo respecta, el más relevante es el de compatibilizar una teoría lógica abstracta general entendida como metafísica con una concepción empirista del conocimiento basada en la teoría de la *acquaintance* por medio de los *sense data*. Esto llevó al propio Russell a tener que aceptar como únicos átomos lógicos legítimos los representados por deícticos o a incluir ejemplos tan polémicos hoy como el de los colores. El estudio de estos callejones y las posibles alternativas es, de hecho, uno de los pilares fundacionales de la tradición analítica ya que encontró respuestas en las propuestas de Wittgenstein y Carnap, pero también Quine, Sellars, Austin, Ryle o Putnam entre otros. Esto es importante de remarcar puesto que revela que la discusión en torno a la relación entre lógica y física no es un mero debate técnico hiperespecializado entre lógicos, sino que responde a aspectos fundacionales de programas tan relevantes como el de la primera filosofía analítica.

[3]La diferencia entre la relación de *aplicación* y *reconstrucción* no es solo cronológica. No depende de que la lógica a aplicar existiese o no previamente al programa de investigación lógico de la mecánica cuántica. Así, las lógicas paraconsistentes son posteriores y, sin embargo, un caso paradigmático del programa aplicativo. La diferencia fundamental radica en que unas lógicas son llamadas "cuánticas" por su aplicación y no por sus propiedades —formales, semánticas, sintácticas, estructurales, etc.— mientras que otras son llamadas "cuánticas" por poseer una serie de propiedades que han sido extraídas *directamente* del propio formalismo cuántico. Si a las primeras les quitamos el apellido cuántico y la aplicación no tendríamos ningún indicio en sus fundamentos para sospechar su utilidad o no en la aplicación a la mecánica cuántica si ignorásemos que esta existe. En el segundo caso, por el contrario, no podemos separarlas del formalismo físico, que nos resulta filosóficamente atractivo, no por un mero interés exploratorio sino por ser, de hecho, el formalismo de la mecánica cuántica. Esta misma diferencia la encontramos, si se me permite la analogía, cuando queremos cocinar una receta de cocina concreta. Podemos comprar todos y cada uno de los ingredientes para disponer de ellos *por* la receta o bien tomar simplemente lo que ya tenemos a mano y tratar de *aplicarlo* de la mejor manera posible. Agradezco a un revisor anónimo la necesidad de insistir en la aclaración de este punto.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

el atomismo lógico; al menos en este punto. El llamado *estructuralismo metacientífico* y las concepciones semánticas de las teorías científicas llevaron hasta sus últimas consecuencias los programas reconstructivos. Para el estructuralismo, lo que uno debía hacer para evitar pseudoproblemas interpretativos era tomar una lógica y una teoría de conjuntos estándar —para ellos en cuanto que clásicas— como metateoría y, desde ella, reconstruir las propias teorías científicas hasta obtener una metateoría general de la ciencia capaz de desvelar su *arquitectura* estructural (Balzer et al., 1987).

Pero este programa también termina asumiendo, *ab initio*, la independencia entre lógica y física igual que sucedía en el caso aplicado. Esto se debe a que, en última instancia, las mejores propuestas metacientíficas terminan siendo un nuevo proyecto de aplicación solo que ahora en lugar de en el plano del lenguaje objeto, en el del metalenguaje. Y al final del día, si uno quiere comprobar que su reconstrucción funciona con aquellos, y solo aquellos, modelos que valida una teoría física concreta, no le queda más que asumir la independencia de esta que ha de tomar como criterio evaluativo a riesgo de entrar en un círculo vicioso en caso contrario.

La tercera forma es en la que quiero centrarme: la que he llamado de "*descubrimiento*" y que es, sin duda, la más inusual y, por razones obvias, sorprendente. Las $\mathcal{QL}$s estándar no son el resultado de aplicar un formalismo lógico preexistente a la mecánica cuántica, ni de reconstruirla en un metalenguaje clásico: son estructuras extraídas del interior del formalismo de la teoría misma. Birkhoff y Von Neumann (1936) observaron que la familia de subespacios cerrados de un espacio de Hilbert complejo formaba un retículo *no booleano*. Hasta donde se sabe, se trata del único formalismo lógico no clásico *descubierto* en el seno de una teoría científica que presupone únicamente lógica clásica para su caracterización (Cuesta, 2025).

Esta singularidad genera tres rasgos estructuralmente sorprendentes: (i) un origen *extractivo* y no estipulativo; (ii) una aparente *tensión* con la lógica clásica que las formula y define; y (iii) una aparente *inutilidad interpretativa* directa, consecuencia de no haber establecido el puente semántico entre la estructura algebraica y el discurso experimental. Estos tres rasgos hacen del caso cuántico un banco de pruebas privilegiado para repensar la relación entre lógica y física, y plantean además un dilema epistémico: aclarar esa relación exigirá definir qué entendemos por lógica y por física, pero de manera tal que dichas definiciones no podrán fijarse con independencia del modo en que se caracterice la propia relación. Mi objetivo es presentar una solución a este dilema.

El artículo se organiza como sigue. La sección 2 presenta formalmente las $\mathcal{QL}$s estándar y diagnostica la confusión de niveles que ha viciado el debate. La sección 3 expone el modelo de tres capas (3LM) y su caracterización modal. La sección 4 responde a la pregunta de si la lógica es empírica empleando el modelo anterior. La sección 5 extrae algunas de las consecuencias principales.

2. Las lógicas cuánticas estándar

2.1. El retículo de eventos cuántico

Las $\mathcal{QL}$s estándar son el resultado de extraer una estructura lógica del interior del formalismo de la mecánica cuántica. El punto de partida es la observación estructural de Birkhoff y Von Neumann (1936): la familia de subespacios cerrados de un espacio de Hilbert

complejo $\mathcal{H}$, ordenada por la inclusión y equipada con las operaciones de intersección, suma cerrada y complemento ortogonal, forma un retículo no booleano.

Sea $\mathcal{H}$ un espacio de Hilbert complejo separable. Los *estados puros* están representados por rayos $[\psi] := \{\lambda|\psi\rangle : \lambda \in \mathbb{C},\, \lambda \neq 0\}$; los *estados mixtos*, por operadores de densidad ρ con $\mathrm{Tr}(\rho) = 1$; los *observables*, por operadores autoadjuntos A; y los *eventos/proposiciones*, por proyectores ortogonales, equivalentemente por subespacios cerrados de $\mathcal{H}$. El retículo de subespacios cerrados es

$$\mathcal{QL} \;=\; \langle \mathcal{C}(\mathcal{H}),\, 0,\, 1,\, \sqcap,\, \sqcup,\, {}^{\perp},\, \sqsubseteq \rangle, \tag{1}$$

donde para cualesquiera dos subespacios en la clase de subespacios cerrados del espacio de Hilbert, $X, Y \in \mathcal{C}(\mathcal{H})$, tenemos que:

$$X \sqcap Y := X \cap Y, \tag{2}$$

$$X \sqcup Y := \overline{\mathrm{span}(X \cup Y)}, \tag{3}$$

$$X^{\perp} := \{|\varphi\rangle \in \mathcal{H} : \langle\varphi|\xi\rangle = 0 \text{ para todo } |\xi\rangle \in X\}, \tag{4}$$

con 0 el subespacio nulo y $1 = \mathcal{H}$; $X \sqsubseteq Y$ abrevia $X \subseteq Y$. Mediante el teorema de proyección, $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ se identifica canónicamente con $\mathcal{P}(\mathcal{H})$: dado $X \in \mathcal{C}(\mathcal{H})$, existe un único proyector acotado P_X con $P_X^2 = P_X^* = P_X$, $\mathrm{Ran}(P_X) = X$ y $\ker(P_X) = X^{\perp}$; la correspondencia $X \mapsto P_X$ es biunívoca y preserva el orden y las operaciones reticulares (Svozil, 1998). El retículo es *ortomodular* pero no booleano:

$$X \sqsubseteq Y \;\;\Longrightarrow\;\; Y = X \sqcup (Y \sqcap X^{\perp}). \tag{5}$$

La conexión entre observables y eventos viene dada por el teorema espectral: para cada operador autoadjunto A existe una medida proyectora E^A tal que, para todo conjunto de Borel $\Delta \subseteq \mathbb{R}$, $E^A(\Delta) \in \mathcal{P}(\mathcal{H})$ y $\mathrm{Ran}(E^A(\Delta)) \in \mathcal{C}(\mathcal{H})$. La regla de Born asigna

$$\mathbb{P}_{\rho}(A \in \Delta) = \mathrm{Tr}\Big(\rho\, E^A(\Delta)\Big)\,, \tag{6}$$

que en el caso puro $\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$ se reduce a $\langle\psi|E^A(\Delta)|\psi\rangle$. Esta ecuación hace explícita la tríada que suele confundirse: *estados* (rayos u operadores de densidad), *observables* (operadores autoadjuntos) y *eventos/proposiciones* (proyectores/subespacios) (Griffiths y Schroeter, 2018).

Definición 2.1 (Proposición cuántica)**.** Sea $\mathcal{H}$ un espacio de Hilbert complejo. Una *proposición cuántica* es un elemento del retículo ortocomplementado $\mathcal{C}(\mathcal{H})$, es decir, un subespacio cerrado de $\mathcal{H}$, equivalentemente un proyector ortogonal sobre $\mathcal{H}$ bajo la identificación canónica de rango-proyección.

Esta definición es deliberadamente independiente del lenguaje natural y del discurso experimental (Cuesta, 2025, 2026). A modo de ilustración: en un sistema de espín $\frac{1}{2}$ con $\mathcal{H} = \mathbb{C}^2$, el operador σ_x (con $S_x = \frac{\hbar}{2}\sigma_x$) tiene descomposición espectral $\sigma_x = (+1)P_{x+} + (-1)P_{x-}$, donde $P_{x\pm} = \frac{1}{2}(I \pm \sigma_x)$. La proposición cuántica asociada al resultado $+1$ para σ_x puede representarse mediante el respectivo subespacio o, equivalentemente, mediante el proyector $P_{x+} \in \mathcal{C}(\mathcal{H})$: un valor en la estructura de eventos del nivel teórico, no una oración del discurso experimental. La regla de Born (6) asigna la probabilidad $\mathrm{Tr}(\rho P_{x+})$; en particular, $\mathrm{Tr}(\rho P_{x+}) = 1$ es condición de verificación natural para el evento P_{x+} en ρ (Cuesta, 2025, 2026).

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

Es importante distinguir dos resultados que la literatura confunde con frecuencia. La no distributividad de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ es un hecho algebraico puro que surge para $\dim(\mathcal{H}) \geq 2$, independientemente de cualquier consideración sobre medición (Popper, 1968; Suárez, 2025). El teorema de Kochen–Specker concierne a la no existencia de mapas de valoración globales y no contextuales sobre $\mathcal{P}(\mathcal{H})$ y requiere $\dim(\mathcal{H}) \geq 3$. La no distributividad es una propiedad de las operaciones reticulares; la contextualidad de Kochen–Specker es una restricción sobre esquemas de valoración admisibles. El argumento de este artículo descansa únicamente en el primero.

Esto es importante porque muchas discusiones en torno a las interpretaciones de las lógicas cuánticas no han girado tanto en torno a estas sino a un paso ilegítimo que se dio ya en Birkhoff y Von Neumann (1936) por el que las propiedades del retículo pasaron a intentar aplicarse *directamente* —de manera ilegítima— a enunciados informales acerca de interpretaciones intuitivas de resultados experimentales cuánticos *in nuce*.

2.2. No distributividad, confusión de niveles y monismo subyacente

Las $\mathcal{QL}$s, descubiertas en el seno de la mecánica cuántica, definen conectivos divergentes respecto de los de la lógica clásica. Pero todos los debates que, en lógica aplicada, trataban de arrojar luz sobre la interpretación de la mecánica cuántica se centraban en la modificación de principios lógicos con claros correlatos metafísicos protagonistas en la historia de la filosofía. Hablo de principios lógicos como el de identidad, contradicción o tercio excluso. Sin embargo, el principio clásico con el que las $\mathcal{QL}$s rompen es el de la distributividad.

La aparente *inutilidad* interpretativa de este principio forzó que se intentara aplicar directamente sobre los principales experimentos interpretativamente problemáticos en mecánica cuántica como el de doble rendija, que llegaron a motivar la acuñación de la expresión "paradojas cuánticas" (Gibbins, 1987).

La propiedad que distingue a $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ de un álgebra de Boole es la falla de la distributividad: la identidad

$$X \sqcap (Y \sqcup Z) = (X \sqcap Y) \sqcup (X \sqcap Z) \tag{7}$$

falla en general para $\dim(\mathcal{H}) \geq 2$.

Proposición 2.1 (No distributividad de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$)**.** Para cualquier espacio de Hilbert complejo $\mathcal{H}$ con $\dim(\mathcal{H}) \geq 2$, existen $X, Y, Z \in \mathcal{C}(\mathcal{H})$ tales que $X \sqcap (Y \sqcup Z) \neq (X \sqcap Y) \sqcup (X \sqcap Z)$.

Demostración. Sea $W \leq \mathcal{H}$ un subespacio bidimensional y $X, Y, Z \leq W$ tres subespacios unidimensionales distintos. Entonces $Y \sqcup Z = W$, luego $X \sqcap (Y \sqcup Z) = X \neq 0$. Dos rayos[4] distintos en W se intersecan trivialmente, luego $X \sqcap Y = X \sqcap Z = 0$ y $(X \sqcap Y) \sqcup (X \sqcap Z) = 0$. El argumento no invoca la no conmutatividad ni escenarios de medición: depende únicamente de la estructura de subespacios de $\mathcal{H}$ y de las definiciones (2)–(3). □

Observación 2.1 (Booleanidad local y no booleanidad global)**.** Para cualquier familia máxima $\mathcal{K}$ de proyectores que conmutan mutuamente (*contexto*), el sub-retículo generado por $\{\mathrm{Ran}(P) : P \in \mathcal{K}\}$ es booleano: el álgebra de von Neumann generada por $\mathcal{K}$ es abeliana y su retículo de proyectores es un álgebra de Boole completa (Svozil, 1998). La no booleanidad

[4] En realidad, dos subespacios unidimensionales distintos.

emerge únicamente al nivel global, al considerar conjuntamente proyectores de contextos incompatibles. Estos dos resultados no son contradictorios sino complementarios: mientras que la Proposición 2.1 concierne al comportamiento global de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ y no invoca ninguna hipótesis de conmutatividad, la presente observación describe su comportamiento restringido a cualquier contexto de proyectores mutuamente conmutables. La no booleanidad global de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ emerge precisamente porque no todo par de proyectores en $\mathcal{P}(\mathcal{H})$ conmuta entre sí.

La Proposición 2.1 constituye el núcleo matemático inalienable de las $\mathcal{QL}$s. Como subrayó Suárez (2025), la falla de la distributividad puede derivarse directamente del álgebra de los proyectores sin necesidad de narrativas sobre escenarios de medición (Cuesta, 2025). Esto exigirá, entonces, ofrecer un nuevo modelo interpretativo de las lógicas cuánticas estándar.

Como ya he mencionado, una fuente recurrente de confusión en la literatura consiste en transferir las propiedades reticulares al discurso experimental en lenguaje natural (Suárez, 2025; Cuesta, 2025, 2026). En esa transferencia operan dos conflaciones distintas. La primera confunde (i) los conectivos del lenguaje ordinario —y las interpretaciones informales de los resultados experimentales— con (ii) los conectivos de un cálculo proposicional formal. La segunda confunde (iii) los conectivos de un cálculo formal con (iv) las operaciones algebraicas que los representan bajo una semántica dada. En el caso de la mecánica clásica, donde el espacio de fase genera un álgebra de Boole, (iii) y (iv) coinciden; en el caso cuántico, el carácter no booleano de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ bloquea cualquier transferencia inmediata.

Así, para que los conectivos del discurso experimental se identificasen legítimamente con $\sqcap$, $\sqcup$, $^{\perp}$, sería necesario especificar al menos (i) un lenguaje objeto $\mathcal{L}$, (ii) un mapa de valuación

$$v : \mathrm{Form}(\mathcal{L}) \longrightarrow \mathcal{C}(\mathcal{H}) \tag{8}$$

tal que $v(\neg\varphi) = v(\varphi)^{\perp}$, $v(\varphi \wedge \psi) = v(\varphi) \sqcap v(\psi)$ y $v(\varphi \vee \psi) = v(\varphi) \sqcup v(\psi)$, y (iii) condiciones de verificación mediante la regla de Born: φ verificada en ρ ssi $\mathrm{Tr}(\rho\, P_{v(\varphi)}) = 1$. En ausencia de tal arquitectura semántica $\langle \mathcal{L}, v, \rho \rangle$, importar el perfil inferencial de $\sqcap$, $\sqcup$, $^{\perp}$ al discurso natural es metodológicamente ilícito (Suárez, 2025; Cuesta, 2025, 2026).

Esta confusión está sostenida, en realidad, por un compromiso previo con cierto *monismo lógico*: si se asume que una única lógica debe gobernar simultáneamente el discurso experimental informal y las estructuras algebraicas extraídas de la teoría, entonces la no distributividad de $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ parece exigir inmediatamente una revisión de los conectivos ordinarios. En otras palabras, un resultado cuántico es informalmente antiintuitivo solo si consideramos que las reglas que rigen las inferencias informales que consideramos intuitivas son las mismas que permiten derivar dicho resultado. En caso contrario solo habremos topado con una *aparente* sorpresa.

Sin ese supuesto monista, la no distributividad es un rasgo algebraico de un objeto matemático de nivel teórico cuya relación con el discurso informal empleado para acercarnos heurísticamente a los resultados cuánticos requiere una arquitectura semántica explícita. Este es el supuesto compartido que hace posibles tanto el programa revisionista de Putnam (1969) como la crítica de Kripke (2024) (Cuesta, 2025, 2026).

2.3. El programa Finkelstein–Putnam y el Problema de la Adopción

Este programa empirista fue claramente influenciado por Quine (1951) que, en su crítica al "segundo dogma", usó como ejemplo de revisión empírica de la lógica la propuesta de

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

Reichenbach (1944) sin matizar que se trata claramente de un programa cualitativamente distinto al de Birkhoff y Von Neumann (1936). Por el contrario, Putnam (1969, 1974) y Finkelstein (1969) refinaron la propuesta, haciéndola descansar en el carácter cualitativamente distinto de las lógicas cuánticas propuestas por Birkhoff y Von Neumann (1936): *cualitativamente* distintas por su propiedad de haber sido "descubiertas".

Sin embargo, Putnam (1969, 1974) y Finkelstein (1969) se comprometieron también con monismo lógico fuerte (solo una lógica es correcta) y con una posición antiexcepcionalista (los principios lógicos son empíricamente revisables) que les llevó a concluir que, puesto que las $\mathcal{QL}$s invalidaban la distributividad, dicho principio —constitutivo de la lógica clásica— debía ser rechazado por razones empíricas (Fernández Cuesta et al., 2025; Cuesta, 2026).

El *Problema de la Adopción* (PA) de Kripke (2024)[5] se presenta como una de las respuestas más conocidas y determinantes[6]: ciertos principios lógicos básicos no pueden adoptarse por medios inferenciales, porque, si ya se razona de acuerdo con ellos, la adopción ya se ha realizado, y si no se razona conforme a dichos principios, la adopción es imposible (Birman, 2024).

Putnam (1969) y Kripke (2024) comparten el mismo supuesto monista: ambos presuponen que una única lógica debe servir simultáneamente como fundamento metalógico y como la lógica supuestamente "descubierta" dentro de la teoría. Para Putnam ese monismo motiva la revisión global; para Kripke hace la revisión incoherente. Sus conclusiones son opuestas y, sin embargo, el punto de partida es el mismo (Cuesta, 2025).

El programa revisionista enfrenta dos obstáculos distintos. El primero es de *dependencia metalógica*: la teoría cuántica está formulada dentro de un marco metalógico clásico (Williamson, 2018; Horvat y Toader, 2024). Se precisan teoría de conjuntos, análisis funcional y lógica de primer orden para enunciar y probar los hechos algebraicos sobre los retículos de Hilbert; el monismo putnamiano, al exigir que ambas lógicas coincidan, choca con la práctica formal de la propia teoría. El segundo es de *subdeterminación semántica*: incluso concediendo la estructura de eventos no booleana, no hay puente inmediato desde las operaciones reticulares hasta los conectivos del discurso experimental (van Fraassen, 1974). Las críticas de Popper (1968), Dummett (1976) y Bell y Hallett (1982) señalaron con acierto que los experimentos mentales son prescindibles; no atacan el hecho algebraico de la no distributividad.

Finalmente, existe también una imposibilidad técnica. La distributividad no es un módulo extraíble del sistema de lógica clásica: está entretejida con las reglas de inferencia que lo constituyen de manera que su supresión produce el colapso de la estructura entera. En términos algebraicos, las álgebras de Boole —que son precisamente las álgebras de Lindenbaum–Tarski de la lógica proposicional clásica, es decir, los objetos que certifican simultáneamente la completud y la corrección de su cálculo— son exactamente los retículos complementados en los que la ley distributiva vale sin restricción. Sustituir la ley distributiva por la ortomodularidad produce retículos ortomodulares que, en general, no son álgebras de Boole; el cálculo de la lógica clásica resulta entonces incorrecto (*unsound*) respecto de esta nueva semántica, y la prueba estándar de completud se derrumba.

[5] Cfr. Birman (2024); Boghossian y Wright (2024); Finn (2019); Padró [Birman] y Barrio (2022).

[6] Se trata de una réplica que Kripke compone en 1974, pero solo ha sido publicada recientemente. Sin embargo, me centraré en ella dada la popularidad que ha recibido en su versión general —no solo como respuesta a Putnam (1969)— en la filosofía de la lógica contemporánea. Otras críticas muy conocidas y dignas de consideración son Dummett (1976); Bell y Hallett (1982); van Fraassen (1974). Por razones de espacio dejaré estas para otra ocasión.

Más concretamente: sin distributividad, el silogismo disyuntivo —de $\varphi \vee \psi$ y $\neg\varphi$ se sigue ψ— falla en general en $\mathcal{C}(\mathcal{H})$, y el condicional material $\neg\varphi \sqcup \psi$ no captura la implicación interna del retículo; el sustituto natural es el *gancho de Sasaki* $\varphi \hookrightarrow \psi := \varphi^{\perp} \sqcup (\varphi \sqcap \psi)$, pero este no es transitivo: de $\varphi \hookrightarrow \psi$ y $\psi \hookrightarrow \chi$ no se sigue en general $\varphi \hookrightarrow \chi$ (Hardegree, 1974; Smets, 2001). La regla del *silogismo hipotético* queda, por tanto, bloqueada, y con ella cualquier reconstrucción del razonamiento deductivo ordinario dentro del nuevo sistema. El monismo revisionista no puede así ofrecer un reemplazo funcional: suprime la distributividad y en su lugar obtiene una estructura de eventos genuinamente no clásica, pero no una *logica utens* sustituta (Cuesta, 2025, 2026).

El alcance del PA queda delimitado por la Definición 2.1: el PA se aplica a la adopción de reglas inferenciales que gobiernan prácticas lingüísticas, no a la introducción de una estructura de eventos extraída dentro de una teoría. La apariencia de que las $\mathcal{QL}$s caen bajo el PA proviene de tratar las proposiciones cuánticas como candidatas a la gobernanza inferencial directa del discurso experimental. Kripke diagnostica correctamente que la revisión global es incoherente; pero ese diagnóstico presupone el supuesto monista que el modelo siguiente disuelve.

3. Objetos, inferencias y datos: un modelo estratificado

Las $\mathcal{QL}$s estándar son, hasta donde sé, el único formalismo lógico no clásico descubierto en el seno de una teoría científica que presupone únicamente una lógica clásica para su caracterización. Del carácter extractivo —que Birkhoff y Von Neumann (1936) llamaron explícitamente *descubrimiento*— se derivan, como he comentado, los otros dos rasgos: (ii) la aparente tensión con la lógica clásica que las formula, y (iii) la aparente inutilidad interpretativa directa que resulta de no haber establecido el puente semántico entre la estructura algebraica y el discurso experimental (Cuesta, 2025). He dicho ya, además, cómo *no* debemos interpretar esta aparente "inutilidad" pero no he realizado ninguna propuesta positiva. Para resolver este impasse es necesario un marco epistemológico que distinga los roles que desempeña la lógica en la construcción de teorías científicas.

La estrategia metodológica que se propone aquí —siguiendo la propuesta de Suárez (2025) y Cuesta (2025)— es iterativa: se parte de un modelo epistemológico articulado en niveles y se regresa a él cuantas veces sea necesario. En consonancia con la tesis de Cassirer (1956) sobre la continuidad conceptual entre mecánica clásica y cuántica, este marco no impone una ruptura radical entre ambas sino una reorganización de los roles que lógica, física y datos empíricos desempeñan (Suárez, 2025). En sentido funcional y sin trascendentalismo —i.e., sin necesidad de comprometernos de entrada con una interpretación del modelo que lo sitúe como condición de posibilidad del conocimiento, en este caso científico para una teoría física—, la propuesta es neokantiana: la distinción entre el esquema formal constitutivo del conocimiento y el contenido empírico que ese esquema organiza reaparece como la distinción entre los niveles del modelo mismo.

3.1. Estructura del modelo

El *modelo de tres capas* (3LM) (Suárez, 2025; Cuesta, 2025) distingue tres capas (L1, L2 y L3, por el inglés *layer*):

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

1. **L1 (*logica utens*).** Un marco inferencial privilegiado funciona como norma de fondo para la construcción teórica. En el contexto científico este rol lo desempeña la lógica clásica estándar: lógica de primer orden más teoría de conjuntos (FOL + ZFC). Crucialmente, este nivel fija también la *ontología formal* de las teorías científicas. En FOL + ZFC la existencia queda definida cuantificacionalmente —*à la* Frege–Quine— y no puede predicarse de los objetos como una propiedad adicional. Los estados, observables y estructuras de eventos de la mecánica cuántica son objetos formales en el sentido de L1; no son individuos sustanciales en el sentido de la ontología ordinaria.[7]

2. **L2 (teórico).** Las teorías científicas y sus modelos matemáticos se construyen dentro de L1. La mecánica cuántica, con su aparato de espacio de Hilbert, pertenece aquí; con ella el retículo $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ y las $\mathcal{QL}$s estándar. El espacio de fases Σ en mecánica clásica y el espacio de Hilbert $\mathcal{H}$ en mecánica cuántica son los núcleos formales que desvelan las reglas inferenciales que rigen el interior de cada teoría: en el caso clásico, operaciones booleanas sobre la σ-álgebra de Borel de Σ; en el caso cuántico, operaciones ortomodulares sobre $\mathcal{C}(\mathcal{H})$.

3. **L3 (empírico).** Los datos, las prácticas experimentales y los mecanismos de retroalimentación que restringen la elección de teorías y la adecuación de modelos pertenecen a este nivel.[8]

La primacía de L1 no es un privilegio metafísico sino una restricción funcional: su revisión no puede articularse sin presuponer algún marco inferencial estable. El 3LM bloquea la posibilidad de aplicar ilegítimamente las propiedades del retículo a nuestras aproximaciones informales a los resultados cuánticos (Cuesta, 2025) y disuelve automáticamente la tensión entre la lógica estándar (L1) y la lógica cuántica (L2)[9]: la mecánica cuántica está formulada *con* lógica clásica (L1) y contiene *dentro* de su formalismo (L2) una lógica no distributiva; la tensión entre ambas surge solo si se confunden ambos niveles.

Además, no hay ningún requisito para que la lógica extraída en L2 se convierta en la *logica utens* de L1, bloqueando así la inferencia monista que pasa del descubrimiento a la revisión global. Esta inferencia monista puede verse como un simple *prejuicio* clásico —introducido históricamente por la confusión de niveles y la necesidad de que estos encajasen.

Otra consecuencia directa concierne a las interpretaciones de la mecánica cuántica: si la ontología está fijada en L1 —y no en L3, es decir, no en los datos empíricos— no es posible hablar de "objetos" cuánticos individuales ni preguntarnos por los estados de estos

[7] Esto hace que este modelo sea especialmente interesante de relacionar con las interpretaciones modales que rechazan una ontología basada en *objetos*, cfr. Lombardi et al. (2011); Holik et al. (2022); Lombardi et al. (2026).

[8] Aquí me estoy centrando claramente para evaluar la relación entre lógica y física en la relación entre las capas primera y segunda. Para una aproximación actualizada a la relación entre la segunda —teorías científicas— y la tercera —compuesta de los *targets* que informan las teorías y modelos científicos— cfr. Suárez (2024).

[9] Además, impide cualquier tipo de contaminación generada por forzar la inclusión en L2 de proposiciones informales para compatibilizar ciertas intuiciones preteóricas con el contenido de L2.

Este intento por forzar la inclusión de elementos informales puede verse ahora como una de las consecuencias de no haber separado explícitamente L1-L2 que, junto al compromiso monista, legitimaba la mezcla entre L1, el lenguaje natural y la discusión de ambos al mismo nivel que las lógicas cuánticas en L2. Con estos matices el modelo permite conservar el espíritu empirista de Putnam (1969) por el que las intuiciones no deben, en realidad, jugar ningún papel aquí.

previos a la medición en sentido ordinario. Los compromisos ontológicos de la teoría no se leen desde L3, sino de L1, algo en clara continuidad con las interpretaciones modales (Lombardi et al., 2011), pero también con la tradición neokantiana de Cassirer (1956). L1 puede, además, modificarse: la teoría de casi-conjuntos aplicada a la mecánica cuántica (Cuesta y Jorge, 2026) hace precisamente esto, modificar L1 de modo que los sistemas cuánticos no sean individuos en sentido clásico. Aquí sí se modifica la ontología. Se trata de la introducción de un cambio en el metalenguaje formal, no en el tipo de "adopción" que el PA critica.

3.2. Caracterización modal y no transitividad

Finalmente, es relevante decir algo sobre el modelo mismo. Las relaciones entre las capas de este admiten una caracterización modal precisa. Sea $W = \{w_1, w_2, w_3\}$ un conjunto de mundos representando los tres niveles. Las relaciones de accesibilidad pertinentes son:

- $w_1 \ R \ w_2$ y $w_2 \ R \ w_1$: primero, L1 hace posible L2 (la lógica y todo lo construido con esta en el primer estrato es condición de posibilidad de la definición teórica que seleccionará diferentes elementos de L1); pero también hemos visto casos históricos en los que L2 ha informado L1, si bien esto ha sido mucho más marginal. Las propuestas de teorías de conjuntos cuánticas (incluyendo los casi-conjuntos) o las motivaciones que tuvieron las primeras teorías de conjuntos de finales del XIX pueden ser dos ejemplos relativamente sencillos aunque, sin duda, el más evidente es el de la sustitución de la distinción sujeto-predicado por la de función-argumento por parte de Frege en la definición de su conceptografía.

- $w_2 \, R \, w_3$ y $w_3 \, R \, w_2$: aquí tenemos la retroalimentación mutua entre L2 y L3 en la que se han centrado mayoritariamente los debates sobre el realismo científico, entre otros; las teorías hacen posibles los datos (este es el aspecto claramente neokantiano del modelo), mientras que los datos retroalimentan los modelos (Suárez, 2024), que es el aspecto pragmatista.

- $\neg(w_1 \ R \ w_3)$ y $\neg(w_3 \ R \ w_1)$: los datos no determinan directamente la *logica utens* (ontología) de L1, ni viceversa.

- $\forall w_i(w_i R w_i)$: todo modelo es accesible a sí mismo. Esto refleja simplemente la posibilidad de aplicar cada estrato a sí mismo. En L1, entre otras cosas, esto posibilita introducir la distinción tarskiana entre niveles y metaniveles y no confundir esta con la distinción entre los estratos del modelo. En L2, la reflexividad garantiza que una teoría pueda contener una representación formal parcial de su propia estructura o incorporar modelos internos de sí misma. Esto permite incluir unas teorías *en* otras como, por ejemplo, casos límite. Finalmente, en L3, el caso más trivial, la reflexividad expresa que el conjunto de datos empíricos puede funcionar simultáneamente como objeto de registro y como criterio de contraste de nuevas observaciones. Esto nos permite generar estructuras de orden con los datos.

La relación R es reflexiva y simétrica de manera explícita entre los distintos estratos, pero *no transitiva*: de $w_1 \, R \, w_2$ y $w_2 \, R \, w_3$ no se sigue $w_1 \, R \, w_3$. Esto expresa una versión refinada de la condición duhem-quineana de que los datos empíricos inciden sobre el metalenguaje formal solo a través de los modelos teóricos como capa mediadora.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

La lógica modal inducida por esta estructura es *no-normal* en este sentido local: la necesitación local falla en general, de modo que un principio lógico válido en L1 no se traslada automáticamente a L2 —donde, en el caso cuántico, $\mathcal{C}(\mathcal{H})$ no satisface la distributividad (7)— ni viceversa. Esto refleja el hecho de que cada estrato puede emplear lógicas distintas: lo que es consecuencia lógica de los principios vigentes en un mundo no tiene por qué serlo en otro mundo accesible regido por una lógica diferente, tal y como sucede entre la lógica clásica de L1 y las $\mathcal{QL}$s de L2 para la mecánica cuántica estándar.

El 3LM tiene, finalmente, consecuencias directas sobre el debate realismo/antirrealismo en mecánica cuántica. Una vez que la ontología formal queda fijada en L1 mediante FOL + ZFC, la noción de existencia —en el sentido preciso de Frápolli (2023): existencia como cuantificación, no como predicación de objetos— se sitúa al nivel del metalenguaje y no al nivel de los datos experimentales. Esto pone en apuros distinciones estándar como la de concreto-abstracto o la de *a priori*-empírico, cuya estabilidad depende precisamente de que la ontología pueda leerse directamente de L3. Más concretamente: la noción de "elemento de realidad" que Einstein et al. (1935) definieron operacionalmente en términos de predicciones ciertas sobre resultados de medición —y cuya combinación con la localidad está en el núcleo de los teoremas de Bell (Bell, 1964) y de las violaciones experimentales de las desigualdades de Bell (Aspect et al., 1982)— pertenece al intento de leer compromisos ontológicos desde L3. El 3LM reubica ese debate: los compromisos ontológicos de la teoría cuántica no se deben *buscar* en el estrato de los datos empíricos, sino en el metalenguaje formal de L1, y la coherencia de ese metalenguaje con los datos es precisamente lo que la estructura L2-L3 articula. La evidencia experimental es perfectamente compatible con el modelo: lo que las violaciones de las desigualdades de Bell muestran no es que ciertos objetos carezcan de propiedades definidas, sino que la noción de objeto-con-propiedades-definidas pertenecería, en el mejor de los casos, a una ontología de L1 —incluso dudosamente en el caso estándar— que el formalismo cuántico en L2 no exige reproducir ni mantener.

El esquema general del 3LM puede entenderse, en el sentido que señalé al comienzo, como un proceso iterativo que admite dos lecturas complementarias. En un sentido pragmatista puro, el modelo permite que L2 sea completamente dinámico y que en casos límite —como el de la cuasi-teoría de conjuntos (Cuesta y Jorge, 2026)— se exploren incluso modificaciones de L1, admitiendo que estas no tienen por qué ser *adopciones* en el sentido del PA, sino meras propuestas de revisión metalingüísticas sometidas, a su vez, a criterios de coherencia que cada marco impone de forma contexto-dependiente.

En un sentido más explicativo, se puede preservar este dinamismo y, además, tratar de *interpretar* el significado del propio modelo más allá de su utilidad. Esta lectura podría llamarse *trascendental funcional* o *neokantiana pragmatista* y es claramente deudora de Cassirer (1956). Sin asumir compromisos fuertes con las exigencias metafísicas impuestas por un kantismo en sentido estricto —como puedan ser los conceptos puros de la sensibilidad, la arquitectónica de la estética trascendental o la necesidad de preservar compromisos lógicos clásicos, entre otras— aquí L1 proporciona los *principios* que hacen posible la construcción y evaluación de cualquier teoría en L2 —en un sentido puramente *formal*, es decir, sin decir *cuáles* han de ser estos en concreto—, funcionando como una suerte de *a priori* relativo y revisable muy cercano a la noción de *a priori* en el pragmatismo peirciano. L1 define el espacio de posibilidad ontológica como un conjunto de principios y criterios formales ontológicos que regulan la dinámica de L2 sin fijarla de una vez por todas. En este sentido el esquema, desde L2, es completamente afín a la metáfora del barco de Neurath.

Ambas lecturas encajan con la concepción de las teorías científicas como estructuras en permanente ajuste entre compromisos formales y evidencia: lo que el 3LM añade es la precisión sobre en qué nivel opera cada tipo de ajuste.

4. ¿Es la lógica empírica?

La pregunta recibe, a la luz del 3LM, una respuesta articulada también en niveles. En L1, la lógica clásica desempeña un papel *funcionalmente* a priori: es la condición de posibilidad de la articulación y evaluación de cualquier revisión, incluida la de sí misma. Esto no significa que sea irrevisable en sentido metafísico absoluto —L1 puede modificarse, como hemos visto[10]— sino que su revisión no puede articularse sin presuponer algún marco inferencial estable. El carácter excepcional de L1 es funcional y no meramente metafísico: la lógica clásica estándar cumple un rol normativo indispensable para la práctica científica, afín a la posición neokantiana en sentido funcional y sin trascendentalismo (Cassirer, 1956).

En L2, en cambio, las teorías científicas pueden contener estructuras formales localmente principales dentro de sus modelos sin convertirse en la norma ontológica de fondo de L1. Las $\mathcal{QL}$s son el ejemplo paradigmático: son *empíricas* en el sentido de que han sido "descubiertas" en el interior de una teoría empíricamente contrastada, y tienen significado lógico genuino dentro de la arquitectura interna de la mecánica cuántica, pero no desplazan a la lógica clásica de su rol *utens* y de delimitación ontológica. Esta es justamente la pervivencia del remanente tractariano que mencioné al comienzo. El antiexcepcionalismo controlado que introduce el 3LM preserva la intuición de Putnam —la estructura física tiene relevancia lógica— sin comprometerse con el axioma monista que fuerza la conclusión por la que una revisión local de L2 debe constituir una revisión global de L1 pues, en el fondo, son lo mismo (Cuesta, 2025).

El 3LM arroja también luz sobre el debate entre monismo y pluralismo lógicos. El monismo resulta insostenible como tesis global y —tal y como propusieron Quine (1951) y Putnam (1969) aunque por otras razones— las $\mathcal{QL}$s sirven de caso ejemplar para ilustrar cómo la lógica ha sido informada empíricamente. Pero ahora, la coexistencia de lógica clásica en L1 y $\mathcal{QL}$s en L2 es perfectamente coherente, no una contradicción, sino una articulación de roles distintos. El *pluralismo metodológico* es la posición que mejor se ajusta al marco: distintas lógicas son adecuadas para distintos niveles, con la lógica clásica conservando su primacía funcional en L1 y las $\mathcal{QL}$s articulando la estructura de eventos en L2.

La respuesta definitiva es: *la lógica es empírica en tanto que podemos descubrir nuevas lógicas desconocidas cuyas propiedades formales están por explorar en L2, y es* a priori *en sentido funcional en tanto que fija la ontología desde L1*. La diferencia reside en el nivel que

[10] De hecho, podemos considerar que el cambio paulatino de la lógica clásica aristotélica a la nueva lógica formal vino motivado, entre otras cosas, por la necesidad de fundamentar una serie de objetos matemáticos empleados exitosamente en física como función, límite, infinito, infinitesimal, etc. Los cuales, junto a la fundamentación de ramas de la matemática como la geometría, la aritmética y especialmente el análisis, terminaron motivando cambios sustanciales en L1, especialmente desde programas de fundamentación de la matemática definiendo ontologías nuevas —rompiendo con la tradición clásica— mediante teorías de conjuntos y mereológicas.

Esto, no obstante, no demuestra la transitividad de la relación entre capas del modelo, todo lo contrario. Muestra que pueden producirse cambios en los estratos alejados, pero que siempre necesitan de la mediación de L2. En este caso, el mencionado éxito empírico de esas nociones matemáticas en las teorías científicas.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

siempre debe ser explícito. Esta distinción supera tanto el excepcionalismo ingenuo como el antiexcepcionalismo desregulado que permite revisiones globales sin restricciones de nivel.

5. Conclusiones

El diagnóstico central de mi argumento es que las lógicas cuánticas tienen propiedades *sui generis* y que atender a estas permite generalizar un modelo a partir del cual comprender correctamente la relación entre lógica y física como una relación compleja, bidireccional y estratificada en niveles. Este modelo, además, permite revisitar todos los debates clásicos en torno a las interpretaciones de las lógicas cuánticas y comprender mejor las condiciones de posibilidad del conocimiento en una teoría científica.

De aquí surgen numerosos corolarios. Putnam y Kripke comparten un supuesto de monismo lógico que genera el *impasse* en el debate clásico: ambos presuponen que una única lógica debe servir simultáneamente como fundamento metalógico y como la lógica supuestamente "descubierta" dentro de la teoría cuántica. El 3LM ofrece una salida: una *logica utens* privilegiada (L1) fija la ontología formal; el dominio teórico (L2) alberga la mecánica cuántica y su retículo $\mathcal{C}(\mathcal{H})$; el dominio empírico (L3) comprende datos y retroalimentación. La no transitividad entre L1 y L3 bloquea la inferencia monista y preserva lo genuino del caso cuántico (Cuesta, 2025). Y del modelo epistemológico se derivan también otras consecuencias que afectan a varios debates simultáneamente tanto en filosofía de la lógica como de la física.

Por un lado, la reubicación de la ontología en L1 —donde la existencia queda definida cuantificacionalmente y no puede predicarse directamente de los objetos— impugna la distinción clásica entre objetos concretos y abstractos. Esta distinción ya no es ni transparente ni obvia y tampoco nos permitirá clarificar la relación entre la lógica y la física —si es que llegó a hacerlo. Se trata de una distinción que pertenece al metalenguaje formal y, en cualquier caso, no a L3.

Por otro lado, aunque en la misma dirección, la oposición *a priori*/*a posteriori* deja de ser una división entre dos tipos de conocimiento del mismo rango: la lógica clásica es *a priori* en sentido funcional en L1 —como condición de posibilidad de cualquier construcción teórica— y empírica en L2 —en tanto que sus herramientas pueden ser descubiertas en el interior de una teoría empíricamente contrastada. Una y otra cara son perfectamente compatibles; la aparente tensión, o incluso contradicción, entre ellas no es más que la consecuencia de haber confundido los niveles.

Finalmente, el debate entre monismo y pluralismo lógico encuentra su resolución natural: el monismo es insostenible como tesis global, pero el pluralismo metodológico —distintas lógicas adecuadas para distintos niveles— se sigue directamente de la estructura del 3LM sin necesidad de postulados adicionales. El corolario es que lógica clásica y lógicas cuánticas no son rivales: son herramientas que operan en niveles distintos de la misma arquitectura epistemológica (Cuesta, 2025, 2026).

El 3LM ofrece también, por último, una respuesta al dilema epistémico con el que abrí este artículo: aclarar la relación entre lógica y física exige definir ambas disciplinas, pero ninguna de las dos puede definirse con independencia del modo en que se caracterice dicha relación. La metodología iterativa que propone el modelo disuelve la circularidad sin suprimirla: en lugar de exigir definiciones previas y estables de lógica y física desde las que derivar su relación, parte de una articulación provisional de los tres niveles y la somete a revisión cuantas veces sea

necesario. En la lectura neokantiana funcional, L1 no es una definición de la lógica sino su rol constitutivo mínimo —las condiciones de posibilidad de cualquier construcción teórica— y ese rol puede precisarse iterativamente a medida que L2 revela nuevas estructuras de eventos.

Lo que importa es que en L1 fijamos nuestros compromisos ontológicos y es también donde definimos los principios regulativos que actuarán sobre L2. Ahora bien, sobre estos principios hay que matizar que (i) lo que fijamos en L1 son condiciones formales de posibilidad, no el contenido concreto de cada principio; y (ii) estos principios no estarán exentos, a su vez, de revisión, aunque esta sea siempre tentativa y mediada.

En la lectura pragmatista, la relación entre lógica y física no es algo *dado*, sino el resultado siempre provisional de un proceso de ajuste mutuo entre compromisos formales y evidencia, exactamente como en el barco de Neurath. La circularidad inicial no era, pues, un problema, sino la expresión correcta de que lógica y física se co-determinan en el proceso mismo de construcción del conocimiento científico: el 3LM revela que era un círculo virtuoso (Suárez, 2025; Cuesta, 2025).

Varias líneas de investigación resultan especialmente urgentes. En primer lugar, el PA de Kripke (2024) debe reexaminarse en el marco del 3LM —no olvidemos que era una respuesta a Putnam (1969)—: la adopción de ciertos principios no clásicos en L2 no está sujeta a las objeciones del PA, que atañen a la adopción de reglas inferenciales en L1, no a la introducción de estructuras de nivel teórico (Cuesta, 2025).[11]

En segundo lugar, el mismo tratamiento extractivo puede aplicarse a otras teorías: la lógica implícita en espacios de fase no clásicos, en sistemas complejos o en estadísticas no-Kolmogorovianas merece una caracterización análoga.

En tercer lugar, la relación entre L2 y L3 en el contexto de la computación e información cuánticas (Fernández Cuesta et al., 2025; Baltag y Smets, 2006) comienza a aislar conectivos y relaciones de consecuencia más estrechamente alineados con la actualización de estados, la compatibilidad y el flujo de información.

En cuarto lugar, cabe explorar si es posible reconstruir L1 en busca de un equilibrio multicapa análogo al que el caso clásico exhibe entre lógica proposicional, álgebra de Boole y teoría clásica de la probabilidad: la cuasi-teoría de conjuntos (Cuesta y Jorge, 2026) constituye un primer paso en esa dirección, al modificar L1 de modo que el equilibrio resultante sea coherente con la estructura ortomodular de L2.

En quinto lugar, el 3LM abre la posibilidad de revisar las interpretaciones de la mecánica cuántica desde nuevas coordenadas: una vez que los compromisos ontológicos se leen desde L1 y no desde L3, cuestiones como la individuación, la identidad y la indistinguibilidad cuántica dejan de ser problemas que surgen al intentar leer la ontología desde los datos y pasan a ser opciones sobre la configuración del metalenguaje formal (Holik et al., 2022; Lombardi et al., 2026).

Por último, el bloqueo de la aplicación directa de las propiedades del retículo a interpreta-

[11] Curiosamente, en Fernández Cuesta et al. (2025) argumento cómo L1 puede modificarse e incluso tenemos un caso para aplicar $\mathcal{QL}$ en este nivel más allá de la mecánica cuántica: el de la cognición cuántica, teoría cognitiva que utiliza una teoría de la probabilidad cuántica como formalismo matemático no clásico para modelizar procesos inferenciales informales que no corresponden a un modelo de racionalidad susceptible de ser fijado desde un marco probabilístico kolmogoroviano.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

ciones informales abre un espacio de investigación propio: qué modificaciones del formalismo de L2 —liberadas ya de la presión de tener que encajar con el lenguaje natural— resultan posibles, qué nuevas estructuras de eventos admiten los espacios de Hilbert generalizados, y qué consecuencias tienen esas modificaciones para la arquitectura semántica $\langle \mathcal{L}, v, \rho \rangle$ que articula el puente entre L2 y L3 son preguntas que el 3LM permite formular con precisión por primera vez (Cuesta, 2025, 2026).

"Die Logik erfüllt die Welt; die Grenzen der Welt sind auch ihre Grenzen."
(Wittgenstein, 1921, § 5.61)

Referencias

Andréka, H., Madarász, J. X., y Németi, I. (1999). Logical analysis of special relativity theory. In Gerbrandy, J., Marx, M., de Rijke, M., y Venema, Y., editors, *JFAK. Essays Dedicated to Johan van Benthem on the Occasion of his 50th Birthday*, Vossiuspers. Amsterdam University Press, Amsterdam. CD-ROM, ISBN 90 5629 104 1.

Aspect, A., Dalibard, J., y Roger, G. (1982). Experimental test of bell's inequalities using time-varying analyzers. *Physical Review Letters*, 49(25):1804–1807.

Baltag, A. y Smets, S. (2006). Lqp: The dynamic logic of quantum information. *Mathematical Structures in Computer Science*, 16(3):491–525. https://doi.org/10.1017/S0960129506005299.

Baltag, A. y Smets, S. (2008). Probabilistic dynamic belief revision. *Synthese*, 165(2):179–202.

Baltag, A. y Smets, S. (2011). Quantum logic as a dynamic logic. *Synthese*, 179(2):285–306.

Balzer, W., Moulines, C. U., y Sneed, J. D. (1987). *An architectonic for science: The structuralist program*. D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands.

Bell, J. L. y Hallett, M. F. (1982). Logic, quantum logic and empiricism. *Philosophy of Science*, 49(3):355–379.

Bell, J. S. (1964). On the einstein podolsky rosen paradox. *Physics*, 1(3):195–200.

Birkhoff, G. y Von Neumann, J. (1936). The logic of quantum mechanics. *Annals of Mathematics*, 37(4):823–843.

Birman, R. (2024). The adoption problem and the epistemology of logic. *Mind*, 133:37–60.

Boghossian, P. y Wright, C. (2024). Kripke, quine, the 'adoption problem' and the empirical conception of logic. *Mind*, 133(529):86–116.

Carnap, R. (1934). *Logische Syntax der Sprache*. Springer, Vienna. English translation: *The Logical Syntax of Language*, Routledge & Kegan Paul, 1937.

Carnap, R. (1950). *Empiricism, Semantics, and Ontology*. Revue Internationale de Philosophie. Reprinted in *Meaning and Necessity*, University of Chicago Press, 1956.

Cassirer, E. (1956). *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*. Yale University Press, New Haven.

Cattaneo, G., Dalla Chiara, M. L., y Giuntini, R. (1993). Fuzzy intuitionistic quantum logics. *Studia Logica*, 52:419–442.

Cuesta, J. A. F. (2025). Suárez's paradox and contemporary debates in the philosophy of quantum logics. *Análisis. Revista de Investigación Filosófica*, 12(1):93–105.

Cuesta, J. A. F. (2026). The question of quantum logics. *Journal for General Philosophy of Science*. https://doi.org/10.1007/s10838-026-09780-w.

Cuesta, J. A. F. y Jorge, J. P. (2026). Beyond quantum individuals: Quasi-sets and the philosophy of quantum logics. *International Journal of Theoretical Physics*, 65:107.

Da Costa, N. C. A. y Krause, D. (1994). Schrödinger logics. *Studia Logica*, 53:533–550.

Dalla Chiara, M. L. y Giuntini, R. (2002). Quantum logics. In Gabbay, D. M. y Guenthner, F., editors, *Handbook of philosophical logic*, pages 129–228. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Dummett, M. (1976). Is logic empirical? In Lewis, H. D., editor, *Contemporary British Philosophy, 4th Series*, pages 45–68. Allen and Unwin, London, U.K. Reprinted in *Truth and Other Enigmas*, London: Duckworth, 1978, pp. 269–289.

Einstein, A., Podolsky, B., y Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47(10):777–780.

Fernández Cuesta, J., Piazzai, M., y Rivieccio, U. (2025). Quantum logics in cognition: A proposal. *Synthese*, 206:25.

Février, P. (1937). Les relations d'incertitude de heisenberg et la logique. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 204:481–483.

Finkelstein, D. (1969). Matter, space and logic. In Cohen, R. S. y Wartofsky, M. W., editors, *Proceedings of the Boston colloquium for the philosophy of science 1966/1968*, volume 5 of *Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, pages 199–215. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Finn, S. (2019). The adoption problem and anti-exceptionalism about logic. *The Australasian Journal of Logic*, 16(7).

Frápolli, M. J. (2023). *The Priority of Propositions. A Pragmatist Philosophy of Logic*. Springer Verlag, Cham.

Gibbins, P. (1987). *Particles and Paradoxes: The Limits of Quantum Logic*. Cambridge University Press, New York.

Goldblatt, R. (1993). *Mathematics of Modality*. Center for the Study of Language and Information Publications, Stanford, CA.

Griffiths, D. J. y Schroeter, D. F. (2018). *Introduction to quantum mechanics*. Cambridge University Press, Cambridge and NY.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358

Hardegree, G. M. (1974). The conditional in quantum logic. *Synthese*, 29(1–4):63–80.

Hempel, C. G. (1965). Empiricist criteria of cognitive significance: Problems and changes. In *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, pages 101–122. Free Press, New York.

Hermann, G. (1936). Zum vortrag schlicks "quantentheorie und erkennbarkeit der natur". *Naturwissenschaften*, 24(15):237–238.

Holik, F., Jorge, J. P., Krause, D., y Lombardi, O. (2022). Quasi-set theory: a formal approach to a quantum ontology of properties. *Synthese*, 200(401).

Horvat, S. y Toader, I. D. (2024). An alleged tension between non-classical logics and applied classical mathematics. *The Philosophical Quarterly*, 75(2):579–597. `https://doi.org/10.1093/pq/pqad125`.

Kant, I. (1787). *Kritik der reinen Vernunft*. Johann Friedrich Hartknoch, Riga. Segunda edición (B). Primera edición 1781.

Kripke, S. A. (2024). The question of logic. *Mind*, 133(529):1–36.

Lombardi, O., Fortin, S., Ardenghi, J. S., y Castagnino, M. (2011). *Introduction to the modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics*. Nova Science Publishers, New York.

Lombardi, O., Pasqualini, M., Jorge, J. P., y Cuesta, J. A. F. (2026). Towards a logic of modalities for quantum mechanics. *Logique et Analyse*, forthcoming.

Padró [Birman], R. y Barrio, E. (2022). El problema de la adopción de reglas lógicas [The problem of adopting logical rules]. *Análisis Filosófico*, 41(1):33–42.

Popper, K. R. (1968). Birkhoff and von neumann's interpretation of quantum mechanics. *Nature*, 219:682.

Putnam, H. (1969). Is logic empirical? In Cohen, R. S. y Wartofsky, M. W., editors, *Proceedings of the Boston colloquium for the philosophy of science 1966/1968*, volume 5 of *Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, pages 216–241. Springer, Dordrecht, The Netherlands. Republished as "The logic of quantum mechanics" in H. Putnam. (1969). *Philosophical Papers I: Mathematics, Matter and Method*. Cambridge University Press.

Putnam, H. (1974). How to think quantum-logically. *Synthese*, 29(1–4):55–61.

Quine, W. V. O. (1951). Two dogmas of empiricism. *The Philosophical Review*, 60(1):20–43.

Reichenbach, H. (1944). *Philosophic foundations of quantum mechanics*. University of California Press, Berkeley, CA.

Russell, B. (2009). *The Autobiography of Bertrand Russell*. Routledge, London and New York.

Russell, B. A. W. (1918). The philosophy of logical atomism. In Marsh, R. C., editor, *Logic and Knowledge: Essays 1901–1950*, pages 177–281. Macmillan, London, U.K. Originally published in *The Monist* 28–29 (1918–1919).

Russell, B. A. W. (1924). Logical atomism. In Marsh, R. C., editor, *Logic and Knowledge: Essays 1901–1950*, pages 323–343. Macmillan, London, U.K. Originally published in J. H. Muirhead (ed.), *Contemporary British Philosophy*, London, 1924, 356–383.

Schlick, M. (1936). Quantentheorie und erkennbarkeit der natur. *Naturwissenschaften*, 24(12):161–166.

Smets, S. (2001). On causation and a counterfactual in quantum logic: The Sasaki hook. *Logique et Analyse*, 44(173–175):307–325.

Suárez, M. (2024). *Inference and Representation*. University of Chicago Press, Chicago.

Suárez, M. (2025). The logic of quantum theory revisited. *Análisis. Revista de Investigación Filosófica*, 12(1):47–92.

Svozil, K. (1998). *Quantum logic*. Springer, Singapore.

van Fraassen, B. C. (1974). The labyrinth of quantum logics. In Cohen, R. S. y Wartofsky, M. W., editors, *Logical and Epistemological Studies in Contemporary Physics*, volume 13 of *Boston Studies in the Philosophy of Science*, pages 161–187. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Williamson, T. (2018). Alternative logics and applied mathematics. *Philosophical Issues*, 28(1):399–424.

Wilson, A. (2020). *The Nature of Contingency: Quantum Physics as Modal Realism*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.

Wittgenstein, L. (1922 [1921]). *Tractatus Logico-Philosophicus*. Routledge and Kegan Paul LTD, London, U.K.

Zawirski, Z. (1931). Jan Łukasiewicz's three-valued logic [logika trójwartościowa jana Łukasiewicza]. *Sprawozdania Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk*, 2-4:35–37. Original publication in Polish.

© 2026 J.A.F. Cuesta | CC BY 4.0 | doi.org/10.35588/cc.v7d8358