

A version draft on: Estado del Arte sobre Física Simbólica y Diagramas Tensoriales de Penrose

Martin Pomares Calero

Physics Department, Basic Science and Technology. UNAN-Managua

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4994-0573>

Abstract

The development of Penrose tensor diagrams has transformed the representation of mathematical structures in contemporary physics, providing a graphical language that unites algebraic abstraction with geometric intuition. Over the past decades, these diagrams have become essential tools in quantum physics, field theory, and spacetime geometry, allowing compact descriptions of tensor contractions and correlations. Authors such as Biamonte, Bergholm, Kissinger, and Coecke have extended this formalism to computational and categorical contexts, establishing a framework of graphical calculus that facilitates the visualization and manipulation of complex physical systems.

Within this context, Martín Pomares Calero introduces the concept of Symbolic Physics, an epistemological and ontological approach that interprets Penrose diagrams as symbolic structures of the universe. From this perspective, the symbol is not a mere representational sign but an active component of physical and cognitive processes, capable of encoding the fundamental laws of reality. This approach proposes a synthesis between tensor calculus, scientific semiotics, and visual cognition, oriented toward a physics of meaning.

This paper examines the main research lines connecting tensorial thought and symbolic interpretation, emphasizing how the integration between mathematical and symbolic frameworks opens new paths for the theoretical understanding of the universe.

Resumen

El desarrollo de los diagramas tensoriales de Penrose ha transformado la representación de las estructuras matemáticas en la física contemporánea, proporcionando un lenguaje gráfico que une la abstracción algebraica con la intuición geométrica. A lo largo de las últimas décadas, estos diagramas se han consolidado como herramientas esenciales en la física cuántica, la teoría de campos y la geometría del espacio-tiempo, permitiendo describir de manera compacta operaciones de contracción y correlación entre tensores. Diversos autores, como Biamonte, Bergholm, Kissinger y Coecke, han ampliado este formalismo hacia contextos computacionales y categóricos, estableciendo un marco de cálculo gráfico que facilita la visualización y manipulación de sistemas físicos complejos.

En este contexto, la contribución de Martín Pomares Calero introduce la noción de Física Simbólica, un enfoque epistemológico y ontológico que considera los diagramas

de Penrose como estructuras simbólicas del universo. Desde esta perspectiva, el símbolo no es un mero signo representacional, sino un componente activo del proceso físico y cognitivo, capaz de codificar las leyes fundamentales de la realidad. Este enfoque propone una síntesis entre el cálculo tensorial, la semiótica científica y la cognición visual, orientada hacia una física del significado.

El presente trabajo examina las principales líneas de investigación que articulan la evolución del pensamiento tensorial con la interpretación simbólica, destacando cómo la integración entre lo matemático y lo simbólico abre nuevas rutas en la comprensión teórica del universo.

Palabras clave / Keywords

Diagramas tensoriales de Penrose; Física Simbólica; Cálculo gráfico; Redes tensoriales; Epistemología de la física; Representación simbólica; Física teórica.

Penrose tensor diagrams; Symbolic Physics; Graphical calculus; Tensor networks; Epistemology of physics; Symbolic representation; Theoretical physics.

Introducción

El estudio de los diagramas tensoriales de Penrose ha transformado la manera en que la física moderna representa estructuras matemáticas complejas, proporcionando una notación visual que une la geometría, el álgebra tensorial y la teoría de la información cuántica [1], [3], [4]. Estos diagramas, concebidos inicialmente por Roger Penrose en la década de 1970 [4], permiten visualizar de manera intuitiva operaciones de contracción y composición de tensores, facilitando la interpretación de sistemas cuánticos, modelos de relatividad general y estructuras algebraicas de alto orden.

Con el desarrollo de la computación cuántica y las redes tensoriales [1], [2], la notación diagramática adquirió un papel esencial en la descripción de estados cuánticos correlacionados, la corrección de errores y la codificación holográfica del espacio-tiempo. Autores como Biamonte, Bergholm y Eisert [1], [2], [3] han mostrado que los diagramas tensoriales no son solo herramientas de cálculo, sino representaciones estructurales del comportamiento físico. A su vez, el enfoque categórico de Kissinger, Coecke y Selby [5], [6] ha extendido este lenguaje hacia una lógica visual de la física, donde los procesos se entienden como transformaciones gráficas coherentes.

En este contexto surge la contribución de Martín Pomares Calero [16], quien introduce la noción de Física Simbólica, proponiendo que los diagramas de Penrose trascienden su función formal y se convierten en símbolos estructurales del universo. Desde esta perspectiva, el símbolo no solo representa un fenómeno físico, sino que participa en su construcción semiótica, enlazando las dimensiones cognitivas, ontológicas y epistemológicas del conocimiento científico. Esta propuesta amplía los límites de la representación matemática, situando al símbolo como un mediador entre el pensamiento humano y la estructura profunda de la realidad física.

Por tanto, el presente estudio revisa los principales avances en torno a los diagramas tensoriales, su formalismo gráfico y sus extensiones hacia una epistemología

simbólica de la física, resaltando la convergencia entre el cálculo tensorial, la visualización conceptual y la semiótica científica.

A manera de Desarrollo:

El desarrollo de los **diagramas tensoriales de Penrose** constituye una de las representaciones gráficas más influyentes en la física matemática contemporánea. Introducidos originalmente por Roger Penrose [4], estos diagramas establecieron una notación geométrica que permite visualizar las contracciones tensoriales y las relaciones algebraicas subyacentes en estructuras de espacio-tiempo y teorías de campo. Su relevancia se consolidó en la formulación de la **teoría de la relatividad general**, la **física cuántica de campos** y, más recientemente, en los **modelos de redes tensoriales**.

Diversos autores han expandido esta idea hacia aplicaciones computacionales y conceptuales. Biamonte y Bergholm [1] presentan una revisión integral de las **redes tensoriales**, mostrando cómo su estructura subyacente puede representar de manera compacta sistemas cuánticos altamente correlacionados. En una línea semejante, Wood, Biamonte y Cory [3] desarrollaron un cálculo gráfico para sistemas cuánticos abiertos, extendiendo el formalismo diagramático hacia contextos no unitarios. Estas formulaciones son esenciales para el estudio de la **decoherencia**, **entrelazamiento**, y la **computación cuántica**.

En el ámbito de la **corrección de errores cuánticos y la holografía**, Jahn y Eisert [2] exploraron modelos holográficos basados en redes tensoriales, estableciendo puentes conceptuales entre la **geometría emergente** y los **espacios de Hilbert** en teoría cuántica de la información. Kissinger [5] y Coecke & Selby [6] han aportado formalismos categóricos y diagramáticos que facilitan el tratamiento algebraico de los tensores en física, consolidando lo que hoy se conoce como **cálculo gráfico categórico**. Este enfoque, además de su elegancia conceptual, potencia la interpretación topológica y simbólica de las interacciones físicas.

El uso de estos diagramas también ha trascendido el ámbito puramente matemático. En fuentes como TensorNetwork.org [8], Wikipedia [9] y blogs especializados como Math3ma [10], se han popularizado representaciones didácticas que permiten entender operaciones matriciales y contracciones tensoriales mediante redes visuales. Taylor [11] y los autores anónimos de LessWrong [12] han enfatizado la **interpretabilidad simbólica** de estas notaciones, mostrando cómo pueden emplearse para representar relaciones causales o dependencias estructurales en modelos físicos y computacionales.

La contribución de **Martín Pomares Calero** [16] se inscribe en esta misma línea, pero con un enfoque filosófico y simbólico más profundo. En su trabajo *“Qbits, la función de onda del universo, diagramas de Penrose: Una nueva perspectiva para una física simbólica (I)”* [16], publicado en *arXiv:2311.06248*, propone el concepto de **Física Simbólica**, entendida como una metodología de representación que trasciende lo formal-matemático e incorpora dimensiones epistemológicas, cognitivas y

ontológicas del símbolo en la física teórica. Según Pomares, los diagramas de Penrose no solo codifican relaciones tensoriales, sino que constituyen **lenguajes estructurales del universo**, donde la alternancia y recurrencia entre componentes formales (como su *Recurrencia de Martin*) reflejan principios de autoorganización y dualidad en la naturaleza del campo cuántico.

Esta perspectiva propone un **enlace entre la notación tensorial y la semiótica de la física**, generando un marco interpretativo para la visualización simbólica de las ecuaciones fundamentales, lo cual se alinea con el emergente interés por la **visualización cognitiva de teorías físicas**. Su aporte contribuye a redefinir el papel del símbolo en la ciencia: no solo como una herramienta de cálculo, sino como un **medio ontológico de expresión de las leyes del cosmos**.

Complementariamente, Morton y Biamonte [13] analizan los límites de decidibilidad en estados de redes tensoriales, aportando una base teórica al problema de la **indecidibilidad algorítmica** en sistemas de gran complejidad. Otras referencias recientes [14], [15] consolidan el marco contemporáneo de la notación gráfica tensorial, enfatizando su aplicabilidad tanto en física teórica como en inteligencia artificial, donde el aprendizaje simbólico encuentra un paralelismo con las contracciones tensoriales.

En suma, el **estado del arte actual** muestra una convergencia entre tres ejes:

- a. El desarrollo técnico-matemático de las redes tensoriales y su notación gráfica.
- b. La formalización categórica de las relaciones tensoriales.
- c. La interpretación simbólica y epistemológica de estas estructuras, impulsada por la línea propuesta por **Pomares Calero**, que abre una nueva vía hacia una física del significado, o **Física Simbólica**, integrando pensamiento matemático, simbólico y cognitivo.

A manera de Conclusión

El desarrollo de los diagramas tensoriales de Penrose constituye un hito en la evolución del pensamiento físico, al ofrecer una herramienta que une la abstracción matemática con la intuición geométrica. A lo largo de las últimas décadas, esta notación se ha consolidado como un lenguaje universal para describir fenómenos complejos en física cuántica, teoría de campos y relatividad, demostrando que la visualización simbólica puede alcanzar niveles de precisión equivalentes al cálculo analítico [1]–[6].

Sin embargo, la propuesta de Pomares Calero [16] amplía el horizonte tradicional al introducir la Física Simbólica, donde los diagramas y los símbolos no son simples representaciones, sino entidades estructurales que codifican el sentido mismo de la realidad física. Su enfoque redefine la noción de símbolo científico como una forma activa de conocimiento, capaz de revelar correspondencias entre la estructura matemática del universo y los procesos cognitivos del observador.

Esta integración entre lo simbólico y lo formal abre nuevas perspectivas para la física teórica, la filosofía de la ciencia y la epistemología del conocimiento físico, consolidando una visión donde el universo puede ser comprendido no solo como un sistema de ecuaciones, sino como un entramado de símbolos dinámicos, autoorganizados y recurrentes.

En consecuencia, el estado del arte muestra una evolución desde la notación tensorial clásica hacia una física del significado, en la que las representaciones gráficas, algebraicas y simbólicas se funden en un mismo lenguaje. Esta línea, impulsada por la contribución de Pomares Calero, sugiere que el futuro del pensamiento físico podría depender tanto de la precisión matemática como de la capacidad simbólica del ser humano para modelar el universo.

Referencias Bibliográficas (IEEE)

- [1] J. Biamonte and V. Bergholm, “Tensor Networks in a Nutshell,” *arXiv preprint arXiv:1708.00006*, 2017.
- [2] A. Jahn and J. Eisert, “Holographic tensor network models and quantum error correction: A topical review,” *arXiv preprint arXiv:2102.02619*, 2021.
- [3] C. J. Wood, J. D. Biamonte, and D. G. Cory, “Tensor networks and graphical calculus for open quantum systems,” *arXiv preprint arXiv:1111.6950*, 2011.
- [4] R. Penrose, “Applications of Negative Dimensional Tensors,” in *Combinatorial Mathematics and its Applications*, Academic Press, 1971.
- [5] A. Kissinger, *Graphical Calculus for Tensor Network Contractions*, DPhil Thesis, University of Oxford, 2012.
- [6] B. Coecke and R. Selby, “An Overview of Diagrammatic Notation in Physics,” University of Oxford, 2013.
- [7] A. Kissinger and D. Quick, “Tensors, !-graphs, and non-commutative quantum structures,” *arXiv preprint arXiv:1412.8552*, 2014.
- [8] “Tensor Diagram Notation,” *TensorNetwork.org*, 2023.
- [9] “Penrose graphical notation,” *Wikipedia*, 2024.
- [10] Math3ma, “Matrices as Tensor Network Diagrams,” *Math3ma Blog*, 2019.
- [11] T. Taylor, “A User’s Guide to Penrose Graphical Notation,” *Math StackExchange*, 2022.
- [12] “Graphical tensor notation for interpretability,” *LessWrong*, 2023.
- [13] J. Morton and J. Biamonte, “Undecidability in Tensor Network States,” *arXiv preprint arXiv:1205.3315*, 2012.
- [14] L. M. Surhone et al., *Penrose Graphical Notation*, VDM Publishing, 2010.
- [15] “Very Basics of Tensors with Graphical Notations,” *arXiv preprint arXiv:2411.16094*, 2024.
- [16] M. Pomares Calero, “Qbits, la función de onda del universo, diagramas de Penrose: Una nueva perspectiva para una física simbólica (I),” *arXiv preprint arXiv:2311.06248*, 2023.