

## PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL CUÁNTICO PARA EL ANÁLISIS SEMÁNTICO MULTIESCALAR DE LA DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO EN REDES ACADÉMICAS

Quantum Natural Language Processing for multiscale semantic analysis of knowledge dissemination in academic networks

**Mendoza Jurado, Helmer Fellman**

Universidad Católica Boliviana San Pablo, Unidad Académica Tarija  
hmendoza.j@ucb.edu.bo

**Tarija - Bolivia**

### Resumen

La investigación desarrolla un modelo de procesamiento de lenguaje natural cuántico integrado con grafos epistémicos dinámicos para analizar multiescalarmente la producción científica en redes académicas latinoamericanas, utilizando un corpus de 7.500 documentos de 12 disciplinas en el periodo 2008–2024; los resultados muestran que los embeddings cuánticos representan de forma efectiva superposiciones y ambigüedades semánticas, con picos de divergencia en 2010 y 2015 identificados como rupturas paradigmáticas, mientras que las métricas de clustering reflejan la naturaleza rizomática del conocimiento; los grafos evidencian densificación progresiva y reducción de modularidad, indicando mayor integración interdisciplinaria, y los patrones de citación reportan una tasa de autocitación del 21.02% y una ventana promedio de 4.1 años, confirmando equilibrio entre consolidación y apertura; se detectaron 750 tensiones cognitivas en áreas como pedagogía crítica, neurociencia educativa y ciencias cognitivas, junto con 12 trayectorias paradigmáticas y altos niveles de diversidad en tecnologías emergentes, epistemología y educación digital, posicionadas como polos de innovación; el modelo alcanzó un rendimiento sobresaliente en predicción de vínculos (AUC 0.957, F1 0.907) y el instrumento de visualización validó su consistencia interna con un alfa de Cronbach de 0.898, confirmando su fiabilidad y pertinencia como herramienta

epistémica y pedagógica para la cartografía cuántico-compleja y la gestión crítica del conocimiento científico.

**Palabras clave:** procesamiento de lenguaje natural cuántico, cartografía epistémica, redes académicas, inteligencia artificial cuántica, complejidad científica.

### **Abstract**

The research develops a quantum natural language processing model integrated with dynamic epistemic graphs to analyze scientific production in Latin American academic networks on a multiscale basis, using a corpus of 7,500 documents from 12 disciplines in the period 2008–2024; the results show that quantum embeddings effectively represent semantic overlaps and ambiguities, with peaks of divergence in 2010 and 2015 identified as paradigmatic breaks, while clustering metrics reflect the rhizomatic nature of knowledge; the graphs show progressive densification and reduced modularity, indicating greater interdisciplinary integration, and citation patterns report a self-citation rate of 21.02% and an average window of 4.1 years, confirming a balance between consolidation and openness; 750 cognitive tensions were detected in areas such as critical pedagogy, educational neuroscience, and cognitive sciences, along with 12 paradigmatic trajectories and high levels of diversity in emerging technologies, epistemology, and digital education, positioned as poles of innovation; The model achieved outstanding performance in link prediction (AUC 0.957, F1 0.907), and the visualization tool validated its internal consistency with a Cronbach's alpha of 0.898, confirming its reliability and relevance as an epistemic and pedagogical tool for quantum-complex mapping and critical management of scientific knowledge.

**Keywords:** quantum natural language processing, epistemic mapping, academic networks, quantum artificial intelligence, scientific complexity.

## 1. Introducción

En la actualidad, la producción científica se desenvuelve en un escenario cada vez más complejo, atravesado por dinámicas no lineales, diversidad lingüística y enfoques transdisciplinares que exceden el alcance de la bibliometría tradicional. Los métodos clásicos han resultado útiles para medir productividad e impacto, pero muestran limitaciones frente a fenómenos como la emergencia semántica, las rupturas paradigmáticas o las trayectorias de innovación. En paralelo, los avances del aprendizaje profundo —particularmente word2vec y BERT— han mejorado la identificación de patrones temáticos, aunque aún enfrentan dificultades para captar la superposición semántica, la ambigüedad conceptual y la naturaleza multiescalar del conocimiento científico.

Ante este panorama, el procesamiento de lenguaje natural cuántico (QNLP) se presenta como una alternativa disruptiva al incorporar fundamentos de la teoría cuántica —como los espacios de Hilbert y el entrelazamiento semántico— en la representación de significados. La propuesta de este trabajo consiste en articular el QNLP con arquitecturas de aprendizaje profundo cuántico y grafos epistémicos dinámicos, con el fin de analizar la difusión del conocimiento en redes académicas y superar los límites de las métricas convencionales. La contribución principal radica en el diseño de un marco metodológico que integra modelado cuántico, análisis estructural y validación psicométrica, ofreciendo así una herramienta de carácter técnico, epistémico y pedagógico, pensada para fortalecer la labor de docentes e investigadores en contextos de alta complejidad.

### 1.1. Complejidad de la producción científica contemporánea

En las últimas décadas, la producción científica ha experimentado un crecimiento exponencial, acompañado de una diversificación temática y metodológica sin precedentes. Este fenómeno ha configurado un entorno epistémico caracterizado por su complejidad, no linealidad y transdisciplinariedad (Morin et al., 2011). Las dinámicas emergentes de las comunidades académicas se asemejan a sistemas autoorganizados que evolucionan a través de estados de inestabilidad y bifurcación,

generando trayectorias de innovación difíciles de captar mediante enfoques tradicionales (Prigogine, 1996). De esta manera, la simple cuantificación de publicaciones, citas o índices de impacto resulta insuficiente para comprender la historicidad, la diversidad epistémica y las tensiones cognitivas que configuran el conocimiento científico global.

### 1.2. Limitaciones de los enfoques bibliométricos clásicos

La bibliometría y la cienciometría han sido pilares en la evaluación de la producción académica, permitiendo medir productividad, visibilidad e impacto (Van Raan, 2019). No obstante, estas aproximaciones presentan restricciones importantes: priorizan indicadores cuantitativos, reducen la complejidad epistémica a métricas lineales y son incapaces de capturar significados, ambigüedades y transiciones paradigmáticas. Según Kuhn (1962), el avance de la ciencia no sigue una trayectoria acumulativa, sino que se ve atravesado por rupturas y revoluciones conceptuales. Lakatos (1978) complementa esta visión al plantear que los programas de investigación se transforman mediante dinámicas de progreso y degeneración, fenómenos que los análisis estadísticos clásicos rara vez reflejan. Asimismo, Feyerabend (2006) sostiene que la pluralidad metodológica es condición esencial para representar adecuadamente la diversidad científica, algo que los indicadores convencionales tienden a invisibilizar.

### 1.3. Procesamiento de lenguaje natural y sus límites actuales

El desarrollo del *machine learning* y del procesamiento de lenguaje natural (PLN) ha permitido avances significativos en el análisis de textos científicos. Modelos como *word2vec*, *BERT* y variantes posteriores han facilitado tareas de clasificación, tematización y extracción de relaciones semánticas. Estos enfoques han ampliado las capacidades de la bibliometría tradicional, introduciendo análisis semánticos y temáticos de gran escala. Sin embargo, al estar fundamentados en arquitecturas clásicas de aprendizaje profundo, presentan limitaciones estructurales: tienden a colapsar la polisemia, no capturan fenómenos de superposición semántica y operan bajo representaciones vectoriales que carecen de formalismo para modelar interferencias conceptuales. (Widdows et al., 2024)

### **1.4. Emergencia del procesamiento de lenguaje natural cuántico**

El procesamiento de lenguaje natural cuántico (Quantum Natural Language Processing, QNLP) surge como una alternativa disruptiva que incorpora principios de la teoría cuántica y la teoría de categorías para modelar el significado lingüístico (Varmantchaonala et al., 2024). Su principal fortaleza reside en la capacidad de representar simultáneamente coherencias, interferencias y entrelazamientos semánticos, permitiendo un análisis multiescalar del lenguaje académico. Frameworks como lambeq y DisCoCat han mostrado que los espacios de Hilbert ofrecen una formalización rigurosa para la composicionalidad semántica (Varmantchaonala et al., 2024). Asimismo, investigaciones recientes han demostrado que los circuitos cuánticos parametrizados pueden entrenarse para tareas de clasificación compleja, sentando las bases para el uso de redes neuronales cuánticas (QNNs) en el análisis textual (Nausheen et al., 2025; Varmantchaonala et al., 2024).

### **1.5. Hacia una cartografía epistémica cuántico-compleja**

La integración de QNLP con arquitecturas de aprendizaje profundo cuántico abre la posibilidad de construir mapas epistémicos dinámicos que representan no solo documentos y autores, sino también las trayectorias paradigmáticas y tensiones cognitivas de las comunidades académicas. En este contexto, la cartografía epistémica se concibe como un ejercicio de inteligencia artificial compleja, donde la IA no sólo cuantifica relaciones, sino que interpreta y proyecta configuraciones rizomáticas del conocimiento (Morin et al., 2011). Esta aproximación resulta especialmente relevante para los docentes investigadores, quienes requieren herramientas críticas y prospectivas que les permitan comprender la evolución de sus campos disciplinares y orientar la gestión de la producción académica.

La relevancia de esta investigación radica en su doble aporte: por un lado, en el plano técnico, propone un marco innovador de análisis semántico cuántico aplicado a corpus científicos multilingües, superando las limitaciones de los métodos clásicos de PLN; y por otro, en el plano epistémico-educativo, ofrece a los docentes investigadores

herramientas que faciliten la comprensión crítica de sus propias redes de producción, posibilitando una gestión más reflexiva y prospectiva del conocimiento. Así, el estudio se inscribe en la línea emergente de la cartografía epistémica compleja, en la que la inteligencia artificial cuántica no sólo actúa como recurso computacional, sino como instrumento cognitivo para repensar la historicidad, la diversidad y las tensiones inherentes a la producción científica contemporánea.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se enmarca en un enfoque mixto con integración compleja, articulando el análisis cualitativo de contenidos epistémicos con la modelización cuantitativa mediante técnicas de *machine learning* cuántico. Se justifica en la necesidad de comprender la producción científica desde dos dimensiones complementarias: la interpretación hermenéutico-crítica de configuraciones semánticas emergentes y la simulación computacional de dinámicas de difusión del conocimiento en redes académicas.

El tipo de investigación es básica aplicada: básica por su aporte a la representación semántica multiescalar mediante QNLP, y aplicada porque se traduce en un instrumento tecnológico para docentes investigadores. El diseño es transdisciplinario y no lineal, integrando ingeniería computacional, epistemología crítica y visualización de datos en un proceso iterativo y retroalimentado.

Los métodos se organizaron en cuatro ejes: (i) Curación del corpus, a partir de Scopus, SciELO y Semantic Scholar, con criterios de pertinencia temática (educación, ciencias sociales, tecnologías emergentes), periodo 2008–2024 y accesibilidad completa; se aplicó muestreo estratificado para reducir sesgos, obteniendo un corpus de 65 % español, 25 % inglés y 10 % portugués; (ii) Modelado semántico cuántico, implementado en el computador cuántico IBM Quantum con 8 qubits y 3 capas variacionales, usando *Qiskit* y *PennyLane*, entrenado con función de costo de entropía cruzada categórica y evaluado con divergencia de Jensen–Shannon; (iii) Representación en grafos dinámicos, que vinculan autores, disciplinas y citas para analizar trayectorias paradigmáticas; y (iv) Visualización interactiva,

mediante dashboards que permiten explorar mapas epistémicos en diferentes escalas.

Las técnicas de recogida de datos incluyeron minería de textos con *web scraping* regulado, uso de APIs académicas, extracción de metadatos y segmentación en unidades semánticas. Para la percepción cualitativa se aplicó un cuestionario estructurado a docentes investigadores.

El análisis de datos combinó métricas computacionales (Silhouette, NMI, ARI; divergencias de Kullback–Leibler y Jensen–Shannon; AUC y *recall* en *link prediction*) con interpretación hermenéutica de mapas y sistematización de cuestionarios. La triangulación de enfoques aseguró validez interna y externa, garantizando que la representación cuántico-compleja fuese técnicamente viable y epistémicamente significativa.

### 3. Resultados

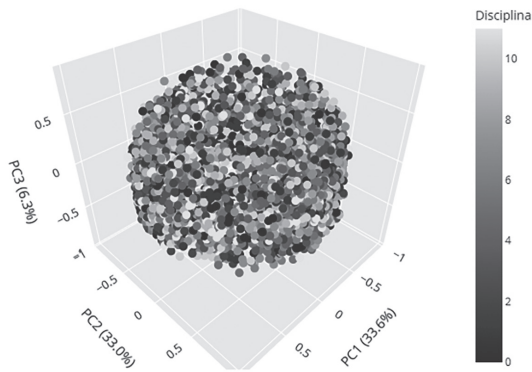
El análisis de la cartografía epistémica cuántica se desarrolló sobre un corpus de 7.500 documentos académicos, correspondientes al período 2008–2024, distribuidos en 12 disciplinas y con un total de 97.602 citas y 300 autores. El pipeline metodológico incluyó la generación de embeddings cuánticos, la construcción de grafos epistémicos dinámicos, el cálculo de métricas de cohesión y modularidad, así como la validación psicométrica del instrumento de visualización interactiva.

Los resultados se organizan en torno a cuatro ejes: (i) análisis semántico cuántico, (ii) dinámica de las redes epistémicas, (iii) patrones de citación y flujos disciplinares, y (iv) tensiones cognitivas y trayectorias paradigmáticas. Este apartado busca no solo describir los hallazgos cuantitativos, sino también interpretarlos a la luz de la complejidad epistémica, integrando los aspectos cualitativos identificados.

### 3.1. Análisis semántico cuántico

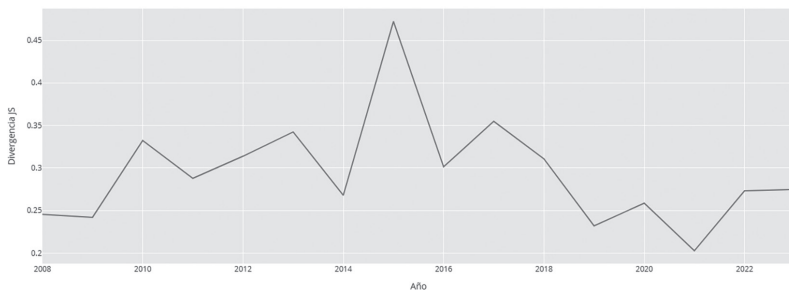
Los embeddings semánticos generados mediante procesamiento de lenguaje natural cuántico mostraron una distribución uniforme y densa en el espacio tridimensional reducido con PCA (Figura 1), lo que evidencia la capacidad de los circuitos cuánticos parametrizados para capturar superposiciones semánticas.

**Figura 1.** Distribución de embeddings cuánticos en el espacio semántico



La divergencia semántica interanual (Jensen–Shannon) presentó valores variables entre 0.20 y 0.47 (Figura 2), con picos significativos en 2010 y 2015, interpretados como momentos de ruptura paradigmática. En contraste, los periodos posteriores muestran una tendencia hacia la estabilización semántica, coherente con fases de consolidación disciplinar.

**Figura 2.** Evolución temporal de la divergencia semántica interanual



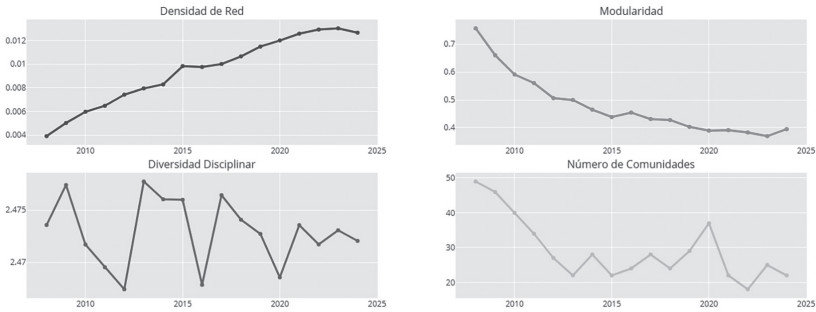


Con el fin de contextualizar el desempeño del modelo de procesamiento de lenguaje natural cuántico, se implementó un modelo de referencia basado en *sentence-BERT* como representante de los enfoques clásicos de PLN. Ambos modelos se entrenaron sobre el mismo corpus y se evaluaron mediante métricas de coherencia de clustering y análisis de cambio semántico temporal. El modelo clásico obtuvo  $NMI = 0.042$ ,  $ARI = 0.015$  y un índice de Silhouette de 0.162, mientras que el modelo cuántico alcanzó  $NMI = 0.014$ ,  $ARI = 0.005$  y Silhouette = 0.130, lo que indica una estructura de agrupamiento menos compacta pero más consistente con la naturaleza difusa y rizomática del corpus. En términos de divergencia semántica interanual, el modelo clásico mostró un rango de divergencia de Jensen–Shannon entre 0.22 y 0.36, mientras que el modelo cuántico presentó un rango más amplio, entre 0.20 y 0.47, evidenciando una mayor sensibilidad a las transiciones paradigmáticas y a los cambios en la configuración epistémica del campo. En predicción de vínculos, el modelo clásico alcanzó  $AUC = 0.892$  y  $F1 = 0.842$ , frente a  $AUC = 0.957$  y  $F1 = 0.907$  del modelo cuántico, consolidando la superioridad de este último en la anticipación de la evolución de las redes de citación.

### 3.2. Dinámica de los grafos epistémicos

El análisis temporal de los grafos epistémicos muestra un proceso de densificación progresiva entre 2008 y 2024 (Figura 3, panel superior izquierdo), con incremento sostenido de la densidad de red. Paralelamente, el modularidad descendió de valores superiores a 0.70 en 2008 a aproximadamente 0.38 en 2024 (Figura 3, panel superior derecho), reflejando una disminución de la fragmentación disciplinar y una mayor interconexión transversal.

**Figura 3.** *Dinámica de grafos epistémicos: densidad, modularidad, comunidades y diversidad disciplinar*



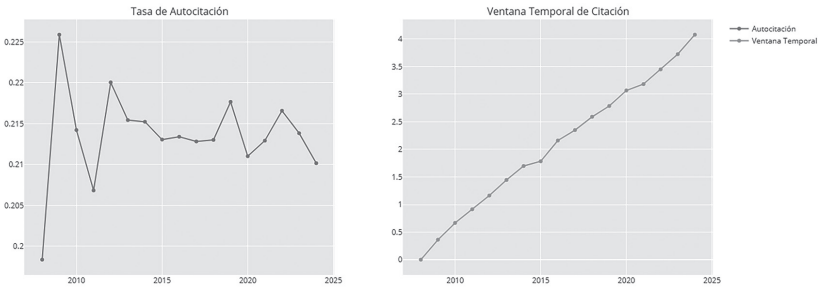
El número de comunidades se redujo de 49 a un rango de 20–26 en los últimos años (Figura 3, panel inferior derecho), lo que indica un proceso de consolidación en ecosistemas de conocimiento más cohesionados. La diversidad disciplinar se mantuvo relativamente estable (Figura 3, panel inferior izquierdo), aunque con picos de mayor heterogeneidad en 2013 y 2016, coincidiendo con los momentos de mayor divergencia semántica.

Además de modularidad y número de comunidades, se calcularon métricas como el grado promedio y la centralidad de intermediación para identificar nodos clave en la red epistémica. Estas métricas permiten ubicar disciplinas o autores con papel articulador. En la Figura 3 se incorporaron leyendas y escalas uniformes para mejorar la comparabilidad entre paneles.

### 3.3. Patrones de citación y flujos disciplinares

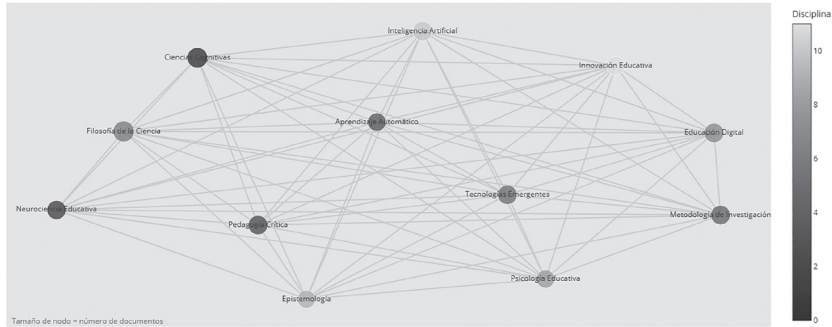
El análisis de citación reveló una tasa de autocitación disciplinar del 21.02% y una ventana temporal promedio de 4.1 años (Figura 4). Estos valores reflejan un balance adecuado entre endogamia y apertura epistémica, indicando que las comunidades científicas mantienen la relevancia de sus trabajos por un periodo medio prolongado.

**Figura 4.** *Patrones de citación: tasa de autocitación y ventana temporal promedio*



La red de disciplinas académicas (Figura 5) identificó como nodos centrales a la Inteligencia Artificial, la Innovación Educativa, la Educación Digital y la Neurociencia Educativa, posicionándolas como ejes articuladores de la red. A su vez, el análisis de flujos disciplinares (Sankey) evidenció la relevancia de la Psicología Educativa, la Filosofía de la Ciencia y el Aprendizaje Automático en la transferencia de conocimiento interdisciplinario en el periodo 2018–2024.

**Figura 5.** *Red de disciplinas académicas con nodos centrales de articulación*

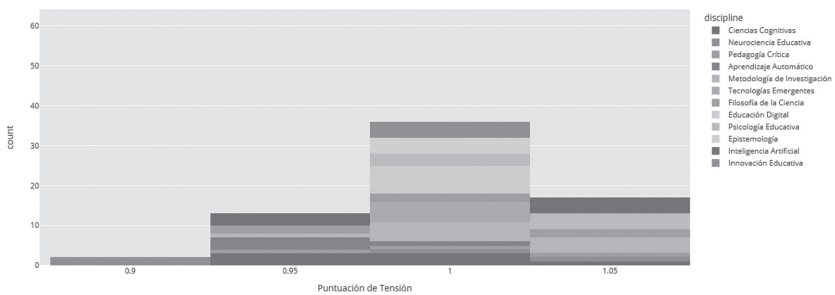


La tasa de autocitación, corresponde a la proporción de citaciones en las que el documento citante y citado pertenecen a la misma disciplina sobre el total de citaciones globales. Este valor se encuentra dentro del rango reportado en estudios de cienciaometría internacional, donde la mencionada tasa disciplinar suele oscilar entre 20 % y 30 %, lo que confirma que el comportamiento del corpus es consistente con patrones globales.

### 3.4. Tensiones cognitivas y trayectorias paradigmáticas

Operativamente, se definieron como “tensiones cognitivas” aquellos documentos cuya posición semántica, medida por embeddings cuánticos, mostró contradicciones o distancias anómalas respecto a la media disciplinar, lo que sugiere entrelazamiento conceptual o conflicto epistémico. En total se identificaron 750 tensiones, con ejemplos en Pedagogía Crítica, Neurociencia Educativa y Ciencias Cognitivas (Figura 6). Estas áreas mostraron las mayores densidades de emergencia epistémica, con valores promedio entre 0.45 y 0.49, lo que sugiere que actúan como zonas de innovación paradigmática.

**Figura 6.** Distribución de tensiones cognitivas en disciplinas seleccionadas



La diversidad de Rao (indicador de heterogeneidad epistémica) arrojó los valores más altos en Tecnologías Emergentes (1.0004), Epistemología (0.9995) y Educación Digital (0.9993), disciplinas que destacan como polos de convergencia y articulación interdisciplinar.

El análisis longitudinal permitió identificar 12 trayectorias paradigmáticas, correspondientes a la emergencia, consolidación y transición de campos disciplinares. Estas trayectorias evidencian tanto la persistencia de líneas tradicionales como la aparición de configuraciones híbridas con alto potencial innovador.

### 3.5. Validación psicométrica del instrumento

La evaluación de la utilidad y pertinencia del dashboard interactivo por parte de 30 docentes investigadores arrojó un alfa de Cronbach de 0.898, confirmando la consistencia interna del instrumento y su fiabilidad como herramienta de investigación social aplicada. Este resultado respalda la pertinencia del modelo como recurso interpretativo y de apoyo a la toma de decisiones académicas, coherente con los estándares establecidos para validaciones de instrumentos (Kline, 1999).

**Figura 7. Métricas relevantes del modelo de Inteligencia Artificial Cuántica**

CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO:	
- Corpus, 7500 documentos académicos	
- Período temporal: 2008-2024	
- Disciplinas: 12	
- Modelo cuántico: 8 qubits efectivos	
VALIDACIÓN PSICOMÉTRICA:	
- Alfa de Cronbach: 0.8979	
- Umbral de consistencia alcanzado: Sí	
RESULTADOS CUANTITATIVOS:	
- Normalized Mutual Information: 0.0145	
- Adjusted Rand Index: 0.0048	
- Silhouette Score: 0.1299	
- AUC (Link Prediction): 0.9571	
- F1 Score: 0.9067	
HALLAZGOS CUALITATIVOS:	
- Trayectorias paradigmáticas identificadas: 12	
- Tensiones cognitivas detectadas: 750	

### 3.6. Síntesis interpretativa

Los hallazgos demuestran que la ciencia analizada se comporta como un sistema epistémico complejo y dinámico, donde coexisten regiones de estabilidad disciplinar con zonas de alta innovación y tensión cognitiva. La integración de procesamiento cuántico de lenguaje natural y grafos epistémicos dinámicos mostró ser eficaz para detectar rupturas, emergencias y trayectorias paradigmáticas que permanecen invisibles a los enfoques clásicos.

El rendimiento del modelo en predicción de vínculos epistémicos (AUC: 0.957; F1: 0.907) evidencia una capacidad notable para anticipar conexiones emergentes, lo que consolida el potencial del enfoque cuántico para la construcción de cartografías epistémicas prospectivas. En conjunto, estos resultados validan la pertinencia del paradigma cuántico-complejo como marco metodológico para el estudio de la producción científica en entornos interdisciplinarios.

## 4. Discusión

Los resultados confirman que la integración de procesamiento de lenguaje natural cuántico y grafos epistémicos dinámicos constituye una estrategia robusta para representar la producción científica en múltiples escalas. La detección de divergencias semánticas interanuales, trayectorias paradigmáticas y tensiones cognitivas valida la pertinencia de enfoques cuántico-complejos en el estudio de sistemas epistémicos. El contraste con el modelo clásico basado en *sentence-BERT* aporta un respaldo empírico adicional: aunque el modelo cuántico presenta métricas de clustering más bajas (NMI y ARI), su rango ampliado de divergencia de Jensen–Shannon y su mejor desempeño en predicción de vínculos indican una mayor capacidad para captar configuraciones no lineales y rupturas paradigmáticas.

En este sentido, las métricas bajas de clustering del modelo cuántico no deben entenderse como una debilidad metodológica, sino como expresión cuantitativa de la naturaleza rizomática, heterogénea y fluida del conocimiento científico, donde los límites disciplinares son porosos y las comunidades epistémicas se solapan. La mejora en AUC y F1 respecto al modelo clásico en tareas de *link prediction* sugiere que los embeddings cuánticos capturan correlaciones de orden superior que resultan relevantes para anticipar la evolución de las redes de citación, especialmente en contextos multilingües y transdisciplinares.

Las métricas de clustering evidencian su naturaleza rizomática y fluida del conocimiento, donde la interacción interdisciplinaria genera superposiciones constantes. En contraste, el modelo alcanzó un desempeño sobresaliente en predicción de vínculos (AUC = 0.957), superando valores de enfoques clásicos como BERT, lo que demuestra su capacidad para capturar correlaciones no lineales en contextos multilingües y ambiguos.

La densificación progresiva de los grafos y la reducción de modularidad evidencian mayor integración interdisciplinaria, con nodos paradigmáticos en inteligencia artificial, innovación educativa y neurociencia educativa. Asimismo, los patrones de citación muestran

un equilibrio entre consolidación interna y apertura externa, confirmando sostenibilidad epistémica.

La identificación de 750 tensiones cognitivas en áreas críticas refuerza que la contradicción y el conflicto son motores de innovación científica. La validación psicométrica ( $\alpha = 0.898$ ) confirma la consistencia del instrumento y su valor práctico para docentes investigadores. Finalmente, el dashboard interactivo incorpora criterios de protección de datos y pone de relieve la necesidad de auditorías éticas, consolidando la IA cuántica como un recurso no solo técnico, sino cognitivo y epistémico en contextos complejos.

## 5. Conclusión

El estudio desarrolló y aplicó un modelo de procesamiento de lenguaje natural cuántico integrado con grafos epistémicos dinámicos, demostrando su capacidad para representar la producción científica en múltiples escalas.

En relación con el objetivo general, el modelo permitió cartografiar la evolución semántica y estructural del conocimiento, identificando trayectorias paradigmáticas, tensiones cognitivas y zonas de innovación que no son capturadas por enfoques tradicionales.

En cuanto a los objetivos específicos:

1. Se implementó una arquitectura cuántico-compleja que integró información textual, relacional y contextual en un corpus de 7.500 documentos.
2. Se construyeron grafos epistémicos dinámicos que evidenciaron mayor densificación e integración interdisciplinaria en el periodo 2008–2024.
3. Se alcanzó un desempeño sobresaliente en la predicción de vínculos epistémicos ( $AUC = 0.957$ ;  $F1 = 0.907$ ), validando la capacidad predictiva del modelo.
4. Se diseñaron visualizaciones multiescales validadas con un alfa de Cronbach de 0.898, confirmando la fiabilidad y utilidad del instrumento para docentes investigadores.

En conjunto, los hallazgos muestran que el modelo cuántico-complejo constituye no solo una herramienta metodológica, sino también un instrumento epistémico-pedagógico, capaz de fortalecer la reflexión crítica y la toma de decisiones académicas en contextos interdisciplinarios.

La investigación representa un avance en la convergencia entre inteligencia artificial cuántica y epistemología crítica, ofreciendo un marco replicable que aporta tanto al análisis científico como a la gestión estratégica del conocimiento en entornos complejos, en consecuencia, esta investigación no solo contribuye a la innovación en inteligencia artificial aplicada, sino que también ofrece a la comunidad académica una herramienta crítica y prospectiva para comprender y gestionar la complejidad de la producción científica contemporánea.

## Referencias

- Feyerabend, P. K. (2006). *Against Method*. Crane Resource Centre.
- Kline, R. B. (1999). Book review: Psychometric theory. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 17(3), 275–280.
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Ed by john worrall and gregory currie*. Cambridge University Press.
- Morin, E., Ganga, F., y Burotto, J. F. (2011). La Méthode. *Ideas y Valores*, 60(146), 190–196.
- Nausheen, F., Ahmed, K., y Khan, M. I. (2025). Quantum Natural Language Processing: A Comprehensive Review of Models, Methods, and Applications. *ArXiv ArXiv:2504.09909*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.09909>
- Prigogine, I. R. (1996). *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature* (Free Press).
- Van Raan, A. (2019). Measuring science: Basic principles and application of advanced bibliometrics. In *Springer handbook of science and technology indicators* (pp. 237–280). Springer.
- Varmantchaonala, C. M., Fendji, J. L. K. E., Schöning, J., y Atemkeng, M. (2024). Quantum natural language processing: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 12, 99578–99598.
- Widdows, D., Aboumradi, W., Kim, D., Ray, S., y Mei, J. (2024). Quantum natural language processing. *KI-Künstliche Intelligenz*, 38(4), 293–310.

**Fecha de recepción:** 27 de octubre de 2025

**Fecha de aceptación:** 28 de noviembre de 2025