DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153
ISSN 0041-8811
E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada

Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología

Año 17 N° 48
Enero - Abril 2026
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA. 3ª época. Año 17, N° 48, 2026
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.18210370

Nudos topológicos: Un enfoque creativo en el modelado matemático de entrelazamiento del tejido del espacio geométrico

Cecilia Sandoval-Ruiz *

RESUMEN

Uno de los grandes retos actuales consiste encontrar un punto de convergencia entre las teorías físicas clásicas y cuánticas, a través de fundamentos matemáticos, donde la creatividad interpretativa del tejido crochet se perfila como mecanismo de análisis por sus propiedades topológicas. Esto como soporte para el desarrollo de proyectos de rehabilitación de espacios, investigación en ingeniería de tejidos para RSE e innovaciones teóricas. El objetivo de la presente investigación es analizar el *crocheting* como herramienta para el estudio de superficies desarrollables y conceptos teóricos del tejido del espacio geométrico. El método abordado consiste en una asociación de los nudos como elementos matemáticos modeladores con los puntos que conforman la construcción estructural compleja, a partir de la discretización del espacio geométrico. Se obtiene como resultado un conjunto de postulados, que permiten una interpretación de los principios físicos sobre una red tejida de nudos topológicos. Lo que permite concluir la importancia de las técnicas de codificación empírica, para la interpretación con rigor científico de conceptos matemáticos, alcanzando una extrapolación de las ciencias sociales aplicadas a la física y matemática.

PALABRAS CLAVE: Física, Geometría, Matemática, Teoría cuántica, Topología.

* Profesora del Postgrado de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5980-292X. E-mail: cesandova@gmail.com

Recibido: 07/07/2025 Aceptado: 12/12/2025

Topological Knots: A Creative Approach to Mathematical Modeling of the Entanglement of the Fabric of Geometric Space

ABSTRACT

One of the major current challenges is finding a point of convergence between classical and quantum physical theories through mathematical foundations, where the interpretive creativity of crochet emerges as an analytical mechanism due to its topological properties. This supports the development of space rehabilitation projects, research in textile engineering for corporate social responsibility (CSR), and theoretical innovations. The objective of this research is to analyze crocheting as a tool for studying developable surfaces and theoretical concepts of the weaving of geometric space. The method employed involves associating knots, as mathematical modeling elements, with the points that make up the complex structural construction, based on the discretization of geometric space. The result is a set of postulates that allow for an interpretation of physical principles on a woven network of topological knots. This leads to the conclusion that empirical coding techniques are crucial for the scientifically rigorous interpretation of mathematical concepts, enabling the extrapolation of social sciences into physics and mathematics.

KEYWORDS: Physics, Geometry, Mathematics, Quantum Theory, Topology.

Introducción

Actualmente, uno de los problemas más relevantes está centrado en la interpretación matemática de los principios de interacción onda–partícula, a fin de desarrollar una teoría unificada entre la física clásica y mecánica cuántica, para lo cual se requiere de los artificios matemáticos de soporte, basados en el análisis de las propiedades geométricas del espacio de interacción. Para este abordaje se precisa una indagación de prácticas constructivas de estructuras complejas, mediante unidades cuánticas, representadas por nudos topológicos, siendo la técnica de tejido *crochet* una herramienta para la extrapolación de conceptos al campo de la física, la ingeniería y las iniciativas de responsabilidad social–ambiental RSE (Sandoval-Ruiz, 2024b). Los tejidos más allá de expresiones artísticas son elementos matemáticos funcionales, aplicables en el campo de la ingeniería de tejidos y recuperación ambiental, entre los que se cuenta andamiaje guía de estructuras vegetales en reforestación, tejido estructural de cristalizaciones en formaciones naturales y glaciares.

Al momento de plantear este tipo de investigación se requiere desarrollar un modelado matemático de soporte, lo que conduce a definir un operador matemático de conformación del tejido, con coeficientes geométricos por tipo de enlace y descripción del patrón de interferencia constructivo, a fin de describir los tejidos como un sistema dinámico, con características evolutivas hacia un punto de equilibrio, entendido como una forma de aprendizaje, que permite asociar la configuración a una memoria funcional y holográfico, por contener toda la información de su estructura en una dimensión $n-1$, lo que permite generar modelos elípticos e hiperbólicos, a partir de patrones proyectivos en el plano geométrico.

Iniciando de lo más simple, se perfilan las lazadas de nudos como elementos básicos constructivos, sobre el que se soporta un campo de estudio: la mecánica de los tejidos de punto (Singal *et al.*, 2024), mediante gráficos para entender su elasticidad y cómo la disposición de puntos (como derecho 'K' y revés 'P') crea diferentes propiedades físicas, en correspondencia con la teoría de nudos en el campo de las matemáticas, donde se consolidan aportes desde diversos enfoques del saber. En este contexto surge la teoría del tejido del espacio geométrico, con rigor científico, como puente unificador de la física y matemática. Durante años los tejidos han sido una actividad artística que incluye contemplación, reconocimiento de patrones, interpretación, codificación y conexiones sinápticas. Si alguien entiende los espacios geométricos y curvatura Gaussiana como los matemáticos son los artesanos tejedores, quienes desarrollan una construcción n–dimensional de un patrón en el plano.

El tejido a crochet puede ser analizado desde las ciencias sociales como un fenómeno de identidad cultural, conexiones sinápticas y expresión artística. Más allá, de este enfoque puede ser extrapolado como una ciencia en la construcción de estructuras complejas en el espacio con un enfoque cuántico, a partir de patrones fractales (Sandoval-Ruiz, 2020), en diversos planos geométricos. En este sentido, es importante destacar la capacidad de las tejedoras, para la codificación de estructuras concatenadas. Lo que permite valorizar el aporte de esta técnica en la interpretación de interacciones en el espacio de fase, para unificar áreas de la física, a través de un lenguaje matemático basado en enlaces del tejido espacial, a través de postulados tales como:

a. Las trayectorias potenciales de las ecuaciones geodésicas de un campo físico que se curva y la concentración de densidad de energía, guarda correspondencia con las filas y composición de los patrones del tejido.

b. La estructuración del tejido topológico mediante celdas básicas se corresponde con un conjunto de bucles compuestos por enlaces o nudos.

Estos dos aspectos coincidentes específicamente entre el tejido *crochet* y los conceptos básicos de las teorías de bucles, gravedad cuántica y cuerdas, lo que nos hace pensar que si se puede describir matemáticamente un tejido esa descripción puede ser extrapolada a los principios físicos, logrando ensamblar la teoría unificada en base a una extrapolación autosimilar de un recurso práctico, sobre el campo de la física.

En el presente trabajo se considera la compatibilidad de un tejido de puntos finitos en bucles, para el análisis de conceptos de la física y las matemáticas, incluyendo el operador lógico de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal LFSR, para optimizar sistemas energéticos y minimizar el impacto ambiental. Se centra en la aplicación de codificadores de correlación RS(n,k), a menudo en el contexto de implementaciones de VHDL (Lenguaje de Descripción de Hardware de Circuitos Integrados de Muy Alta Velocidad), a sistemas de energía renovable.

La investigación de Sandoval–Ruiz (2025) explora cómo los LFSR(n,k), con sus propiedades de generación de secuencias pseudoaleatorias, pueden utilizarse para modelar y optimizar el flujo de energía, que puede ser ilustrado en la dinámica de desarrollo del tejido topológico. En concreto, la aplicación de esto a sistemas físicos como la optimización de cometas para la captación de energía de las ondas incidentes, minimizando la complejidad de *hardware* y, al mismo tiempo, maximizar la eficiencia y la vida útil dentro de un modelo circular y sostenible.

Nuevas soluciones al tema ambiental y reciclaje a partir de un operador matemático simétrico resultan de interés en el estudio tanto en áreas de ciencias sociales e ingeniería, donde resulta esencial analizar el comportamiento de los sistemas físicos como objetos matemáticos, desde los atractores como técnica de control de los incendios forestales, hasta difractores – rejillas de ondas, para la composición de sistemas abstractos intervenidos por redes de difracción en el filtro de longitudes de onda para reglaciación y lentes gravitatorias de compensación simétrica y enfriamiento de sistemas mediante recuperación de energía potencial en procesos reversibles–.

Si definimos la hipótesis del atractor para modelar un sistema constructivo, podemos definir el atractor conjugado como modelador de reversibilidad. De tal manera, que el modelo matemático de los procesos de reciclaje, restauración, regeneración y remediación contemple la recuperación de los componentes y la energía residual correspondiente. Un LFSR es un operador bidireccional, con características cíclicas, lo que lo hace idóneo para el modelo circular, al separar las partes se pueden recuperar los componentes de energía potencial almacenados en condiciones iniciales del sistema, estimando aporte a nivel cuántico. En esencia, la propuesta de Sandoval'R cierra la brecha entre lo teórico de los LFSR y la aplicación práctica en RSE.

1. Conceptualizaciones teóricas

La técnica de *crocheting* permite evaluar conjeturas de la mecánica cuántica, analizando el espacio-tiempo, que lo curva un vórtice de densidad de energía, un atractor de concentración del campo físico, lo que hace que las trayectorias del espacio converjan hacia ese punto. Desde este enfoque, donde se teoriza la dinámica de interacción por topología del espacio en función de la concentración de energía se logra que la física clásica y la mecánica cuántica coincidan.

Y es que la naturaleza secuencial del desarrollo del tejido permite estudiar la superposición de trayectorias del operador de onda, en la dualidad del registro desplazamiento (secuencial) que opera de forma paralela (concurrente), así como la dualidad onda-partícula que define la posibilidad del comportamiento de propagación de onda e interacción en su forma cuantizada como partícula, por LFSR secuencial-concurrente.

El arte, las matemáticas y la ciencia, en el contexto del año de la física cuántica 2025 y los aportes de científicas a las matemáticas, permite abordar la teoría de nudos (Wang, 2012) –desde un enfoque interdisciplinario, como rama de la topología que se encarga de estudiar al nudo como objeto matemático y sus transformaciones, embebido en un espacio geométrico euclídeo tridimensional $\mathbb{R}^3$, al igual que en el ámbito artístico, para el caso de los nudos como puntos de un patrón de tejido, destacando su similitud con las curvas de *Lissajous*, además que permite considerar a cada uno como un modelo de interacción entre seres vivos y entrelazamiento cuántico–, analizando así las herramientas matemáticas de interpretación de teorías innovadoras de física moderna.

La teoría de nudos, en el contexto del tejido topológico, se refiere al estudio de elementos matemático, que son representaciones de curvas cerradas en el espacio tridimensional. Estos nudos se visualizan como cuerdas que se entrelazan, y la teoría busca clasificar y entender las propiedades de estas estructuras entrelazadas. En (Roberts, 2019) se afirma que "tejer es codificar y que el estambre es un material programable", así el medio del espacio geométrico es configurable. Los dividendos potenciales de su investigación van desde los electrónicos portables hasta el andamiaje de tejidos. El tejido como una herramienta matemática con rigor científico. El LFSR para la conformación de la geometría y topología del tejido, clasificando punto deslizado, red Salomón, punto elástico, nudos enlazados, etc., desenredarse y reconstruir la trama para la conformación de patrones.

La codificación, programación y el tejido –en el tejido, el código se basa en nudos y puntos vacíos, en lugar de ceros y unos, conformando una estructura de tipo rendija de difracción– coinciden en la creación de estructuras complejas a partir de la estructuración nudos básicos, mediante un código con bucles recurrentes en el patrón de tejido, se parte de un conjunto de elementos matemáticos simples que entrelazados, en cierta configuración, dan lugar a resultados complejos.

Un enlace toroidal del tipo (p,q) es un enlace equivalente a una curva contenida en un toroide estándar. Esta curva envuelve p veces alrededor de la longitud y q veces alrededor del meridiano. Si p y q son primos relativos, entonces el enlace tiene un sólo componente y se denomina un nudo toroidal (Montoya-Vega, 2023). Así como, los formalismos matemáticos de la teoría de nudos, lo que es extrapolable a conceptos de atractores, entrelazamiento y física de partículas (Pacay, 2025).

Figura 1. Patrones de tejido crochet en la discretización del espacio geométrico. Créditos: Galería de diseños de Prof. E. Ruiz-Díaz

1.1. Atractor de Concentración de la composición constructiva

-Atractor de Gravedad, en el marco de la física clásica y teoría de la relatividad general, consiste en un atractor de concentración de densidad de masa, que da como resultado la curvatura del espacio geométrico, sustentando las interacciones de gravedad.

-Atractor Cuántico, en el marco de la mecánica cuántica y teoría de la información, consiste en un atractor de concentración de energía e información, el cual da como resultado la codificación del espacio geométrico, sustentando las interacciones entre ondas y partículas, así mismo las interacciones entre unidades de información y patrones de interferencia, por superposición.

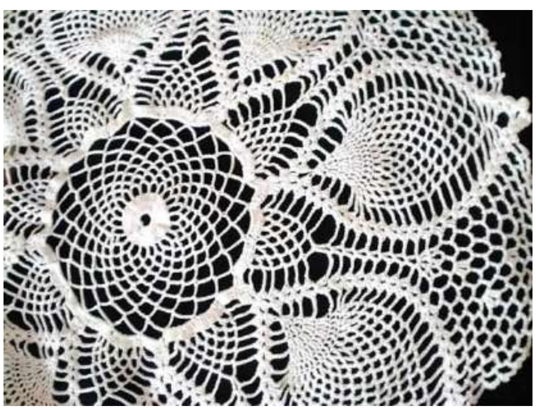
1.2. Atractor de Dispersión o distribución del patrón de interferencia

-Atractor de Reflexión, este atractor explica el fenómeno de reflexión de la luz a nivel de ondas, así como fenómenos de la magnetosfera, donde el flujo magnético de un sistema crea una dinámica de interacción en forma de envolvente, para protegerlo de fuerzas incidentes externas. Levitación.

-Atractor de Difracción, corresponde al proceso inverso, la propiedad bidireccional del operador de código LFSR, permite la descomposición por longitud de onda, así mismo se plantea la recuperación de energía, en forma de luz y calor, del proceso reversible de conformación de la composición del código, es el resultado de la interacción de onda a través de un tejido o red de difracción, interpretado como un filtro de convolución.

El cálculo de la cuadratura del círculo se ha considerado imposible, en el espacio continuo. Sin embargo, en el espacio discreto, si el área del espacio geométrico es cuantizada, se tiene un artificio matemático que permite el cálculo incluyendo una variable de densidad del arreglo cuántico, en función de la organización de los enlaces. Así, tanto las partículas, paquetes de energía, enlaces, pueden ser representados por los puntos de nodos del tejido, siendo la densidad el coeficiente de ajuste para hacer coincidir las áreas de los espacios geométricos de interés.

La densidad fractal permite definir la cuadratura de cualquier espacio geométrico, lo que se evidenció mediante el desdoblamiento de un tejido de composición fractal entre enlaces simples y compuestos.



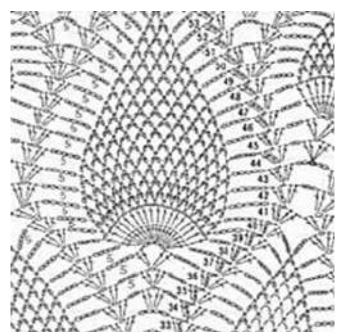


Figura 2.a. Patrón de interferencia fractal.
Créditos: Galería de diseños de Prof. E. Ruiz-Díaz

En este caso se consideró la cuadratura del atractor circular, elíptico e hiperbólico, partiendo del concepto de fractalidad, donde la geometrización del elemento matemático se realizó mediante la densidad de concentración de puntos y enlaces, siendo el tejido crochet una herramienta para abordar el enfoque matemático de alta complejidad. Los triángulos de la geometrización tendrán una curvatura en sus ángulos internos que están relacionados con la base geométrica, la transformada permite el tratamiento lineal y la transformada reversible permite definir los enlaces en el cambio de base geométrica. En análisis numérico, la cuadratura es un sinónimo de integración numérica. Se utiliza para aproximar el valor de una integral definida utilizando métodos numéricos.

(a) dos dobleces sobre los ejes simétricos radiales

(b) rotacional de vórtice con escalamiento Fibonacci

(c) solapamiento de tres dobleces sobre la cuadratura

Figura 2.b Tejido crochet como herramienta de estudio de curvaturas y transformaciones de base geométrica en el espacio de fase de atractores geométricos y enlaces cuánticos.

El tejido permite el estudio de efectos de las curvaturas en el espacio geométrico hiperbólico, los enlaces por superposición resultantes de doblar el tejido y desplegarlos en nuevas configuraciones sobre bases geométricas relativas. Así, la teorización de estos conceptos a partir del análisis de tejidos logra correlacionar los principios de la física clásica, electromagnetismo, física moderna y ondas, con la mecánica cuántica, lo que convierte el tejido crochet en una herramienta geométrica para la interpretación de estructuras y campos físicos, mediante el desdoblamiento de superficies de interferencia constructiva. De tal manera, que la densidad del tejido, la configuración de los enlaces de la red de difracción y la generalización del patrón permiten comprender fenómenos ondulatorios de alta complejidad.

2. Aplicabilidad en el estudio de estructuras matemáticas

Las superficies mínimas tienen un conjunto de aplicaciones en física, arquitectura (Sandoval-Ruiz, 2024a), ciencia de materiales, en el autoensamblaje de materiales inteligentes y modelado matemático. Tal como se señala en Kekkonen (2024), las matemáticas y el tejido crochet –*crocheting*– están relacionadas para el desarrollo de superficies mínimas, –en matemáticas, las superficies mínimas se definen como superficies que minimizan localmente su área para un contorno dado, estudiadas teóricamente por Lagrange y Bour–. Estas superficies tienen una capacidad de optimización, se autoorganizan a partir de un andamiaje de base, como las telas de araña, –pueden auto intersecarse y no necesitan tener un límite–, siendo una generalización de las superficies de película de jabón –al introducir un marco en jabón líquido–. Así el tejido crochet permite desarrollar superficies mínimas embebidas, que resultan en estructuras matemáticas complejas, infinitamente periódicas, como una generalización de un atractor físico, entre estas superficies se pueden mencionar helicoides –entendiendo que las trayectorias helicoidales pueden describir un atractor en ciertos contextos–, catenoides –con aplicaciones en diseño de vórtices toroidales para optimización de captadores eólicos–, superficies de *Bour*, superficies de *Richmond*, superficie de *Riemann*, etc.

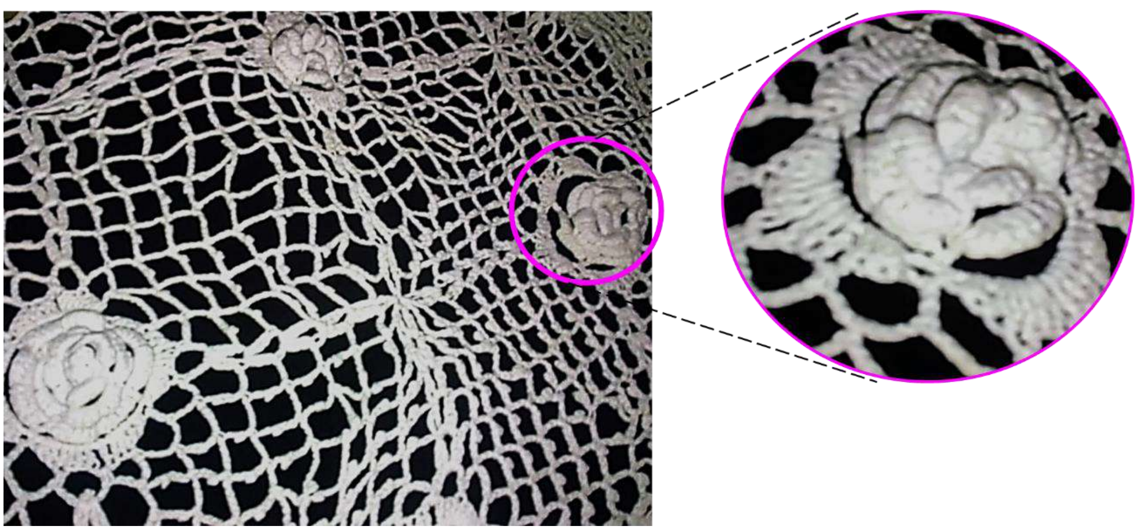
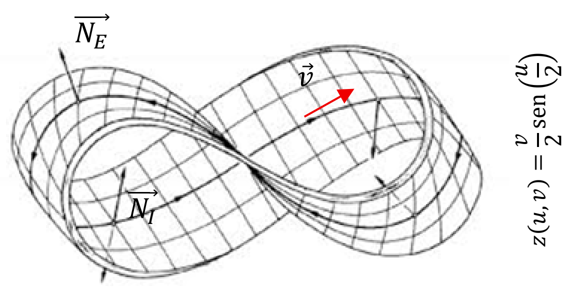


Figura 3. Tejido Hiperbólico.
Créditos: Galería de Prof. E. Ruiz-Díaz

Por otra parte, se tiene la composición de superficies fractales que se corresponden con el desarrollo de una superficie con propiedades autosimilares, en la exploración de formas y espacios no euclidianos, con los nudos componentes –mediante el análisis de las conexiones y entrelazamientos–, tal es el caso de la **superficie de Seifert** –estas superficies representan nudos y pueden tener características similares a las cicloides–, y **banda de Möbius** –considerada un nudo trivial, ya que se puede deformar continuamente hasta convertirse en un círculo simple, es una superficie matemática estudiada en topología por sus propiedades de continuidad, que permanecen invariantes bajo ciertas transformaciones continuas–. Desde el enfoque de diseño e ingeniería estas superficies permiten estudiar sistemas fluidodinámicos y estructuras de espacio en el campo físico. En este orden de ideas permite desarrollar modelos de reciclaje de recursos y energía, mediante un atractor cíclico (ver Figura 1), aplicando un operador adjunto de simetría como un LFSR espejo.



$$x(u,v) = \left(1 + \frac{v}{2}\cos\left(\frac{u}{2}\right)\right)\cos(u)\,,$$

$$y(u,v) = \left(1 + \frac{v}{2}\cos\left(\frac{u}{2}\right)\right) sen(u)$$

Figura 4. Superficies de banda para estudio de atractor cíclico.
Créditos: Galería de diseños de Prof. E. Ruiz-Díaz

Números poligonales y patrones, la secuencia de números poligonales sigue un patrón definido para cada tipo de polígono, lo que permite definir entre nudos poligonales y espacios vacíos, en una organización de puntos del tejido, resultantes de la cuantificación de la superficie diseñada. Así, se pueden encontrar fórmulas matemáticas para calcular el *n*–ésimo número poligonal, siendo una forma de geometrización de diseños bioinspirados, lo que permite replicar criterios de eficiencia en base a la contemplación y reconocimiento de patrones funcionales.

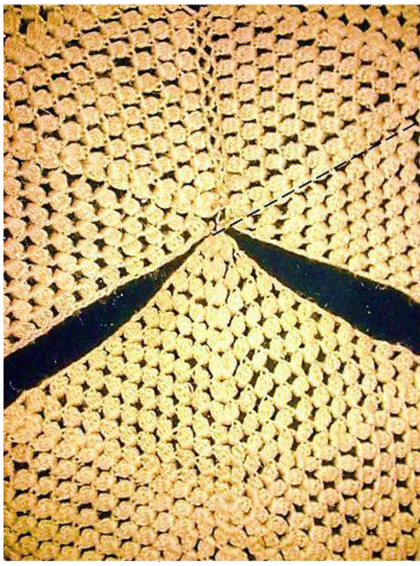
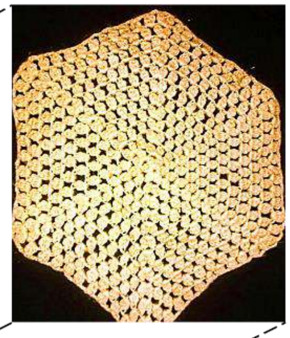



Figura 5. a. Patrón hexagonal.
b Ensamblado poligonal de red geodésica.
Créditos: Galería de diseños de Prof. E. Ruiz-Díaz

De todo lo anterior, se tiene un estudio de la topología de los nudos o enlaces, que permiten entender un mecanismo físico y un modelo matemático de estructuración, ángulo de curvatura asociado a la optimización de área en superficies geométricas y patrones de organización. De forma tal que se puede describir completamente una dinámica de entrelazamiento cuántico por códigos de convolución (Sandoval-Ruiz, 2025c), un espacio geométrico y un gradiente físico, donde los colores matizados ilustran la concentración en cada punto y el coeficiente de elasticidad del tejido permite establecer las transformaciones de base de las curvas geodésicas.

Al definir esta interpretación surge un concepto, el operador característico del espacio geométrico, el cual tiene una topología discreta, cada una de las ramas del circuito desplazamiento, que se corresponden con los coeficientes del polinomio generatriz. Entonces bien, podemos hablar de un campo geométrico estructurado que definirá las interacciones en sus respectivas escalas y dimensiones, entre los elementos o cargas puntuales. De esta manera, se logra un enfoque innovador que hace posible desarrollar la teoría de campo unificado, donde la gravedad cuántica será una generalización LFSR con extrapolación para los casos particulares.

Los tejidos en crochet para ilustrar en el campo físico el gradiente de campo geométrico, mediante herramientas algebraicas avanzadas: campos finitos de Galois GF(2m) extendidos, realizando mapeos geométricos en dimensiones superiores de estructuras matemáticas modeladas en dos y tres dimensiones.

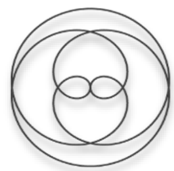
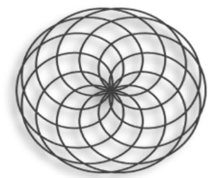
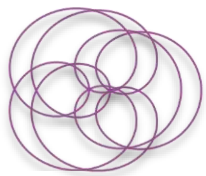
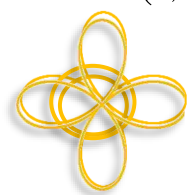
3. Método de geometrización de los tejidos topológicos

El arte del tejido puede ser la herramienta matemática clave para el estudio de la física de partículas y comprensión de ecuaciones polinomiales de geometría no Euclidiana en el espacio, ya que al momento de imaginar una ecuación que converja para la descripción de sistemas complejos, con características clásica-cuánticas, nos encontramos frente al reto de desglosar estructuras fractales sobre ecuaciones recurrentes, sin embargo, los tejidos son el elemento didáctico más compatible para entender estos modelos, ya que se tiene un código de estructuración, que se desarrolla sobre un patrón, en la composición de fractales, como una proyección sobre el espacio de una progresión geométrica escrita en la relación de entrelazamiento del material y la información del conjunto.

Entonces, se seleccionó como método de análisis del modelo matemático el tejido, considerando la composición matemática de nudos por relaciones matemáticas del tipo (p,q), que pueden ser expresadas como ecuaciones diferenciales parciales hiperbólicas, siendo estas EDP fundamentales en el estudio de la física por el tipo de superficie que se forman. Se realizó un análisis de un conjunto de tejidos y sus formas, destacando entre ellos la composición como encaje topológico de anillos entrelazados como collar de Antoine –en el espacio euclídeo de 3 dimensiones–, patrones de interferencia (abanicos), nudos Salomón que han sido estudiados en su topología, nudos de entrelazamiento de superficies Möbius, etc., esto permitió clasificar las muestras, hallar una gama de nudos básicos y reconocer patrones en la topología matemática.

La geometrización de nudos y superficies como esferas geodésicas, catenoides y helicoides, o algunas más complejas como variedades Calabi-Yau –posibles formas de las n dimensiones espaciales compactas ocultas en el universo cuántico–, permite además de definir el tejido mediante ecuaciones matemáticas, la extrapolación de estas estructuras a campos como la arquitectura y algoritmos de optimización, basados en modelos biológicos. Un paso más está orientado a generalizar las ecuaciones en intervalos sobre un mismo operador de código, lo que permitiría desarrollar superficies Euclidianas, elípticas e hiperbólicas, de forma paramétrica respecto al ángulo de curvatura.

Tabla I. Estudio de nudos en tejidos compuestos

Composición enlazada	Nudo trébol	Composición Toroidal	Nudo trivial
	 Enlace T(1,4)		 Toroide T(5,8)
	 Enlace T(3,5)		 Salomón T(2,1)

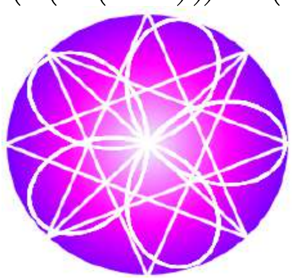
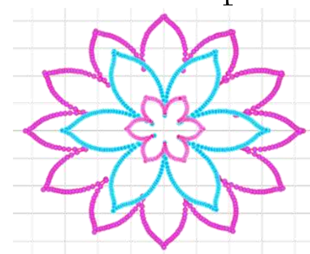
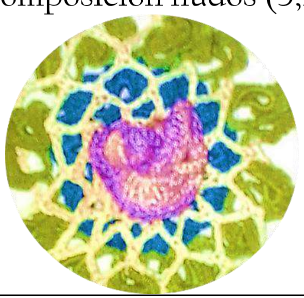
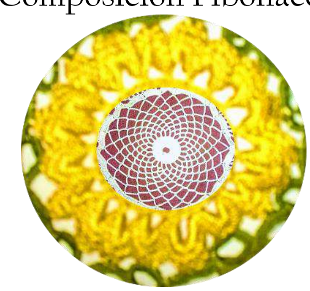
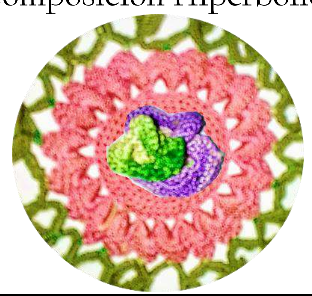
Fuente: Propia de la Autora, 2025.
Créditos: Prof. E. Ruiz-Díaz

La técnica de tejido crochet hiperbólico permite configurar el número de puntos –nudos, en cada vuelta –bucle– para crear la curvatura deseada, inspiradas en patrones naturales, con ondulación tal es el caso de flores y estructuras marinas. Es una herramienta de estudio de la geometría hiperbólica y ofrece beneficios sensoriales y terapéuticos, algunos modelos son presentados en la Tabla II.

En el tejido crochet se plantea desde la contemplación de la naturaleza, la creatividad en el diseño, la geometrización matemática (Sandoval-Ruiz, 2025a) como técnica de ensayo para el diseño de autor (Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E., 2018) mediante la composición por superposición de diseños, así como la definición de materiales, e interacción con la luz, para establecer aspectos innovadores de sostenibilidad e investigación científica.

A la pregunta de la hipótesis, ¿cómo se puede formular un tejido estructural mediante ecuaciones matemáticas? Resulta necesaria la definición de un operador de código de convolución (Sandoval-Ruiz, 2025d), más específicamente un producto tensorial que describe las interacciones entre el movimiento generatriz, que permite obtener la configuración de los nudos o enlaces puntuales, el patrón directriz que se corresponde con la memoria de trayectorias que definen los orbitales y las variables del sistema o paquetes de información, en un LFSR.

Tabla II. Diseños de autor bioinspirados en simetrías geométricas de flores

Rosa Polar	Flor de Girasol	Flor de Loto
		
$x=(n-(cos(n/k*\theta)))*cos(\theta)$ $y=(n-(cos(n/k*\theta)))*sen(\theta)$	$\Phi=n/k$ $n=233$ $k=144$ Relación: 1.618	$ri\ (\theta)=i+f(cos\theta+\pi/2)$ Número de capas: 3
		
Composición nudos (5,1)	Composición Fibonacci	Composición Hiperbólica
		

Fuente: Propia de la Autora, 2025.
Créditos: Prof. E. Ruiz-Díaz

4. Generalización descriptiva del tejido geométrico

Los implicantes permiten sistematizar un algoritmo de optimización de patrón sobre un espacio geométrico, mediante la reducción de términos de forma generalizada, se refiere a un grupo de términos que se pueden combinar para formar una expresión más simple, en el modelo del tejido se pueden crear mapas, identificar implicantes para simplificar redundancias y así, generalizar las expresiones descriptivas del modelo (Sandoval-Ruiz, 2026). Lo que parece un patrón fragmentado y aleatorio es en realidad una versión distorsionada de un sistema perfectamente ordenado, así resulta que cuando una onda viaja en un medio uniforme, su expansión es naturalmente circular, pero cuando encuentra barreras lineales, se forman un conjunto de patrones fragmentados que al desplegarse reconstruyen la expansión natural de propagación.

Se define un espacio geométrico como un tejido de enlaces, la configuración del tejido está asociado con un patrón geométrico representado por polinomio generatriz, el cual es descrito mediante coeficientes de densidad del enlace para cada punto del espacio. La interacción entre dos elementos puntuales que se desplazan sobre el tejido será definida por las propiedades de curvatura de éste, lo que lo dota de propiedades en las trayectorias de potencial y memoria de los estados pasados, comportándose como un campo físico (un efecto físico de la descompensación de simetría y recalibración en cada punto del espacio).

Los campos pueden ser tratados como transformadas de base geométrica para la simplificación de las operaciones y estimación de las interacciones. Con estas consideraciones, lo que previamente se consideraban como interacciones caóticas o respuestas de un modelo estocástico, pueden ser llevadas a un modelo determinista, siempre que se tengan las propiedades del campo físico del espacio geométrico de interacción. Es decir, que se consideren las condiciones iniciales como componentes residuales que se presentan en cada interacción y que han sido desestimadas en el modelo previo.

El tejido puede ser interpretado como una malla continua, tanto como un tejido cuántico, por esta razón resulta apropiado como modelador del espacio geométrico, así mismo el tejido se presenta como una red de difracción a través de la cual interactúan las ondas, dando lugar a composiciones de geometría proyectiva (Sandoval-Ruiz, 2024c) con la luz, en tanto que el tejido puede ser reconfigurado por componentes espectrales de las ondas incidentes, evidenciando el fenómeno de interacción onda-partícula.

Todo el estudio permitió definir un espacio geométrico como un objeto matemático que puede ser transformado mediante un operador LFSR sobre un grupo acotado, como puede ser un anillo en algebra de Galois o un campo de Gauge, se realizan las transformaciones sobre variables geométricas que no modifican el comportamiento físico observable, se define un conjunto de ecuaciones que describe la interacción física entre las diferentes bases. De esta manera, un campo físico que puede ser linealizado con algebra de cuerpos finitos, aplicando producto tensorial y transformaciones de base geométrica. Así, el campo describe las interacciones físicas y la topología, mediante un espacio físico con topología definida en un patrón caracterizado de enlaces y curvaturas, que se superponen con las características de los elementos de interacción.

El tejido ha sido aplicado para el análisis de campos potenciales en el área de física de partículas –partiendo del principio que la geometría es la base de todas las interacciones cuánticas–, fluidodinámica en captadores eólicos, gradientes de temperatura, lentes ópticos, e incluso como lentes gravitacionales, que permiten definir el potencial de energía y la interacción con una red de difracción dada como captadores de energía. El caso general de un campo físico representado como un tejido topológico, tiene dos fundamentos:

- ✓ Puede ser cuantizado por los enlaces o puntos que conforman su topología.
- ✓ Puede ser no uniforme, es decir, que puede estar constituido por un patrón generatriz, con densidad variable.

La única forma en la que los matemáticos pueden modelar el espacio hiperbólico es con crochet (BBC, 2017).

Hasta este punto, los modelos matemáticos han estado enfocados en describir los sistemas físicos, por etapas, pero en este abordaje se cambia el paradigma, pues se ha reconocido un operador matemático que cumple con todas las condiciones de la física en sus diversas escalas, de forma tal que se pueden validar teorías de campos topológicos y geométricos. Un operador matemático LFSR permite el modelado de la geometría del espacio a nivel cuántico, aplicando interferencia de ondas para compensar zonas del espacio, creando relaciones entre la física teórica y objetos matemáticos: $LFSR(n,k) = \overrightarrow{\nabla_g} \otimes M = \overrightarrow{\nabla_g} \cdot M \ mod \ g(x) = \Lambda_g M \pm \Phi_F(n,k)$. Esto sería el equivalente a anular un término por composición fractal del LFSR, de manera que no se presente ninguna interacción dentro de la zona oculta, con las partículas o variables de entrada.

El análisis holográfico del espacio geométrico (Sandoval-Ruiz, 2025e) –el doblamiento del espacio se refiere a la idea de transformar un espacio geométrico de una forma a otra, preservando ciertas propiedades topológicas. Esto implica considerar cómo los objetos dentro de ese espacio se relacionan entre sí y cómo esas relaciones se mantienen a través de deformaciones continuas– se puede representar por la proyección sobre andamiajes del tejido, creando trayectorias alternativas y dando lugar a un conjunto de soluciones, por la modificación de trayectorias convencionales, donde se establecen puentes o enlaces entre capas adyacentes, a través del estudio de intercepciones de superficies como curvas de Viviani, trayectorias cíclicas como analema y superficies orientables o su equivalente cuántico, con propiedades autosimilares que se pueden lograr en la superficie desarrollada. Por estos motivos se considera válido para el desarrollo teórico.

5. Resultados desde el enfoque matemático de investigación

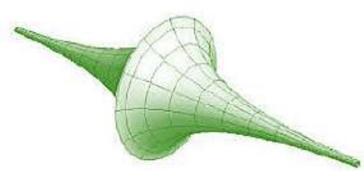
- El tejido traduce el modelo proyectivo de un atractor físico, por lo que la decodificación de la estructura permite reconstruir el patrón de ordenamiento.
- La luz emitida desde el eje simétrico de un catenoide revestido con un tejido crochet, se comporta como luz estructurada mediante una red de difracción, filtro pasivo, con propiedades físicas y matemáticas particulares.
- Entre sus aplicaciones se puede definir aportes para optimizar un algoritmo o diseñar un nuevo material.
- La técnica de *crocheting* permite estudiar aspectos abstractos de la física de sistemas complejos, un ganchillo como operador de secuenciación, un espacio cuantizado y la configuración estructural.
- Los tejidos como objetos geométricos definidos como variedades diferenciables (Weinan *et al.*, 2025), con dimensiones abstractas, que soporta operaciones matemáticas sobre ellos. En este contexto, una teoría matemática permitió estudiar la forma de los espacios usando el análisis diferencial, demostrando que, si una variedad es cuasi regularmente elíptica, entonces debe cumplir una propiedad algebraica específica (Heikkilä & Pankka, 2025), concretamente enuncia que “estas variedades son precisamente las que resultan de hasta tres sumas conexas de productos de esferas de dos dimensiones, o combinaciones de espacios proyectivos bidimensionales. Así lograron ilustrar estructuras matemáticas complejas, como una esfera de crochet para representar cómo se comportan los mapeos cuasi regulares, mediante una transformación que lleva el plano a una esfera. Cuando se curva la cuadrícula alrededor de la esfera, aparecen espacios vacíos entre los cuadrados, mostrando cómo se deforma el espacio bajo

estas funciones matemáticas. Esta manera de representar conceptos matemáticos con herramientas físicas es poco común, pero extremadamente útil para hacer accesible la teoría a un público más amplio".

- Así como un nudo es un objeto matemático que puede ser transformado en un círculo, las variedades diferenciables son superficies geométricas que pueden ser transformadas en una esfera.

- La técnica de tejido hiperbólico se realiza a menudo con crochet, donde se manipula el número de puntos en cada fila para crear la curvatura deseada.

Tabla III. Teoremas del operador matemático sobre modelos de tejidos topológicos

Inferencia	Análisis de Razonamiento Lógico	Fundamentos demostrados
Postulado	Una superficie con curvatura de Gauss negativa puede ser transformada en una superficie topológica equivalente para la resolución de singularidades.	Pseudoesfera de Beltrami Un modelo de geometría hiperbólica, que corresponde topológicamente z una esfera invertida con área y volumen finito.
Estudio proyectivo sobre modelo tejido	 	
Teorema de solución Topológica	Toda superficie puede ser transformada en una superficie topológicamente equivalente, a través de la selección de la base geométrica y curvatura de Gauss, a fin de simplificar el análisis matemático para el conjunto de elementos que comprende el grupo algebraico objeto de estudio, en aplicaciones de campos físicos y comportamiento fluidodinámico de sistemas complejos. Generalización de soluciones	

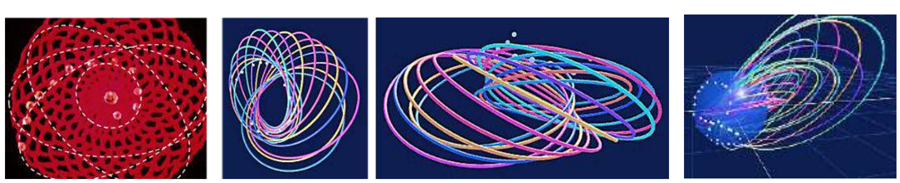
Aplicación del Teorema

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+v\cdot\nabla v\right)=\rho g-\nabla \mathrm{p}+\mu\nabla^2 v, \mathit{siendo\ el\ último\ término}\ \nabla\cdot\tau$$

Demostración de la existencia y suavidad de soluciones generales para la ecuación de Navier-Stokes, mediante superficies equivalentes, donde la derivabilidad en caso de singularidad se cumple:

(1) mediante la proyección sobre el plano de la superficie topológica,
(2) mediante transformadas de la superficie, partiendo de que conserva las propiedades del espacio, por un invariante topológico de la singularidad. Una proporción entre las superficies permitirá establecer el cálculo sobre la transformada,
(3) mediante la proyección de la singularidad sobre un armónico esférico complementario a la estructura geodésica de la superficie hiperbólica.

El tejido de punto como recurso matemático representando cadenas de osciladores acoplados para el estudio del flujo de energía.

Inferencia	Análisis de Razonamiento Lógico	Fundamentos demostrados
Postulado	La solución topológica de las ecuaciones de Maxwell para el estudio de casos no triviales permite generalizar un operador matemático sobre grupos finitos.	Teoría de Twistores (Penrose'67) mapeado de espacios geométricos complejos, mediante Fibración de Hopf.
Estudio proyectivo sobre modelo tejido		
Teorema de enlaces proyectivos	La solución a una ecuación de campo físico con geometría no trivial puede ser generalizada mediante un operador de compatibilidad aplicando enlaces proyectivos de la estructura del campo extendido para evaluar las condiciones de borde sobre la hiper superficie invariante topológica resultante. Solución topológica de las ecuaciones de Maxwell con operador generalizado sobre campo extendido:	

Aplicación del Teorema	$\nabla\otimes B = \mu_0\varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \mu_0 J \rightarrow \mathrm{B}(n,k) = \sum_{i=G1}^{Gn} G(n-k)\cdot E(n) + \mathrm{B}(i-1)$ Se planteó la alternativa de enlaces proyectivos para desafíos de modelado en configuraciones singulares del campo electromagnético y diseño de antenas geométricamente eficientes. Definimos los puntos del campo finito $mod\ p(x) = 11$, se dibujan las curvas elípticas relacionadas con ese elemento y se construye el patrón fibrado F8. De manera de aplicar conceptos de Hopfiones –líneas de campo anudadas entre si para describir la evolución de las ondas– y Helicidad –proyección del espín–, se relaciona con el índice de Holf –número de enlaces entre dos líneas de campo– y razones dimensionales. Se planteó el estudio topológico de las propiedades de los objetos matemáticos que se conservan durante deformaciones continuas: estiramientos (desplazamientos y corrimientos en la matriz elastomérica), torsiones (rotaciones y espín). Aplicado a la solución de las ecuaciones de Maxwell implica buscar invariantes topológicas en los campos, a través de patrones fractales o estructuras complejas, que persisten a pesar de las variaciones, ofreciendo una solución más fundamental que las descripciones puramente geométricas. La composición de la madeja de fibración de Hopf vibrante y nudos topológicos, como elementos básicos que definen el espacio matemático de los sistemas físicos complejos.

Los teoremas surgen como una combinación de conceptos para establecer analogías en el campo del algebra de campos finitos, geometría y física moderna. De esta forma se interpreta la relación entre un objeto matemático y un campo físico, “Tejidos y Antenas, de la geometría a la solución topológica de las ecuaciones de Maxwell”, sugiere un enfoque avanzado que conecta la geometría (rosetones fractales) con la física fundamental del electromagnetismo, usando la topología para entender el comportamiento cuantizado de los campos físicos.

- Postulados de la Investigación

  - Las condiciones iniciales son dependientes de los estados pasados, por lo tanto, deben ser modeladas en un intervalo acotado.

  - El tejido hiperbólico permite estudiar la matematización de mecanismos complejos, como el hiperboloide que, mediante enlaces elásticos, a partir de *n* rectas entrelazadas logra una superficie curva. El tejido como red de difracción puede ser interpretado como un estructurador, al desplazar una variable incidente por el código de tejido se logra una superficie en revolución.

- El LFSR es una memoria fractal de todos los estados anteriores correlacionados, mediante entrelazamiento cuántico, que permite modelar cualquier sistema físico complejo, con un multiplexor de implementación de la dualidad onda-partícula, lo que considera todos los posibles estados, siendo sus coeficientes los que describen las propiedades del espacio de fase.

Desde el ámbito social se buscan promover las oportunidades para científicas, sin sesgo de género o edad, desde la revalorización de saberes y generación de conocimiento, en el campo de las ciencias, tecnologías, ingeniería y matemáticas STEM, a través de un arte que ha sido culturalmente desarrollado mayormente por mujeres. De esta manera, se postulan formas de pensamiento inclusivo en el campo de la física cuántica, inferencias en materia de la conceptualización de la geometría analítica y analogías matemáticas sobre la base de lo conocido, encontrando correspondencia en estructuras que sirven de herramientas para interpretar enunciados complejos.

La naturaleza de las ciencias nos lleva a buscar una ecuación única que sea válida en todos los casos, pero al mismo tiempo a analizar posibles trayectorias potenciales y estados factibles, que se generan como resultado de las ecuaciones elípticas del tejido geométrico y la interacción con la memoria del sistema, las interacciones precedentes y el potencial óptimo. La pregunta es cómo un sistema evalúa todas estas posibilidades, como si se tratará de un diagrama de árbol para seleccionar la rama con mejor probabilidad. Allí es donde tiene lugar la función de activación, el resultado de la evaluación concurrente es pasada por un filtro que activará la respuesta óptima, según el criterio configurado.

En otras palabras, la teoría generalizada interpreta al sistema como un operador geométrico, que realiza la convolución entre una función de activación del sistema y la entrada de información-energía, lo que representa las trayectorias de interacción, donde se registra un aprendizaje, que permite actualizar de forma dinámica los coeficientes del sistema. Esto nos lleva a concluir que estamos en presencia de sistemas evolutivos, donde las interacciones no se dan por fórmulas estáticas sino por modelos dinámicos que evolucionan hacia estados de equilibrio y eficiencia. El atractor no es un modelo caótico es un modelo evolutivo que aprende de las interacciones previas, ajustando las trayectorias geodésicas descriptivas, lo que permite interpretarlo como un diagrama de entrenamiento dinámico.

Conclusiones

Gracias a las técnicas de estructuración de patrones geométricos mediante tejido crochet se ha desarrollado un análisis de conceptos matemáticos y su extrapolación al campo de la física, así se ha logrado una teorizando del comportamiento del espacio geométrico discretizado, estableciendo las analogías del entrelazamiento del tejido cuántico con la topología de la geometría no Euclidiana, lo que permitió reconocer un potencial aplicado a la física teórica y soluciones de RSE, sobre conceptos científicos.

Deformaciones del espacio como resultado de la curvatura del tejido geométrico.

Interacción onda-partícula estudiada como el efecto de la luz u ondas de energía incidente, a través de la red de difracción del tejido geométrico.

Observación de atractores a partir de la composición cíclica del tejido, para el modelado de trayectorias de evolución del espacio.

Sistematización de algoritmos de optimización a partir de modelos naturales, definiendo el tejido geométrico como andamiaje de la evolución del sistema.

-Aportes y Trabajos Futuros

Esta técnica innovadora de teorización matemática permite acercar la ciencia a espacios remotos cumpliendo con el rigor científico, conformando redes de investigación colaborativa, laboratorios remotos, repositorios científicos basados en el desarrollo empírico de tejedoras. El arte y una ciencia aplicada hace uso de la creatividad, así el principio de la propuesta consta de desarrollar los postulados en base a los conocimientos experimentales, de forma de interpretar las asociaciones.

El lenguaje regenerativo (Sandoval-Ruiz, 2025a) coincide con el tejido crochet como estimuladores del potencial de restauración, es un componente de la investigación que revaloriza el aprendizaje continuo, la inferencia y el análisis desde distintas perspectivas, así los bucles de tejidos toman una visión más amplia, siendo parte de la interpretación del código, del reconocimiento de patrones que pueden ser traducidos en un lenguaje matemático, creando conexiones entre la física moderna y los conocimientos teóricos, mediante correlaciones. El tejido es una herramienta de construcciones de estructuras complejas, conexiones sinápticas, conocimiento científico, enlaces y bienestar.

En el campo de las aplicaciones de responsabilidad social ambiental se proponen los tejidos geométricos como modeladores del espacio sobre el que se desarrollan atractores de sistemas físicos, a fin de restablecer las condiciones de equilibrio, la optimización energética y soluciones ambientales. Entre los que se pueden enunciar atractores de contención para la protección de espacios, confinamiento de frentes de viento en la dinámica de incendios forestales, restauración de glaciares y formaciones erosionadas. Así mismo, los atractores como lentes regenerativos de patrones de ondas incidentes, diseño y funcionalización de materiales y tejidos resonantes para captación de energías renovables.

Un área de aplicación emergente de los tejidos es la arquitectura (Sandoval-Ruiz, 2025b), donde se perfila como andamiaje magnético para estructuración de capas autoorganizadas sobre patrones geométricos inteligentes y eje de desarrollo para envolventes generativas, siendo esta propuesta un avance en materia de minimización de materiales y recursos. En el mismo orden de ideas, se considera el potencial de los tejidos topológicos para la recuperación de espacios urbanos, restauración de obras arquitectónicas patrimoniales, diseños funcionales en áreas públicas que permitan orientar el desarrollo del tejido social y cultural, así como promoción turística. En este orden de ideas se propone una composición de estructuras arquitectura basadas en diseños de tejidos fractales, física y geometría en el desarrollo de rosetones, estructuras resonantes, tecnología magnética y curvas cíclicas, en base a estructuras codificadas que definen las propiedades geométricas de los enlaces, formando redes de difracción (rejillas de *rose windows*) cristalinas, campos geométricos poliédricos, topologías fractales, con efectos positivos diseñados sobre el modelo físico de entrelazado convolucional, desde el fenómeno de interferencia constructivo de patrones superpuestos de armónicos.

Referencias

BBC (2017). El complejo concepto matemático que sólo se puede modelar haciendo manualidades. https://www.bbc.com/mundo/noticias-38982053

Heikkilä S., Pankka P. (2025). De Rham algebras of closed quasiregularly elliptic manifolds are Euclidean. *Ann. of Math.* 201 (2), 459-488. https://doi.org/10.4007/annals.2025.201.2.3

Kekkonen, H. (2024). Crocheting Bour's minimal surfaces. *The Mathematical Intelligencer*, 46, 306-312. https://doi.org/10.1007/s00283-023-10314-1

Montoya-Vega, G. (2023). Una mirada inicial a la teoría de nudos ya la homología de Khovanov. *Revista Integración*, 41(2), 103-123. https://doi.org/10.18273/revint.v41n2-2023003

Pacay, B. (2025). Estudio teórico sobre invariantes de nudos y sus conexiones con física de partículas. *Tesis del departamento de matemáticas USCG*.

Roberts, S. (2019). Para esta física, la teoría de nudos requiere de mucho hilo. *The New York Times*.

Sandoval-Ruiz, C. (2026). τ_{uv} Operador de Correlación sobre Grupos Topológicos, Álgebra GF y Tejido Estructural. *Revista Perfiles*, 1(35).

Sandoval-Ruiz, C. (2025a). Geometrización, patrones y estructuras lingüísticas en la composición cognitiva. *Lingüística y Literatura*, 46(88), 10–37. https://doi.org/10.17533/udea.lyl.n88a02

Sandoval-Ruiz, C. (2025b). πXY Radial en la utopía de arquitectura holográfica sobre modelos geométricos descriptivos. *Revista Avance*, *25*(2), 46-67. https://ojs.farusac.edu.gt/index.php/avance/article/view/165

Sandoval-Ruiz, C. (2025c). Modelado de Sistemas Físicos aplicando código de entrelazado convolucional. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 47, e20240315. https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0315

Sandoval-Ruiz, C. (2025d). Modeling renewable energy systems on convolution codes using interference patterns. Universidad, Ciencia y Tecnología, 29(126), 111-122. https://doi.org/10.47460/uct.v29i126.927

Sandoval-Ruiz, C. (2025e). Holo composición geodésica del campo geométrico aplicado en códigos de modelado de sistemas físicos complejos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 48.

Sandoval-Ruiz, C. (2024a). Formulación matemática del análisis de tejidos estructurales y su aplicación en arquitectura biomimética. *Revista REC Perspectiva*, *1*, 23.

Sandoval-Ruiz, C. (2024b). RSE Laboratorio de modelado de sistemas físicos con ciencia aplicada. *Revista Eduweb*, 18(4), 9-25. https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2024.18.04.1

Sandoval-Ruiz, C. (2024c). ZPF para arreglo de proyección de onda: φ-LFSR en modelado Fp [x]/f (x) de Sistemas de energías renovables. *Revista de la Universidad del Zulia*, *15*(42), 281-305. https://doi.org/10.46925//rdluz.42.16

Sandoval-Ruiz, C. (2020). Arquitectura Fractal Reconfigurable-AFR basada en Tecnologías Sostenibles y Energías Renovables. *REC Perspectiva*, 16(8).

Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. (2018). Eco-diseño de propuestas de cocina de autor basada en productos y tecnología sostenible. *Revista Qualitas*, *14*(1), 75-99.

Singal, K., Dimitriyev, M., Gonzalez, S., Cachine, A., Quinn, S., & Matsumoto, E. (2024). Programming mechanics in knitted materials, stitch by stitch. Nature Communications, 15(1), 2622. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46498-z

Weinan L., Guozhen W., Zhouli X. (2025). On the Last Kervaire Invariant Problem. arXiv preprint. Disponible en: https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.10879

Wang, L. (2012). Introducción a la teoría de nudos. https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1215

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

Licencia Creative Commons