

τ_{uv} OPERADOR DE CORRELACIÓN SOBRE GRUPOS TOPOLÓGICOS, ÁLGEBRA GF Y TEJIDO ESTRUCTURAL

τ_{uv} Correlation operator on topological groups, GF algebra and structural fabric

 Cecilia Sandoval-Ruiz

Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Maracay, Venezuela.

* cesandova@gmail.com

RESUMEN

Dada la correspondencia entre códigos topológicos y numéricos en la definición de grupos se abordó como objetivo correlacionar el algebra abstracta de campos finitos, enunciados de física cuántica y modelado geométrico de un conjunto matemático, basado en una herramienta innovadora como los tejidos crochet. El método consistió en el análisis del patrón de proyección sobre bucles de entrelazamiento, para identificar los conjuntos que pertenecen a un grupo algebraico y los complementos que se definen como elementos trascendentales. Entre los resultados se identificó una proporción de patrón reflejado de 61.8%, en la relación n/k para el desarrollo de patrones mediante curvas cíclicas, por lo que se infiere que la geometría del código define la interacción del campo en el sistema físico, así el complemento del conjunto $\text{mod } p(x)$ forma un armónico esférico del patrón proyectivo. Lo que permitió concluir que las operaciones en algebra de campos finitos sobre el modelo de un objeto matemático representa una herramienta valiosa para la interpretación de enunciados abstractos de física moderna.

Palabras claves: *Códigos estructurales; Conjuntos numéricos, Campos finitos de Galois; Grupos topológicos; Tejidos algebraicos con patrones geométricos.*

ABSTRACT

Given the correspondence between topological and numerical codes in the definition of groups, the objective was to correlate the abstract algebra of finite fields, statements of quantum physics, and the geometric modeling of a mathematical set, based on innovative tools such as crochet. The method consisted of analyzing the projection pattern onto entanglement loops to identify the sets belonging to an algebraic group and the complements defined as transcendental elements. Among the results, a reflected pattern proportion of 61.8% was identified in the n/k ratio for pattern development using cyclic curves. This suggests that the geometry of the code defines the interaction of the field in the physical system, and thus the complement of the set $\text{mod } p(x)$ forms a spherical harmonic of the projective pattern. This allowed us to conclude that operations in the algebra of finite fields on the model of a mathematical object represent a valuable tool for interpreting abstract statements of modern physics.

Keywords: *Structural codes; Numerical sets; Finite Galois fields; Topological groups; Algebraic fabrics with geometric patterns.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el contexto de la física moderna se presenta un debate respecto a la interpretación de la curvatura del lente gravitacional y su influencia sobre fuerza de interacción fundamental, siendo un reto unificar este concepto en términos de física clásica y mecánica cuántica (1), para correlacionar la física teórica con objetos matemáticos. De lo anterior, se identifica el potencial de la codificación del tejido estructural sobre grupos topológicos, nudos o bucles, para el estudio de álgebra abstracta en campos finitos GF y su extrapolación a campos físicos.

En Sandoval-Ruiz (2) se ha teorizado la matemática fractal aplicada a campos finitos extendidos, lo que permite modelar la interacción de variables físicas en sistemas como capas envolventes y espacios regenerativos con memoria dinámica, integrando conceptos de geometría proyectiva y fractales en aplicaciones de ingeniería, especialmente en el modelado de sistemas y estructuras complejas. En esta investigación se ha planteado la iniciativa de asociar estructuras tejidas a campos finitos como estrategia de inferencia.

En el campo de ciencias, tecnologías, ingeniería y matemáticas STEM el tejido surge como un potenciador para fomentar oportunidades, la divergencia del pensamiento promovido por actividades específicas define la forma de abordar los problemas de naturaleza científica y marca un patrón en la forma de comunicar los conocimientos, haciendo que sean compatibles y didácticos. Por este motivo, se ha seleccionado el tejido de punto, –un lenguaje de codificación matemática como recurso acelerador–, para desarrollar conocimiento de alto valor científico, de forma colaborativa con artesanos y maestros del tejido, a través de objetos matemáticos modelables en *crochet*.

Una herramienta didáctica en el estudio de conceptos topológicos

Los grupos algebraicos y sus operaciones matemáticas pueden ser representados en el espacio geométrico mediante conjuntos topológicos. En este sentido, el tejido *crochet* (3) permite representar las propiedades matemáticas –difíciles de interpretar desde las ecuaciones descriptivas–, para el análisis estructural y proyectivo, siendo una valiosa herramienta

didáctica para el estudio de geometrías complejas. Estos tejidos permiten representar nudos topológicos como osciladores armónicos acoplados, asociados a enlaces y patrones, que lo posiciona como un modelador universal para el abordaje de conceptos científicos complejos en nanotecnología, física de partículas, diseño de materiales e ingeniería de tejidos.

En este orden de ideas, los tejidos estructurales son estratégicos en la formulación de teoremas matemáticos, interpretando conceptos innovadores como patrones de interferencia de flujo geodésico (4) –que se asemejan a los fenómenos ondulatorios, el cual surge de una distribución colectiva de geodésicas, donde su curvatura modula la trayectoria del flujo–, y la interpretación de teorías emergentes –como *Trembling Spacetime Relativity Theory*, TSRT– explicando la naturaleza ondulatoria de la materia y operadores matemáticos avanzados en la estructuración a través de la geometría.

En este punto, se puede afirmar que los tejidos de punto, formados por concatenación de nudos-vórtices, representan un recurso algebraico innovador, para la construcción del pensamiento matemático avanzado, comprensión del álgebra abstracta (5) y los campos finitos de Galois (2). La analogía entre los nudos topológicos básicos –que no se pueden factorizar como concatenaciones de nudos más simples– y los números primos, permite establecer un elemento relacional, para el desarrollo del campo numérico basado en el estudio de la composición del tejido.

Otro conjunto de interés son los trascendentales e irracionales, donde el número ϕ –phi la proporción áurea–, en previos modelos de la física (6) se ha estudiado para definir la proporción de código cíclico de un LFSR – un registro desplazamiento de realimentación lineal–, de la relación geométrica entre dos segmentos y la totalidad, se plantea una relación entre una onda reflejada (a), una onda difractada (b) y la onda incidente (a + b), teniendo en cuenta la relación con la potencia útil convertida como 1.618. Este número demuestra una proporción armónica de equilibrio, asociada a la eficiencia de las ondas reflejadas en un medio.

Esta conceptualización se extiende a puntos en un espacio, en la construcción fractal –concatenación de elementos fundamentales y proporciones geométricas– del tejido matemático. Una

interpretación de niveles o capas resultantes de la operación $\text{mod } p(x)$ que identifican una clase de residuo del polinomio irreducible del campo finito. Lo que lleva a la interpretación de elementos del campo, como solución de esos polinomios irreducibles, en la cadena de nudos de la superficie, que forman órbitas periódicas – geodésicas– en modelos geométricos dinámicos.

En el campo de la topología aritmética se establece una analogía formal entre la teoría de números y la topología de 3-variedades, demostrando teoremas en un contexto que se extrapolan a su contraparte. Los números enteros se asocian a las variedades de la teoría topológica, donde los números primos corresponden a nudos, y los invariantes aritméticos se interpretan como nudos espejo. A partir de allí se pueden analizar operaciones matemáticas complejas entre grupos algebraicos, que están representados como patrones estructurados en un tejido de puntos, como los grupos de Galois –que estudia las simetrías de las extensiones de cuerpos– éste representa como un grupo fundamental topológico, y el grupo de clases como una estructura de enlace topológica, que ha sido abordada en (7).

Desde el análisis de conjeturas sobre la función zeta de Riemann $\zeta(x)$ –como codificador de información, puesto que para cada primo p es una serie geométrica–, y los principios de criptografía –que relaciona la teoría de números y la mecánica cuántica–, establecen un orden sobre sistemas

aparentemente aleatorios. Éstas son algunas de las aplicaciones en ingeniería de estos conceptos que se analizan en la composición del tejido estructural, un hilo unificador entre el código y las teorías abstractas, para visualizar las estructuras complejas (8).

Es en tal sentido, que esta investigación plantea un enfoque topológico para la curvatura como una configuración del espacio en relación con singularidades locales en teoría de nudos, parámetros del campo y grupos algebraicos. El estudio de campos electromagnéticos, fluidodinámicos y óptica geométrica presentan en común un patrón de proyección que puede ser direccionado por un lente geométrico, el lente representado por el grupo algebraico –el tejido– y el patrón proyectivo el grupo complementario.

Llegado a este punto es relevante la correlación didáctica del tejido con los códigos y aplicaciones de la física moderna, entendiendo la analogía entre una antena de configuración de un patrón de radiación de flujo (ver Figura 1) y un tejido *crochet* que proyecta una superficie mínima (9) de los espacios enmarcados por el grupo de elementos algebraicos y sus propiedades topológicas de continuidad en el contexto del grupo. La flexibilidad del tejido permite analizar fenómenos físicos complejos como lo es el campo electromagnético como una respuesta de condensación de carga en función de la curvatura del espacio-tiempo, sobre el soporte de una base matemática, en un marco geométrico extendido.

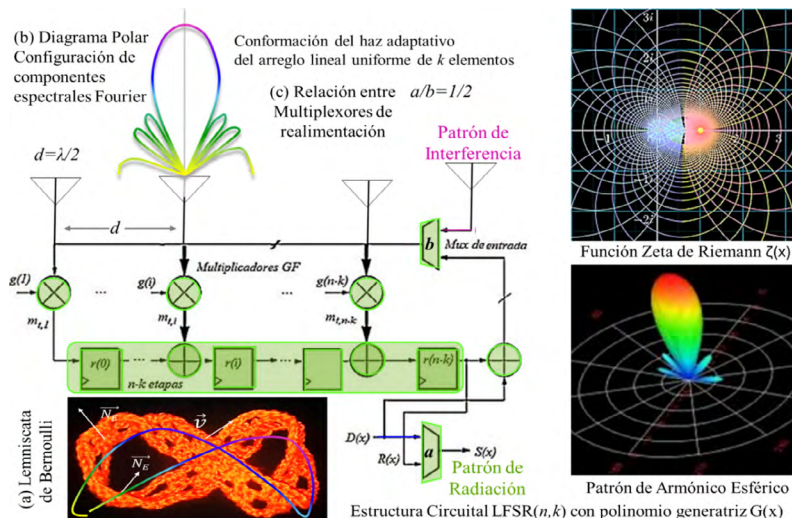


Figura 1. Correlación del operador matemático LFSR(n,k) con patrones proyectivos. Esquema conceptual: (a) Tejiado croché de banda Möbius (Lemniscata), (b) Composición del Diagrama Polar. (c) Relación entre multiplexores asociados a patrones de radiación e interferencia de k lóbulos, correlacionados con la proyección de la luz a través del tejido.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La caracterización de la curvatura de Riemann, un componente dependiente de la densidad de energía – tensor de Ricci– y la relaciona gravedad y electromagnetismo (10), –tensor de Weyl–, permitiendo que la noción de distancia cambie localmente ya que autoriza variaciones locales de escala, y codifica la forma del espacio topológico, siendo útil para definir campos físicos mediante una descripción geométrica (11), aplicando las ecuaciones geodésicas del tejido para deducir las leyes que definen las líneas de flujo e interacciones, tal como se reporta en recientes estudios acerca de generalización no lineal de las ecuaciones de Maxwell desde un enfoque

variacional (12).

Con el tejido crochet se puede crear una composición de superficies topológicas, de malla y discretización, para representar un patrón de proyección y curvatura en el espacio geométrico, tal como se presenta en la Figura 2. Lo que permite modelar las estructuras mediante ecuaciones paramétricas y se obtiene la ecuación polinomial, la composición de nudos topológicos sobre la directriz $g(x)$ y los coeficientes de las ecuaciones relacionados con propiedades geométricas del tensor de torsión y curvatura.

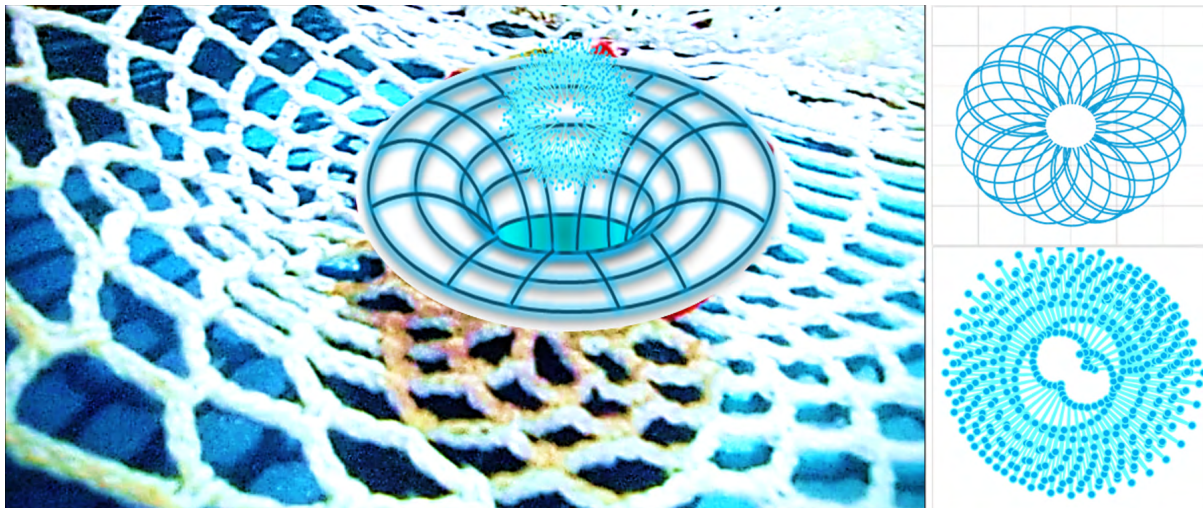


Figura 2. Tejido Topológico en estudio de patrones de proyección. (a) Se modeló el tejido mediante: $x = [W_C \otimes p_i] r \cos(\frac{r}{R} \theta) \cos \theta$, y $y = [W_C \otimes p_i] r \cos(\frac{r}{R} \theta) \sin \theta$, donde se identificó una proporción de patrón reflejado de 61.8%, en la relación r/R para el desarrollo de patrones mediante curvas cíclicas. (b) Se generó un patrón de densidad por la expresión: $r_1 = (\theta) = 1 + \frac{|\cos A\theta| + 2(0,25 - |\cos(A\theta + \frac{\pi}{2})|)}{2 + 8|\cos 2A\theta + \pi/2|}$ con

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De esta manera, la presente investigación aborda el estudio de la autosimilitud entre el operador de producto de convolución en campos finitos de Galois $GF(p^q)$, asociada a teoría de grupos, el tejido del espacio geométrico en crochet como herramienta de interpretación de conceptos matemáticos avanzados y propiedades topológicas de la teoría de nudos, con su aplicación en el campo de la física cuántica. De allí se plantea que “los nudos topológicos concentran la ecuación generatriz de un espacio matemático que modela un sistema evolutivo”, el nudo se despliega siendo un andamiaje sobre el que se desarrollan superficies mínimas que conforman un espacio geométrico –armónicos

geométricos de interacción–, estos presentan todas las trayectorias de desarrollo y los patrones direccionales del campo, con su curvatura y propiedades particulares. Entonces, su estudio se puede realizar a través de proyecciones sobre planos perpendiculares formando curvas características –rosetones y cicloides–, que permiten caracterizar campos por completo.

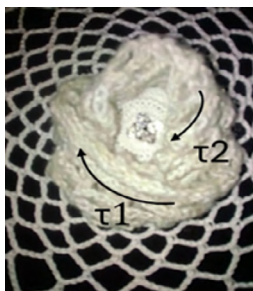
Un aspecto importante de mencionar es la evolución del nudo topológico, porque allí están definidas las trayectorias de desarrollo probable, sobre las condiciones iniciales y las condiciones de borde con realimentación, la directriz de convergencia está encriptada en la

topología del nudo generatriz. Un nudo encripta toda la información de potencial de desarrollo de un espacio geométrico, el cual está asociado a un campo físico o sistema. El nudo topológico se encuentra entrelazado en una estructura más compleja creando un tejido directriz con sesgos asociados a las condiciones de borde que determinan el patrón de alineación resultante. Toda esta información topológica se codifica en un $LFSR(n,k,\theta)$, que corresponde al objeto matemático. Se hace notar que la dimensión tiempo requiere de un despliegue del nudo y la dimensión espacial es estudiada sobre las proyecciones de éste. Así el nudo topológico es el elemento cuántico en el que se concentra el generador de campo de interacción y atractor del sistema.

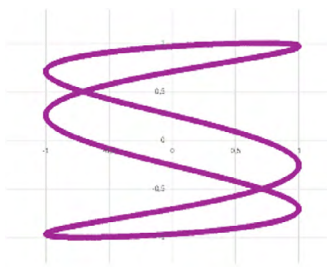
II. MATERIALES Y MÉTODOS

El método abordado consiste en aplicar el tejido crochet como herramientas topológicas para la interpretación de conceptos de álgebra abstracta, específicamente grupos y campos extendidos, con un tipo de diseño teórico-analítico, de los códigos de convolución (13).

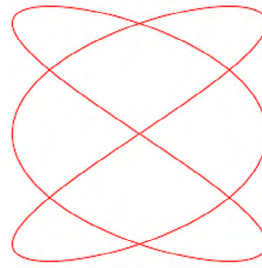
El primer ensayo es el estudio de nudos por curvas de $Lissajous(n,k)$ –filtro pasa bajos sin modulación de amplitud–, $cicloide(n,k)$ –filtro pasa bajos con modulación de amplitud– y $rosetón(k,n)$ –filtro pasa altos con modulación de amplitud– son proyecciones de un mismo nudo topológico, por lo que se establece un isomorfismo, sobre estas estructuras aun cuando no sea evidente por la observación en perspectiva. Se puede deducir que un armónico esférico –de la descripción de las funciones de onda en física de partículas y la teoría de potencial–, es complementario \mathbb{C} -isomórfico con un nudo de Lissajous, por la relación armónica de frecuencia n/k , siendo ambos generados por el mismo codificador y su configuración espejo, ver Tabla 1.



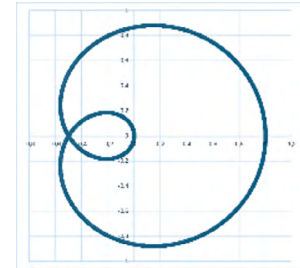
Nudo toroidal τ



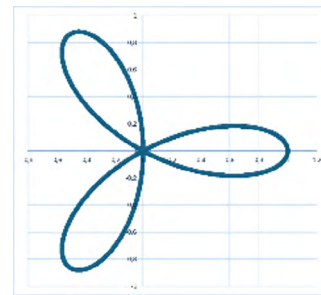
Lissajous $(1,3,\pi/2)$



Lissajous (n,k,θ)



Cardioid $(1,3)$



Rosa polar $(3,1)$

Tabla 1. Nodos Topológicos como patrón directriz de patrones proyectivos. Los complementos como el cardioid $\tau(1,3)$ y su complemento como armónico esférico como la rosa polar $\tau(1,3)$ son simétricos, lo que resulta poco intuitivo, pero al proyectar los nudos se encuentra un eje de simetría, respecto al ángulo de complementariedad π por la rotación de 180° .

De esta manera, se pueden obtener las representaciones paramétricas de cada nudo topológico y validar las relaciones de rotación del tejido en geometría proyectiva.

El segundo ensayo consistió en desplegar un tejido topológico y observar la composición en forma de red de difracción al desplazar un tejido de vórtice –ruleta– sobre las directrices del tejido de base, como se presenta en la Figura 3.

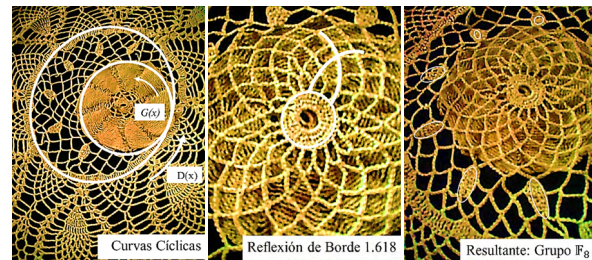


Figura 3. Tejido Topológico en redes de difracción sobre curvas cíclicas. (a) Sobreposición del tejido generatriz $G(x)$ sobre el tejido directriz $D(x)$. (b) Proporción de del código 1.618. (c) Elementos del campo finitos extendido: $\mathbb{F}_8 \text{ mod } G(x)$.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La forma de ilustrar las operaciones matemáticas de convolución en geometría analítica y más

ampliamente en álgebra de campos finitos requiere de comprender las secuencias soportadas sobre un registro desplazamiento, y generan como resultado un elemento perteneciente al grupo o un elemento en el campo extendido. Las operaciones topológicas comprenden el desplazamiento, rotación y reflexión de borde, mediante la realimentación del multiplexor externo, así como las proyecciones geométricas del grupo (ver Figura 4).

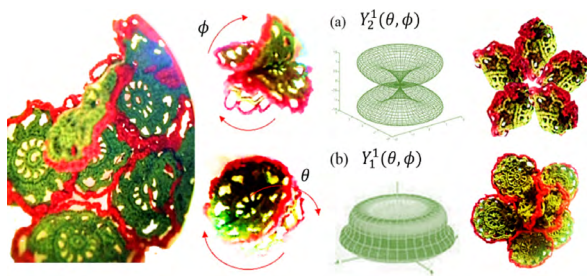


Figura 4. Análisis de superficies compuestas. Espacio proyectivo de armónicos esféricos y grupos topológicos, los armónicos descritos por: $y_j^i(\theta, \phi)$ siendo i número de singularidad, j número de lóbulos, θ ángulo de barrido, ángulo de proporción de realimentación por reflexión (trascendencia numérica). (a) Toroidal (b) curva $y = x^2$ sobre \mathbb{R} , la superficie sobre \mathbb{C} y sobre un campo finito \mathbb{F}_n

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el tercer ensayo se seleccionó un patrón geométrico, se estudió la proyección de cada arreglo y la concatenación fractal. Desde la perspectiva algebraica se identificó el producto de convolución para correlación cruzada del patrón, siendo posible implementar caracterizaciones del campo, como el gradiente –estimación del potencial del campo en cada punto, como coeficientes del arreglo LFSR–, de manera tal de realizar el producto entre los elementos y la función gradiente para obtener

la divergencia de las líneas de campo y el rotacional, que estudia la vorticidad sobre el tejido topológico.

Al momento de establecer una herramienta didáctica se puede aplicar una banda de Möbius tejida como elemento de análisis, donde se evidencia que es una superficie no orientable, un solo límite, con vectores de semi torsión en su campo vectorial normal. La banda de Möbius es un conjunto conexo en el sentido matemático, ya que es una superficie que no se puede dividir en dos conjuntos abiertos disjuntos, la construcción del tejido permite identificar esta propiedad de la superficie topológica, para establecer autosimilitudes con otros espacios topológicos de análisis. Otras propiedades como pueden ser estudiadas a partir de desplazamientos del conjunto para el análisis de translaciones, proyecciones en espacios cocientes, reflexiones para estudio de complementaciones, simetrías y superposición nodales, marcando puntos específicos y observando las transformaciones ante operaciones matemáticas.

Los tejidos como herramienta didáctica del campo algebraico de Galois $GF(2^m)$ pueden ser proyectados sobre el espacio complementario, definiendo un atractor de Lorenz (14), como un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales que describen patrones de convección en fluidodinámica. Además, es interpretado como un sistema no lineal, disipativo, sensible a condiciones iniciales y de borde, que puede ser desarrollado en modelos tejidos 3D (15), tal como se presenta en la Tabla 2.

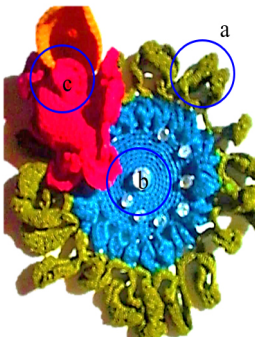
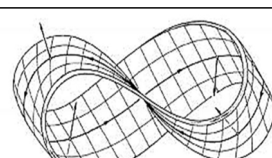
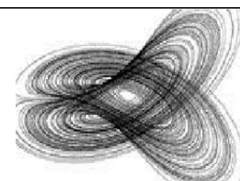
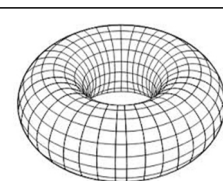
Tejido Hiperbólico	(a) Banda Möbius (reversible)	(b) Atractor de Lorenz	(c) Campo finito de Galois
 Atractor de superficies configurables.	$x(u, v) = \left(1 + \frac{v}{2} \cos\left(\frac{u}{2}\right)\right) \cos(u)$ $y(u, v) = \left(1 + \frac{v}{2} \cos\left(\frac{u}{2}\right)\right) \sin(u)$ $z(u, v) = \frac{v}{2} \sin\left(\frac{u}{2}\right)$	$\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x)$ $\frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y$ $\frac{dz}{dt} = xy - \beta z$	$p(x) = \sum_{i=0}^n g_i x^i + p(i - 1)$ $G(x) = T(x) \text{ mod } p(x)$
	 $\mu(n, k)$	 $\mathcal{L}(n, k)$	 $\tau(n, k)$

Tabla 2. Ecuaciones de código del tejido en superficies y objetos geométricos notables

III. RESULTADOS

Se realizó un proceso de análisis de donde se formularon los postulados matemáticos, resumidos en la Tabla 3, a partir de los ensayos estructurales, a fin de lograr enunciar una conjetura, aplicando los recursos algebraicos y didácticos del tejido.

Curvas elípticas

Las líneas de flujo y curvas de potencial que definen la estructura de un espacio pueden ser aproximadas como geodésicas elípticas cuyo foco se encuentra en el punto de proyección, deducido de la interacción de la luz con el tejido.

Patrones de interferencia

La superposición de estas curvas forma nodos topológicos, siendo estos los elementos del campo finito, los cuales son la resultante de la intercepción de curvas proyectivas desde los focos de origen y las curvas proyectadas por reflexión sobre las curvas de interacción del campo geométrico, lo que permite representar los patrones de tejido con base en expansiones polinómicas. Este modelo caracteriza estructuras matemáticas mediante propiedades topológicas de componentes reflejados sobre condiciones de borde del campo, logrando formular la auto compensación simétrica.

Caracterización de convergencia

Todas las geodésicas de un espacio proyectivo convergen a un punto focal donde se trazan las rectas de proyección en el espacio de fase que se curva y sirve como directriz para las interacciones entre puntos del tejido topológico.

Composición armónica

Los armónicos esféricos son el equivalente a una transformada de Fourier, es una herramienta para expresar y descomponer funciones definidas sobre una esfera en términos de frecuencias angulares, es decir, cada polo (lóbulo) tendrá una amplitud según la densidad espectral de componente de frecuencia.

Grupo algebraico

Interpretación matemática del tejido como cuerpos de números algebraicos, donde la composición de nudos topológicos permite caracterizar un conjunto de elementos que incluye raíces del código y una extensión finita de ellos, donde cada nodo representa una solución de una ecuación polinómica.

Los tejidos permiten visibilizar el producto de convolución (ecuación 1) entre dos redes de difracción o patrones, obteniendo un grupo de la intercepción de los conjuntos de elementos que pertenecen a los grupos algebraicos.

$$T(n, k) = C(x) \cdot f(x-k) \text{ mod } p(x) \quad (1)$$

El operador LFSR permite el estudio de los códigos algebraicos en campos finitos, a partir del modelo matemático del tejido en crochet, el cual define un espacio topológico por la concatenación de nudos básicos y ecuaciones geodésicas del campo. Este tipo de ejercicios algebraicos soportados en un análisis de campos topológicos aporta una comprobación del grupo algebraico resultante. Tal como en el producto de convolución se realiza un desplazamiento del tejido, dejando la referencia fija y realizando la comprobación de los puntos que se amplifican por superposición o cancelan. El desplazamiento se da tanto en el eje lineal como en el radial, rotando el tejido y validando los patrones de interferencia solapados, hasta definir el grupo algebraico resultante de la operación matemática, como se presenta en la Figura 5.

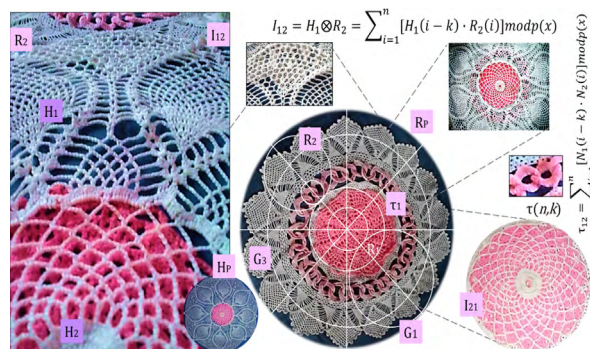


Figura 5. Producto de convolución $G(n,k)$ de grupos topológicos. En el caso de estudio se han seleccionado cuadrantes del tejido $C(n,k)$ con interés en un código, $C(x)$ convolución entre el patrón H_1 y R_1 , cuyos elementos del patrón de interferencia I_{12} están definidos por la intercepción de los patrones $\{P_{H_1} \cap P_{R_2}\}$.

Fuente: Composición fotográfica de colección [tejidos a crochet] de la prof. E. Ruiz-Díaz.

El tejido se aplicó como una herramienta para desarrollar inferencias conceptuales novedosas mediante geometrización de elementos abstractos, encontrar soluciones a problemáticas físicas relevantes y establecer conjeturas en el campo de las matemáticas. Las discontinuidades locales que limitan el campo se tratan de un reflejo de la curvatura global del

Tabla 3. Postulados de la teoría de operadores de convolución sobre tejidos geométricos.

tejido del espacio geométrico, pero pueden ser solventadas a través de la cancelación simétrica de componentes reflejadas y el análisis discreto de los grupos algebraicos. Se hace un deslizamiento de foco desde la geometría diferencial a la abstracta y se logra una ecuación que estima todos los casos, la curvatura se observa más o menos pendiente, según el acercamiento al borde del campo finito.

Conjetura del código de entrelazamiento del campo topológico

El polinomio generatriz de campo finito, la composición fractal del campo extendido y la vorticidad que desarrolla las ecuaciones de las directrices cíclicas, definen la curvatura de interacción onda-partícula, mediante un código de entrelazamiento del espacio topológico. Esto permiten caracterizar completamente un campo físico, incluyendo el efecto de ondas reflejadas sobre el sesgo relacionado con la condición de borde del espacio proyectivo, que generalmente es desestimado en los modelos convencionales. Así la teoría de grupos en algebra de campos finitos permite conciliar estos conceptos abstractos.

1. La sumatoria de armónicos esféricos permiten reconstruir cualquier patrón de potencial de interacción de un campo físico, realizando filtrado selectivo, estimando la densidad espectral reflejada y ajustando los coeficientes de direccionalidad, sobre un $LFSR(n,k)$, el cual a su vez permite caracterizar las órbitas geodésicas de trayectoria para bloques de energía discretos y los nudos topológicos en relación armónica k/n .
2. Los armónicos esféricos pueden ser concentrados en un nudo topológico con la información generatriz del campo, la autosimilitud se corresponde con los polinomios $p(x)$ y $C(x)$ que definen las operaciones en algebra de campos finitos.
3. Un campo finito de *Galois* puede ser representado como una composición de puntos discretizados sobre un armónico esférico, las ramas nulas del LFSR definen el entrelazamiento y las componentes atenuadas de los lóbulos armónicos.

Las líneas de flujo o ecuaciones geodésicos son orbitales con niveles cuánticos de energía. Si las

operaciones se realizan sobre las ecuaciones geodésicas, funciones que desarrollan el campo vectorial o polinomio irreducible generatriz del campo finito, se logra sintetizar el funcional sobre la función de campo vectorial de energía. Se puede desarrollar el producto tensorial o convolución de funciones, incluso el producto exterior en caso de contar con complementos, que puede tener cualquier configuración de lóbulos, sobre una función de probabilidad en lugar de un vector.

Teorema 1.1. $\Lambda \otimes G$ para el cálculo de densidad de líneas geodésicas

En este enunciado Λ representa la densidad de líneas geodésicas y G la caracterización del campo finito. Donde $G(x)$ representa el grupo de geodésicas que pertenecen al campo, más claramente las ecuaciones elípticas que desplegadas construyen el espacio de fase, puede ser entendido como la curvatura del campo, asociada con operadores de rotacional y divergencia, analizando la forma en que las líneas del campo divergen de un punto o singularidad. Entonces, este concepto aplica tanto para enunciar la respuesta de entrelazamiento de un tejido. Las ecuaciones evaluadas en el intervalo de proyección despliegan un objeto matemático con propiedades complejas. Por su parte Λ representa la densidad de puntos \mathbb{F}_n para cada curva de este objeto geométrico y se obtiene un campo físico totalmente caracterizado como solución clásica. En la solución topológica se requiere definir las geodésicas como tejidos discretizados por nudos, redefiniendo los límites integrales por condiciones de borde del campo finito.

Teorema 1.2. $\nabla \cdot G$ Divergencia de las líneas de geodésicas

Las geodésicas son las líneas que se despliegan sobre el espacio proyectivo, estas líneas convergen a un punto o singularidad, la medida de convergencia o su contraparte divergencia es una propiedad para caracterizar el campo geométrico.

Teorema 1.3. $\nabla \otimes G$ Vorticidad de las líneas de geodésicas

En los puntos focales la proyección de las líneas se desarrolla por un operador rotacional, que permite medir la vorticidad o torción del espacio

proyectivo. La importancia de este aspecto está relacionada con aspectos del ángulo de curvatura y concentración de código sobre la misma estructura mediante capas concéntricas, en una proporción característica, como puede ser la relación n/k del operador LFSR(n,k).

Lo que permite reescribir la ecuación del campo en función de las propiedades cuantitativas del espacio geométrico (ecuación 2), como la distancia y la curvatura, que se conservan bajo transformaciones isométricas, incorporando las propiedades del campo topológico de los espacios que permanecen inalteradas bajo deformaciones continuas.

$$\tau(n, k) = \sum_{i=G_1}^{G_n} G(n-k) \cdot x(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (1)$$

Es importante acotar que la correlación define el entrelazamiento entre el polinomio generador de código $G(n)$ y la entrada $x(n)$, donde se relacionan los estados reflejados mediante la memoria geométrica de la forma $\tau(n-1)$, que se expresa en ecuación 3.

$$\tau(n, k) = \sum_{i=G_1}^{G_n} G(n-k) \cdot x(n) + \tau(n-1) \quad (3)$$

En lugar de la sumatoria desde G_1 hasta G_n se plantea incluir la ecuación del campo $\text{mod } p(x)$ para i -enésimo hasta N para todo elemento del campo finito (ecuación 4).

$$\tau(n, k) = \sum_{i=1}^n G(n-k) \cdot x(n) \cdot \text{mod } p(x) + \tau(n-1) \quad (4)$$

Y la función complemento del sistema de la forma (ecuación 5).

$$\bar{\tau}(n, k) = 1 \sum_{i=1}^n G(n-k) \cdot x(n) \cdot \text{mod } p(x) \quad (5)$$

En función de la composición de las ecuaciones geodésicas (16) se desarrolla la concatenación de nodos topológicos sobre las líneas de nivel del tejido, entendidas como trayectorias óptimas de equipotencial en física –que representan un nivel cuántico en pasos del polinomio irreducible $p(x)$ –. De lo anterior, se formula el concepto de densidad de la función de probabilidad p , se interpreta la totalidad como una construcción del universo matemático

(ecuación 6), dado por una densidad de nodos topológicos y el conjunto complementario.

$$L = p\tau(n, k) + (1-p)\bar{\tau}(n, k) \quad (6)$$

Un tejido se puede codificar por los puntos y los espacios vacíos, es decir los elementos del campo finito que pertenecen al grupo algebraico al aplicar el operador mod sobre el polinomio generatriz y los complementos. A su vez los nudos, bucles o puntos están caracterizados por los lóbulos y lazadas, una relación de lo que es el enlace y los pasos de la red de difracción. Así la relación LFSR(n,k) permite establecer una relación de k etapas cuyos coeficientes establecen la configuración del campo geométrico.

IV. DISCUSIÓN

Se ha desarrollado un enfoque matemático y topológico del tejido *crochet* para el estudio de operadores algebraicos de campos finitos, logrando coincidencias en los resultados cuantitativos de modelos en lenguaje descriptor de hardware para sistemas físicos como los reportados en Sandoval-Ruiz (2024), con un criterio de recuperación de 1.618 de la energía reflejada, para sistemas eólicos proyectivos, por lo que se infiere que la geometría define la interacción del campo en el sistema físico, de forma coherente con la estructura del objeto matemático tejido.

Las raíces del polinomio generador del campo, y su comportamiento puede ser inferido mediante un grupo topológico y su complemento como la superficie de *Riemann* o superficie mínima proyectada desde el andamiaje de los nudos topológicos. Planteado como μ -superficies que se forman, en cada lóbulo donde se repite el patrón del arreglo, obteniendo una representación reflejada del patrón de base. De lo que se deduce que, las singularidades locales i' replican el patrón global:

$$y_l^n(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{2n+1(l-m)!}{4\pi(l-m)!}} e^{im\phi} P_l^m \cos\theta,$$

desde un experimento de interpretación topológica. El estudio sobre la base del tejido como herramienta de desarrollo conceptual

de teorías matemáticas permitió establecer las siguientes consideraciones:

El tejido modelado permitió una interpretación geométrica de los campos finitos, que estudia las relaciones entre grupos y extensiones, ya que estos aparecen como códigos de factorización de polinomios, en extensiones finitas. Siendo una representación de la constelación de nodos –que se representan por los puntos del tejido– de un patrón de interferencia y su superposición, así los conceptos físicos y algebraicos compatibilizan, una descripción matemática de los campos cuánticos mediante elementos discretos.

Mientras que los campos finitos son estructuras algebraicas con un número finito de elementos –todos los elementos son solución al polinomio generatriz del campo–, π es un número trascendente que no pertenece a ninguna extensión algebraica finita, ahora si se realiza un cambio de base simétrica –la relación puede ser definida como la proporción con el polinomio directriz y un parámetro radial del ángulo de rotación del campo–, correlacionando los elementos algebraicos con el objeto geométrico.

El tejido además evidencia un concepto innovador en la física moderna, la reversibilidad de dinámica del sistema mediante modificación del sentido de flujo del atractor –entendiendo el atractor como el patrón geométrico de asentamiento sobre el tejido–, logrando revertir un proceso para aplicaciones de reciclaje, restauración y regeneración, sobre la interpretación de un atractor como sistema guía de evolución del sistema, reordenando y regenerando trayectorias óptimas.

De esta forma se observa que el código de entrelazamiento del tejido define los elementos del grupo que pertenecen al conjunto y el comportamiento en el espacio proyectado a través de éste. En otras palabras, se genera un conjunto algebraico y un código complementario al conjunto, que tendrá una curvatura basada en la geometría y las condiciones de borde.

La generalización descriptiva del tejido codificado por un LFSR, donde cada punto es estructurado pasando por los puntos previos, que se comporta como un lente geométrico que forma un campo complementario. Los polos –cabe destacar que no son raíces del

polinomio generatriz $p(x)$ – son proyecciones en la dimensión perpendicular al nudo topológico que forma la superficie del conjunto complementario, es decir el campo proyectivo del conjunto de números trascendentales, que conforman armónicos esféricos.

- i. La memoria fractal de entrelazamiento hace que se concentre una enorme cantidad de información codificada en un espacio mínimo, logrando curvar el espacio dimensional holográfico (sin masa).
- ii. Cada una de las proyecciones reflejadas sobre si misma crean una composición de patrones de interferencia únicos, que caracterizan el campo geométrico.
- iii. La densidad de información codificada (entrelazada) es la responsable de las singularidades en el espacio geométrico, creando una curvatura que establece las ecuaciones geodésicas de interacción dinámica.
- iv. La relación del lente del campo físico: gravitacional, electromagnético, flujo dinámico o cuántico está dada en términos de ecuaciones de curvatura elípticas de las líneas de flujo geodésicas.
- v. Todas las ecuaciones de interacción física pueden ser desarrolladas a partir de polinomios irreducibles del campo en algebra GF y la interpretación geométrica proyectiva.

En algebra abstracta se definen objetos matemáticos como conjuntos finitos con operaciones que cumplen los axiomas de un campo, donde se reconoce una correlación con los tejidos como estructuras codificadas sobre operadores topológicos, sobre un patrón generatriz de entrelazamiento, equivalente al polinomio irreducible $p(x)$ del campo finito, para el estudio del comportamiento de los conjuntos algebraicos.

Una interpretación matemática de las raíces del polinomio generatriz del código definido por la función $G(x) \bmod p(x)$, en los que la función tiende a infinito, una singularidad – donde la función no está definida–, puede ser entendida como una proyección de la curvatura que depende de las condiciones de borde y

converge a un foco proyectivo del campo, es el elemento que no pertenece al campo que curva el tejido formando un conjunto de líneas de flujo. De esta manera, se plantea que conocido el patrón de proyección de un campo se puede determinar su polinomio generatriz.

Un grupo topológico es un objeto matemático con estructura algebraica y geométrica que interactúan de manera coherente, puede ser interpretado como un par $\{G, \tau\}$ donde G se corresponde con un grupo algebraico y τ es una topología sobre G que es compatible con la estructura de grupo, es decir, que los operadores de grupo son funciones continuas con respecto a la topología. Entonces, un grupo algebraico como los campos finitos GF puede ser relacionado con una estructura geométrica, definiendo un polinomio para identificar los puntos de un tejido topológico que pertenecen al campo o el complemento de los elementos que no pertenecen al campo extendido $\mathbb{F}_p[x]/f(x)$ en algebra GF (2).

Los armónicos proyectivos son un conjunto de funciones ortogonales que describen la variación espacial de un campo en coordenadas esféricas, como el campo gravitatorio o electromagnético, con aplicaciones en la descripción de la función de onda y teoría de potencial de campos físicos, permiten descomponer las funciones complejas en una serie de armónicos de funciones esféricas. En un contexto, un polo se refiere a un punto singular o una dirección específica en el espacio donde la función tiene un comportamiento particular. Sin embargo, no se ha encontrado una relación al complemento de un conjunto generatriz del lente, dentro de un universo definido.

Cada punto del tejido crochet es un nudo topológico, a su vez es un elemento del campo finito, que interactúa con todo el sistema. Tiene una proyección armónica y a la vez forma parte de una composición fractal con armónicos entrelazados en un objeto matemático complejo. Existe una relación entre dos movimientos armónicos simples asociados al atractor del sistema y el esquema con modulación de amplitud que se relaciona con los armónicos esféricos del patrón de interacción del campo físico. Siendo la modulación una vista concurrente del nudo topológico desde los bucles de reflexión con la directriz y una vista contracorriente que caracteriza los armónicos,

multiplexor externo.

Nuevos hallazgos (17) en las matemáticas de las rotaciones, basada en la geometría del espacio, que representa todas las posibles rotaciones en tres dimensiones, permiten identificar el potencial de los tejidos de punto como una forma de decodificar los patrones de giro, estableciendo la similitud entre el espín —que describe la dinámica de números en el sistema físico— con los nudos topológicos, por la correspondencia en las operaciones de rotación, siendo el operador de entrelazamiento LFSR el descriptor matemático (18).

Al analizar la continuidad de un tejido de puntos discretos se infiere la conjetura de intercepciones elípticas, si se encuentran las soluciones sobre un objeto geométrico concentrado, se pueden proyectar las soluciones sobre planos perpendiculares o viceversa (19), para transformar la solución al espacio físico, mediante técnicas de renderizado sobre modelos matemáticos (20).

Cada elemento raíz de $p(x)$ corresponde a un número del conjunto algebraico, donde los patrones proyectivos representan un conjunto de soluciones ortogonales para ecuaciones diferenciales de Laplace, en el estudio de potenciales y campos. Entonces, se pueden establecer las soluciones sobre el objeto geométrico concentrado y luego ser desplegado en el campo geométrico, donde se representan las soluciones distribuidas sobre la directriz del campo físico, aplicando proporciones geométricas basadas en trascendentales.

El producto de convolución entre elementos de un conjunto algebraico da como resultado un grupo, con propiedades del campo finito, que sirve como andamiaje del espacio geométrico extendido. El campo extendido $\mathbb{F}[GF]$ resulta al desplegar el nudo topológico, cada elemento que pertenece al campo se expresa por un polinomio generatriz aplicando la función *mod* $p(x)$ a cada nudo topológico codificado.

Las operaciones matemáticas pueden ser interpretado mediante el desplazamiento y rotación de un tejido sobre su eje creando un vórtice (Tabla 4), tal es el caso de la torsión —es una medida análoga a la curvatura en 2D—, tal como los armónicos esféricos son equivalentes 3D de las curvas de Lissajous.



Caracterizador		Propiedades de la caracterización del campo		
Mat.	Operador	Geométrica	Topológica	Interpretación Física
∇G	Gradiente	Pendiente de la superficie	Conectividad	Elasticidad y Potencial del campo
$\nabla \cdot G$	Divergencia	Convergencia local	Compacidad	Densidad de líneas de flujo $G(x)$
$\nabla \times G$	Rotacional	Curvatura del tejido	Reversibilidad	Vorticidad de interacción del campo

$\nabla \times G = \nabla \cdot G + \Omega(\tau, t) = \Delta G_{\mu\nu} + \tau_{\mu\nu}$, siendo $\nabla \cdot G = \rho \nabla G$, la densidad por el gradiente del campo geométrico.

Tabla 4. Representación de operadores de convolución sobre tejidos geométricos.

Entonces, la curvatura del espacio y cuadratura del círculo se pueden interpretar como la distorsión óptica de las geodésicas proyectivas. Las estructuras geométricas se deforman ante el efecto del lente de curvatura, la compensación simétrica de la torsión y distorsión en el ángulo de curvatura logra una reformación de la estructura matemática, como se expresa en la ecuación 7.

$$T(u, v) = \nabla_u v - \nabla_v u - [u, v] \quad (5)$$

Donde $T(u, v)$ es el tensor de torsión, $[u, v]$ se asocia a los campos vectoriales. En álgebra abstracta, subgrupo de torsión de un grupo consiste en todos los elementos de orden finito.

Del estudio de los tejidos de punto se logra validar la teoría del operador matemático de convolución, la superposición de tejidos para el reconocimiento de patrones por correlación cruzada, la deconvolución de un patrón matemático a partir del análisis reversible de la construcción del objeto matemático, con evidente complejidad. La propuesta es una alternativa a la fibración de *Hopf* (21,22) donde se pueden interpretar abstracciones matemáticas complejas.

Al momento de generalizar una teoría física que explique los principios de curvatura de la lente de campo, por entrelazamiento en el dominio cuántico, se identifica una correspondencia con la estructuración de códigos sobre objetos matemáticos aplicando operaciones en álgebra de campos finitos, allí aparece el tejido de punto

crochet como recurso matemático que permite definir un código de entrelazamiento de un flujo de material con nuevas propiedades elastoméricas (23), formando un objeto geométrico complejo sobre un patrón de nudos topológicos.

También, las cuerdas –que se mencionan en la teoría de cuerdas– son interpretadas como abstracciones matemáticas, los bucles se desplazan en el espacio tridimensional ordinario, pero además vibran en dimensiones espaciales más altas. Las abstracciones matemáticas como objetos topológicos se encuentran entrelazados por lo que pueden configurar el ordenamiento espacial, como una guía de ondas respecto al campo físico, encontramos que pueden ser caracterizados en una dimensión fractal, de $n - k$ subdimensiones concatenados, en lazos de un algoritmo iterativo que define la construcción de este objeto topológico complejo. Los bucles o lazadas son las abstracciones matemáticas a nivel cuántico, para entender estas abstracciones se define un objeto matemático por la concatenación sobre un polinomio directriz de nudos $\tau(n, k)$ donde la curvatura es definida por la interacción elástica del conjunto ϵ , notando la similitud con la teoría de gravedad cuántica de bucles (LQG). Este tejido está compuesto de elementos que pertenecen a un conjunto T1, estos elementos son los puntos que forman bucles mediante una secuencia de giros. El conjunto negado son los espacios entre bucles, con lo que se establece un modelo discreto del espacio geométrico.

Trabajos previos reportan avances en la aplicación

del tejido para el estudio de geometría hiperbólica (24) con coeficiente de curvatura negativo y los nudos topológicos (25). En esta investigación se abordó la construcción de un pensamiento geométrico, lo que representa una contribución conceptual de interés en la matemática aplicada y la física teórica. Esto se desarrolló mediante la asociación de operadores de convolución con memoria estructural, campos extendidos, códigos algebraicos y la unificación del lenguaje matemático-*crochet* en las aplicaciones desarrolladas:

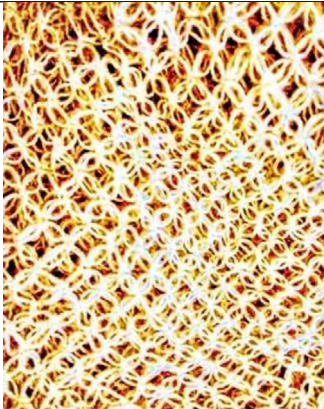


- Configuración derecho y revés para la construcción del tejido topológico.
- Desarrollo con aumento para la creación de patrones de tejidos hiperbólicos.
- Anillo mágico un andamiaje del tejido que ajusta el radio sobre sí mismo.
- Representabilidad y análisis de singularidades en la estructura del tejido.
- Modelado de objetos abstractos como el Atractor de Lorenz en *crochet*.

Nuevos aportes en física moderna: el espín y los nudos topológicos

Un hallazgo interesante es la correlación del

espín con los puntos de generación del tejido, entendiendo la rotación sobre el propio eje como base de la tendencia de la construcción topológica y geométrica –autointerferencia–. Así se define una concatenación fractal que describe la curvatura de un espacio geométrico, en correspondencia con los nudos topológicos como objetos matemáticos básicos de un campo extendido. En la Tabla 5 se presentan diseños de patrones simétricos en composición fractal, tomando un código de bloque o grupo como elemento de base para la construcción del objeto topológico, –mediante la definición de algoritmos de generación de los modelos tejidos estudiados en el artículo, a partir de la colección [tejido a *crochet*] de la prof. E. Ruiz-Díaz–, a través de casos generalizados de nudos topológicos (25), bloques de simetría radial y bloques de patrón rotados en construcción espiral. La estandarización del código permite un análisis de la reversibilidad de giro (en nudos) y rotación (en patrones), para la decodificación del código del espín, así como su aplicación en una dimensión $n + 1$, logrando la proyección del tejido 3D, sobre bloques de código de simetría radial, en la composición topológica de un atractor, reconociendo el potencial para análisis de interacción de la luz (renderizado) en campos físicos.

Composición Fractal de Tejidos Topológicos 2D mediante concatenación de nudos o patrones (grupos)

		
<p>Composición a partir de Nudos Red Salomón.</p>	<p>Concatenación a partir de grupos con simetría radial</p>	<p>Extensión de grupo a partir de grupos quirales</p>
<p>Algoritmo de construcción por Triangulación de vértices. -- Patrón nudo Red Salomón Intercalado RS (n, k); While $i > n$ then -- string i If $\text{mod } p(x)=0$ then $\tau(n, k) < \tau(i, k)$; End If; End While; -- Se replica comp. Fractal.</p>	<p>BCB: Bloque de código base (n, k) -- Patrón de simetría radial -- Concatenación matricial: For $j = 1$ to n do -- enlace de filas For $i = 1$ to n do -- rectangular fila $<=$ BCB (i) & BCB ($i+1$); End For; End For; -- Se replican los bucles de concatenación en filas y columnas.</p>	<p>-- Rotación del grupo patrón $BCB' <= \text{ror } (\frac{1}{2}\pi \text{ BCB}(i))$; -- Desplazamiento del patrón: $BCB' <= \text{shift } (\frac{1}{2} \text{ BCB}(i))$; Concatenación espiral: For $i = 1$ to n do -- ring(k) Ring $<=$ BCB (i) & BCB'; End For; -- Se construye el grupo ext.</p>
<p>Organización nudos tejidos</p>	<p>Organización de cristalización</p>	<p>Organización patrón geométrico</p>
<p>Cadenetas: concatenación (&) de nudos RS(n, k), forman una cadena (string) de osciladores armónicos acoplados, vibración y resonancia (física).</p>		

Entrelazamiento de patrones (anidado) en composición 3D de atractores topológicos.



$t_0: LFSR(\pi/2)$ >>

$t_i: LFSR(\pi)$ >>

$t_f: LFSR(2\pi+\pi/2)$

Entrelazamiento $LFSR(n,k)'$: >> $LFSR(n,i) + LFSR(n,k)$

Aplicación: Estudio de grupos matemáticos y soluciones topológicas a las ecuaciones de Maxwell. Los grupos de Lie, continuos, como variedades diferenciables, aplicados para estudiar simetrías en física y los grupos de Galois discretos, aplicados en las simetrías de extensiones de campos finitos y la solubilidad de ecuaciones polinómicas (solución nodal tratada en la ecuación 3), permiten identificar soluciones unificadas para sistemas físicos clásicos y cuánticos. Proyección: superficies mínimas desplegadas del grupo tejido e Inclusión: código contenido en una dimensión n .

Tabla 5. Codificación de tejidos mediante concatenación de grupos geométricos.

V. CONCLUSIONES

Gracias al estudio se logró validar que los tejidos son recursos matemáticos para la interpretación de estructuras complejas, mediante un conjunto de conceptos teóricos.

Desde el análisis teórico se logró la interpretación de códigos definidos por álgebra de campos finitos y su representación geométrica, como una contribución valiosa para el análisis de conceptos complejos de álgebra extendida y patrones de física cuántica.

Inclusive, se desarrolló la formulación de teoremas que demuestran que el funcional $LFSR(n,k)$ es compatible para modelar objetos matemáticos y campos de forma generalizada, lo que permite la unificación de postulados emergentes de la física.

Otro aporte corresponde al método de construcción cíclica del tejido $LFSR(n,k)$, como una codificación compleja de nudos, un multiplexor de realimentación externa, con composición simétrica y la complejidad fractal de los campos extendidos.

Se representaron los nodos de los patrones de interferencia como soluciones de las ecuaciones geodésicas, en un repliegue sobre sí mismo de la estructura fluida, creando el efecto de reflexión por condiciones de borde de un campo finito y compensación simétrica de curvatura del espacio

geométrico, por la interacción de los descriptores matemáticos.

Líneas de Investigación Futuras

Entre los desarrollos teóricos-prácticos que se derivan de la presente investigación está planteada la formulación de teoría de conjuntos por patrón de interferencia: $T1 \cap T2$ y la correlación con el entramado cuántico, el modelado de superficies conjugadas como la pseudo esfera de Beltrami, asociadas una a otra a través de la rotación de curvatura de sus geodésicas, aplicada para la creación de superficies mínimas. Esto en el marco de la composición fractal de conjuntos y grupos algebraicos, mediante la estructura de codificación $LFSR(n,k)$. El análisis de la geometría y álgebra en el contexto de la interpretación de ingeniería de tejidos. Así como la formulación del algoritmo iterativos, mediante operaciones lógicas y matemáticas en sus equivalentes al tejido 3D en lenguaje descriptor de tejidos VTDL, de la forma:

```

Loop i:=1 to n-k do
     $G <= N_i \cap_{in} + \frac{\partial G}{\partial t}$ 
End Loop;
```

Por otra parte, se proponen iniciativas didácticas como el diseño de libros de topología y geometría abstracta con muestras de tejidos en 3D, para la

construcción del pensamiento científico, a partir de un enfoque STEM-crochet.

VII. REFERENCIAS

1. Oppenheim J. Post-quantum theory of classical gravity. *Phys Rev X*. 2023;13(4):041040. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.13.041040>
2. Sandoval-Ruiz C. Fractal mathematical over extended finite fields $F_p[x]/f(x)$. *Proyecciones (Antofagasta)*. 2021;40(3):731-742. Available from: <http://dx.doi.org/10.22199/issn.0717-6279-4322>
3. Osinga H, Krauskopf B. How to crochet a space-filling pancake: the math, the art and what next. In: *Proceedings of Bridges 2014*. Tessellations Publishing; 2014. p.145-152. Available from: https://www.math.auckland.ac.nz/~berndk/transfer/ko_bridges2014.pdf
4. Sandoval-Ruiz C. Modeling renewable energy systems on convolution codes using interference patterns. *Rev Univ Cienc Tecn*. 2025;29(126):111-122. <https://doi.org/10.47460/uct.v29i126.927>
5. Heikkilä S, Pankka P. De Rham algebras of closed quasiregularly elliptic manifolds are Euclidean. *Ann Math*. 2025;201(2):459-488. <https://doi.org/10.4007/annals.2025.201.2.3>
6. Sandoval-Ruiz C. Formulación matemática del análisis de tejidos estructurales y su aplicación en arquitectura biomimética. *REC Perspectiva*. 2024;23(1):26-37. Available from: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/42568>
7. Mateus-Nieves E. Modelización del grupo fundamental de un nudo como estrategia para establecer la estructura de una superficie. *Bolema*. 2022;36(73):753-776. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v36n73a07>
8. Klarreich E. Crafty geometry: mathematicians are knitting and crocheting to visualize complex surfaces. *Science News*. 2006;170:411-413. Available from: <https://www.sciencenews.org/article/crafty-geometry>
9. Kekkonen H. Crocheting Bour's minimal surfaces. *Math Intelligencer*. 2024;46:306-312. Available from: <https://doi.org/710.1007/s00283-023-10314-1>
10. Weyl H. Gravitation und Elektrizität. In: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*. Delphenich DH, translator. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; 1918. p.465-480. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-663-19510-8_11
11. Scholz E. The unexpected resurgence of Weyl geometry in late 20th-century physics. In: *Beyond Einstein: perspectives on geometry, gravitation, and cosmology*. New York: Springer; 2018. p.261-360. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.03187>
12. Lindgren J, Kovacs A, Liukkonen J. Electromagnetism as a purely geometric theory. *J Phys Conf Ser*. 2025;2987(1):012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2987/1/012001>
13. Sandoval-Ruiz C. Modeling of physical systems by applying convolutional interleaving code. *Rev Bras Ens Fis*. 2025;47:e20240315. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0315>
14. Osinga H, Krauskopf B. Visualizing the structure of chaos in the Lorenz system. *Comput Graph*. 2002;26(5):815-823. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(02\)00136-X](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(02)00136-X)
15. Camden B. Mathematical crochet and the Lorenz manifold [Internet]. Christchurch (NZ): Maths Craft New Zealand; 2022. Available from: <https://mathscraft-nz.squarespace.com/s/Mathematical-Crochet-and-the-Lorenz-Manifold-compressed.pdf>
16. Sandoval-Ruiz C. Holo composición geodésica del campo geométrico aplicado en códigos de modelado de sistemas físicos complejos. *Rev Téc Fac Ing Univ Zulia*. 2025;48:e254810. <https://doi.org/10.22209/rt.v48a09>

17. Eckmann J, Tlusty T. Walks in rotation spaces return home when doubled and scaled. *Phys Rev Lett.* 2025;135(14):147201. Available from: <https://doi.org/10.1103/xk8y-hycn>
18. Sandoval-Ruiz C. Unificación de la ecuación de modelado de sistemas de energías renovables. *Rev Cienc Tecn.* 2024;24:3-16. <https://doi.org/10.18682/cyt.vi24.10675>
19. Sandoval-Ruiz C. ZPF para arreglo de proyección de onda: ϕ -LFSR en modelado $F_p[x]/f(x)$ de sistemas de energías renovables. *Rev LUZ.* 2024;15(42):281-305. Available from: <https://doi.org/10.46925//rdluz.42.16>
20. Krauskopf B, Osinga HM, Storch B. The sculpture manifold: a band from a surface, a surface from a band. In: Sarhangi R, Séquin CH, editors. *Bridges Leeuwarden: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture.* Leeuwarden (NL): Tessellations Publishing; 2008. p.9-14. Available from: <https://archive.bridgesmathart.org/2008/bridges2008-9.pdf>
21. Hajouji N, Trettel S. Elliptic curves and the Hopf fibration [preprint]. arXiv:2505.09627; 2025. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.09627>
22. Katz G. Spaces of polynomials as Grassmannians for immersions and embeddings. *Int J Topol.* 2025;2(3):9. <https://doi.org/10.3390/ijt2030009>
23. Poincloux S, Adda-Bedia M, Lechenault F. Geometry and elasticity of a knitted fabric. *Phys Rev X.* 2018;8(2):021075. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.021075>
24. Kekkonen H. Crocheting mathematics [preprint]. arXiv:2508.10597; 2023. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.10597>
25. Sandoval-Ruiz C. Nudos topológicos: un enfoque creativo en el modelado matemático de entrelazamiento del tejido del espacio geométrico. *Rev Univ Zul.* 2026;17(48):320-345. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18210370>