



**Cecilia E Sandoval-Ruiz**

<http://orcid.org/0000-0001-5980-292X>

Universidad de Carabobo, Venezuela.

correo: cesandova@gmail.com

Ingeniero Electricista en 2002 egresada de la Universidad de Carabobo, Magíster en Ingeniería Eléctrica en 2007 y Doctora en Ingeniería en 2014. Ha sido Profesora Titular en Maestría de Ingeniería Eléctrica en 2017 del Postgrado de Ingeniería UC. Investigadora acreditada en el PEII - Nivel C. Ha publicado más de 50 artículos científicos en su área de investigación: Tecnologías Sostenibles, Optimización de Sistemas de Energías Renovables ERNC Redes Neuronales aplicadas a control avanzado, Diseño Colaborativo y Configuración de Hardware en VHDL.



# KIRIGAMI, ESTRUCTURAS GEOMÉTRICAS FRACTALES Y ONDAS DE LUZ

## RESUMEN

En esta investigación se propone un concepto arquitectónico basado en la geometría y la modulación de la luz por elementos arquitectónicos, con patrones fractales flexibles basados en tejido, revestimiento y estructuras plegables, a través de técnicas como kirigami (Diseño y Arquitectura, 2020) y origami. El método de diseño comprende el análisis y modelado por ecuaciones matemáticas (Sandoval, 2021), de las estructuras dinámicas. Se obtiene como resultado una propuesta de sistema integrado, un conjunto de ecuaciones descriptivas de las curvas cíclicas de trayectoria y síntesis de los tejidos estructurales (Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018). Se concluye que la teorización de las técnicas tiene un elevado potencial para aumentar la eficiencia de los sistemas arquitectónicos, incorporando conceptos de Kirigami definido por software, tejidos estructurales tensados, fachadas fluidas, geometría biomimética (Sandoval, 2023), difracción óptica, proyecciones holográficas y plasma, diseño con plantas tapizantes, cascada de fotones, captadores piezoeléctricos de energía por vibraciones resonantes, alineación de composición con espiral Fibonacci, envolventes arquitectónicas sostenibles (Guerrero, 2022), estados de la materia como cristales de tiempo, arquitectura moderna y ondas.

**Palabras clave:** kirigami, tejidos estructurales, modelado matemático, curvas cíclicas, modulación de luz

## KIRIGAMI, FRACTAL GEOMETRIC STRUCTURES AND LIGHT WAVES

### ABSTRACT

In this research an architectural concept based on

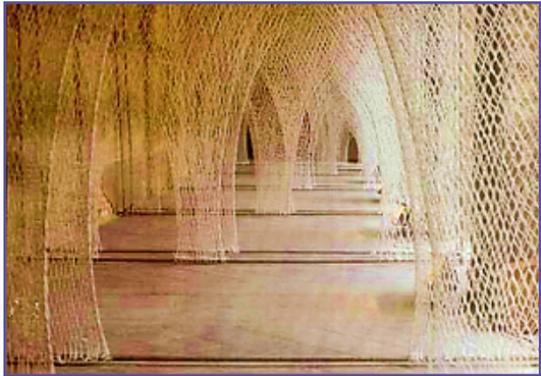
geometry and light modulation is proposed with flexible fractal patterns based on fabric, coating and folding structure through techniques such as kirigami (Design and Architecture, 2020) and origami. The design method comprises the analysis and modeling by mathematical equations (Sandoval, 2021) of the dynamic structures. As a result, a proposal for an integrated system is obtained. A set of descriptive equations of the cyclical curves of trajectory and synthesis of the structural fabrics (Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018). It is concluded that the theorization of the techniques has a high potential to increase the efficiency of architectural systems, incorporating concepts of kirigami defined by software, tensioned structural fabrics, fluid facades, biomimetic geometry (Sandoval, 2023), optical diffraction, holographic and plasma projections, design with upholstery plants, light modulation by architectural elements, photon cascade, piezoelectric energy collectors by resonant vibrations, composition alignment with Fibonacci spiral, architectural involving (Guerrero, 2022), states of matter, time crystals, modern architecture and waves.

**Keywords:** kirigami, structural weaves, mathematical modeling, cyclic curves, light modulation

## KIRIGAMI, STRUTTURE GEOMETRICHE FRATTALI E ONDE DI LUCE

### RIASSUNTO

Questa ricerca propone un concetto architettonico basato sulla geometria e sulla modulazione della luce da parte degli elementi architettonici, con modelli frattali flessibili basati su tessuti, rivestimenti e strutture pieghevoli, attraverso tecniche come il kirigami (Design and Architecture, 2020) e gli origami. Il metodo di progettazione prevede l'analisi e la modellazione tramite equazioni matematiche (Sandoval, 2021) delle strutture dinamiche. Come



**Figura 1.** Diseños de estructuras flexibles en arquitectura. **Fuente:** Obras Urbanas, 2021

1. <https://www.obrasurbanas.es/flexbrick-tejidos-arquitectonicos-para-vestir-proyectos-excepcionales/>
2. <https://www.sempergreen.com/co/soluciones/techo-verde/preguntas-frecuentes/que-es-un-tapiz-vegetal,luz-y-modulacion-de-luz>

risultato, si ottiene una proposta di sistema integrato, un insieme di equazioni descrittive delle curve di traiettoria ciclica e la sintesi dei tessuti strutturali (Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018). Si conclude che la teorizzazione delle tecniche ha un alto potenziale per aumentare l'efficienza dei sistemi architettonici, incorporando i concetti di Kirigami definito dal software, tessuti strutturali a trazione, facciate fluide, geometria biomimetica (Sandoval, 2023), diffrazione ottica, proiezioni olografiche e plasma, progettazione di impianti ad arazzo, cascata di fotoni, accumulatori di energia vibrazionale a risonanza piezoelettrica, allineamento compositivo a spirale di Fibonacci, involucri architettonici sostenibili (Guerrero, 2022), stati della materia come cristalli di tempo, architettura moderna e onde.

**Parole chiave:** kirigami, tessuti strutturali, modellazione matematica, curve cicliche, modulazione della luce.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto arquitectónico debe cumplir criterios de sostenibilidad (Sandoval, 2021e), incorporación de captadores de energías renovables en las estructuras arquitectónicas (Sandoval, 2018 a,b), diseño biomimético (Sandoval, 2023) aplicado en arquitectura. La técnica Kirigami se basa en doblar y cortar papel para hacer diver-

sas figuras y objetos. Esta técnica es similar al Origami ya que parten de una base común. El concepto arquitectónico que acá se presenta está basado en el estudio de técnicas de andamiaje funcional, que permitan configurar las estructuras de forma dinámica, adaptar las formas geométricas e implementar recubrimientos plegables (soft), con estructuras configurables y el despliegue del tejido protector o envolvente arquitectónica.

De esta manera, se plantea una arquitectura dinámica conformada por patrones geométricos adaptativos, diseñados desde las ecuaciones de soporte, tales como curvas cíclicas, que permitan definir un andamiaje de los tejidos adaptativos. Estos pueden estar orientados a tejidos sintéticos, estructuras arquitectónicas textiles<sup>1</sup>, tapiques vegetal<sup>2</sup>, entre otras alternativas, tal como se ilustra en la Figura 1.

Se plantea así un sistema constructivo basado en una malla flexible a modo de tejido que contiene elementos de diferentes materiales para envolver espacios arquitectónicos. En definitiva, un novedoso concepto de arquitectura sostenible que incorpora una solución innovadora para crear los mejores proyectos, expresando singularidad a través del patrón, el formato y los materiales. De esta forma, se presentan recubrimientos de gran formato para fachadas, techos de terrazas y diferentes elementos arquitectónicos proporcionando un amplio espectro de superficies con modulación de luz solar.

Por su parte, el revestimiento corresponde a una herramienta funcional para el diseño de espacios interiores en arquitectura, donde se diseña un recubrimiento



**Figura 2.** Arquitectura con recubrimiento vegetal. Fuente: Sempergreen, 2021

para el aislamiento térmico y acústico de los espacios. Desde alfombras, hasta muebles formados de andamiaje de madera guiado, son de las múltiples opciones en esta área de la arquitectura sostenible, como se ilustra en la Figura 2.

Las plantas tapizantes forman una especie de cubierta denominada alfombra vegetal. Ésta es capaz de crecer por todo el terreno, cubriendo por completo un espacio. Por otra parte, la técnica de tejido está asociada con la fabricación tradicional de pequeños objetos utilitarios. Destaca por su potencial para crear formas complejas y resistentes dadas por la flexibilidad de la fibra y la rigidez proporcionada por el tejido arquitectónico, donde se integran superficies tejidas y la creación de espacios con elementos fluidos y ondas.

Esta investigación explora el potencial de una materia prima natural y de una antigua técnica de carácter patrimonial para darle nuevos usos, versatilidad y sostenibilidad al diseño. Las superficies de tejido pueden ser usadas en dos escalas diferentes: la del diseño y la de la arquitectura. Mientras que en la escala de los objetos el resultado del tejido es rígido y por lo tanto resistente a la

fuerza de compresión (empuje), en la escala de la arquitectura, estas superficies tienden a ser flexibles, lo que lo hace especialmente resistente a la fuerza de tensión (estiramiento). Así se presentan iniciativas arquitectónicas, por construir formas orgánicas desarrolladas a partir de softwares de diseño<sup>3</sup>, como los presentados en la Figura 3.

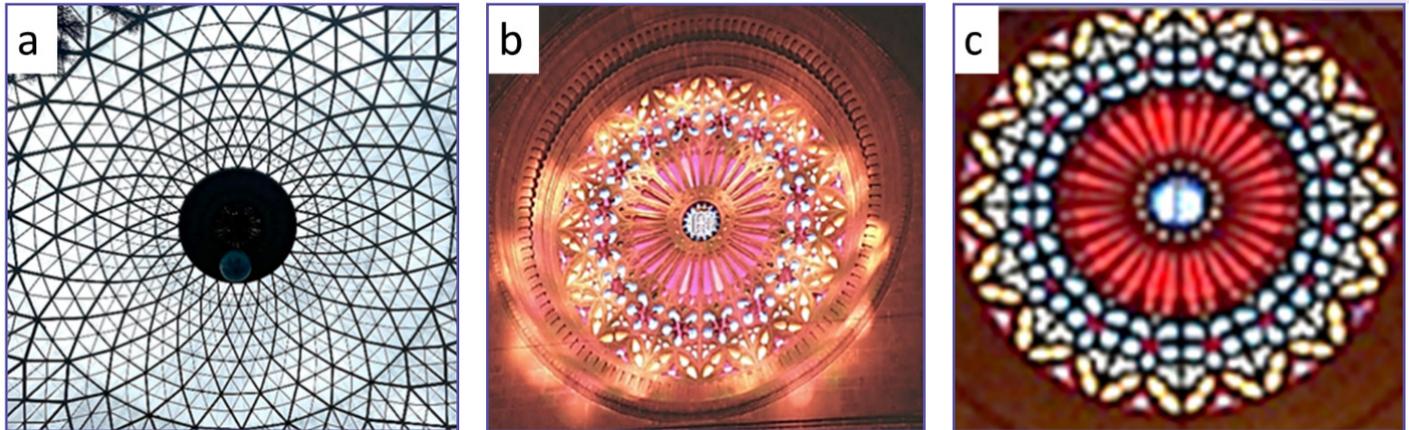
En el proyecto (Arquitectura Orgánica de mimbre, 2010) se menciona que llevó a experimentar primero con papel, cerámica, telas, polímeros, hasta llegar al mimbre.

Estas técnicas sostenibles permiten abordar el concepto de estructuras arquitectónicas cultivadas, donde se aplican guías de crecimiento, para alcanzar modelar la forma geométrica de la planta y de esta manera, definir los elementos arquitectónicos específicos. De modo similar se aplica para moduladores de luz natural, donde se pueden aplicar fórmulas matemáticas para una dinámica de curvas cíclicas, inserción de tejidos artesanales y foto-formado como se ha definido el desarrollo vegetal de estructuras por fotosíntesis controlada por guía de onda de luz.

Elementos Arquitectónicos de Difracción de Luz Solar. Aplicando el modelado matemático de curvas cíclicas, se plantea definir ventanales compuestos por una curva fractal base y una curva fractal móvil, para modulación de luz solar incidente. El estudio de los rosetones arquitectónicos (Ver Figura 4) permiten analizar el comportamiento de la luz, para su ubicación y definir una dinámica que depende estrictamente del ángulo de

**Figura 3.** Estructuras Arquitectónicas basadas en Técnicas Sostenibles. Fuente: Arquitectura Orgánica de mimbre, 2010

3. <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/14071.html>



**Figura 4.** Proyección de Luz en Rosetones Arquitectónicos. **Fuente:** Vargas Martinez, E., 2015.

incidencia, lo cual puede ser adaptado con elementos modificadores, estructuras móviles rotativas sobre el eje del elemento fundamental y lentes ópticos.

El diseño arquitectónico que se presenta en las fachadas y estructuras arquitectónicas cobran un valor espacial al ser estudiadas por la proyección de luz en los espacios interiores. La arquitectura y la relación con las formas de iluminación natural (Morcillo, 2021) son un tema de investigación contemporáneo. En este punto se estudio la geometría de los elementos arquitectónicos y su efecto sobre la luz en los espacios, tal como se presenta en la Figura 5.

En este punto es importante mencionar que las obras arquitectónicas, las coordenadas de ubicación y ángulo de incidencia solar, son determinantes para el diseño de sistemas sostenibles, con el objetivo de minimizar el costo energético y favorecer a la iluminación natural.

**Soft Arquitectura Flexible.** Un concepto desarrollado sobre andamiaje configurable, con funciones móviles, rotacionales y plegables que permitan adaptar las características constructivas del diseño arquitectónico, con revestimientos flexibles: tapizados vegetales, tejidos, telones, luz y ondas de difracción. El concepto está conformado por discos rotativos concéntricos, que permiten al girar adaptar la modulación de la luz en los espacios interiores, así como curvas cíclicas para la descripción de trayectorias orbitales respecto a una estructura geométrica base, con el objetivo de desarrollar una proyección de la iluminación basada en una dinámica objetivo. Entre

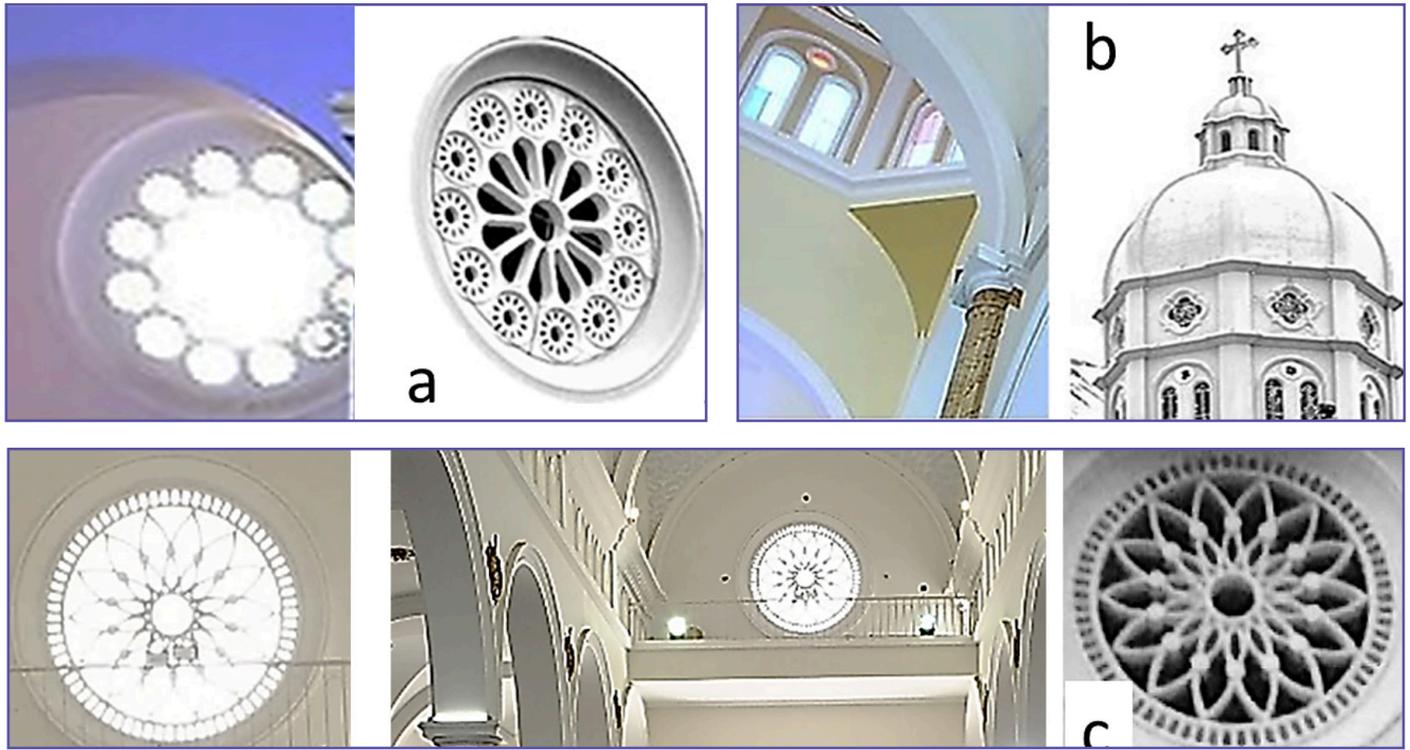
las formas se tiene la modulación de luz solar sobre los elementos fotosintéticos, para orientar su desarrollo de forma controlada, la proyección de la luz por elementos de guía de onda, desarrollando estructuras arquitectónicas y delimitadores de espacio por luz modulada, la moldadura de estructuras fractales sobre técnicas de tejidos revestidos de capas con propiedades ópticas, entre otras técnicas innovadoras.

Teoría de las proporciones. Los trazados del corte en un segmento, rectángulos notables, formas geométricas recíprocas, proporción de la espiral áurea, plata, DIN, se aplican al diseño arquitectónico. En Reyes (2021), se menciona la herramienta GeoGebra que permite modificar elementos geométricos interactivamente de forma útil, considerando la teoría de las proporciones.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE ARQUITECTURA POR MODULACIÓN DE LUZ

En Sandoval-Ruiz (2022), se presenta la conceptualización de la arquitectura dinámica regenerativa, basada en la incorporación de tejidos funcionales, donde estos pueden ser tejidos estructurales de andamiaje, entretejidos (celosías para creación de espacios), plantas tapizantes (jardines verticales, techos verdes, alfombras vegetales para control de temperatura), rosetones geométricos, entre otros moduladores de luz solar natural.



**Figura 5.** Rosetones Arquitectónicos y proyección de luz solar. **Fuente:** Adaptación de registros fotográficos

Efecto de iluminación natural de la Nave Central de la Iglesia de N.S de Chiquinquirá Lobatera (UIB, 2010). Latitud:  $7^{\circ} 55' 45''$  Longitud:  $-72^{\circ} 14' 49''$  Altura: 960 msnm., a través de elementos arquitectónicos geométricos: (a) Rosetones Fractales de geometría 12 (laterales), (b) Ventanales Superiores, (c) Rosetón con geometría Radial de 14 pétalos entrelazados (frontal).

En los diseños un componente fundamental corresponde a la interacción de los elementos arquitectónicos con las ondas de energías renovables, tal como la luz solar incidente y el flujo eólico. Desde el concepto de torres de viento, que permiten captar la energía cinética del recurso eólico y establecer una trayectoria para la ventilación, climatización y acondicionamiento de las instalaciones interiores, hasta la luz difractada por los tejidos arquitectónicos sobre áreas proyectadas en los espacios interiores del diseño. Estructuras corredizas. En estos elementos se considera el diseño de espacios a través de cortinas de agua corredizas, paneles de techos corredizos y fachadas flexibles.

*Kirigami definido por software y sus aplicaciones en captación de energía renovable.*

Una técnica japonesa para crear estructuras tridimensionales a partir de cortes y pliegues, al iluminar las capas se obtiene un efecto de profundidad. “El papel

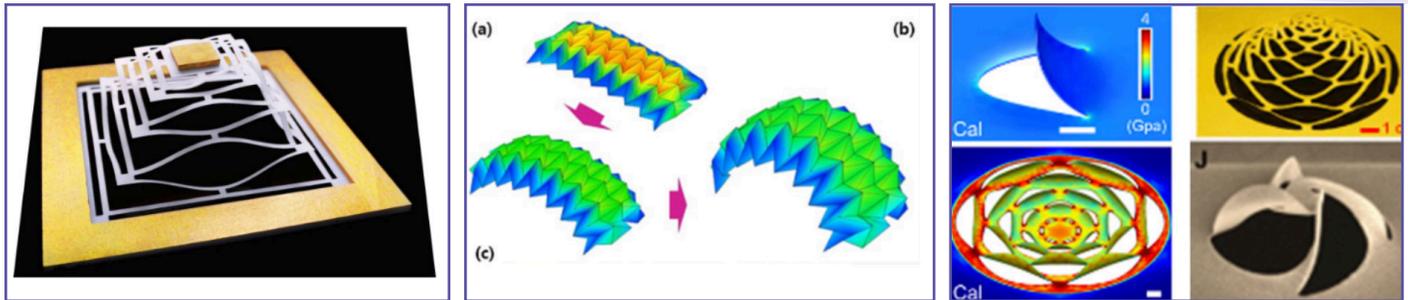
blanco expresa el yang, la luz y el proceso de corte expresa el yin, o la sombra”, algunos estudios (Park et al., 2023; Zhang et al., 2021) han desarrollado aplicaciones técnicas (Ver Figura 6).

En este punto se revaloriza el espacio vacío de la obra de kirigami, que puede cumplir función de almacenamiento (en espacios que contienen bloques discretos de energía), el despliegue representa la recirculación de energía y la relación de los pliegues la proyección de las ondas sobre los puntos de conversión o funcionalidad.

*Modelado Matemático de Estructuras Arquitectónicas*

Aplicada la técnica se puede establecer un modelo que permita describir la relación geométrica, en el caso de tejidos matriciales a través de un polinomio generador como elemento matemático (Sandoval, 2021).

Por otra parte, en el caso de moduladores de luz



**Figura 6.** Diseño de Origami para aplicaciones de captación de energías renovables. **Fuente:** Park et al., 2023

dinámicos, se incorpora el concepto de curvas cíclicas. Las hipocicloides son curvas generadas por un punto fijo de una circunferencia que gira sin deslizar por la parte interna de otra circunferencia fija, de radio proporcional con la curva base, esta relación se puede definir de forma paramétrica (1).

$$x(t) = (R - r) \cdot \text{Cos}(\theta) + r \cdot \text{Cos}\left(\frac{R - r}{r} \cdot \theta\right)$$

$$y(t) = (R - r) \cdot \text{Sen}(\theta) - r \cdot \text{Sen}\left(\frac{R - r}{r} \cdot \theta\right)$$

<https://www.gaussianos.com/astroide-cardioide-y-de-mas-oides/>

4. Siendo R el radio de la circunferencia fija y r el de la circunferencia que gira.

Resulta interesante expresar el descriptor mediante la relación entre los radios de las dos curvas, por lo que se toma el parámetro  $k=R/r$ , las ecuaciones quedarían de la forma (2):

$$x(t) = r(k - 1) \cdot \text{Cos}(\theta) + r \cdot \text{Cos}((k - 1) \cdot \theta)$$

$$y(t) = r(k - 1) \cdot \text{Sen}(\theta) - r \cdot \text{Sen}((k - 1) \cdot \theta)$$

5. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)03370-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)03370-4)

6. <https://www.plasma.com/es/recubrimiento-con-plasma/>

Al restar el segundo término en lugar de sumarlo en  $x(t)$  se obtiene una epicicloide, donde k corresponde al número de aristas de la curva cíclica.

*Envolventes Arquitectónicas y Control de pérdidas de eficiencia fotovoltaica.*

Las envolventes arquitectónicas (Cárdenas, 2018), (Guerrero, 2022), (Vásquez, 2018), son definidas en diseño sostenible. Estas estructuras pueden ser adaptadas para la protección y optimización del rendimiento en parques fotovoltaicos, por sus propiedades de filtro UV, ventilación forzada en espacios circunscritos por la envolvente y protección contra polvo en la superficie de los paneles, a través de recubrimientos con propiedades antiestáticas e hidrofóbicos (estrategias innovadoras de limpieza y mantenimiento preventivo, como los recubrimientos autolimpiantes en áreas secas), para mejorar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Otras técnicas como recubrimiento o polimerización con plasma (capas hidrofóbicas, ETFE), con un haz de plasma y portador sobre la superficie.

El ETFE (7) es un material reconocido principalmente por su alta transparencia, ligereza y resistencia. Sus aplicaciones más frecuentes son en cubiertas, fachadas, lucernarios, estructuras móviles y retráctiles. Sin embargo, un aspecto no muy conocido sobre el material es su aporte en diversos beneficios medio ambientales a los proyectos en los que se aplica; por ejemplo, su uso puede aportar puntos en las certificaciones LEED y BREEAM, se puede controlar la transmisión del calor y de los rayos UV, es reciclable, reduce la huella de carbono, entre otros. El ETFE se puede usar en conjunto con los

7. <https://www.linkedin.com/pulse/beneficios-medioambientales-del-etfe-cidelsa-ensoeestructuras/>

paneles fotovoltaicos contribuyendo al uso de las energías limpias y al ahorro energético.

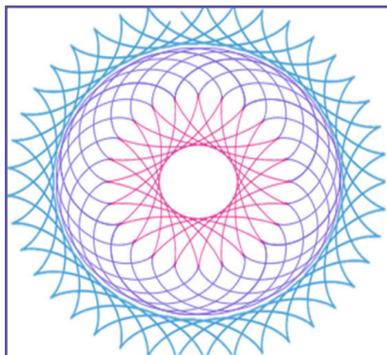
## 2.2. MÉTODOS Y ESTRATEGIAS

Diseño Arquitectónico Biomimético. El diseño inspirado en la naturaleza (Sandoval, 2023) a fin de obtener un sistema más eficiente y armonioso con el entorno, el análisis geométrico de las estructuras de captación solar de la flora nativa (Ver Figura 7), para su aplicación en los espacios arquitectónicos y el modelado de estos mecanismos de optimización.



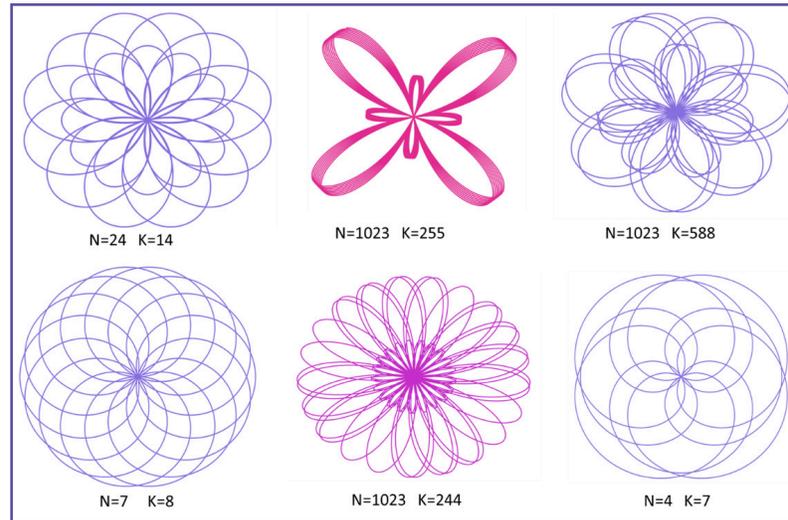
**Figura 7.** Estudio de Geometría de las Estructuras Naturales. **Fuente:** Resonance, 2023

La geometrización de las estructuras naturales permite reconocer patrones y el estudio del diseño eficiente, basado en las condiciones ambientales de la región, a la que se han adaptado la flora nativa, para ser aplicados en el diseño de geometría arquitectónica.



**Figura 8.** Diseño 3D,t de Estructuras Geométricas. **Fuente:** Autores, 2023

Relacionando la geometría, ecuaciones descriptoras y parámetros de relación para la proyección de luz funcional sobre la superficie del sistema arquitectónico (ver Figura 9), se obtiene la generalización de modeladores matemáticos.



**Figura 9.** Curvas Cíclicas en diseño de Estructuras Geométricas. **Fuente:** Autores, 2023

El método está basado en seleccionar curvas cíclicas paramétricas, en este caso rosas polares, para el diseño mediante ecuaciones de la proporción de los elementos y la distribución radial del diseño geométrico. Adicionalmente, la rotación de las estructuras sobre un eje de giro permiten conformar sólidos en revolución, para definir estructuras arquitectónicas por trayectoria dinámica, la expresión de las coordenadas x,y se presenta en (3), donde la altura de la superficie se define como un parámetro configurable h(t).

$$x = (r \pm R)\cos\theta \pm R\cos\left(\theta\left(1 \pm \frac{r}{R}\right)\right), y = (r \pm R)\sen\theta \pm R\sen\left(\theta\left(1 \pm \frac{r}{R}\right)\right)$$

Siendo r el radio interno y R el radio externo, que se expreso en relación n,k para la generación de los patrones y  $\theta$  el ángulo de barrido. De forma general se expresa en (4):

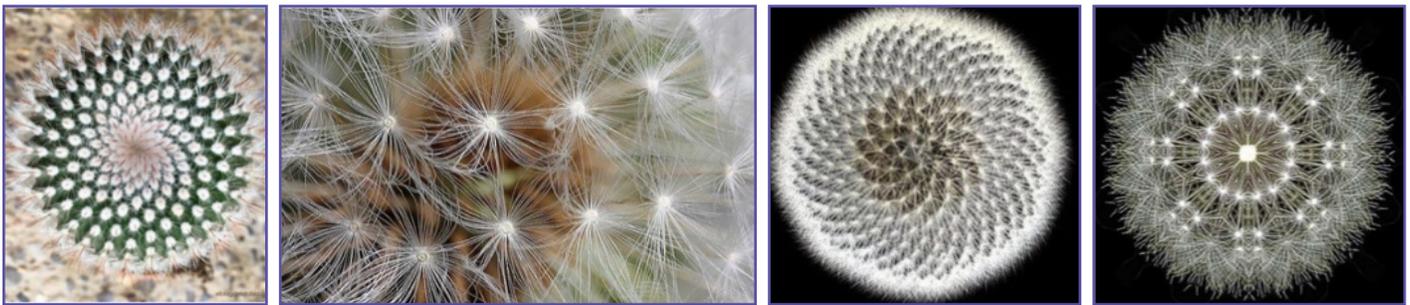
$$x = r - R\cos\left(\frac{r}{R}\theta\right)\cos\theta, y = r - R\cos\left(\frac{r}{R}\theta\right)\sen\theta$$

Las ecuaciones son programadas en algoritmos para la implementación de estructuras holográficas, síntesis vegetal controlada, impresión 3D, matriz configura-

ble de tejidos estructurales y kirigami definido por software.

Recientes estudios (Sasa et al., 2023), han relacionado con la distorsión geométrica espontánea de un campo cristalino en el diseño de un captador piezoeléctrico. EDABCO-CuCl 4 tiene uno de los potenciales de densidad de energía más significativos de cualquier material registrado, y los recolectores de energía piezoeléctricos resultantes son altamente estables. Estos avances permiten incorporar en la propuesta nuevas tecnologías de captación de energía por vibración estructural, revalorizando la resonancia, estableciendo la frecuencia de máxima amplitud en el diseño para la recirculación de energía, considerando un modelo unificador de captación de energía por ondas: mecánicas como vibraciones estructurales y eólica, electromagnéticas como el caso de luz solar, entre otras.

*“El universo existe únicamente de olas de movimiento... No existe nada más que vibración.” - Walter Russell*



### 2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El aporte de la presente investigación se basa en las ecuaciones de soporte para la descripción geométrica de las estructuras arquitectónicas, aplicando las tecnologías disponibles como impresión 3D, síntesis inteligente y control dinámico. Uno de los aspectos comprende la formulación de lente ópticos, pantallas de protección ambiental, restauración de espacios y diseño regenerativo, el cual comprende la recuperación de espacios y estructuras por parte de la naturaleza y vegetación propia de la flora nativa.

El diseño, tanto de elementos tangibles (materiales o productos) como intangibles (procedimientos y procesos), que determinan las cadenas de valor y los flujos de

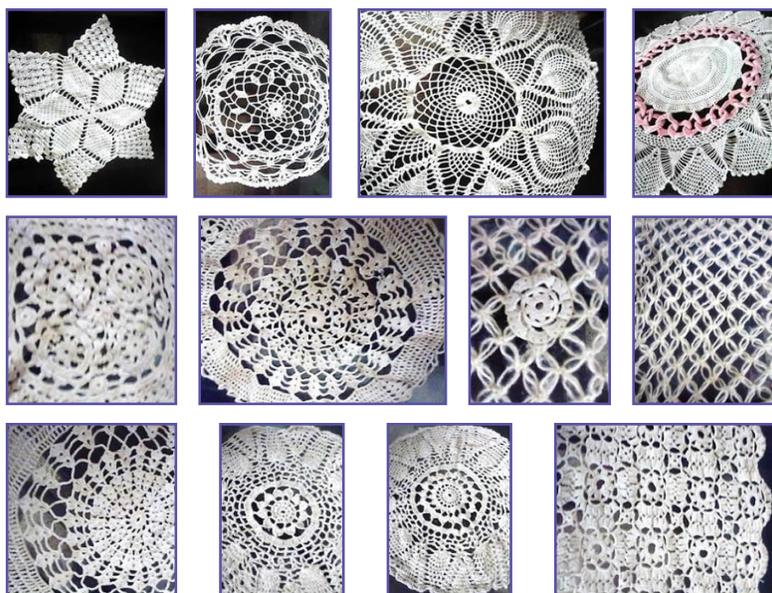
materiales.

Una propuesta innovadora para el diseño arquitectónico, corresponde a un elemento satelital de la obra, es decir un elemento móvil orbitando alrededor del sistema constructivo, dotado de funcionalidad para optimizar la eficiencia energética, monitoreo y control de variables, proyección holográfica de estructuras geométricas por modulación de onda de luz incidente y proyecciones holográficas de paisajismo para exteriores. Así se plantea un cometa con trayectoria circunscrita al radio de cobertura de la obra arquitectónica, que permita la captación de energía eólica, optimización de radiación solar, proyecciones holográficas, monitoreo y modulación activa de luz natural, entre otras. Cascada de Fotones.

Un elemento de múltiples etapas para el direccionamiento por reflexión controlada de la onda incidente de luz, donde se maneja el concepto de onda portadora para optimizar la transmisión (trampa onda y guía de onda). Así se propone la integración de estos conceptos de cascada de fotones, fluidodinámica cuántica, soft-arquitectura, estructuras dinámicas, diseño arquitectónico holográfico, curvas cíclicas en proyección de luz modul

**Figura 10.** Estructuras Biomiméticas para modelos matemáticos. **Fuente:** Fractales en la Naturaleza, 2023

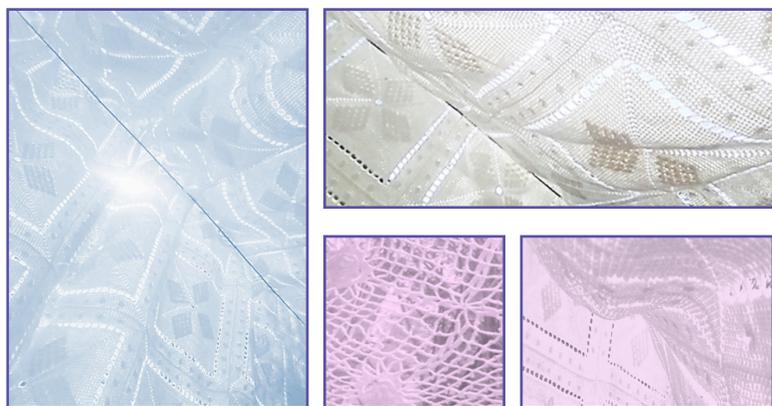
da, diseño biomimético aplicando geometrización de modelos naturales (ecuaciones geométricas descriptivas), elementos auto-soportados como estructuras colgantes, columpios y hamacas o puentes chinchorros, columnas de elementos naturales: agua, aire (eólica), luz solar, árboles, cortinas de vegetación, entre otros, como base del área de geometría fractal en la arquitectura (ver Figura 10).



**Figura 11.** Diseños Tejidos para análisis para modelos matemáticos. **Fuente:** Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018

El modelado geométrico de tejidos de estructuras fractales se ilustra en la Figura 11.

En la Figura 12 se presentan las técnicas de procesamiento de materiales de origen vegetal para tejidos (Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018), se tiene una descripción de patrones fractales como elementos de forma y redes de mallas (8), donde se valorizan los espacios vacíos, estos arreglos corresponden a tramas de unos y ceros en una matriz de puntos, que permiten la formulación del patrón y descripción del modelo.



**Figura 12.** Diseños Tejidos 3D en Modulación de Luz en Arquitectura. **Fuente:** Sandoval-Ruiz, C. & Ruiz-Díaz, E., 2018.

(8) Montaje de la Colección de Diseños E. Ruiz-Díaz.

**Tejidos Geométricos de Modulación de Luz Natural.** Se establece la combinación geométrica para lograr una luz modulada que permita iluminar los espacios interiores del diseño arquitectónico con propiedades de ondas difractadas.

**Plantas Tapizantes para difracción de luz solar.** Techos verdes con cascada de fotones, que permite redireccionar el haz de luz para iluminación de terrazas y ventilación inteligentes de los espacios arquitectónicos. De esta manera, se combinan conceptos de **geometría matemática** de soporte para generación de estructuras fractales y **diseño biomimético en arquitectura circular**, comprometido con la simplificación de elementos, **arquitectura regenerativa** y recirculación de materiales y energía.

Los conceptos aportados en la teorización de la arquitectura permiten alcanzar la certificación LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), o en castellano, “Líder en Eficiencia Energética y Diseño Sostenible”, basado en modelos matemáticos. De esta manera, se describen los patrones de diseño a través de software para kirigami, síntesis por tapizado, tejido, moldurado, holografía óptica, entre otras.

Termo-luminiscencia y otras aplicaciones de foto-luminiscencia que permitan cosechar energía para el diseño, como diferencial de vibración, así como el diseño de materiales inteligentes, con etapa configurable a través de campo, para modificar las propiedades del material. Los estados de la materia en arquitectura, elementos y fachadas aplicando fluidodinámica cuántica: Curvas Cíclicas y sus proyecciones de trayectorias sobre superficie 3D en el tiempo, formando estructuras de sólidos en revolución, plasma, Cristales de Tiempo (donde la estructura cristalina regular se repite en el espacio, se repite en cristales de tiempo en espacio y tiempo), Condensado Bose-Einstein y sus aplicaciones funcionales en los elementos arquitectónicos con proyección de luz y difracción controlada de onda en espacios arquitectónicos.

$\pi$ -Bot un mecanismo robótico que gira y oscila respecto a un punto pivote, como eje móvil sobre una trayectoria geométrica base, describiendo trayectorias complejas con variables en el espacio y tiempo. La función de este elemento es captar energía renovable, optimizar los mecanismos de climatización, realizar monitoreo de condiciones en tiempo real, función satelital sobre el diseño arquitectónico, sostenibilizar la propuesta. Revesti-

mientos inteligentes para optimización de estructuras y mantenimiento regenerativo, a través de coordinación de cometas satelitales formulado en (5) y nano-materiales inteligentes biotecnología ANN (Sandoval, 2021).

$$P(x,y,z) = (r \pm R)\cos\theta \pm R\cos\left(\theta\left(1 \pm \frac{r}{R}\right)\right)\hat{i} + (r \pm R)\cos\theta \pm R\cos\left(\theta\left(1 \pm \frac{r}{R}\right)\right)\hat{j} + h(t)\hat{k}$$

Controlabilizar el modelo a través de la selección de variables, esto se traduce en incluir un factor a la ecuación que permita parametrizar el término independiente del modelo, de manera tal que cada uno de los términos están relacionados con por lo menos una variable dimensional, que permite establecer un control de cada respuesta y así lograr adaptar, actualizar el diseño como reciclaje por configuración a nivel estructural, propiedades de los materiales, estados de la materia y ciclos de oscilación de ondas de energía, para la optimización dinámica sostenible. Cada componente que se integre tiene asociado un mecanismo de recuperación en modelo circular, para el diseño arquitectónico y otras aplicaciones.

Redes neuronales espejo. Dos redes neuronales compensatorias con procesamiento recíproco, se anulan los efectos del observador, emulando los hemisferios cerebrales de la ANN, las capas están interpretadas como el radio de acción de la estructura, los efectos sobre cada capa y neurona son inversamente proporcionales a esta distancia y un elemento de memoria sobre la neurona  $x(t-1)$ , la capa  $y(t-1)$  o la red DNN  $z(t-1)$ .

Diseño de una capa, pantalla, lente polarizado unidireccional o revestimiento inteligente, para fotovoltaica con técnicas de kirigami piramidal, que permita mejorar las prestaciones, filtrando componentes IR y UV, así como concentrando la radiación visible en un punto de conversión, con seguimiento inteligente en nanoestructuras, sin requerir motores y piezas móviles que requieran mantenimiento. A esto se incorpora el concepto de fotoluminiscencia configurable para crear un espacio de ultra-almacenamiento de fotones, para mejorar la eficiencia del sistema. Capa también de material fluidomagnético y plasma para re-emisión de fotones de forma selectiva, configurado por campo.

Una composición con mallas espaciales y geometría fractal. Las ecuaciones y formulación. El paisajismo

debe ser un componente de la arquitectura por ese motivo se selecciona un espacio para la naturaleza, integrado por iluminación natural, técnicas de purificación de aire como mallas de grafeno, torres de viento, filtros purificadores controlados por energía eólica, vegetación, espacios para proteger los polinizadores, una cascada (fuente de agua dinámica de ondas con control magnético) o sónico de las formas en composición de arena, piedras o minerales. La incorporación de pantallas holográficas de ambientación de espacios para proyectar paisajes y superficies, mallas estructurales de luz modulada en espacios interiores y exteriores.

*Pantallas de agua, cortinas, cascadas planas para la separación de espacios como paredes intangibles, que dan elegancia, iluminación y privacidad a los espacios, con control de compuertas por apagado de caída de agua, concepto de ferrofluidos y control de flujo por campo magnético para definir formas geométricos y diseños, en cascadas controladas por campo.*

*Lentes ópticas (blandas) controladas: desde pantallas, rejillas ópticas, lentes eólicas, envolventes aplicadas a fotovoltaica.*

*Hologramas ópticos para definir estructuras arquitectónicas 3D con proyecciones en espacios, que pueden ser rediseñadas, móviles y versátiles. Sistema de seguridad por láser para evitar murallas estáticas y garantizar la privacidad de los espacios.*

*Estructuras tensadas con telones para techos flexibles. Las estructuras tensadas son sistemas arquitectónicos que utilizan la tensión como elemento principal para soportar cargas y dar forma a la estructura. Los tejados de tela tensada son un tipo de estructura tensada utilizada comúnmente en arquitectura para crear cubiertas ligeras y visualmente atractivas.*

*Torres o columnas eólicas para ventilación, movilización de volúmenes de aire y refrigeración pasiva sostenible.*

*Diseño de un producto innovador en arquitectura ambiental.*

Los tejidos arquitectónicos son tejidos estructurales para formar superficies funcionales de tracción, como estructuras tensadas en techos. Además de la fuerza de tensión y presión interna, también son manejadores de

luz. En el orden de ideas de las envolventes (con materiales que presenten certificación para la salud ambiental), se pueden incluir diseños de estructuras tensadas a tracción con diseños de tejidos textiles internos, que permitan el paso controlado de luz solar natural. De manera de presentar un tejado semitransparente con tejidos estructurados de geometría circular o matricial, con elementos móviles como ferrofluidos, entre otros.

### *Modulación de Luz Solar para mejorar la eficiencia de las instalaciones.*

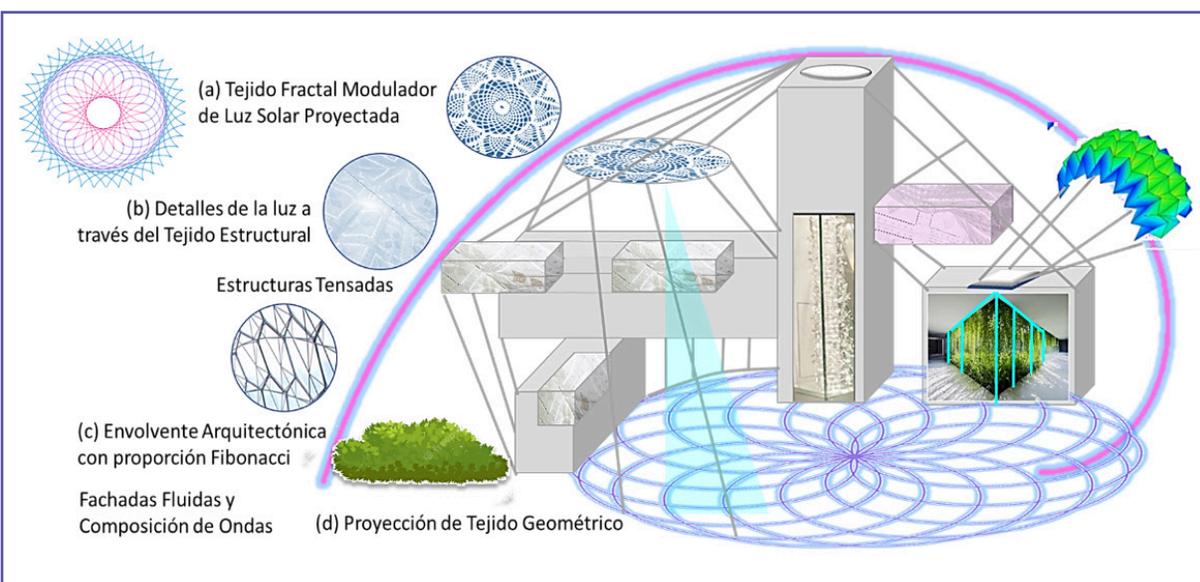
El manejo de parámetros en la ecuación, como la velocidad de desplazamiento del cometa satelital de asistencia al sistema, así como la fase o ángulo de las lentes de concentración de luz selectiva por longitud de onda, vienen a aportar un factor de controlabilidad, para el ajuste dinámico del arreglo de concentradores y envolvente arquitectónica con el fin de obtener la mayor radiación efectiva incidente. Así mismo la intermitencia programada para los ciclos, ajustada en la curva cíclica de barrido de la trayectoria móvil (orbitales) de la secuencia de asistencia, con apoyo de pantallas fotoluminiscentes, permiten un registro instantáneo de energía, con las mejoras de eficiencia propias, dando así mayor independencia y adaptación a la dinámica del sistema. Se obtiene como resultado la integración del diseño (ver Figura 13).

Es importante detallar que la proyección de la curva cíclica puede ser aplicada para parques de energía fotovoltaica, huertas urbanas de radiación solar controlada (invernaderos integrados), piscinas naturales, sistema radial de ventilación, entre otras. Donde la representación en el plano corresponde con la proyección dinámica de la luz sobre el tejido de modulación solar y la órbita o trayectoria del elemento móvil (cometa), que se desplaza describiendo una superficie diseñada sobre la envolvente del sistema arquitectónico, con recirculación de flujo eólico, reciclaje de agua de lluvia y captación eficiente de energías renovables híbridas.

El área proyectada puede ser una superficie de espejo de agua, para implementación de fotovoltaica flotante en distribución Fibonacci, donde la torre tiene una funcionalidad en la captación de calor reflejado. Se considera el optimizar el uso de los recursos naturales tales como el agua, donde la trayectoria se comporta como una capa de condensación que permitiría cumplir con el ciclo de agua programada, logrando una recirculación eficiente. De esta manera, se logra una funcionalidad cíclica de energía y recursos.

La envolvente como una superficie (tangibles, por material ligero de alta durabilidad a la intemperie o intangible, por composición de ondas, según el diseño conceptual) de protección para los cultivos en el área protegida, así como para

extender la vida útil de los paneles fotovoltaicos y las fachadas fluidas y los tejidos en los techos de estructuras tensadas, integrando captadores de energías renovables, respetuosa con el entorno: considerando un espacio para captación de agua de lluvia, acceso a las aves y polinizadores, a través de claraboyas en jardines nativos y huertas urbanas, todo de forma sostenible.



**Figura 13.** Diseño 3D del Sistema Arquitectónico. Fuente: Autores, 2023.

### 3. CONCLUSIONES

Gracias al equipo de conformación de la obra, compuesto de tres fases que le dan forma, una fase donde se establece el concepto de la obra, los criterios de sostenibilidad y manejo responsable de los recursos y energía, la fase de diseño, a través de un bosquejo guía o el modelo y la fase donde se implementa la técnica de la obra.

Debe mencionarse que esta investigación ha permitido analizar la intercambiabilidad del orden de estas etapas, además de considerar una arquitectura progresiva, que puede ser adaptada en cualquier momento de la vida de la obra. La técnica toma un valor fundamental, que puede ser modelado luego de la implementación y descrito a partir de ecuaciones matemática, revalorizando así un método de diseño continuo.

Indagando sobre las técnicas aplicables en arquitectura como el tejido estructural, revestimiento de estructuras, síntesis estructural sobre andamiaje por control de luz solar, moldeado geométrico, entre otras, que llevan a establecer una obra artística y el modelado de la técnica. Kirigami resume bien el concepto, valoriza el recurso y lo transforma con el ingenio del artesano, para convertirlo en una composición del andamiaje como soporte y los espacios vacíos, fundamentales de la obra, al igual que en el tejido estructural, biosíntesis, moldeado. Finalmente, es la luz y las formas las que revisten el concepto de la obra, la alineación de la perspectiva de la obra, la incidencia de la luz y la proyección, constituyen el intangible de la arquitectura. Así la técnica se convierte en un unificador de los modelos, que puede ser aplicado a nuevos esquemas de síntesis bioinspirada.

Otro aspecto, corresponde al andamiaje permanente, una forma de perpetuar la accesibilidad a la obra para su mantenimiento y adaptación, en el tiempo. Así se concibe una obra dinámica, que puede ser actualizada en cualquier momento, donde la flexibilidad de las estructuras fluidas, le permiten revalorizar los espacios y elementos, materiales y reciclar la estructura para un esquema más responsable.

Sistematización de la obra, así se conjugan los conceptos en una obra activa con elementos de luz artificial (de bajo costo energético) y pasiva aprovechando la luz solar incidente y los recursos más nobles y locales para

su síntesis configurable, así vemos la obra arquitectónica como una estructura dinámica, con identidad y manejo sostenible del concepto, para su evolución permanente.

### REFERENCIAS

- Arquitectura Orgánica de mimbre (2010). Disponible en: <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/14071.html>
- Cárdenas Canales, G. H. (2018). Análisis de la Envolvente Arquitectónica Sostenible en la Integración de Jardines Verticales en el Palacio Municipal, Huancaayo 2018.
- Diseño y Arquitectura (2020). Kirigami y luz: Arte Contemporáneo. Disponible en: [https://www.arquitecturaydiseno.es/estilo-de-vida/artista-japonesa-que-construye-arquitecturas-paper-cut\\_3806](https://www.arquitecturaydiseno.es/estilo-de-vida/artista-japonesa-que-construye-arquitecturas-paper-cut_3806)
- Fractales en la Naturaleza (2023). Disponible en: <https://www.facebook.com/AnimalsWorldNatureAndQuotes/photos/a.563669376997030/>
- Guerrero, A. (2022). Edificaciones sostenibles. tipología de las envolventes arquitectónicas. *Perspectiva*, 2(20), 44-55. Recuperado a partir de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/39423>
- Guerrero, A. (2015). Innovación tecnológica de la eco-envolvente arquitectónica en las edificaciones de educación superior del municipio maracaibo. *RE-VECITEC*, 6(1), 1-20.
- Interesting Engineering (2021). Self-Sustainable Floating 'Continent' Cleans Ocean Waste. <https://interestingengineering.com/self-sustainable-floating-continent-cleans-ocean-waste>
- Medina, S. (2021). Arquitectura del futuro. Las construcciones con impresora 3D.
- Morcillo Saiz, L. (2021). Luz sagrada. Análisis de seis iglesias contemporáneas españolas.
- Obras Urbanas (2023). Tejidos arquitectónicos para vestir proyectos excepcionales. Disponible en: <https://www.obrasurbanas.es/flexbrick-tejidos-arquitectonicos-para-vestir-proyectos-excepcionales/>
- Park, C. Y., Lee, Y. A., Jang, J., & Han, M. W. (2023). Origami and Kirigami Structure for Impact Energy Absorption: Its Application to Drone Guards. *Sensors*, 23(4), 2150. <https://www.mdpi.com/1424->

8220/23/4/2150

- Resonance Science Foundation (2023). *Arquitectura y Física Unificada*. Disponible en: <https://es.resonance-science.org/arquitectura-y-fisica-unificada>
- Reyes Iglesias, M. E. (2021). Una herramienta de apoyo a la docencia de las Matemáticas en los Estudios de Arquitectura. In *IX Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid*, 11 y 12 de Noviembre de 2021: libro de actas 132-141.
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). *Biomimética Aplicada a Modelos de Sistemas de Energías Renovables Reconfigurables, Basados en Estructuras Autosimilares*. *Revista Técnica Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 46(1), pp. e234602. DOI: <https://doi.org/10.22209/rt.v46a02>
- Sandoval-Ruiz, C. (2022). *Quantum architecture: Osciladores acoplados, dinámica y ERNC*. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/38184>
- Sandoval-Ruiz, C. (2021b). *LFSR Optimization Model based on the Adaptive Coefficients method for ERNC Reconfigurable Systems*. *Ingeniare*, 29(4).
- Sandoval-Ruiz, C. (2021c). *Wind Turbine with Configurable Feedback Scheme for Minimal Environmental Impact and Maximum Efficiency*. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 25(111).
- Sandoval-Ruiz, C. (2021d). *Fractal Mathematical over Extended Finite Fields  $F_p[x]/(f(x))$* . *Proyecciones Journal of Mathematics*, Vol. 40(3), 731-742. doi: [10.22199/isnn.0717-6279-4322](https://doi.org/10.22199/isnn.0717-6279-4322).
- Sandoval-Ruiz, C. (2021e). *Smart systems for the protection of ecosystems, flora and fauna*. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 25(110), 138-154. DOI: [10.47460/uct.v25i110.486](https://doi.org/10.47460/uct.v25i110.486)
- Sandoval-Ruiz, C. (2020b). *Arreglo Inteligente de Concentración Solar FV para MPPT usando Tecnología FPGA*. *Rev. Técn. Ing. Universidad del Zulia*. 43 (3), 122-133. <https://doi.org/10.22209/rt.v43n3a02>
- Sandoval-Ruiz, C. (2020c). *Arreglos fotovoltaicos inteligentes con modelo LFSR-reconfigurable*. *Revista Ingeniería*, 30(2), 32-61. DOI [10.15517/RI.V30I2.39484](https://doi.org/10.15517/RI.V30I2.39484)
- Sandoval-Ruiz, C. (2020d). *Proyecto Cometa Solar-CS para Optimización de Sistemas Fotovoltaicos*. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(100), 74-87. <http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/307>
- Sandoval-Ruiz, C. (2020e). *LFSR-Fractal ANN Model applied in R-IEDs for Smart Energy*. *IEEE Latin America Transactions*, 18(04), 677-686. <https://doi.org/10.1109/TLA.2020.9082210>
- Sandoval Ruiz, C. (2020f). *Arquitectura fractal reconfigurable - AFR basada en tecnologías sostenibles*. *Perspectiva*, 2(16), 54-71. Recuperado a partir de <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/35486>
- Sandoval-Ruiz, C. (2018a). *Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City*. *Perspectiva*, 7(12), 1-19.
- Sandoval, C. (2018b). *Diseño Arquitectónico Inteligente Aplicando Conceptos de Urbótica y Sostenibilidad*. *Perspectiva*, 6(11), 18-29. Recuperado a partir de <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/33033>
- Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. (2018c). *Eco-Innovación en Ingeniería de Alimentos Sostenible aplicando técnicas Inteligentes de Eficiencia Energética-EcoSVeg*. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 22(87), 13-13.
- Sandoval-Ruiz, C. E., & Ruiz-Díaz, E. (2018d). *Eco-diseño de propuestas de cocina de autor basada en productos y tecnología sostenible*. *Revista Qualitas*, 14(1), 75-99.
- Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. (2018e). *Optimizador de Eco-Productos de origen vegetal aplicando Control Neuronal en VHDL*. *Revista Agrrollanía*, 15, 58-64.
- Sandoval-Ruiz, C. (2015). *Sistema Eco-Adaptativo integrado en elementos arquitectónicos con tecnología sostenible*. *Perspectiva*, 4(8), 96-109. Recuperado a partir de <https://issuu.com/recperspectiva/docs/rec8/96>
- Sasa Wang, Asif Abdullah Khan, Sam Teale, Jian Xu, Darshan H. Parmar, Ruyan Zhao, Luke Grater, Peter Serles, Yu Zou, Tobin Filleter, Dwight S. Seferos, Dayan Ban y Edward H. Sargent (2023). *Gran respuesta piezoeléctrica en un haluro de metal molecular distorsionado de Jahn-Teller*. *Comunicaciones de la Naturaleza*. DOI: [10.1038/s41467-023-37471-3](https://doi.org/10.1038/s41467-023-37471-3)
- Sempergreen (2023). *Soluciones en techos verdes*. Dis-

ponible en: <https://www.sempergreen.com/co/soluciones/techo-verde/>

UIB (2000). La Iglesia Parroquial de Lobatera: Patrimonio Monumental del Táchira. Disponible en: <https://fci.uib.es/Servicios/libros/veracruz/Samir/La-Iglesia-Parroquial-de-Lobatera-Patrimonio.cid214741>

Vargas Martínez, E. J. (2015). Configuración formal de los rosetones románicos de la ciudad de Zamora (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

Vásquez, M. R. G., & Molina-Prieto, L. F. (2018). Envolverte arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad. *Arquiteturax Visión FUA*, 1(1), 49-61.

Zhang, X., et.al. (2021). Kirigami Engineering—Nanoscale Structures Exhibiting a Range of Controllable 3D Configurations. *Advanced Materials*, 33(5), 2005275.