



**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, Magister 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.

**Recepción: 28/06/2023 - Aprobación: 06/11/2023**

# REGENERACIÓN DE ESPACIOS BASADA EN GEOMETRÍA PROYECTIVA SOBRE MODELOS DE ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

## RESUMEN

Ante el creciente compromiso de diseñar espacios regenerativos, se plantea un arreglo colaborativo de elementos arquitectónicos proyectivos sobre el flujo de energía, con el objetivo de teorizar un modelo de envolvente regenerativa bajo criterios de mínimo impacto y remediación ambiental. El método comprende la estimación de potencial de energías renovables y su integración óptima en el diseño de la envolvente, aplicando lentes de polarización y patrones de difracción. Se logró una propuesta conceptual de las ondas de energía como modelador del entorno, con soporte en patrones geométricos  $\pi$ ,  $e$ ,  $\phi$ , para crear espacios proyectados por ondas reflejadas y adaptación de módulos móviles; todo esto en el marco de una envolvente cinética para configuración dinámica del paisaje. Lo anterior lleva a concluir que la no materialidad en la arquitectura puede ser un gran aporte, a fin de restaurar la calidad de vida, los ciclos naturales y lograr un equilibrio más sustentable en las áreas urbanas.

**Palabras clave:** envolvente regenerativa, arreglo proyectivo reconfigurable, potencial energético, arquitectura bioclimática, patrones geométricos.

## REGENERATION OF SPACES BASED ON PROJECTIVE GEOMETRY ON ARCHITECTURAL ENVELOPE MODELS

### ABSTRACT

Given the growing commitment to design regenerative spaces, a collaborative arrangement of projective architectural elements on the flow of energy is proposed with the aim of theorizing a regenerative envelope model, under the criteria of minimum impact and environmental remediation. The method includes the estimation of renewable energy potential and its

optimal integration in the design of the envelope, applying polarization lenses and diffraction patterns. A conceptual proposal of energy waves as a modeler of the environment was achieved with support in geometric patterns  $\pi$ ,  $e$ ,  $\phi$ , to create spaces projected by reflected waves and adaptation of mobile modules; all this within the framework of a kinetic envelope for dynamic configuration of landscaping. In view of the above, it leads to the conclusion that non-materiality in architecture can be a great contribution to restore the quality of life, natural cycles and achieve a more sustainable balance in urban areas.

**Keywords:** regenerative envelope, reconfigurable projective arrangement, energy potential, bioclimatic architecture, geometric patterns.

## RIGENERAZIONE DEGLI SPAZI IN BASE ALLA GEOMETRIA PROIETTIVA SU MODELLI DI RIVESTIMENTO ARCHITETTONICO

### RIASSUNTO

Dato il crescente impegno nella progettazione di spazi rigenerativi, si propone una disposizione collaborativa di elementi architettonici proiettivi sul flusso energetico, con l'obiettivo di teorizzare un modello di rivestimento rigenerativo secondo criteri di minimo impatto e bonifica ambientale. Il metodo comprende la stima del potenziale di energia rinnovabile e la sua integrazione ottimale nel design del rivestimento, applicando lenti di polarizzazione e modelli di diffrazione. È stata realizzata una proposta concettuale di onde energetiche come modellatore dell'ambiente, con il supporto di modelli geometrici  $\pi$ ,  $e$ ,  $\phi$ , per creare spazi proiettati dalle onde riflesse e l'adattamento di moduli mobili; il tutto nel quadro di un rivestimento cinetico per la configurazione dinamica del paesaggio.

Ciò porta alla conclusione che la non-materialità in architettura può essere un grande contributo per ripristinare la qualità della vita, i cicli naturali e raggiungere un equilibrio più sostenibile nelle aree urbane.

**Parole chiave:** rivestimento rigenerativo, disposizione proiettiva riconfigurabile, potenziale energetico, architettura bioclimatica, modelli geometrici.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios en el campo de la arquitectura sostenible se orientan hacia estructuras físicas geodésicas y mecanismos plegables (Patel & Ananthasuresh, 2007), orientada a proyectar un hábitat saludable, definir la integración de las vistas y su dinámica, basado en un análisis matemático de los elementos geométricos simétricos.

*La utilización de superficies desarrollables en arquitectura es un tema recurrente y de gran importancia en los desarrollos recientes sobre geometría en arquitectura. Los acercamientos de tipo computacional en esta materia dejan de lado, en ciertos casos, los conceptos de la geometría descriptiva o proyectiva tradicional centrándose más en desarrollos analíticos de tipo matemático (González & Martín, 2023:228).*

Al momento de desarrollar una teoría regenerativa desde la arquitectura, es fundamental la aplicación de la tecnología biomimética (Sandoval-Ruiz, 2023), aprendiendo de los monumentos cíclicos (como es el caso del puente de hielo de los glaciares) y estructuras regenerativas. En este marco de ideas, se plantea el modelado regenerativo de espacios aplicado a monumentos naturales, glaciares y formaciones geológicas y entornos arquitectónicos que se pueden ver afectadas por factores climáticos como la radiación solar, erosión eólica o hídrica, a fin de establecer los patrones de compensación de estas variables.

*Un movimiento arquitectónico donde las formas se generan mediante fórmulas matemáticas que pueden representar factores físicos (Moro, 2023:119).*

Todo esto enmarcado en lineamientos de sostenibilidad LEED (por sus siglas en inglés: Leadership in Energy and Environmental Design), modelado colaborativo BIM (por sus siglas en inglés: Building Information Modeling), y descripción matemática de variables para control activo de flujo de energía y fenómenos ondulatorios, donde se relaciona la modulación de energías renovables, a través de elementos arquitectónicos (Du et al., 2019; Van et al., 2021; Vassiliades et al., 2022). En esta investigación, el arreglo de elementos móviles cumple la función de lentes (ópticos y eólicos) sobre la base de geometría proyectiva, mediante la estimación del ángulo de proyección de las cometas solares (Sandoval-Ruiz, 2020), en esta oportunidad para la construcción de una teoría de envolvente regenerativa cíclica.

Algunas iniciativas se fundamentan sobre estructuras cerradas, la innovación que se plantea es la presente investigación es una extrapolación del concepto de fachadas dinámica de energías renovables a partir de la definición de una superficie envolvente intangible, descrita por la trayectoria del arreglo sobre el volumen circunscrito por la envolvente, que dibuja un sólido en revolución. Todo esto bajo el principio de mínima intervención de la dinámica natural (Sandoval-Ruiz, 2020), por lo que se propone reflejar la naturaleza circundante y establecer un equilibrio con los desarrollos urbanos existentes.

El proyecto debe tener un compromiso por devolver al entorno los recursos con los niveles de calidad segura (Zupan, 2020) y remediar los espacios intervenidos, esto mediante el reciclaje de la infraestructura disponible, que pueda ser sintonizada con el concepto de la envolvente, a fin de recuperar e integrar energía renovable por almacenamiento potencial, y la reinserción de áreas verdes y naturaleza en los espacios regenerativos, abordados como microsistemas energéticos.

## 2. DESARROLLO

El estudio permitió conceptualizar soluciones por compensación de geometría simétrica, desde la interpretación matemática alternativas regenerativas, considerando coeficientes de escalas en la proyección isométrica (0,816) y coeficientes notables como la proporción Fibonacci  $\phi$  (1,618) en recirculación dinámica de flujos ambientales, basado en teoría de proporciones (Reyes-Iglesias, 2021:134).

**Geometría Diferencial.** En la teoría de la envolvente arquitectónica corresponde al estudio de imágenes geométricas (cometa proyector), curvas (órbita de trayectoria) y superficies imaginarias de la envolvente, aplicando métodos del análisis matemático infinitesimal y álgebra (interpretación geométrica).

**Simetría Geométrica.** Para un sistema físico como la envolvente arquitectónica se considera la simetría respecto a cada variable, donde el sistema sigue siendo invariante a pesar del cambio de los flujos incidentes.

Se considera una técnica de compensación para mitigar el impacto ambiental, a través de la geometría de un objeto y su invariancia bajo ciertas condiciones (a través de elementos reflectantes) lo que puede dar una idea matemática general de su simetría. Así, se logra crear un patrón geométrico de curvas cíclicas a una vibración que formule un movimiento de rotación por reacción, a partir de la sumatoria de aportes de componentes de resonancia en cada elemento espacial de la envolvente, para alcanzar el equilibrio simétrico radial.

El objetivo de un patrón cíclico definido como una envolvente arquitectónica proyectiva es la restauración ecológica (Villacorta, 2019:23) de los espacios, a través de la recuperación, rehabilitación y restablecimiento de los monumentos y ecosistemas de la flora y fauna nativa de los espacios, a través de relaciones matemáticas para la restauración de las condiciones propicias de regeneración del espacio, bajo la hipótesis del patrón fractal (Moreno, 2019:12).

Patrones geométricos en composición fractal

En trabajos previos (Sandoval-Ruiz, 2023:20) se

plantean el concepto de arquitectura regenerativa, a través de tejidos estructurales, estructuras tensadas auto soportadas y cometas satelitales, como integradores del espacio arquitectónico, donde se detallan ecuaciones de trayectoria y un parámetro de velocidad de traslación del cometa, sin llegar a formular el concepto de una envolvente toroidal con sumidero de energía central definido para la restauración de las ondas de energía incidentes mediante patrones de recirculación. De forma práctica, al momento de diseñar arquitectura móvil se tiene un reto que superar el cual corresponde a la resistencia mecánica de las estructuras y mínimo peso del diseño sobre la plataforma, para el menor consumo energético<sup>1</sup>.

En este sentido, el diseño regenerativo está planteado para readaptar un patrón arquitectónico, a la dinámica de un concepto innovador, dentro de los criterios de arquitectura bioclimática. Los materiales son sustituidos por intangibles, en un modelo de estela dinámica que se posiciona en relación con la fuente en su trayectoria orbital, para lograr enmarcar envolventes arquitectónicas funcionales (Vásquez et al., 2019). Entonces, se trata de traer a la arquitectura contemporánea esas tecnologías que se han desarrollado en el contexto de las energías renovables, domótica, urbótica valorizando los paisajes de las energías renovables (Barral et al., 2019).

## 2.1. MÉTODOS Y ESTRATEGIAS

En el caso de obras arquitectónicas inconclusas o deterioradas por el paso del tiempo, pueden ser restauradas mediante tejidos flexibles o proyecciones de luz como prolongación de elementos arquitectónicos de estructura holográfica, sobre las bases de los elementos arquitectó-

<sup>1</sup>En Caravaca-Muñoz (2019) se presenta el estudio de la respuesta mecánica de estructuras basadas en metamateriales inspirados en la técnica de origami, que permiten crear estructuras ultraligeras y con propiedades programables, aplicadas a la interacción con la envolvente sobre el análisis de vibraciones por discretización de elementos finitos, para las celdas componentes del modelo. Recientes estudios se centran en la adaptación de la morfología y enlaces articulados (Fenci et al., 2017), así como estructuras desplegadas (Liu et al., 2023; Yu-Ki, 2023; Culcas, 2020) y diseños adaptativos (Li & Krishnan, 2023), que son insumo para la implementación de las cometas proyectivas con alineación de ángulos de incidencia sobre el arreglo (Sandoval-Ruiz, 2023).

En una prospectiva para afrontar los retos de los mecanismos regenerativos, se plantean los parques solares, eólicos, undimotriz, atrapanieblas (Yrivarren, 2017), (Bravo, 2020) que permitan cosechar recursos de forma sostenible, a través de elementos arquitectónicos fluidos. Esto en base a modelos geométricos y matemáticos como los presentados en (Domínguez et al., 2019), con aplicaciones en el eje del paisajismo de las ciudades (Ege, 2014). Tal como señala Rivera (2020) los diseños deben estar inspirados en mecanismo naturales, lo que permite evidenciar una vez más la aplicación de biomimética a la arquitectura.

nicos originales, pero en el caso de las formaciones naturales el concepto debe ser orientado a la regeneración. Por lo que en primer lugar se plantea el estudio y reconocimiento de potencialidades, para diseñar la regeneración proyectada mediante flujo energético dinámico.

La teoría comprende la generación de una envolvente de flujo regenerativo, lo que se propone mediante pantallas móviles, comprende la configuración geométrica de un arreglo de cometas por acoplamientos magnéticos y filtros en rangos de longitud de onda (técnicas de polarización o plasma ionizado), envolvente dinámica por trayectoria de curva cíclica, en una capa que corresponde al campo de flujo eólico-solar:

1. Se realiza una estimación del potencial solar y eólico, que se interpreta como los agentes de deshielo y erosión, vibración y esfuerzo al que se encuentra sometida la estructura, un análisis estructural de desviación en los ejes x,y,z por método de diferencias finitas permite identificar el esfuerzo sobre cada eje y la compensación de efectos requeridas.
2. Se plantea un estudio sobre línea de tiempo (time line) de la órbita solar, con el objetivo de establecer el foco para la ubicación de la pantalla de protección móvil (cometa solar), aplicando geometría proyectiva para establecer el campo de proyección sobre la estructura a proteger.
3. Se establece el comportamiento del filtro de polarización para el control de temperatura y componentes espectrales de radiación solar incidente sobre la estructura y el control de flujo activo de viento, mediante el análisis de rosa de viento superpuesto al patrón de difracción.
4. Se crea el diseño con intersección de las proyecciones sobre la estructura objetivo, a fin de garantizar las condiciones óptimas de regeneración.
5. Se establece la trayectoria sobre la línea de tiempo

po como un sólido en revolución, las pantallas son estructuras arquitectónicas móviles que se ajustan a los ciclos diarios y estacionales, que describe la posición de las pantallas durante los ciclos regenerativos.

La planificación parte de una estación móvil de monitoreo para estudio de potencial de energías renovables en las regiones, adaptado con los equipos de instrumentación para el monitoreo de condiciones, recolección de datos mediante barrido dinámico, estudio de compatibilidad electromagnética, levantamiento de información e infraestructura, registros y reportes de mapas de gradientes de campo para el análisis de factibilidad.

La regeneración del ambiente de la ciudad se plantea mediante la cancelación de efectos, como la atenuación de componentes de turbulencia en la estela de vientos aguas abajo de la obra, la protección de aves frente a edificios altos a través de envolventes suaves, el tratamiento de residuos y la restauración de condiciones de

Compensación	Restauración	Descripción básica del algoritmo de desarrollo
Circuitos de flujo regenerativo	Modelo VHDL geométrico	$W \otimes X = w_i \cdot X_i + w_i \varphi_0 \frac{\partial X_d(t)}{\partial t} + w_i \epsilon_0 \frac{\partial X_r(r)}{\partial r}$
Equilibrio radial	Código Semilla	<b>LFSR:</b> <b>For</b> i=1 to n <b>do:</b> w(i)*x(i)+u*w(i)*xd(i-1)+w(i)*e(r)*xr(i-j) <b>end</b>
Simetría geométrica	Proyecciones	Modelos Holográficos de secciones de la obra inconclusas.

**Tabla 1.** Modelo para la regeneración de espacios arquitectónicos. Fuente: Autor, 2023.

temperatura y presión, así como la compensación de impacto ambiental, siendo w(i) los coeficientes de difracción del modelo matemático propuesto sobre una arquitectura generatriz LFSR (Sandoval-Ruiz, 2021b) en cada plano de la envolvente (Tabla 1).

El método de diseño de la envolvente regenerativa debe contemplar estos criterios como metas de evaluación continua a lo largo del horizonte del proyecto, donde se proponen algoritmos adaptativos para la compensación de efectos a través del cálculo de coeficientes, en el modelo urbanístico, que pueden ser configurados en VHDL. El diseño comprende desde las plataformas sostenibles y diseños de elementos arquitectónicos sostenibles (Sandoval-Ruiz, 2015).

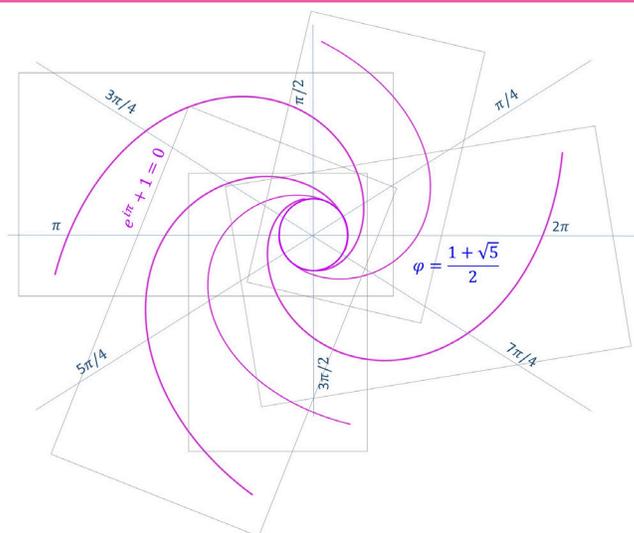
## 2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Envolvente regenerativa mediante la modelización matemática de factores físicos

Se cuenta con unas condiciones globales de (1) patrón de irradiancia solar, (2) patrón eólico (potencial de viento por latitud y despeje de área), (3) potencial undimotriz, elementos flotantes rompeolas. Ahora en base a 3 focos dinámicos (en función de la órbita y dinámica de la fuente de energía) para la proyección de ondas, localizando los lentes de concentración o atenuación de flujo de energía para establecer las condiciones locales de la envolvente. El desarrollo de un gemelo digital, soportado en biomimética, ingeniería y ciencia de datos, permite crear un modelo del monumento regenerativo y su interacción con los flujos de energía.

La arquitectura se corresponde con un sistema matemático de números complejos, con una parte real en la ecuación descriptiva del moldeado de la materia (innovaciones matemático-geométricas) y una parte imaginaria que define la relación de los fenómenos ondulatorios, donde se presentan vórtices visibles, ampliando frecuencias por resonancia y compensación de equilibrio de estos, anulando componentes y estableciendo un comportamiento sobre nodos de la red de difracción de las ondas estacionarias.

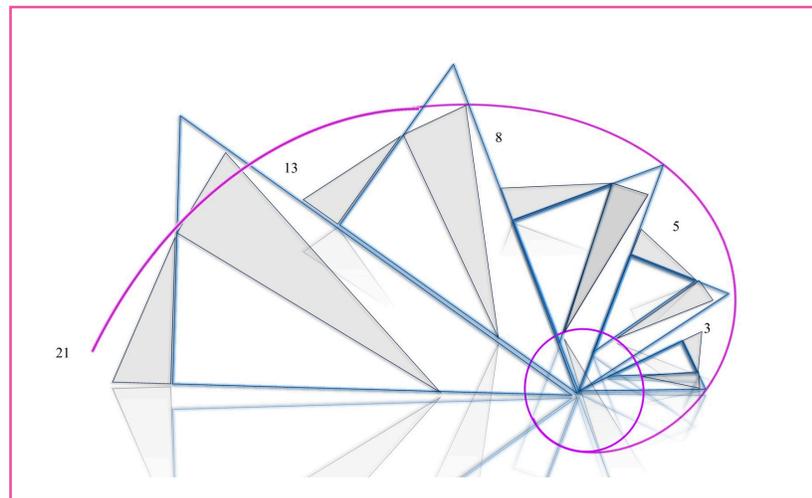
De todo lo anterior el estudio efectos de los perfiles y aleros como elementos de difracción de ondas resulta de interés, siendo interpretada la obra arquitectónica



**Figura 1.** Relación de Ondas en proporción Fibonacci.  
 Fuente: Autor, 2023.

como una composición para la regeneración del patrón de flujo de salida aguas abajo del proyecto, por lo que se requiere la cancelación de efecto por simetría radial (Figura 1).

Donde la interpretación de la espiral es una proyección de trayectoria (Figura 2) descrita por un generador (cometas con eje en la obra arquitectónica) de patrones, secuencias o vórtices. Así se tienen dos elementos, el codificador que representa la red de difracción y el vórtice que corresponde a la estela de la onda.



**Figura 2.** Envolvente plegable en proporción áurea.  
 Fuente: Autor, 2023

De esta manera la geometría proyectiva permite ampliar un volumen de cobertura de las pantallas dinámica, que define la envolvente regenerativa. La propuesta de una teoría de arquitectura regenerativa se construye sobre la base de tecnologías emergentes en hardware reconfigurable, elementos ópticos, fotoluminiscencia, ingeniería del control activo de flujo de ondas a través de lentes de difracción para la adaptación de energías renovables a las condiciones objetivo del espacio regenerativo.

De manera de proyectar el efecto en un radio y su recirculación de flujo simétrico aéreo y subterráneo, con consideración de atenuación de efectos respecto al radio de incidencia del eje. La aplicación por etapas del proyecto se resume en la Tabla 2.

Etapa	Técnica	Descripción
Diseño de Modelo BIM	Proyección BIM	Plataforma reconfigurable por estudio de factibilidad
Regeneración por modelado Biomimético	Proyección de envoltente.	Se establece el modelo matemático entre los factores climáticos y las condiciones óptimas, ángulos y ciclos.
Actualización VHDL	Síntesis programable	Configuración por celdas de memoria estructuras

**Tabla 2.** Etapas conceptuales de regeneración arquitectónica.  
 Fuente: Autor, 2023

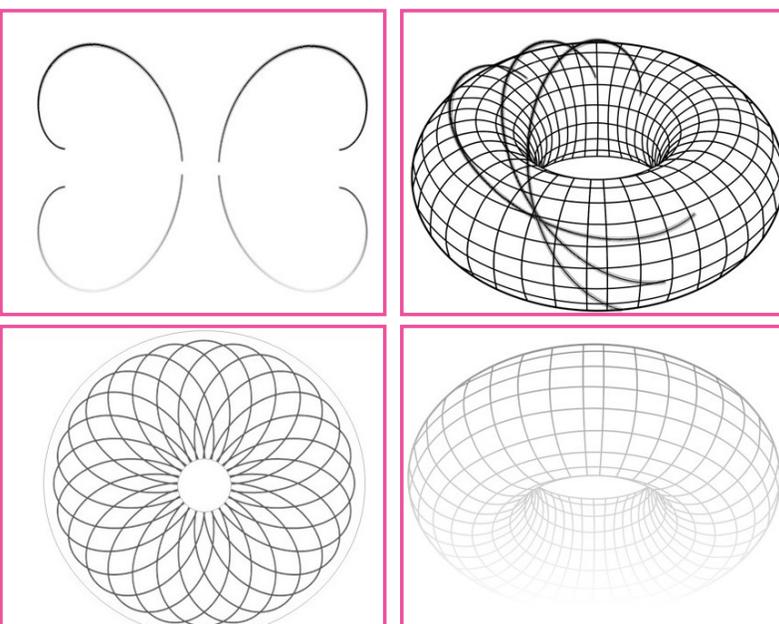
El redireccionamiento de la luz a través de estas pantallas de polarización (heliostatos dinámicos) desde la envoltente regenerativa hacia parques solares y la creación de espacios de luz configurables, considerando la dinámica en 3D para una proyección ortogonal de la espiral Fibonacci de una vista lateral, una estructura radial (organización de girasol) en la vista superior y un orbital simétrico en la vista frontal (Figura 3).

En base a las propuestas conceptuales se estableció un modelo arquitectónico para la adaptación dinámica (Figura 4).

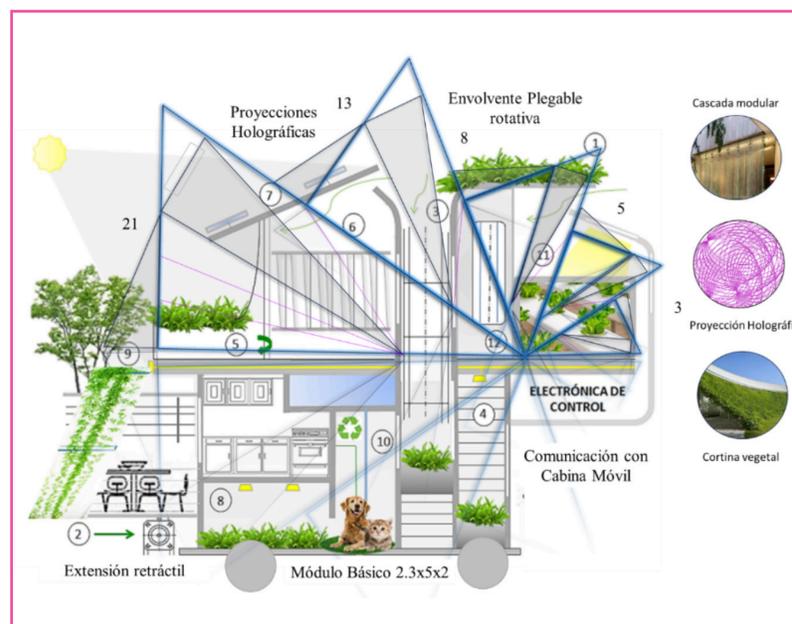
El esquema de arquitectura modular se puede acoplar a una cabina móvil, un arreglo liviano, flexible y reconfigurable de acuerdo con las especificaciones <sup>2</sup>.

#### Teorización del Modelo de Envoltente cinética

- La matemática fractal sobre campos finitos extendidos  $F_p[x]/(f(x))$  desarrollada en Sandoval-Ruiz (2021), permite modelar la interacción de variables físicas en la capa envoltente y el espacio regenerativo con memoria dinámica, interpretando las fuerzas constructivas y compensando las fuerzas erosionantes y componentes espectrales específicas.
- El estudio de la formación estructural bajo condiciones de temperatura, presión y pa-



**Figura 3.** Proyección Ortogonal de la Envoltente Toroidal Fibonacci. Fuente: Autor, 2023.



**Figura 4.** Envoltente arquitectónica regenerativa. Fuente: Autor, 2023

trones de flujo modelador permite recrear las condiciones óptimas a través de los elementos proyectivos de una envolvente cinética, con un eje de rotación central de energía reflejada y cometas satelitales de proyección de ondas difractadas selectivamente, en una superficie de fuerzas.

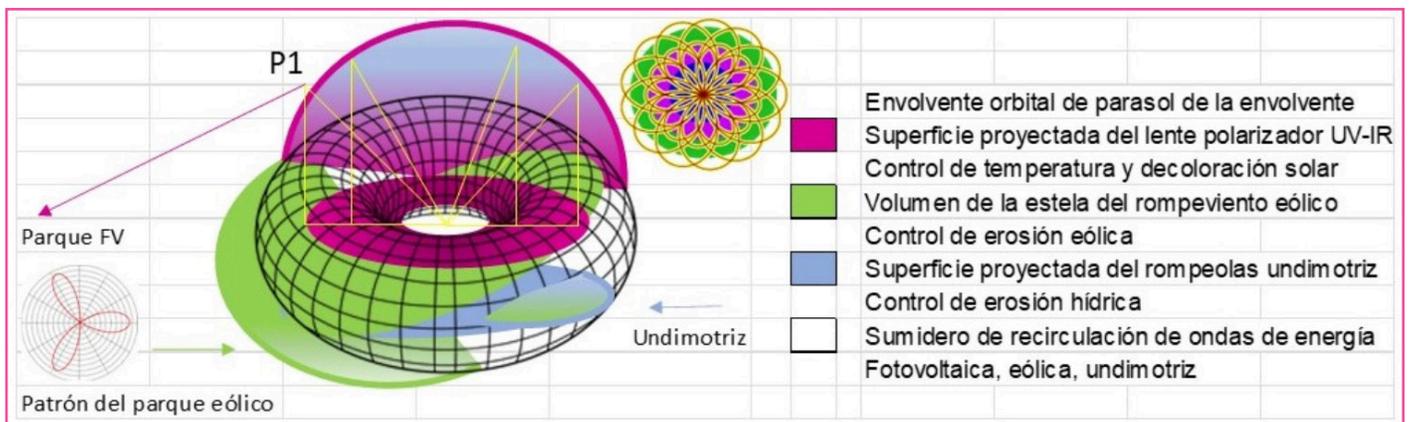
Los elementos objetivos pueden ser localizados sobre una envolvente toroidal con relación de la espiral de Fibonacci (Figura 5), con los puntos objetivos localizados en el foco de convergencia de las fuerzas envolvente externa<sup>3</sup> y reflejada por la envolvente interna central<sup>4</sup> (formada por una columna de rotación para la simetría de efectos en ciclos regenerativos), la composición fractal de frecuencias de resonancia que interactúan con los elementos inmersos en la envolvente, permiten crear un patrón armónico, modelado matemáticamente, para crear una interacción regenerativa en composición fractal de micro envolventes de ondas que conforman los vórtices de flujo en proporción  $\phi$ .

La composición presenta una columna de alineación de la energía útil para la dinámica del ecosistema (planteado mediante el modelo LFSR de filtros adaptativos de optimización de los patrones de flujo), para el control de las condiciones ambientales (temperatura y

presión) del espacio interno. Lo que representa un aporte fundamental en la arquitectura regenerativa, con responsabilidad proyectiva sobre los espacios.

Se ha planteado desarrollar una envolvente arquitectónica a partir de un mecanismo dinámico de geometría proyectiva para control de flujo y polarización de ondas de luz a fin de propiciar la regeneración de espacios, es importante diferenciar entre la restauración de elementos arquitectónicos y la regeneración de los espacios, que está directamente asociado con un proceso natural, que se sustenta sobre condiciones específicas que pueden ser optimizadas, a través del estudio de condiciones de proyección solar, eólica y undimotriz (en entornos costa afuera) de la región para el diseño de la envolvente arquitectónica bioclimática. Se conforma un modelo matemático en configuración Fibonacci para amplificar o atenuar componentes específicas de las ondas de energía, en base a los patrones proyectados.

Por otra parte, se diferencia con el concepto de circuito de invernadero de ecosistemas (tropicario) por tratarse de un sistema abierto, de dinámica cíclica. De esta manera se puede evaluar el potencial de la geometría proyectiva como eje de desarrollo de un mecanismo arquitectónico para optimización de condiciones regenerativas y la tecnología biomimética como herramienta de



**Figura 5.** Trayectorias de la envolvente dinámica regenerativa. Fuente: Autor, 2023.

<sup>2</sup> Especificaciones: Extensible creando patios customizados y columnas interiores abiertas para ventilación e iluminación, reciclaje de agua de lluvia y energías renovables, un invernadero programable para huerta urbana y las funcionalidades de una ciudad sostenible, con áreas internas cerradas y prolongaciones aplicando técnicas de sombreado proyectado y envolvente arquitectónica semiabiertas para creación del paisajismo y espacios exteriores ampliados que crean un entorno periférico de conectividad de forma segura para mascotas y equilibrada con el exterior, incorporando elementos verticales de comunicación de espacios como jardines internos, columnas de luz, claroboyas, cortinas y toldos naturales (enredaderas), así como árboles de conexión entre niveles.

modelado basada en el estudio de monumentos cíclicos, tal como los pórticos o puentes de hielo en formaciones regenerativa de glaciares (Sandoval-Ruiz, 2021c).

El estudio permite proponer la superposición de elementos moduladores de onda con geometría proyectiva sobre un punto central del espacio<sup>5</sup>, pueden crear las condiciones óptimas para la preservación o regeneración de un ecosistema y la mitigación de efectos negativos en el entorno. Todo esto orientado a una plataforma sostenible para diseño portable. Así mismo, la simplificación de las formas y creación de microambientes conectados con el entorno, una arquitectura en la cual las partes están referenciadas al todo, en este caso al entorno natural cuenta con continuidad en una planimetría flexible e integridad en el uso de materiales naturales, estableciendo el concepto de espacio fluido y dinámico (Rosado, 2020:123).

En consideración de estos criterios se plantean principios para el diseño de arquitectura sostenible, considerando desde la aislación térmica, orientación dinámica de máxima eficiencia, recirculación de flujo eólico, cascadas de luz, guías de onda, polarización de luz incidente y redireccionamiento solar, a través de estructuras tensadas y cometas (Sandoval-Ruiz, 2023) para la proyección de la envolvente.

Formulación de la Teoría de Envolvente Regenerativa

La envolvente arquitectónica compuesta de cometas satelitales, cumple una función de protección, inspirada en las capas de la atmósfera que protege del viento

solar, y una función regenerativa de efecto espejo que se logra mediante la columna central, que se comporta como un sumidero de energía rotacional respecto al eje vertical, con lo que se compensan las fuerzas del micro-sistema por interacción de flujo regenerativo<sup>6</sup>, de manera dinámica, replicando las condiciones naturales de formación de las estructuras (glaciares, estalactitas).

Prolongación Proyectiva de Elementos Arquitectónicos. Los módulos del proyecto regenerativo convencional vienen dados por parques forestales y plazas, restaurando espacios naturales. Adicionalmente, se ha considerado el diseño en términos de ciclos relacionados con los estados de la materia; aplicando técnicas de ionización de plasma, cristalización regenerativa (glaciación en arquitectura del hielo, cascada de reciclaje de agua), vaporización; regeneración por ingeniería de tejidos sobre andamiaje con técnicas de sedimentación) para lograr una integración adaptada al entorno (Figura 6).

La proyección geométrica de los cometas satelitales sobre la estructura objetivo comprende un lente solar superior, lente eólico foco frontal y proyector eólico reflejado, en simetría geométrica. La formulación y graduación dinámica de cada uno de estos lentes se calcula a partir de los datos de flujo incidente y la proyección geométrica del lente sobre el elemento objetivo.

Mecanismos regenerativos de la envolvente geométrica imaginaria

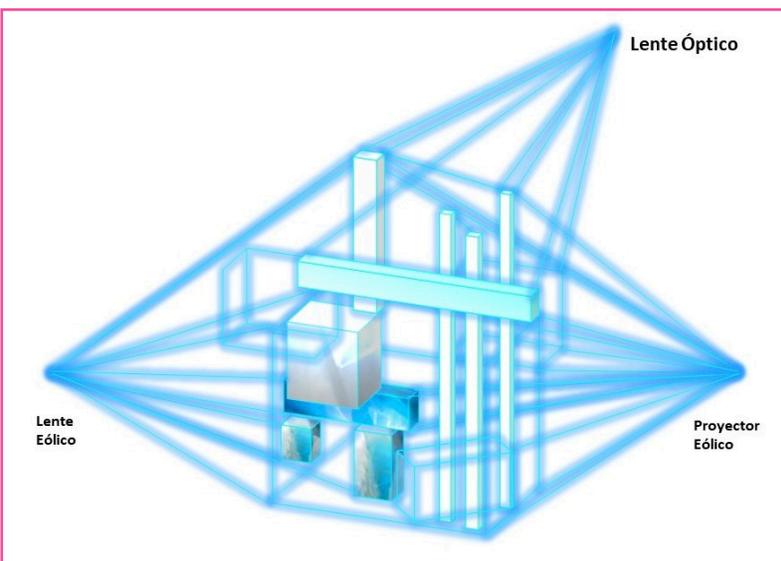
Prolongación de ondas. La envolvente arquitectónica no es una capa estática, sino una capa dinámica

<sup>3</sup> La envolvente externa tiene una función de parasol, rompeviento y rompeolas (según su aplicación), es decir de protección estructural, presenta una conformación perimetral esférica de radio  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , que se corresponde con la longitud de la cuerda de la cometa satelital o distancia desde la cometa hasta el centro de la envolvente.

<sup>4</sup> La envolvente interna del toroide permite incluir un sumidero de recirculación, definiendo una órbita de recirculación en el plano, que mantiene la proporción  $a = \varphi b$  donde  $r^2 = a^2 + b^2 = (1 + \varphi^2)a^2$ .

<sup>5</sup> La envolvente en sus dimensiones de espacio, eje de compensación (sumidero central de recirculación y espejo de fuerzas) y dinámica cíclica está conformada por la acción de elementos enlazados mediante un holograma fractal para la integración fluida de proyección solar, eólica y undimotriz, en base a los fenómenos ondulatorios de la energía incidente, que se ve amplificada en un sistema resonante confinado por la envolvente arquitectónica.

<sup>6</sup> Flujo regenerativo, viene a ser un componente fundamental de la teoría arquitectónica de modelado estructural, aplicando estudio de potencial energético como recurso regenerativo, principios matemáticos descriptivos y geometría proyectiva. Vale mencionar que a diferencia de una envolvente acristalada geodésica que se comporta de forma estática, la envolvente toroidal se comporta de forma dinámica como un tejido imaginario de ondas de energía reflejada sobre orbitales de trayectoria, propiciando la regeneración cíclica.



**Figura 6.** Geometría Proyectiva de la Envolvente Regenerativa.  
Fuente: Autor, 2023.

bioinspirada que permite reflejar ciertas componentes y compensar su efecto dinámico sobre el entorno externo e interno de manera inteligente, se consideró una columna de vacío central por las dimensiones de la envolvente. Así logra apantallar y optimizar la energía útil para su aprovechamiento en la regeneración dinámica, levitación por aire comprimido como solución antisísmica y una extrapolación del concepto de envolventes acristaladas geodésicas con heliostatos para desalinización de agua de mar, definida sobre una envolvente imaginaria, en un sistema dinámico complejo conformado por un arreglo de cometas de condensación y aplicación del efecto Tyndall<sup>7</sup>.

#### Otros mecanismos de remediación urbana

La envolvente regenerativa requiere de estaciones modulares acorde a la tecnología urbótica (Sandoval-Ruiz, 2017) para monitoreo de condiciones, climatización, almace-

namiento de energía, dispensadores inteligentes de agua y alimento para fauna urbana, ingeniería de tejidos aplicados a la arquitectura, cubiertas vegetales, restauración de calidad del aire, ciclo de agua (atrapanieblas, glaciación), terrarios con flora nativa ideada para los polinizadores, espacios protegidos para hábitat de aves, perros y gatos y reciclaje inteligente, en el marco de un método de revalorización y teoría de envolvente regenerativa toroidal.

A fin de mantener la coherencia con el concepto arquitectónico el diseño de los proyectores de envolvente se plantea utilizando materiales regenerativos, estructura geométrica del grafeno, ultraligeros, aislamiento térmico de la envolvente arquitectónica y capacidad de purificación de aire, materiales metálicos autorreparables (Barr et al., 2023), así como grafeno (Eyzaguirre, 2023) y materiales reciclados.

En tanto que los anillos de trayectoria deben contemplar constantes matemáticas en geometría natural y proyecciones arquitectónicas:  $\phi$ -Phi el número áureo en la relación de armonía del diseño,  $\pi$  y el círculo, curvas cíclicas de trayectoria de orbitas arquitectónicas, e número Euler base de logaritmos naturales, para relación de efectos en función inversa a la distancia. El interés por las proporciones y matemáticas, en la progresión de la espiral, realizando un recorrido por una serie de elaboraciones matemáticas y de trazados geométricos en relación con la espiral, las seriaciones y la proporción aplicada a la arquitectura, en la espiral como un vórtice imaginario en arquitectura (Cano et al., 2017).

Los espacios proyectados representan lo inmaterial conectado por un concepto arquitectónico. Es una forma de revalorizar el vacío para dotar a la obra de mayor alcance, mediante modelos descriptivos formulados en proporciones arquitectónicas. La formulación se basa en descriptores geométricos, proyecciones de luz y ecuaciones de curvas cíclicas y composición funcional reconfigurable en lenguaje descriptor de hardware VHDL (Sandoval-Ruiz, 2018), para el manejo de los espacios<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Efecto Tyndall de la luz. Un plasma ionizado o gas con partículas coloides en suspensión para crear cascadas de luz visibles como parte de la obra arquitectónica, a través del manejo de los fenómenos de reflexión y difracción de la luz en los medios como separadores de espacios y ventanales de geometría proyectiva configurable sobre modelos para el control de las condiciones ambientales en el espacio interno de la envolvente.

<sup>8</sup> A través de niveles, pantallas aero elásticas, características del piso como espejos de agua, columnas de luz natural, láminas funcionales, estructuras tensadas y tejidos, que se proyectan desde el interior a los ambientes exteriores en cualquier dirección, logrando interconectar el diseño y extender la obra, no se delimita, sino que se amplía en sus perspectivas, a través de terrazas al aire libre, flujo de agua y composición fractal, galerías abiertas que permita el ingreso del viento, de aves y luz en las áreas comunes, conceptualizando una arquitectura orgánica, simbiótica y de continuidades entre el diseño y el entorno.

El diseño se ajusta a principios para restablecer el equilibrio dinámico proyectando el patrón de difracción eólico y patrón de polarización de luz solar, a lo que se puede sumar la extrapolación de tecnologías BIM, caracterización de sistemas resonantes, integración de energías renovables, biomimética aplicada a la optimización de recursos, simplificación en diseño modular y origami fractal, aplicando el principio regenerativo a elementos, materiales, flujos de energía, espacios y recursos renovables que interactúan con la obra, tal como ocurre en la naturaleza. Se presenta como una arquitectura fluida de ideas con la mínima intervención y compensación de impacto, donde se busca reestablecer condiciones óptimas, para que se generen las formaciones a partir de su código, según los ciclos estacionarios del proyecto.

*La arquitectura regenerativa debe ser sostenible y respetuosa con el medio ambiente, si bien los materiales locales deben ser protagonistas, la no materialidad en el diseño de la arquitectura regenerativa toma un rol fundamental, porque equivale a menos residuos y menor costo ambiental. Logrado a través de ondas de energía, donde los elementos arquitectónicos proyectivos estén compuestos de ondas de luz y flujo eólico, la dinámica de las estructuras tensadas y fachadas cinéticas estén proyectadas por el flujo de viento. Finalmente, no menos importante es considerar la regeneración conceptual de la arquitectura urbana, recuperación de espacios residuales (Beigel, 1996:32) como escaleras improvisadas que pueden ser rediseñadas en cascadas infinitas, restauración de áreas verdes, creación de parques naturales, galerías abiertas, biorremediación de lagos mediante algas, toldos y murales revestidos de vegetación nativa en conexión con la identidad del paisaje, dentro del concepto de regeneración integral.*

### 3. CONCLUSIONES

Gracias al enfoque de un arreglo de elementos geométricos proyectivos que actúan sobre las ondas de energía, como mecanismo regenerativo, para crear las condiciones simbióticas en el espacio de una envolvente dinámica, se obtiene una teoría regenerativa desde la perspectiva arquitectónica, pensado en la capacidad de reubicación de los elementos de forma planificada, ante factores climáticos, como solución ambiental.

De esta manera el diseño arquitectónico debe ser flexible para reorientar su desarrollo de manera segura y armoniosa con su entorno y habitantes, a través de elementos moduladores de energía que se proyectan sobre un espacio y se superponen de forma colaborativa en una composición de ondas, para la mitigación de efectos y crear las condiciones regenerativas naturales para los ecosistemas.

Incorpora una dinámica a través de la movilidad de los elementos que definen una envolvente inmaterial y fluida, donde se revaloriza el vacío y las ondas incidentes, así como los materiales ultraligeros y sostenibles, con diseños replegables y eficientes.

Otro aspecto fundamental, es el diseño modular de los elementos arquitectónicos lo que representa un método de simplificación de la composición arquitectónica, a fin de controlar el número de componentes y minimizar los factores de falla.

Se postuló una envolvente arquitectónica resultante de la trayectoria (en línea de tiempo) de los elementos proyectivos, de esta forma el peso de la actualización dinámica, autoorganización y restauraciones está sobre el modelo matemático del flujo de energía y onda, lo que permite una mantención remota, no invasiva y con el mínimo de elementos residuales, frente a su contraparte en la reconstrucción de infraestructura, priorizando la seguridad ambiental, calidad de vida de humanos, mascotas, fauna silvestre, flora y micro sistemas, todo esto en una disposición en proporciones estéticas del paisajismo en pro de la salud integral de los habitantes y su entorno.

### REFERENCIAS

- Álvarez-García, P., & Domínguez, M. (2023). Origami. Estructuras desplegadas. *Técnica Industrial*, 334, 50-57. <https://doi.org/10.23800/10535>
- Barr, C. M., Duong, T., Bufford, D. C., Milne, Z., Molkeri, A., Heckman, N. M., ... & Boyce, B. L. (2023). Autonomous healing of fatigue cracks via cold welding. *Nature*, 1-5. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06223-0>
- Barral Muñoz, Á., Iglesias Pascual, R., García Carmona, R., & Prados Velasco, M. J. (2019). Planificación, participación e innovación social en los paisajes

- de las energías renovables.
- Beigel, F. en Ph. Christou: "La construcción de la exterioridad" a+t, 8, 1996, pág.32,
- Bravo, V. (2020). Atrapanieblas: recolección sostenible de agua para zonas rurales (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Cano-Lasso, D., Escribano, C., Garro, J. C., Rojo, J., Tarrés, J., & Victoria, S. (2017). La espiral como vórtice imaginario de la arquitectura. *Constelaciones. Revista de Arquitectura de la Universidad CEU San Pablo*, (5), 223-237. <https://doi.org/10.31921/constelaciones.n5a14>
- Caravaca Muñoz, J. (2019). Estudio paramétrico de la respuesta mecánica de estructuras basadas en origami (Bachelor's thesis).
- Culcas Cueva, D. R. (2020). Estructuras desplegables aplicadas al diseño de arquitectura efímera.
- Domínguez, C., Echeverría, P., Villacís, M., Violette, S. (2019), Evaluación de la cosecha de neblina como una fuente potencial para el aprovechamiento de agua. *Aplicaciones e innovación de la ingeniería en ciencia y tecnología*, 97-142. <https://doi.org/10.7476/9789978104910.0005>.
- Du, H., Huang, P., & Jones, P. (2019). Modular facade retrofit with renewable energy technologies: The definition and current status in Europe. *Energy and Buildings*, 205, 109543. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109543>
- Ege, M. (2014). Parque atrapanieblas. *Arkinka – Revista de Arquitectura, Diseño y Construcción*, año 18, 220.
- Fenci, G. E., & Currie, N. G. (2017). Deployable structures classification: A review. *International Journal of Space Structures*, 32(2), 112-130. DOI: 10.1177/0266351117711290
- González-Quintal, F., & Martín-Pastor, A. (2023). Superficies rectificantes. Concepto, realidad geométrica y distorsión constructiva. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 28(47), 228-239. DOI: <https://doi.org/10.4995/ega.2023.16997>
- Li, Y., & Krishnan, S. (2023). Geometric design and optimization of scissor-type deployable structures. *Journal of Building Engineering*, 65, 105724. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105724>
- LIU, D., PELLIS, D., CHIANG, Y. C., RIST, F., WALLNER, J., & POTTMANN, H. (2023). Deployable strip structures. *ACM Trans. Graph*, 42(4), 1-16. <http://www.geometrie.tugraz.at/wallner/deployable.pdf>
- Patel, J., & Ananthasuresh, G. K. (2007). A kinematic theory for radially foldable planar linkages. *International journal of solids and structures*, 44(18-19), 6279-6298. <https://doi.org/10.1016/j.ijsols-tr.2007.02.023>
- Rivera Álvarez, C. (2020). Atrapanieblas como infraestructura configuradora de barrios: un modelo de vivienda sociotécnico para Alto Hospicio.
- Moreno, C. (2019). El patrón fractal para la conformación de los principios estéticos de la arquitectura paisajista, aplicados a un centro recreacional turístico en los Frailones, Cumbemayo-Cajamarca, 2019.
- Moro, F. G. (2023). El Antropoceno y el ocaso del sueño paramétrico. *Revista de Arquitectura*, 28(44), 118-133. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2023.70012>
- Reyes Iglesias, M. (2021). Una herramienta de apoyo a la docencia de las Matemáticas en los Estudios de Arquitectura. *IX Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*, 132-141.
- Rosado, M. (2020). Proceso del espacio semiótico visual de la casa de la cascada. *REC Perspectiva*, (10), 121-135. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/23231>
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). Kirigami, estructuras geométricas fractales y ondas de luz. *Perspectiva*, 1(21), 44-58. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/40438>
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). YPR-ángulos de alineación para arreglo de cometas de captación de energía eólica:  $\alpha, \beta, \gamma$ -coeficientes de control y mantenimiento de patrones de flujo regenerativos. *Revista Científica UCSA*, 10(3), 3-15. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2023.010.03.003>
- Sandoval-Ruiz, C. (2022). Quantum architecture: osciladores acoplados, dinámica y ERNC. *REC Perspectiva*, 1(19), 86-99. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/38184>
- Sandoval Ruiz, C. (2021a). Arquitectura fractal reconfigurable - AFR basada en tecnologías sostenibles. *REC Perspectiva*, 2(16), 54-71. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/35486>

- Sandoval-Ruiz, C. (2021b). Fractal mathematical over extended finite fields  $F_p[x]/(f(x))$ . *Proyecciones (Antofagasta)*, 40(3), 731-742. <http://dx.doi.org/10.22199/issn.0717-6279-4322>
- Sandoval-Ruiz, C. (2021c). Sistemas inteligentes para la protección de ecosistemas, flora y fauna. *Universidad, ciencia y tecnología*, 25(110), 138-154. <https://doi.org/10.47460/uct.v25i110.486>
- Sandoval-Ruiz, C. (2021d). LFSR Optimization Model based on the Adaptive Coefficients method for ERNC Reconfigurable Systems. *Revista Chilena de Ingeniería: Ingeniare*, 29(4), 743-766. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000400743>
- Sandoval-Ruiz, C. (2020). Proyecto Cometa Solar-CS para optimización de sistemas fotovoltaicos. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(100), 74-87. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/307>
- Sandoval-Ruiz, C. (2018). Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City. *REC Perspectiva*, 7(12), 1-19.
- Sandoval-Ruiz, C. (2017). Diseño Arquitectónico Inteligente Aplicando Conceptos de Urbótica y Sostenibilidad. *REC Perspectiva*, (11), 18-29.
- Sandoval-Ruiz, C. (2015). Sistema Eco-Adaptativo integrado en elementos arquitectónicos con tecnología sostenible. *REC Perspectiva*, 8(4), 96-109.
- Valero Ramos, E. (2004). *La materia intangible. Reflexiones sobre la luz en el proyecto de arquitectura*. Valencia: Ediciones Generales de la Construcción.
- Van Roosmalen, M., Herrmann, A., & Kumar, A. (2021). A review of prefabricated self-sufficient facades with integrated decentralised HVAC and renewable energy generation and storage. *Energy and Buildings*, 248, 111107. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111107>
- Vásquez, M. R. G., & Molina-Prieto, L. F. (2018). Envolvente arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad. *Arquiteturax Visión FUA*, 1(1), 49-61. <https://doi.org/10.29097/26191709.201>
- Vassiliades, C., Agathokleous, R., Barone, G., Forzano, C., Giuzio, G. F., Palombo, A., ... & Kalogirou, S. (2022). Building integration of active solar energy systems: A review of geometrical and architectural characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112482. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112482>
- Villacorta, A. (2019). Centro de interpretación ambiental para la restauración ecológica de los humedales de Ventanilla.
- Yrivarren, J. Ingenio e innovación. Los atrapanieblas como objetos-fluidos. *Revista de Sociología*, (25), 129-145. <https://doi.org/10.15381/rsoc.v0i25.19014>
- Yu-Ki Lee y otros (2023). La estructura Zygote permite una estructura desplegable pluripotente que transforma la forma, *PNAS Nexus*, 2(3). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad022>
- Zupan Arispe, E. (2020). Manual de diseño de envolventes de edificios de gran altura: una arquitectura regenerativa en Lima. Máster en diseño y gestión ambiental de edificios.

