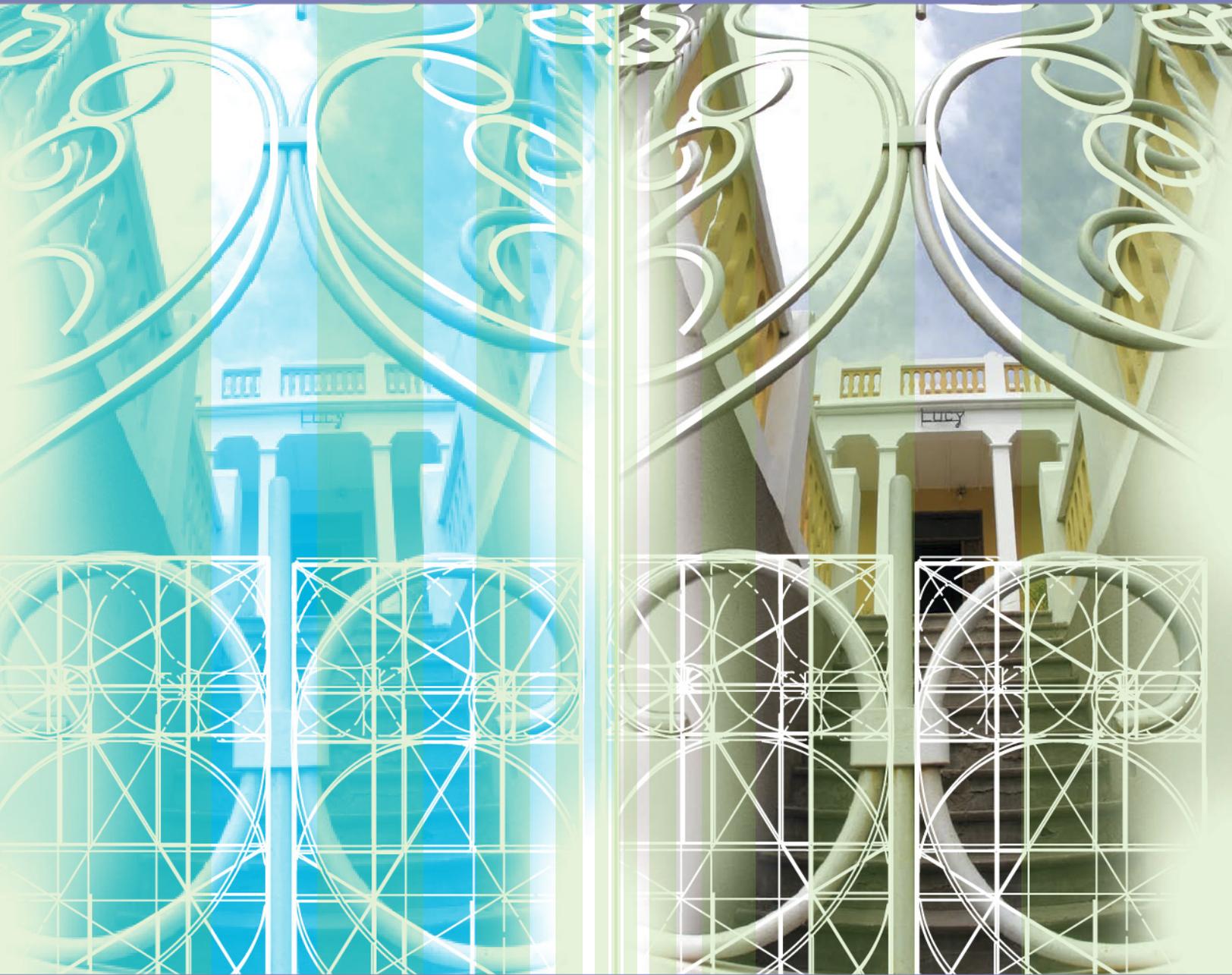




# PERSPECTIVA

REVISTA ELECTRÓNICA CIENTÍFICA  
División de Estudios para Graduados Facultad de Arquitectura y Diseño

**ARQUITECTURA: SU VIGENCIA. PATRIMONIO EDIFICADO.  
ARTE. TECNOLOGIA E INFORMÁTICA**





**CECILIA E SANDOVAL-RUIZ**

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: 22/05/2024 - Aprobación: 13/06/2024**

# FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL ANÁLISIS DE TEJIDOS ESTRUCTURALES Y SU APLICACIÓN EN ARQUITECTURA BIOMIMÉTICA

## RESUMEN

La interpretación de las obras arquitectónicas consta del estudio de la alineación de los elementos constitutivos, donde la obra no se manifiesta como un objeto, sino como un tejido dinámico enmarcado en una composición del entorno, a fin de restaurar la calidad de vida, los ciclos naturales y lograr un equilibrio más sustentable, aplicando envolventes biomiméticas. El objetivo de la investigación es analizar los recursos desde conceptos innovadores en el campo de la arquitectura como metamateriales, tensegridad, propiedades auxéticas de la matriz elastomérica, que son entrelazados topológicamente con elementos naturales, para la mínima intervención de los espacios. El método propuesto comprende el análisis matemático de patrones tejidos, sobre un modelo arquitectónico de descriptores en lenguaje VHDL. Se obtiene como resultados un conjunto de postulados que dibujan alternativas para la arquitectura sostenible y nuevos modelos de diseño, minimizando el uso de materiales convencionales y el impacto ambiental de estos. Lo que permite concluir que las nuevas tecnologías, soportan el desarrollo de un paradigma de arquitectura abstracta, que priorice la biosfera relacionada con el espacio y su integración armónica.

**Palabras clave:** Arquitectura regenerativa, tejidos reconfigurable, superficies de orientación bioclimática, VHDL, estructuras proyectivas fractal, patrones geométricos.

## MATHEMATICAL FORMULATION OF STRUCTURAL TISSUE ANALYSIS AND ITS APPLICATION IN BIOMIMETIC ARCHITECTURE

### ABSTRACT

The interpretation of architectural works consists of

the study of the alignment of the constituent elements, where the work is not manifested as an object, but as a dynamic fabric framed in a composition of the environment, in order to restore the quality of life, natural cycles and achieve a more sustainable balance, applying biomimetic envelopes. The purpose of the research is to analyze the resources from innovative concepts in the field of architecture such as metamaterials, tensegrity, auxetic properties of the elastomeric matrix which are topologically intertwined with natural elements, for minimal intervention in spaces. The proposed method comprises the mathematical analysis of woven patterns on an architectural model of descriptors in VHDL language. Results are obtained as a set of postulates that outline alternatives for sustainable architecture and new design models, minimizing the use of conventional materials and their environmental impact. This allows us to conclude that new technologies support the development of an abstract architectural paradigm that prioritizes the biosphere related to space and its harmonic integration.

**Keywords:** regenerative architecture, reconfigurable fabrics, bioclimatic orientation surfaces, VHDL, fractal projective structures, geometric patterns

## FORMULAZIONE MATEMATICA DELL'ANALISI STRUTTURALE DEI TESSUTI E LA SUA APPLICAZIONE ALL'ARCHITETTURA BIOMIMETICA

### RIASSUNTO

L'interpretazione delle opere architettoniche consiste nello studio dell'allineamento degli elementi costitutivi, dove l'opera non si manifesta come un oggetto, ma come un tessuto dinamico inquadrato in una composizione dell'ambiente, al fine di ripristinare la qualità della vita, i cicli naturali e raggiungere un equilibrio più sostenibile,

applicando involucri biomimetici. L'obiettivo della ricerca è analizzare le risorse provenienti da concetti innovativi nel campo dell'architettura come i metamateriali, la tensegrità, le proprietà auxetiche della matrice elastomerica, che si intrecciano topologicamente con elementi naturali, per il minimo intervento degli spazi. Il metodo proposto comprende l'analisi matematica dei modelli intrecciati, su un modello architettonico di descrittori in linguaggio VHDL. I risultati sono ottenuti come un insieme di postulati che disegnano alternative per un'architettura sostenibile e nuovi modelli di progettazione, riducendo al minimo l'uso di materiali convenzionali e il loro impatto ambientale. Questo ci permette di concludere che le nuove tecnologie supportano lo sviluppo di un paradigma architettonico astratto che dà priorità alla biosfera in relazione allo spazio e alla sua integrazione armoniosa.

**Parole chiave:** architettura rigenerativa, tessuti riconfigurabili, superfici bioclimatiche orientate, VHDL, strutture proiettive frattali, modelli geometrici.

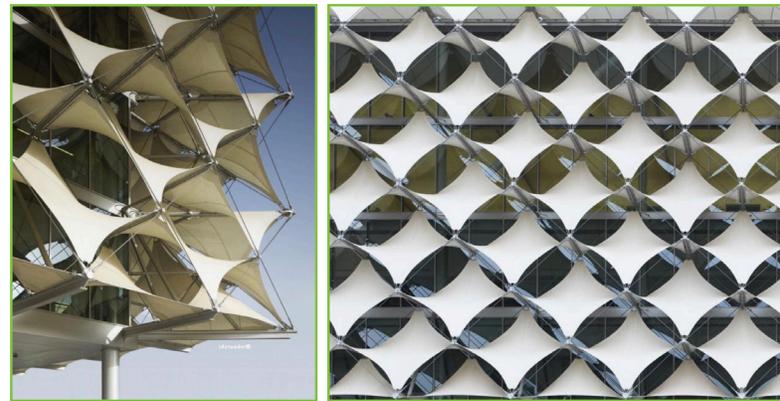
## INTRODUCCIÓN

La arquitectura e ingeniería de tejidos se pueden integrar y aplicar modelos matemáticos para la síntesis de tejidos estructurales con patrones autosimilares. Las ecuaciones se desarrollan a partir del estudio de tejidos artesanales para el modelado de estos, como una progresión geométrica de producto entre los puntos de diseño, en otras palabras, la investigación en nuevas tecnologías arquitectónicas requiere entender una obra, para definir un algoritmo de regeneración de la misma, con base en la definición matemática de los patrones constitutivos, a fin de lograr la replicación de estas configuraciones elementales y la restauración dinámica del tejido integral a través de su código.

La envolvente arquitectónica "inmaterial" se ha convertido en un objeto de estudio (Sandoval-Ruiz, 2023), donde ondas electromagnéticas como la luz, al reflejarse sobre los materiales que delimitan los espacios funcionales se ve caracterizada por el concepto emitido en las directrices del diseño. Además, la envolvente arquitectónica se convierte en una herramienta de regeneración urbana (Arias, 2023), a través del diseño de ambientes y superficies integradoras, presentes en formas de interpretación como espejos astronómicos de agua, optimización de la distribución espacial, seguimiento solar inteli-

gente en captación de energía fotovoltaica y trayectoria de órbitas sobre curvas cíclicas para proyección programada de energía, en un amplio campo de aplicaciones tecnológicas.

"La Biblioteca Nacional King Fahad en Riyadh (AS) integra una nueva estructura alrededor del edificio existente, simbolizando protección y continuidad", la cual es aplicable en la restauración de edificios, mediante capas envolventes funcionales. "El diseño cuenta con una fachada textil inspirada en patrones tradicionales árabes, que proporciona sombra solar y difusión de luz. Este icono arquitectónico moderno es parte de una remodelación urbana más grande, creando un hito cultural y urbano en el distrito de Olaya de Riad. Hace hincapié en la sostenibilidad, la ventilación natural y la eficiencia energética, convirtiéndola en un modelo de práctica arquitectónica moderna en la región", como envolventes optimizadoras (Palma, 2023). En la figura 1 presenta la envolvente de tejido geométrico 3D con estructura tensegridad.



**Figura 1.** Envolvente arquitectónica de Revestimiento geométrico. **Fuente:** Palma, 2023

La envolvente del edificio Ex Ducati (Rimini, Italia) tiene una notable es la fachada de "piel verde" hecha de una rejilla de acero inoxidable que soporta plantas escaladoras (ver Figura 2), mejora la ventilación natural y proporciona un rincón urbano visualmente atractivo. El diseño integra materiales sostenibles y hace hincapié en la flexibilidad para su uso futuro.

"La envolvente es la primera línea de defensa de un edificio contra las condiciones climáticas del entorno en el que se encuentra. Por dicha razón, es una de las partes más vulnerables, jugando un papel sumamente



**Figura 2.** *Envolvente arquitectónica de exoesqueleto para jardines verticales. Fuente: MBS Architecture, 2024*

importante en relación con el consumo energético”. En (Palma M., 2023) se detallan las técnicas de envolventes de arquitectura bioclimática. “La envolvente es una segunda capa que rodea la fachada del edificio a lo largo de las orientaciones donde el sol tiene más incidencia. El diseño de la envolvente es un conjunto de patrones de sombreado (desarrollando un elemento arquitectónico en forma celosías) inspiradas en las mashrabiya”. Este conjunto de módulos de triángulos diseñados paramétricamente permite la apertura y cierre selectivo, dotando a la obra de dinamismo (Figura 3).



**Figura 3.** *Envolvente arquitectónica dinámica. Fuente: Palma M., 2023*

De esta manera, se parte de la investigación de proyectos icónicos en los que se aplican técnicas de tejidos estructurales como definición del diseño arquitectónico, donde se ha detectado la importancia de un descriptor parametrizable, a fin de simplificar la replicabilidad de los diseños. Se ha planteado el objetivo de la investigación definir un modelo matemático para síntesis de una superficie envolvente, el método comprende el estudio de casos donde se ha realizado un proceso de análisis que deriva en fórmulas matemáticas, las cuales pueden ser aplicadas para el diseño biomimético en la arquitectura. Desde el enfoque práctico se han realizado ensayos de

difracción de luz sobre la topología de tejidos radiales y lineales, la matematización de los patrones y ajuste de coeficientes se ha desarrollado la sintaxis en VHDL para el codificador que permite definir la configuración de los tejidos estudiados, así como la modulación de los componentes armónicos de las ondas incidentes.

Por todo lo anterior, se plantea la teoría de arquitectura de restauración mediante envolventes bioclimáticas dinámicas, como un proyecto basado en un sistema de principios de ideas de sostenibilidad y empatía, por parte de la obra arquitectónica con los espacios. De esta manera el proyecto arquitectónico es una función (matemática) que permite desarrollar una obra, donde el argumento del discurso viene dado por los recursos del espacio. Un tratamiento en capas constructivas, que busca recrear la ingeniería de tejidos.

Al seleccionar un hilo conductor de la obra arquitectónica se trataría de un contexto envolvente, como pueden ser pasarelas verdes de dinámica ondulatoria, superficies regladas desarrollables mediante tramas de luz y geometría proyectiva, para dotar a la obra de un argumento integrador reconocible, que comunique una idea conceptual del desarrollo. Lo mismo que un material común como puede ser tejidos de bambú, elementos hidrodinámicos (fuentes y cascadas) y otros recursos locales, que permitan colocar en valor la identidad de la zona. Una estructura de grafeno funcional con tejido arquitectónico, que permita revestir a la estructura funcional y patrimonial de resistencia, seguridad, climatización, iluminación pasiva, flexibilidad y baja densidad en los materiales.

Por otra parte, al hablar de patrimonios arquitectónicos, es imprescindible introducir el concepto de los centros de interpretación, para comunicar el valor artesanal e interpretar los principios físicos que soportan la obra, desde la reflexión y difracción de la luz, hasta la mecánica estructural, con intencionalidad pedagógica, que conecta intelectual y emocionalmente, estimulando su interés para comprometerlo con su conservación, por lo que se propone la geometría proyectiva sobre modelos matemáticos aplicados a la valorización de la arquitectura y los espacios. El diseño de emplazamientos adaptados a espacios dinámicos y patios ambientados en la línea de la ruta escénica. El primer criterio es el compromiso ambiental, la gestión de recursos y residuos de manera responsable:

\* **Estructuras auxéticas** son desarrolladas con programas informáticos (Acuna et. al., 2022) de geometría matemática física configurable (figuras geométricas de tres dimensiones con propiedades de configuración, se encuentra en un estado estable y se puede desplegar a otro estado estable como una forma expandida, basadas en células biestables optimizadas, tiene una propiedad que es el número de Poisson negativo, al ser sometido a una fuerza crea espacio adicional). Casas móviles con mecanismos de accionamiento neumático (aire comprimido), para desplegar sectores de ampliación, con mobiliario replegable, rotacionales y auto suspendidos (hamacas, columpios, elementos articulados de configuración dinámica).

\* **Patrones Cimáticos**, ciencia que estudia la representación gráfica del sonido, aplicable a la arquitectura.

\* **Elementos articulados** para expandir un bloque en espacios con diferentes alturas y cubrir un área mayor, para definir la configuración de la estructura arquitectónica con techos y pisos extensibles y retráctiles. Los elementos se expanden en altura para formar una zona desplegada, se proyectan y definen nuevos espacios. Aplicando nodos articulados y corredizos, para estructuras reentrantes desplegables y estructuras quirales (giratorio angular), donde una serie de acoplamientos son empaquetados o desempaquetados, en una composición radial dinámica de configuraciones estructurales, para optimizar la energía, superando los ángulos de sombra.

\* **Cometas de proyección** de luz solar y viento, para generación de energías renovables, iluminación y climatización pasiva. Se plantea un control de altura y trayectoria de las cometas cíclicas para desalinización de agua de mar: se posiciona las cometas eólicas a baja altura creando un lente óptico de concentración de radiación solar (evaporación de agua de mar), la cometa presenta una superficie con un radio de curvatura que forma una envolvente para la captación de vapor de agua, se desplaza la cometa hacia zonas de mayor altitud con lo que se disminuye la temperatura y se posiciona sobre reservorios planificados de agua, el vapor de agua captado se condensa y se dispone en el reservorio de almacenamiento, se convierte la energía poten-

cial por hidroeléctrica para suministro de agua y reconversión de energía.

\* **Mecanismos multiplexados** de alta velocidad de barrido, para la conformación de superficies dinámicas no materiales, a partir de mecánica de fluidos de diferente densidad, vórtices, desprendimiento de la capa límite y estelas fluidodinámicas para creación de espacios semiconfinados y plantas arquitectónicas elevadizas.

\* **Estudio de flotabilidad** del diseño arquitectónico, análisis de densidad de materiales y resistencia, en nuevas tecnologías. Así mismo se propone la aplicación de tecnología de Palafitos o boyas flotantes, con acoplamiento a sistemas de captación de energía undimotriz, mecanismo cilindros neumáticos articulados.

\* **Proyección de luz solar** para delimitación de espacios, tejidos de luz y arquitectura reconfigurable, mediante geometría proyectiva, biomimética en arquitectura, superficies desarrollables, luz como elemento modelador de espacios, paisajes sostenibles. Se propone empezar por interpretar la eficiencia de los mecanismos de la naturaleza como solución en el diseño (Estévez, 2022), una forma de comunicación que puede ser aplicada al diseño sostenible en las áreas de la arquitectura, donde surgen obras inspiradas en el entorno. 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).

\* **Optimización del consumo de recursos**, comprende sistema de vapor sobrecalentado por intercambiador de calor para minimizar el consumo de agua y sistema de aire comprimido.

Entonces al momento de definir las superficies envolventes pueden ser modeladas como superficies regladas desarrollables, sobre un modelo fractal. Un poco más abstracto, se proponen superficies fluidas, basadas en mecánica de fluidos, con manejo de densidad del medio, para crear vórtices o estelas delimitantes, en espacios semiconfinados. Se llega así a una arquitectura basada en ecuaciones matemáticas, sucesiones Fibonacci y pro-

gresiones geométricas, que describen la composición del diseño arquitectónico dinámico. Desde una aplicación móvil, se pueden establecer los parámetros de diseño y los objetivos de configuración, para establecer la obra arquitectónica por software.

Un punto de especial atención es la eficiencia energética en proyectos de arquitectura, donde un material resulta de interés, se trata del grafeno (monocapa de grafito) es un material que se caracteriza por su extraordinaria resistencia superior a la del acero y por ser más ligero que el aluminio. Estas y otras propiedades han hecho que sea una alternativa a otros materiales en la arquitectura (aislamiento térmico) y también en la ingeniería (paneles fotovoltaicos). Una de sus características es la porosidad considerada como filtros para remediación ambiental, siendo su aplicación en redes del tejido arquitectónico una alternativa factible para mejorar la calidad del medio, entre sus aplicaciones la captura de CO<sub>2</sub>.

## METODOLOGÍA

El método comprendió el seguimiento de un modelo arquitectónico móvil, a fin de identificar las necesidades y requerimientos en este nuevo esquema arquitectónico. Se puede resumir como un escaneo superficial del entorno para establecer un gemelo digital sobre el que se proyecta el diseño. Por otra parte, se define el patrón de tejido en base a un diseño compatible con las condiciones bioclimáticas y se programa un código de configuración de materiales. Se define un grupo de rotación espacial 3D para la configuración de las diversas topologías del diseño, entonces la aplicación de un operador sobre campos finitos de Galois (Sandoval-Ruiz, 2021) resulta el método de diseño para el modelado de superficies dinámicas óptimo. Así mismo, se estudian los métodos de optimización:

1. En el primer caso, de una estructura funcional se definen los revestimientos de la obra, iniciando por el piso, en el cual se establece un conjunto de técnicas: plataforma de levitación magnética con el objetivo de aislación de movimientos sísmicos, bases de soporte flotantes, con el objetivo de proveer el ajuste de altura respecto al nivel freático de las aguas, con acoplamiento a un eje vertical, con función de guía, matriz de transductores piezoeléctrico, este componente tiene como finalidad la

captación y recuperación de energía, originada a partir de movimientos vibratorios, así como del peso ejercido, en el tránsito de los usuarios de la obra. El siguiente punto corresponde al aislamiento térmico, sónico y electromagnético, esto a través de paneles de elementos piramidales, en el interior de la obra arquitectura. El tercer aspecto corresponde al concepto de polarización inteligente mediante lentes ópticas en elementos de iluminación interior, tales como ventanales y claraboyas, donde nuevamente se realiza un tratamiento de las ondas incidentes, con el propósito de obtener un sistema de climatización e iluminación pasiva, altamente eficiente. De esta forma se comunica la luz y componentes de ondas del espectro electromagnético, así como las ondas mecánicas, en pro de la sostenibilidad del proyecto arquitecto.

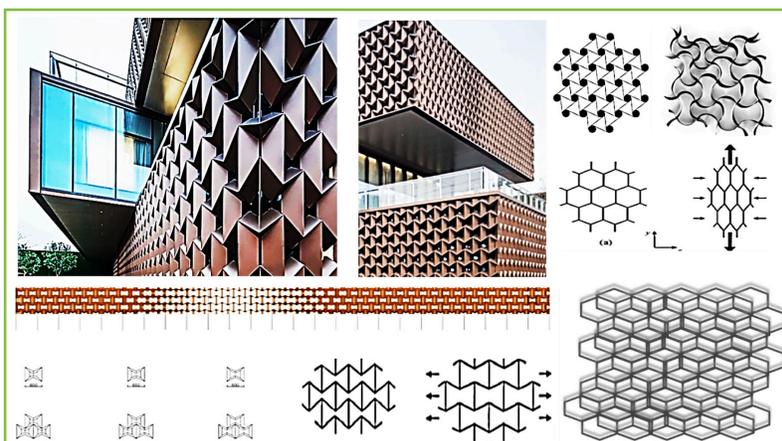
Una aplicación puede ser orientada a casas rodantes, ampliado los espacios mediante una superficie replegable, que permita extender el área de cobertura en proporción del 61,8%, despliega una envolvente diagonal que define el techo fotovoltaico expandido a 1,618xA1 m<sup>2</sup>, una cortina de tejido de soporte para cubierta vegetal que define las paredes semipermeables del área extendida, con atenuación de ruido, promoción de la biodiversidad, al atraer fauna local como aves, abejas y mariposas (Ecoinventos, 2024) y una escalera en forma de rampa diagonal, para acceso a la parte superior, que crea la envolvente expandida, cuya superficie puede ser definida por composición de ondas cristalizadas y estructuras de soporte, modeladas a través de series de armónicos, respecto a una frecuencia natural, como una "hélice cónica". Esta forma es adoptada por principio de optimización, minimizando la cantidad de material y maximizando la resistencia al impulso del viento. Así el trabajo de ingeniería, después del cálculo infinitesimal, demuestra que estas curvas bioinspiradas corresponden a los perfiles más conveniente por resistencia y flexibilidad, siendo relevante el estudio morfológico de patrones de la naturaleza para el diseño (Bravo, 2020).

2. El segundo caso de estudio corresponde a la restauración de una obra patrimonial. En este caso, se pueden aplicar técnicas LiDAR Scanner 3D, la tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging) utiliza la luz, en lugar del sonido o el radar, para medir la distancia. Esto se consigue proyectando un láser infrarrojo sobre los objetos alrededor del sensor y midiendo el tiempo de retorno de la luz reflejada al emisor, codificando las imágenes y convirtiéndolas en modelos 3D, para el levantamiento

planimétrico y detalles de compatibilidad dimensional, con la estructura base. En el mismo orden de ideas se puede realizar el estudio infrarrojo de la obra, para obtener un mapa de distribución de calor en función de los puntos de concentración de luz solar, permitiendo estimar la incidencia de la luz, aplicando técnicas de geometría proyectiva, para la creación de espacios estrechamente relacionados con las formas de diseño original. Esto permite crear una prolongación de la arquitectura, a través de la conceptualización del paisaje.

3. El tercer caso, tiene como objetivo principal, revalorizar el potencial del entorno, para la conceptualización arquitectónica. Es así como los diseños en el marco de la ciudad sostenible estarán provistos de jardines comunicacionales, entre las obras arquitectónicas y los espacios comunes. Los pueblos entre montañas tendrán como criterio la integración de vistas cordilleranas y cada concepto su asociación con el potencial natural circundante. Investigación documental de registros de lugares con potencial turístico y arquitectura aplicada en el paisajismo integrado de ciudades con criterios de sostenibilidad ambiental. Se seleccionaron algunos casos de estudio, en función de las características, potencialidades y estrategias de reconversión de espacios.

Fachada en hexágonos cóncavos, que proporcionan ventilación e iluminación en la estética del edificio. El diseño asegura una conexión orgánica con el entorno urbano (ver Figura 8).



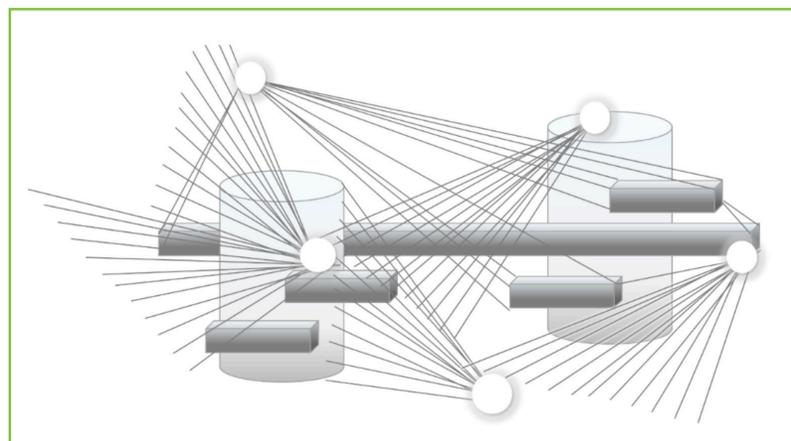
**Figura 4.** Envoltura arquitectónica elástomérica.  
**Fuente:** MBS Architecture, 2024

## RESULTADOS

La propuesta tiene entre sus propósitos la valoración del patrimonio arquitectónico intangible, conformado por obras inconclusas, proyectos de restauración y recuperación, adaptación eficiente de la arquitectura local a las condiciones climáticas, que permita reinterpretar las obras patrimoniales, estudiando sus líneas de diseño, reconociendo los patrones característicos y describiendo en detalle el modelo matemático, para la restauración de los planos y el mensaje intrínseco que comunica la obra, desde una perspectiva ampliada como se presenta en la Figura 5. Así mismo, la adaptación de tejidos como parasoles y bioclimatización pasiva, más aún elementos funcionales de soporte, en este caso dado por el arreglo de tensores, que actúan como captadores de energía (ondas acústicas, ondas sísmicas p, flujo eólico, espectro ECM), enriqueciendo el contexto de la obra.

El modelo acá propuesto se basa en definir los materiales con propiedades auxéticas (Álvarez, 2017), como micro celdas de registros desplazamiento con memoria estructural y realimentación lineal (Figura 6.a), por lo que la energía no se disipa, sino que se almacena en ciclos periódicos. Entre sus aplicaciones se considera en arquitectura, ingeniería para almacenamiento de energías renovables, etc. Se tiene que es un arreglo geométrico con propiedades bistables, es decir que presenta más de un estado de equilibrio.

Se ha planteado el estudio y reconocimiento de potencialidades, presupuesto de infraestructura, para diseñar técnicas de reciclaje de obras en un concepto



**Figura 5.** Tensegridad y Andamiaje permanente en restauraciones arquitectónicas. **Fuente:** Propia del Autor, 2024

integrado, donde en lugar de la remodelación convencional que tiene un costo asociado a materiales nuevos, ni residuos de materiales (escombros y residuos sólidos), se realice la reconstrucción proyectada. Aquellas obras que han sido deterioradas por el paso del tiempo pueden ser recuperadas mediante tejidos flexibles o lumínicos de prolongación de elementos arquitectónicos, tal como una



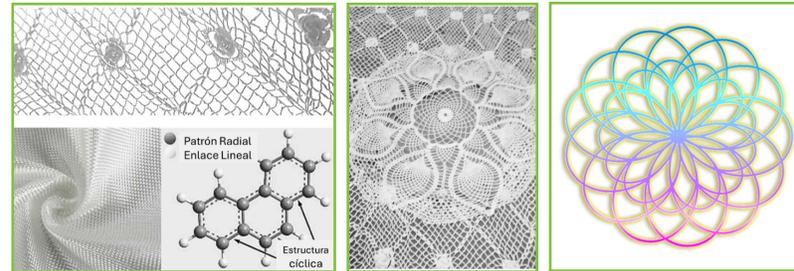
**Figura 6.a.** Generador de patrones del tejido auxético aplicable a arquitectura. **Fuente:** Propia del Autor, 2024.

estructura holográfica que permita una experiencia 3D de la obra original, sobre las bases de los elementos arquitectónicos originales. De esta manera, se presenta una obra arquitectónica evolucionada, con menor densidad, que pueden ser intervenidas en conceptos actualizados, sin desestimar su valor arqueológico. Así aparece un método de restauración software, que presenta una mínima intervención del hardware de la obra arquitectónica.

### Los tejidos como códigos de configuración

Las técnicas estructurales para la optimización de los materiales, recursos y espacios en un diseño, basado en una distribución geométrica de los puntos bifacial, dotando al tejido de propiedades elásticas para la conformación de una superficie flexible. Del mismo modo, se plantea la creación de redes de soporte para el desarrollo de celosías de revestimiento vegetal, con el fin de mimetizar la obra con la biodiversidad nativa (ver Figura 6.b). En el mismo orden de ideas se puede estudiar la configuración del tejido, la estructura de esta superficie de punto se puede ajustar según sea necesario para obtener diferentes características de rendimiento. El tejido de grafeno de punto tiene una excelente conductividad térmica, puede ser utilizado en sistemas de gestión térmica

ca y recuperación de calor, como una macro composición de materiales monocapa con propiedades específicas en arquitectura, tal es el caso del grafeno, a fin de dotar al tejido de la envolvente arquitectónica de aislamiento térmico, eficiencia energética, remediación ambiental, ligereza, flexibilidad y resistencia mecánica, dentro del campo de aplicaciones del proyecto.



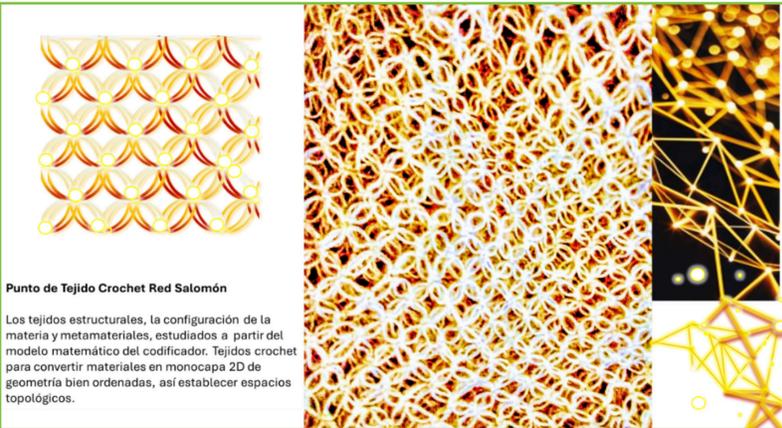
**Figura 6.b.** Estudio de Patrones lineales y radiales del tejido. **Fuente:** Propia del Autor, 2024.

Los tejidos estructurales, la configuración de la materia, síntesis de metamateriales, envolventes arquitectónicas y superficies desarrollables estudiados a partir de un modelador matemático de codificación topológica. Así se logra el modelo matemático del tejido estructural para convertir materiales en monocapa 2D de geometría bien ordenadas. Se observa la similitud entre la configuración de los metamateriales y tejidos para establecer la correlación entre los patrones de estructura y los enlaces (Wang et. al., 2023), definiendo el modelo matemático de la composición Cn.

Del mismo modo, se pueden establecer espacios topológicos, así se plantea una configuración de código de red salomón (ver Figura 7), que puede tener coeficientes adaptativos, de forma de ser programados sobre el desarrollo de la obra arquitectónica.

### Modelo matemático LFSR de patrones elementales en tejidos complejos

Una vez estudiados los patrones elementales de los tejidos seleccionados en el modelo, se encuentra que estos pueden ser definidos a través de un polinomio generador, con coeficientes binarios, que permiten describir la posición del punto estructural (codificación de la materia) o punto vacío, en la malla, aplicando el operador matemático de convolución LFSR. Este concepto puede



**Figura 7.** Patrones del tejido de 2D aplicable en la envolvente arquitectónica. **Fuente:** Propia del Autor, 2024

ser interpretado como una progresión aritmética en relación con la interacción del número de elementos, punto de la cadena en el patrón geométrico, así se puede establecer el código del tejido estructural de la superficie, sobre operadores de convolución (Sandoval-Ruiz, 2013), aplicados a los códigos de la directriz, donde el polinomio generador  $p(x)$  puede ser expresado de la forma:

$$p(x) = x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$$



Donde el exponente corresponde a la palabra en el  $i$ -ésimo nivel o capa y el coeficiente se relaciona con la magnitud topológica del tejido de superficie, correspondiente para el nivel seleccionado, manteniendo una relación en los coeficientes como la suma de los dos códigos precedentes.

Así se obtiene un código de generación de los patrones y su entrelazamiento en una matriz arquitectónica de composición compleja.

$$C(x) = x^{n-k} D(x) + R_{g(x)} [ D(x) x^{n-k} ] \quad ($$

La expresión matemática corresponde a ensamblar dos polinomios con desplazamiento, definido como:  $c = (D \ll (n-k)) + (D \ll (n-k)) \% g$ ; donde se desplaza el polinomio de datos de información  $n-k$  posiciones a

la izquierda, y los  $n-k$  símbolos menos significativos son completados con el residuo de la operación mod del polinomio  $G(x)$ . De manera tal que la expresión polinomial de la palabra de código queda definida como la suma de los polinomios mencionados.

$$C(x) = x^{n-k} D(x) + x^{n-k} D(x) \text{ mod } g(x) \quad ($$

Siendo la descripción en VHDL para la configuración del hardware de la red de tejido, con el código generador de patrones elementales dado por el algoritmo:

```
--Producto de la entrada retardada con h(k)
v0<= x_v(0) * h(0); -- ejemplo h(0)="01"
v1<= x_v(1) * h(1); -- ejemplo h(1)="10"
...
vn<= x_v(n) * h(n); -- ejemplo h(3)="01"
end if;
end if;
--Sumatoria de los productos parciales
yn<= v0 + v1 + ... + vn;
```

Finalmente, el desarrollo del modelo matemático puede ser extrapolado de elementos escalares a vectores, composiciones dimensionales de tensores y describir una composición espacial, como base del modelado arquitectónico, todo esto llevando el concepto de la obra al complejo arquitectónico.

### Urbanismo, Parques de Energías Renovables y RSE Responsabilidad Socio Ecológica

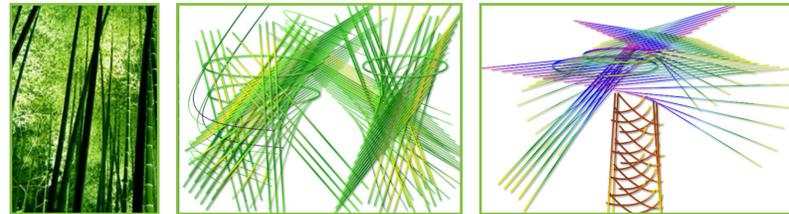
Definido el modelo biomimético en el que se trata de estandarizar las relaciones simétricas de la naturaleza, la formulación del tejido arquitectónico se describe en función de los parámetros del objeto de estudio particular. Este recurso matemático tiene especial interés en centros de interpretación para presentar modelos digitales de la obra, en parques solares y eólicos, desde vistas aéreas y miradores desarrollados para el análisis de las proyecciones de radiación solar y ráfagas de viento, como poten-

cial intangible del modelo arquitectónico, en el marco del turismo científico y urbanismo escénico para fomentar el interés en STEM. La luz y códigos como lenguaje, para la creación de arquitectura abstracta, logrando una gestión eficiente y responsable de los recursos. Lo material e inmaterial conjugado a través columna translúcida de agua para estudio de efectos ópticos de la luz sobre el diseño arquitectónico intangible, del vaporizado de fuentes de agua actuando como prisma sobre la que se refleja la luz solar orientada, para recrear estructuras espectrales, así como la aplicación de levitación acústica y magnética, con el objetivo de conformar espacios diseñados sobre fenómenos ópticos y principios de física.

La innovación tecnológica en conjunto con biomimética puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y la eficiencia energética, marcando el camino hacia un futuro arquitectónico más sustentable. En este sentido, el concepto arquitectónico con responsabilidad social debe ser extrapolable al diseño urbanístico, contar con los descriptores arquitectónicos simplifica la implementación de soluciones, con el compromiso de fomentar espacios inclusivos y áreas pet friendly, todos compatibles con mecanismos de asistencia a la movilidad: sillas ortopédicas, órtesis (para mitigar el impacto sobre el sistema articular y facilitar la movilidad ante condiciones de lesiones neurológicas-óseas), mediante el amortiguamiento asistido por muelles, dotando al mecanismo de un grado de libertad adicional, unidades terapéuticas de control, redes de salud, alimentación y cuidado de las mascotas, a través del concepto de animales de apoyo emocional, con dispensadores de alimentos y agua, sensores de ultrasonidos para detectar obstáculos, para la atención de la fauna urbana, así como dispositivos para sentidos asistidos, como visión artificial, detectores de movimiento y sistemas LiDAR para mapeo de posición de obstáculos, centralizados con collares de las mascotas e indicadores en vehículos, integrando el concepto en mecanismos viales de protección de la fauna silvestre, jardines de recuperación de calidad de aire, entre otros.

Inclusive las ecuaciones matemáticas y el estudio de ondas, permite diseñar el comportamiento acústico de la obra, tanto la atenuación de ruido como la modulación en frecuencia. Todo esto pensado en optimizar el hábitat y la calidad de vida de los animales, mediante tecnología de gemelos digitales, de forma segura y comprometida con el bienestar de las especies, como un reflejo de la cultura local. Así mismo la adaptación de los parques re-

creativos con pasarelas y rampas de acceso que faciliten la movilidad segura, ciclovías, sensores para monitoreo de patrones de comportamiento y migración para la protección de las especies, reservas naturales, promoción de rutas escénicas de concientización para el cuidado de la flora y fauna nativa, a través de diseño biomimético (ver Figura 8).



**Figura 8.** Guaduales para diseño Biomimético (plumaje colibrí) en arquitectura sostenible. **Fuente:** Propia del Autor, 2024

La biomimética puede ser aplicada en arquitectura desde la definición de tejidos inspirados en el plumaje de aves, el tramado de curvas logarítmicas en la estructura de las palmeras que optimiza los recursos, resistencia mecánica y flexibilidad de las columnas, las órbitas planetarias en la configuración de estructuras radiales como códigos cuánticos esféricos para diseño de patrones de difracción de luz adaptados a la dinámica de la trayectoria solar, geometría molecular, hasta la simetría impar de las flores y espigas de la vegetación local, así el concepto de estructuras inspiradas en campos de bambú y especies nativas para el desarrollo de las superficies rectificantes de la obra arquitectónica reviste de valor el concepto.

## CONCLUSIONES

Gracias al planteamiento de ingeniería de tejidos sobre planos de ordenamiento estructural, pensados en la capacidad de configuración de los elementos del complejo arquitectónico de forma planificada e inspirados en biomimética, se logra un aporte en la arquitectura regenerativa, ante factores de impacto ambiental y condiciones bioclimáticas. De esta manera, el diseño arquitectónico debe ser flexible para reorientar su desarrollo de manera segura, con los componentes armónicos de su entorno. Incorporando un enfoque de practicidad en movilidad de

los elementos, por lo que el primer factor diferenciador es una arquitectura configurable en lenguaje matemático, utilizando herramientas de tecnología como VHDL. Obteniendo así ecuaciones descriptivas para la formulación de la relación entre el espacio vacío y los elementos constitutivos de la red. Se obtiene un modelo de soporte para la aplicación de materiales ultraligeros, reciclables y sostenibles, con diseños eficientes, aplicando coeficientes elastoméricos definidos por software, a fin de establecer propiedades de comportamiento bioclimático para mejorar la respuesta ante las condiciones del entorno.

## REFERENCIAS

- Acuna, D., Gutiérrez, F., Silva, R., Palza, H., Nunez, A. S., & Düring, G. "A three step recipe for designing auxetic materials on demand". *Communications Physics* 5, nro.1 (2022): 113. <https://www.nature.com/articles/s42005-022-00876-5.epdf>
- Álvarez-Elipe, M. D. (2017). *Aplicaciones de las propiedades auxéticas en la arquitectura* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.48454>.
- Arias M., J. "La envolvente arquitectónica como herramienta conceptual de la regeneración urbana. El Espacio Joven Norte". *Revista de Arquitectura* 28, nro. 44 (2023): 178-193. doi: 10.5354/ 0719-5427.2023.69802
- Bravo-Sepúlveda, M. "Emociones desde la naturaleza: método de morfogénesis en diseño" (Tesis de Grado, Universidad de Chile, 2020).
- Ecoinventos. "Ecológico y más barato que el hormigón, empresa europea inventa el muro verde antirruido, una bendición para la biodiversidad". (2024). Consultado en: <https://ecoinventos.com/naturawall/>
- Estévez, A. T. "La naturaleza es la solución". *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*. Ensayos, nro. 105 (2022): 183-216.
- González-Quintal, F., & Martín-Pastor, A. ("Superficies rectificantes. Concepto, realidad geométrica y distorsión constructiva". *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica* 28, nro. 47 (2023): 228-239.
- Palma Mejía, M. "Optimización de la envolvente para mayor protección frente a la incidencia solar en la Torre Sevilla". (Tesis en Innovación en Arquitectura de la Universidad de Sevilla, 2023).
- Puigoriol Forcada, J., Andrés Martínez, J., Reyes Pozo, G., & Menacho Solà-Morales, J. "Desarrollo de una metodología basada en el método de los elementos finitos para la proyección de estructuras tenségradas". In *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia* (2012): 11-13.
- Sandoval-Ruiz, C. "Regeneración de espacios basada en geometría proyectiva sobre modelos de envolvente arquitectónica". *REC Perspectiva* 2, nro. 22 (2023): 6-19. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/41374>
- Sandoval-Ruiz, C. "Biomimética Aplicada a Modelos de Sistemas de Energías Renovables Reconfigurables, basados en Estructuras Autosimilares". *Revista Técnica Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* 46, nro. 1 (2023): e234602.
- Sandoval-Ruiz, C. "Kirigami, estructuras geométricas fractales y ondas de luz". *REC Perspectiva* 1, nro. 21 (2023): 44-58. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/40438>
- Sandoval-Ruiz, C. "Fractal mathematical over extended finite fields  $F_p[x]/(f(x))$ ". *Proyecciones* 40, nro. 3 (2021): 731-742. doi:10.22199/issn.0717-6279-4322.
- Sandoval-Ruiz, C. "Sistema Eco-Adaptativo integrado en elementos arquitectónicos con tecnología sostenible". *REC Perspectiva* 8, nro. 4 (2015): 96-109.
- Sandoval-Ruiz, C. "ZPF para arreglo de proyección de onda:  $\phi$ -LFSR en modelado  $F_p[x]/f(x)$  de sistemas de energías renovables". *Revista de la Universidad del Zulia* 15, nro. 42 (2024): 281-305. doi:10.46925//rdluz.42.16
- Sandoval-Ruiz, Cecilia. "Modelo Optimizado del Codificador Reed-Solomon (255,k) en VHDL a través de un LFSR paralelizado". (Tesis Doctoral de la Universidad de Carabobo, 2013).
- Wang, W., Xiao, S. Q., Li, L. Y., & Gai, Q. Y. (2023). Deep Eutectic Solvent-Based Microwave-Assisted Extraction for the Extraction of Seven Main Flavonoids from *Ribes mandshuricum* (Maxim.) Kom. Leaves. *Separations*, 10(3), 191.

