

Modelado de Sistemas de energía renovables sobre códigos de convolución mediante patrones de interferencia

C. Sandoval-Ruiz

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

cesandova@gmail.com

Universidad de Carabobo

Valencia, Venezuela

**Autor de correspondencia: cesandova@gmail.com*

Recibido (02/11/2024), Aceptado (12/01/2025)

Resumen: Este estudio propone un novedoso enfoque de modelado de sistemas basado en patrones de interferencia para caracterizar las interacciones de los elementos con las variables energéticas a través de los patrones proyectivos resultantes. La metodología abarca tres fases clave: identificación de las distintas etapas del sistema, aplicación del modelado de código convolucional y establecimiento de índices de correlación entre los patrones de onda para derivar ecuaciones paramétricas generalizadas. Los resultados demuestran el desarrollo de un elemento convolucional que contiene términos duales que cuantifican la energía residual almacenada y la energía polarizada por los elementos componentes del sistema. El modelo presenta un marco innovador para el análisis de sistemas físicos y la optimización de parques de energías renovables al integrar exhaustivamente todos los componentes energéticos en una representación matemática unificada. Este enfoque permite predecir con mayor exactitud el comportamiento del sistema en condiciones variables y sienta las bases para mejorar la eficiencia de las aplicaciones de energías renovables.

Palabras clave: investigación de sistemas energéticos, física moderna y ondas, patrones de interferencia.

Modeling of renewable energy systems on convolution codes using interference patterns

Abstract.- This study proposes a novel systems modeling approach based on interference patterns to characterize element interactions with energy variables through resulting projective patterns. The methodology encompasses three key phases: identification of distinct system stages, implementation of convolutional code modeling, and establishment of correlation indices between wave patterns to derive generalized parametric equations. Results demonstrate the development of a convolution element containing dual terms that quantify residual stored energy and energy polarized by the system's component elements. The model presents an innovative framework for physical systems analysis and renewable energy park optimization by comprehensively integrating all energy components into a unified mathematical representation. This approach enables more accurate prediction of system behavior under varying conditions and provides a foundation for improved efficiency in renewable energy applications.

Keywords: Research into energy systems, modern physics, waves, interference patterns.



I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los descriptores hardware resultan una herramienta para desarrollar modelos de sistemas, a partir del análisis de los principios físicos, esto mediante patrones generados como resultado de un filtro LFSR –Linear Feedback Shift Register–. El operador de convolución en campos finitos se toma como base para la estrategia de caracterización completa de la función de interferencia del sistema, en los ciclos energía, efecto e interacción por resonancia.

El modelado de sistemas a partir de los patrones de salida, como patrones de Moiré (Fig. 1) y la ecuación descriptiva del filtro, es una aproximación para definir el ensayo de análisis. El filtro está definido físicamente por el ancho de las franjas pasantes, lo que se corresponde en su modelo matemático con los coeficientes del operador LFSR, definido por ecuaciones polinómicas para caracterizar el sistema físico. Tal como el operador LFSR de convolución en cada paso realiza un corrimiento entre las k etapas, el filtro se desplaza sobre la imagen generando un patrón resultante por la interacción con el sistema. Estos patrones de interferencia se forman cuando se superponen dos rejillas –redes de difracción conformadas por líneas rectas o curvas–, con un cierto ángulo de alineación, siendo de interés en campos de estudio en matemáticas, física, óptica y modelado estructural aplicando técnicas de Moiré [1].



Fig. 1. Patrón de Moiré de un colibrí. Al superponer una rejilla con un ancho específico entre las barras, se filtran componentes del patrón creando el efecto óptico de movimiento.

Por todo lo anterior, se puede identificar que estos patrones son el resultado de la interacción entre una variable física y un sistema dinámico, siendo los códigos de convolución el modelo matemático más apropiado para describir sistemas físicos, ya que estos circuitos permiten definir una relación dinámica entre una variable física y sus estados pasados, a través de la estructura de memoria. En teoría de sistemas dinámicos se aplican ecuaciones diferenciales para describir la relación entre las variables físicas y su razón de cambio, lo que permite evidenciar la factibilidad de este modelo. En el caso del análisis de la respuesta en frecuencia del sistema, éste se realiza mediante los coeficientes de los términos la función de transferencia $Y(s)/X(s)$, al aplicar la transformada matemática de Laplace, así la integración de la variable genera un término que, asociado con las condiciones iniciales del sistema, de la forma: $L[df(t)/dt] = sF(s) - f(0)$, siendo particularmente de interés en arreglos físicos de alta complejidad, como los sistemas de energías renovables. La analogía entre los efectos del patrón de interferencia y el estudio de la respuesta de un sistema físicos, también puede ser considerado para el diseño de un controlador, de forma empírica, a partir de la formulación dinámica del lente o superposición de patrones de interferencia, a fin de lograr una respuesta óptima.

La teoría de sistemas dinámicos para el modelado a través de ecuaciones diferenciales donde se expresa el sistema en función de las variables físicas y las razones de cambio de éstas, presenta soluciones mediante un análisis en el dominio de Laplace, al momento de desarrollar la transformación de dominio, aparece un término $f(0)$ que corresponde a las condiciones de frontera –condiciones iniciales de equilibrio–, que deben ser sumadas al resultado, la consideración de este término se ve reflejado en el multiplexor del LFSR, que permite la implementación del sistema en el dominio del tiempo por el operador de convolución, o bien en el dominio s , interpretando cada rama del circuito como un estado de orden k , descrito por las características del sistema.

II. DESARROLLO

En [1] se explica el principio óptico de aplicación de los patrones de interferencia de Moiré, dado que la luz se propaga en formas de ondas cuando dos o más ondas luminosas coherentes con la misma frecuencia y amplitud se encuentran simultáneamente en la misma región del espacio, la función de la onda total es la suma de las ondas, y debido a la interferencia (que puede generar un patrón de franjas, oscuras y claras, en relación a la geometría) su intensidad depende de la relación de fases entre las ondas superpuestas.

Por lo que el patrón de Moiré, en física, se puede interpretar como un diagrama geométrico que resulta cuando un conjunto de líneas (rectas o curvas) se superpone a otro. El diseño de un filtro (rejilla) viene dado por el ancho de las franjas y el ángulo de alineación entre los conjuntos. El barrido de superposición coincide con el operador matemático de registro desplazamiento, por lo que el efecto óptico se relaciona con la memoria estructural en la construcción de la imagen respecto a la velocidad de barrido. Este principio se utiliza para medir pequeños desplazamientos en dispositivos mecánicos, patrón de flujo en fluidodinámica, campos potenciales y campo de deformaciones por fuerzas sobre una matriz elastomérica. También se pueden resolver problemas de óptica, movimiento ondulatorio, análisis de tensiones, cristalografía, matemáticas, entre otros. Un tipo diferente de patrón Moiré resulta cuando se superponen dos familias de curvas de diferentes colores.

A. Superposición de patrones como lentes de optimización

Se define una rejilla sobre una cometa solar (filtro óptico) y n configuraciones en la posición de paneles fotovoltaicos sobre el plano, con el barrido de la cometa solar se obtendrá un efecto óptico continuo por la velocidad de barrido de los registros desplazamiento, logrando optimizar la luz solar incidente sobre el patrón resultante por alineación (Fig. 2).

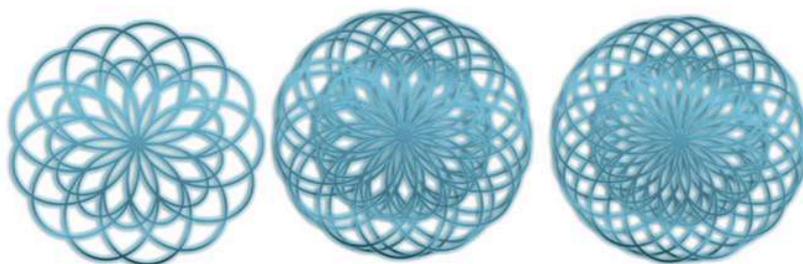


Fig. 2. (a) Patrón de interferencia óptica (b) alineación, (c) alineación. Desarrollados por el modelo matemático de base y la superposición a diversos ángulos de alineación sobre el patrón base.

B. Criterios de Aproximación del Modelo sobre Filtros de Convolución

La revisión de los principios físicos y la observación de interacción entre patrones de difracción de un sistema y la variable física, permitieron definir como criterio el operador de convolución aplicado en códigos, en base a la extrapolación de conceptos de teoría de la información, para la aproximación conceptual. Se establecieron las ecuaciones aproximadoras del patrón y el filtro de convolución, definiendo el sistema como la interacción un polinomio generatriz del código en algebra de campos finitos y un patrón correspondiente a la variable física –tanto en sistemas ópticos como en sistemas fluidodinámicos, donde el patrón de flujo incidente puede ser modulado mediante un lente concentrador, bajo los principios descritos previamente–, obteniendo a la salida un patrón de flujo codificado por el sistema físico.

La aproximación del sistema físico está fundamentada en la correlación resultante de pasar una señal por una red de difracción, en este caso interpretada como un codificador de bloques para el modelo del sistema en el dominio discreto. En el caso del modelo para un patrón radial de la forma:

$$C(x) = x^{n-k} D(x) + e^{2\pi x l} D(x) \bmod g(x) \quad (1)$$

En el caso de un filtro óptico de patrones de Moiré, los coeficientes del LFSR corresponden a la longitud de onda, ancho entre las separaciones de la rejilla, el ángulo de alineación. La generalización busca que el método pedagógico esté fundamentado sobre un operador parametrizable e identificar la correspondencia entre sistemas de distintas naturalezas, con el objetivo de inferir el modelo sobre un método único para los casos:

1. Filtro de patrones de Moiré para establecer las ecuaciones de interferencia.
2. Patrones de Chladni, en función de la frecuencia de las vibraciones.
3. Patrón de flujo difractado por un captador de energía eólica [2] o undimotriz.
4. Campo de deformaciones en una matriz elastomérica sometida a fuerzas y tensiones [1].
5. Código 2D-RS(n,k) para la restauración de tramas de información en comunicaciones inalámbricas [3].

Del análisis de casos, se llega a la identificación de coincidencias de interés, donde los términos del modelo pueden ser adaptados a las condiciones particulares del sistema físico. Tal como, en el trabajo de Maxwell [4] donde el estudio de los postulados de las líneas de fuerza magnética de Faraday fue un antecedente en las deducciones, que permitieron desarrollar ecuaciones adaptadas a las condiciones de frontera, acá se analiza la similitud estructural entre diversos sistemas, planteando la incorporación de un término a los modelos convencionales, que permita considerar los fenómenos ondulatorios de interacción, a fin de establecer un aproximador generalizado, para establecer un aporte unificador entre los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos.

$$C(x) = x^{n-k} D(x) + x^{n-k} D(x) \bmod g(x) \quad (2)$$

Siendo $C(X)$ es una función polinómica que representa el patrón codificado de interacción entre la variable de entrada y el sistema físico modelado, $D(X)$ el patrón de la variable física, x^{n-k} el orden del polinomio generador de código que define los parámetros de configuración del $LFSR(n,k)$ y $g(x)$ el polinomio irreducible del campo.

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 $G(x)$. La técnica de modelado aplicando descriptores hardware VHDL para operadores de convolución permite unificar enunciados de física clásica, ondas y cuántica en un modelo de operadores fractales concurrentes. De tal manera, que la expresión polinomial del patrón de código queda definida como la concatenación de los polinomios mencionados.

C. Patrones de Interferencia por filtros LFSR

El patrón de interferencia puede ser descrito en lenguaje VHDL, aplicando como descriptor un circuito (shift register) LFSR como filtro que permita modelar el efecto de interferencia óptica sobre un patrón de Moiré especificado en el polinomio generador del campo.

$$W \otimes X = w_i \cdot X_m(n \cdot \Omega + \theta_m) + w_0 \epsilon_0 \frac{\partial x(t, r)}{\partial r, t} \quad (3)$$

La frecuencia y fase del ángulo de alineación determinan el filtro de difracción del sistema, el término complementario puede ser definido por las condiciones de borde, así mismo la interferencia entre elementos adyacentes puede ser atenuado por el efecto de un filtro de desenfoque Gaussiano, en el caso de los sistemas físicos estudiados se trata de una función matemática para atenuar componentes de interferencia del patrón de Moiré entre el operador de entrada (variable física) y el operador de base (filtro o función de transferencia del sistema).

De manera similar se pueden modelar fenómenos físicos mediante ecuaciones matemáticas, tal como los patrones de Chladni, donde se visualizan diagramas relacionados con las vibraciones de ondas incidentes sobre una superficie. El operador de convolución se plantea como un generalizador, dada su compatibilidad.

El análisis de patrones se presenta como una herramienta para modelar sistemas complejos, es aplicado en técnicas de luminiscencia estimulada ópticamente, para caracterizar estructuras por su exposición a la luz solar. Así, los patrones de interferencia pueden ser caracterizadores de un sistema de forma equivalente a la respuesta impulsional, pero con la superposición de componentes de ondas. En el caso del operador de convolución se relaciona la frecuencia de modos de vibración para superficies circulares planas con centro fijo como una función de los números m de nodos diametrales (lineales) y n de nodos radiales (circulares), de la forma:

$$f = C(m + 2n)^p \quad (4)$$

donde C son los coeficientes del LFSR y p el orden que depende de las propiedades de la placa, sobre una membrana circular, los patrones obtenidos se compondrán de diámetros y circunferencias concéntricas. En cambio, si se realiza sobre una placa cuadrada, implicará la resolución de la ecuación de ondas en dos dimensiones. Las condiciones de contorno obligan a que el borde de la placa sea un antinodo. Si se resuelve la ecuación para esas condiciones de contorno se encuentra la siguiente solución para las frecuencias de resonancia:

$$\omega = \frac{v\pi}{a} \sqrt{m^2 + n^2} \quad (5)$$

donde a representa la dimensión de la placa cuadrada, v la velocidad del sonido en la placa y (m,n) el número de líneas nodales observadas en horizontal y vertical respectivamente.

Al acoplar un elemento reflectante a una cuerda elástica y girar creando una fuerza centrífuga se describe una trayectoria, cualquier onda que entre en resonancia con el coeficiente de la matriz elastomérica de la cuerda, generará un patrón de resonancia proyectado, relacionado con el vórtice de giro que induce una aceleración del flujo en el interior de la trayectoria, debido a la velocidad que condiciona el desprendimiento de la capa límite.

En función de este ensayo, se puede inferir la utilidad de los patrones de flujo, campos de potencial y aplicaciones mecánicas se pueden aplicar las compensaciones simétricas para establecer un equilibrio.

D. Técnica de extrapolación de modelos por niveles de abstracción

Se parte de la consideración de que toda ecuación de la forma generalizada puede ser compatible con un sistema físico de osciladores armónicos clásicos o cuánticos.

$$\frac{d^2Y(x)}{dx^2} + P(x)\frac{dY(x)}{dx} + Q(x)Y(x) = 0 \quad (6)$$

Todo sistema complejo puede ser sintetizado por la ecuación de un oscilador local.

$$Y(x) = C e^{-\frac{1}{2} \int P(x) dx} u(x) \quad (7)$$

$$\frac{d^2 u(x)}{dx^2} + \omega^2(x) u(x) = 0 \quad (8)$$

De donde se identifica la correspondencia en términos de energía de un oscilador armónico.

$$E = Ec + Ep \rightarrow \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 \quad (9)$$

La variable física v velocidad pasa a ser p el operador de momento lineal.

$$\frac{\left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}\right)^2}{2m} + \frac{1}{2} k x^2 = H \Psi \quad (10)$$

La importancia del estudio de estas ecuaciones viene dada por la interpretación de los fenómenos físicos, en la deducción de la ley inversa del cuadrado de la distancia, tanto para ondas, ya que ésta puede ser deducida rigurosamente a partir de la ecuación de onda, para la estimación de la intensidad para fuentes puntuales, como para campos centrales, con simetría esférica, generados por una densidad de carga que satisface la ecuación de Laplace.

Luego el operador a nivel de flujo de energía se puede reescribir en el contexto de las fuerzas de interacción y la distancia r entre los elementos de la forma:

$$F = W \cdot \frac{\varphi_1 \cdot \varphi_2}{r^2} + F_R (t - 1) \quad (11)$$

La implementación del modelo se desarrolla sobre cada elemento en relación con la distancia entre elementos consecutivos r^2 y de forma genérica entre cada uno de los elementos i con la relación de distancia: r_i , universalizando el conjunto de elementos. Esta interpretación puede ser ilustrada con la transformada cuántica de Fourier. De esta manera, se requiere la interpretación de una etapa ondulatoria (basada en el principio de dualidad onda-partícula), donde la energía se proyecta siguiendo un patrón (armónico esférico) definido según el objetivo del arreglo, así considerando la función de densidad de energía se puede integrar en pasos discretos (órbitas) relacionados con la distancia (r) al núcleo o elemento captador, descritas mediante los polinomios generatriz, observando su similitud con los polinomios de Legendre [4], que pueden ser desarrollados sobre el operador LFSR. Se revisan conceptos asociados como momento angular orbital, espectro residual, ángulo de alineación [5], vórtices [6], función de onda radial-angular, operador Hamiltoniano H en el espacio tridimensional. Para establecer la relación se consideran los polinomios de Legendre, que pueden ser aplicados para definir la interacción entre los elementos en función de un orbital correspondiente al sub-índice l , para un radio proporcional a las componentes de la función de onda radial –en campos centrales–.

$$P_l(x) = \frac{1}{2^l l!} \frac{d^l}{dx^l} (x^2 - 1)^l \quad (12)$$

E. Interpretación del modelo y análisis de aplicaciones prácticas

La estrategia consiste en la identificación de patrones y correspondencia entre los modelos físicos, para establecer equivalencias, así un componente muelle (resorte) puede ser interpretado como un filtro de compensación entre los osciladores resonantes que interactúan entre sí, entonces se convierte en el elemento de amortiguación que recupera energía residual para restablecer el equilibrio dinámico del sistema. Entre las aplicaciones que se consideran:

1. Modelado de torres de energías renovables con sistemas de estabilización mediante mecanismos acoplados –pantógrafos– en la torre solar de concentración [7], vástago de turbinas eólicas y estructuras sobre plataformas adaptativas.
2. Polarización de flujo mediante patrones de interferencia de lentes eólicas [8], si se logran definir dos zonas. Un frente de flujo lineal incidente, sobre el que se presenta la capa límite y una recirculación de vórtices regenerativos definidos sobre el sentido de giro [9].
3. Lentes Híbridos [10] de concentración, lentes de distribución, lentes de refracción (redireccionamiento), lentes de reflexión (ángulo de reflexión selectivo).

El criterio de selección del modelo matemático fractal sobre campos extendidos [11], como solución a la descripción del sistema a nivel de elementos discretos de energía y ondas relacionadas entre las etapas del sistema, se basó en el razonamiento de incluir un término generalizador. De allí se considera un universo de modelos matemáticos-lógicos, siendo potencialmente de interés el circuito de registros de memoria biestable. Esto se deduce por la naturaleza de los sistemas, los cuales tienen una memoria estructural, que no es considerada en modelos previos.

III. METODO DE ANÁLISIS EN LA DEDUCCIÓN DEL MODELO

Para la deducción del modelo se parte del estudio de los fundamentos a nivel teórico y el análisis de los patrones de respuesta a la salida del sistema físico, todo esto para lograr el reconocimiento de la correlación entre las variables y la interpretación de los niveles de abstracción. Los pasos para modelar el sistema comprenden un estudio de arquitecturas, patrones y ecuaciones descriptivas de los sistemas físicos:

1. Reconocimiento de patrones y arquitectura de los sistemas físicos y su extrapolación a sistemas concatenados (Fig. 3) –sistemas enlazados, que interactúan entre sí, a través de enlaces lineales por fenómenos ondulatorios o enlaces fractales de componentes autosimilares–.

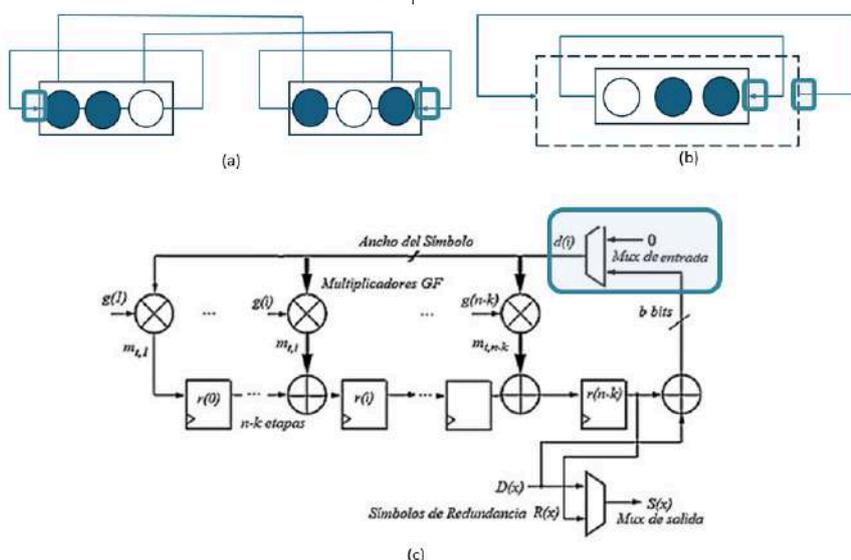


Fig. 3. Modelado de sistemas físicos con capacidad de compensación por concatenación LFSR. (a) Concatenación Simétrica $L(u)$ & $L(t)$. (b) Concatenación Fractal $L[L[f(t)]]$. (c) Circuito de implementación de LFSR

2. Identificación de similitudes entre las ecuaciones de interacción, aplicando un marco teórico de sistemas dinámicos resonantes.

3. Estudio de las condiciones de frontera de las dimensiones físicas acotadas, por la correspondencia entre un espacio muestral finito y los registros de corrimiento de k elementos de longitud con realimentación para la implementación de multiplicadores GF(2^m), estableciendo como criterio la correspondencia entre algebra en campos finitos sobre las variables físicas –en el dominio discreto–, para la teorización del modelo.

4. Establecer la analogía entre los sistemas, a través de los enunciados físicos de la ley de elasticidad de Hooke para sistemas mecánicos, ley de Ohm en sistemas eléctricos y Ley de Biot en sistemas ópticos, así como la ley de Lamber –inverso del cuadrado de la distancia, para fenómenos ondulatorios como sonido, luz, radiación de calor y campos centrales de física clásica: la ley de la gravitación universal de Newton y el campo electrostático creado por una carga puntual–.

5. Incluir un término de compensación de efecto por entrelazamiento, lo que es especialmente útil tanto en la anulación de interferencias como la compensación simétrica de efectos ondulatorios, a fin de establecer un equilibrio entre fuerzas de interacción, que se representan por el sentido del desplazamiento (Fig. 1).

Hipótesis de Generalización: Los patrones son los diagramas resultantes entre una variable física (patrón de base), que pasa a través de un operador matemático de convolucional o filtro (patrón del sistema). A partir de los grupos de ensayo se reconocen las variables físicas y los filtros, para cada tipo de sistema, tal como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Correlación entre componentes del sistema.

Variable física	Operador de sistema	Patrón resultante
Materiales y Matriz elastomérica		
Partículas	Configurador del Tejido	Osciladores acoplados
Fuerzas en Física Clásica, Física modernas y Ondas		
Ondas de Luz	Filtro óptico (rejilla)	Patrón de Moiré
Sonido	Filtro acústico (frecuencia)	Patrón de Chladni
Fuerza impulsora $f(t)$	Muelle, matriz elastomérica	Campo de deformación
Teoría de la Información y codificación cuántica		
Datos	Codificador	Trama codificada

NOTA: Patrones de Moiré en materiales bidimensionales para generar una celda cristalina (caso grafeno rotado).

Un sistema se comporta como un codificador, filtro, modulador, elementos de almacenamiento de energía, etc., que interactúa con la variable modificando el patrón original, el cual puede ser una superposición de patrones (variables compuestas). El patrón de interferencia resultante estará función de la resonancia del sistema con la frecuencia natural de la variable física de entrada, así mismo el sistema puede estar en resonancia con otros sistemas que serán relacionados por la interacción en función del radio.

Un sistema puede tener componentes concatenados de materia, ondas y energía, siendo sistemas compuestos, donde se presenta la dualidad onda-partícula.

Cualquier sistema físico, bajo principios de física clásica o física cuántica puede ser modelado por un operador de convolución en campos finitos. Una vez definida la unidad básica e interacción entre elementos, se pueden representar las fuerzas internas de osciladores acoplados e interferencia de ondas, así como el entrelazamiento entre osciladores cuánticos.

IV. RESULTADOS

Se desarrolló la interpretación de los principios físicos extrapolando la dinámica de física clásica y osciladores cuánticos, de donde se obtiene:

$$\frac{\partial y(r, t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^m g_i \cdot x^i(t) + \frac{1}{\phi} \left[x^i(t-1) \pm \sum_{j=1}^n \frac{(-1)^j}{2^j r!} \cdot \frac{\partial^2 x^j(t, r)}{\partial r, t} \right] \quad (13)$$

Siendo la implementación circuital del modelo definido por un LFSR. Se evidencia la analogía teórica entre la física y la teoría de la información, por lo que se plantea que cualquier sistema físico puede ser modelado a través de un LFSR, aplicando los multiplexores en el modelado de los patrones de interferencia, entrelazamiento entre las ondas de elementos resonantes y la arquitectura del registro desplazamiento corresponde con la memoria estructural del código de configuración.

Es así como el tercer término puede ser interpretado como la realimentación en una dimensión n+1 que corresponde a las ondas que expanden la superficie de energía confinada en la descripción de los dos primeros términos, con superposición de la longitud de onda en el filtro LFSR para cancelación de componentes y optimización inteligente de aportes del arreglo circuital. Los pares e impares se cancelan o se superponen y finalmente se obtiene una energía regenerativa. Sobre el patrón de interferencia se presenta el término de corrección –tal como en las ecuaciones de Maxwell–, que es interpretado por analogía con el mecanismo de compensación del sistema físico de ondas de energía.

$$G \otimes X = g_i \cdot X_m + g_0 \epsilon_0 \frac{\partial X_r}{\partial t} \quad (14)$$

$$G \otimes X = g_i \cdot X_m + g_i \varphi_0 \frac{\partial X_d(t)}{\partial t} + g_i \epsilon_0 \frac{\partial X_r(r)}{\partial r} \quad (15)$$

Desarrollando la fórmula se obtiene la expresión para los Polinomios de Legendre. Un modelador que parece cumplir con los criterios es el LPNN [3] (Legendre Polynomial Neural Networks), con un elemento probabilístico de relación factorial (11).

Cada polinomio de Legendre $P_n(x)$ de grado n, se puede desarrollar en un factor de derivada y factorial del grado del polinomio, a fin de considerar el aporte de un sistema resonante adyacente o interferencia, previamente no considerados. En física aparecen en la solución de la ecuación de Laplace de un potencial para aplicaciones de electromagnetismo, mecánica de fluidos y conducción de calor, considerando las condiciones de contorno con simetría axial, así como los cambios de variables para simplificar el modelo. De esta manera, se considera los polinomios como un modelo de la variable física operador en el sistema.

Nuevos estudios sobre entrelazamiento cuántico permiten conocer la posición relativa de una partícula, polarización e interferencia. De tal manera, que el modelo unificado debe contemplar un término para describir el entrelazamiento cuántico entre elementos del sistema y efecto de interferencia. Así se propone un término probabilístico de un conjunto de estados, en relación con los estados asociados al arreglo de elementos fluidodinámicos para modelado. La investigación llevó a observar la relación del producto de convolución en algebra de campos finitos de Galois $GF(2^m)$ con su operador \otimes para un producto tensorial, el producto de los elementos de cada una de las matrices para ver cómo se combinan esos estados, interpretados con un primer término de difracción de onda sobre los elementos moduladores y términos ondulatorios de reflexión y recirculación de la onda difractada [8].

A. Correlación entre los sistemas físicos

Se realizó una clasificación general de los sistemas físicos (Fig. 4) con el objetivo de identificar similitudes entre los modelos descriptivos, a fin de reutilizar la definición de interacción entre sistemas para el desarrollo de una ecuación modeladora generalizada.

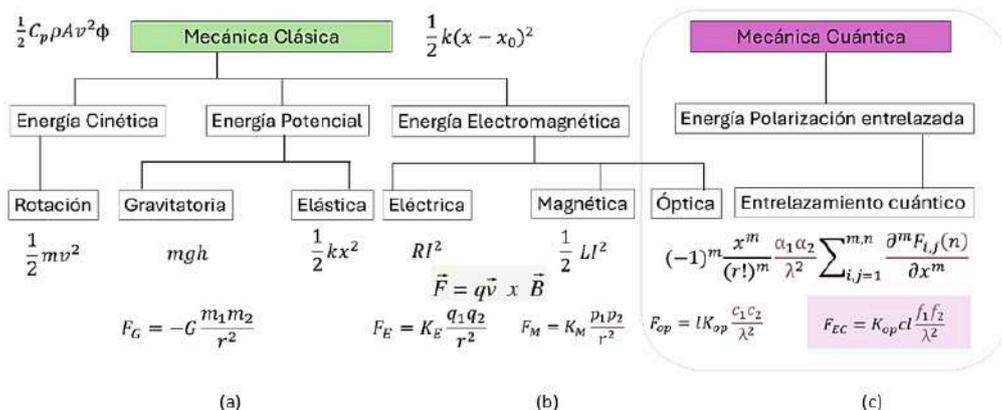


Fig. 4. Revisión comparativa entre ecuaciones modeladores de interacción de sistemas físicos. (a) en el campo de la mecánica clásica (b) a nivel de ondas, (c) en el campo de la mecánica cuántica.

Finalmente, la técnica del estudio de patrones de interferencia que está aplicada de forma específica a sistemas ópticos y electromagnéticos puede ser extrapolada a sistemas mecánicos [5] y fluidodinámicos, para análisis de patrones de vórtices sobre el sistema estructural [6], por lo que resulta de espacial interés interpretar las equivalencias entre la resonancia de los sistemas (Tabla 2), entendiendo que el modelo estará compuesto de la concatenación híbrida.

Tabla 2. Correspondencia de Parámetros de resonancia mecánica, eléctrica y óptica.

Mecánica	Eléctrica	Óptica
Desplazamiento x	Carga eléctrica q	Longitud de onda λ
Fuerza impulsora F_0	Tensión impulsora V	Irradiancia solar I_0
Masa discreta m_i	Inductancia L	Coef. difracción m_0
Coefficiente de fuerza viscosa b	Resistencia eléctrica R	Coef. refracción $m-$
Coefficiente elástico del muelle k	Inversa de la capacitancia $1/C$	Coef. reflexión $m+$
Frecuencia de resonancia $\sqrt{k/m}$	Frecuencia de resonancia $1/\sqrt{LC}$	Frecuencia $f=1/\lambda$
Ancho de la resonancia $\gamma = b/m$	Anchura de la resonancia $\gamma = R/L$	Radio de curvatura r
Energía potencial $\frac{1}{2}kx^2$	Energía de carga estática $\frac{1}{2}q^2/C$	Energía del fotón
Energía cinética $\frac{1}{2}mv^2$	Energía electromagnética: $\frac{1}{2}LI^2$	Energía onda de luz
Pot. abs. en resonancia $F_0^2/2b$	Pot. abs. en resonancia $V_0^2/2R$	Pot. abs. resonancia $I_0^2/2m_0$
Fuerzas de interacción entre elementos del sistema		
Fuerza Gravitacional	Fuerza Eléctrica	Rotación Específica (Biot)
$F_G = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	$F_E = K_E \frac{q_1 q_2}{r^2}$	$[\alpha]_\lambda = k_{opt} \frac{lc}{\lambda^2}$

NOTA: El patrón se presenta en la fuerza de interacción magnética: $F_M = K_M \frac{p_1 p_2}{r^2}$

La equivalencia permite construir modelos que consideran las condiciones de resonancia híbridas, en los cuales se presentan componentes mecánicos, fluidodinámicos, electromagnéticos y ópticos, lo que es un aporte fundamental para el estudio de los sistemas físicos.

$$W \otimes X = w_i \cdot X_m (n \cdot \Omega + \theta_m) = \sum_{i=1}^m g_i \cdot x^i(t) + \frac{1}{\phi} \cdot x^i(t-1) \pm \sum_{j=1}^n \frac{(-1)^j}{r(j)!} \cdot \frac{\partial^2 x^j(t, r)}{\partial r, t} \tag{16}$$

Se identificó una similitud en el tratamiento de sistemas clásicos y ondas, con la oportunidad de definir un sistema en términos de conservación de la energía, resonancia y respuesta ondulatoria considerando el entrelazamiento de variables del sistema previamente no incorporados en el modelado. Lo que generaliza el aprendizaje de los principios físicos por estandarización matemática, a través del uso de descriptores hardware LFSR.

El mismo modelo generalizado se puede aplicar para la evaluación ambiental del proyecto de migración, siendo el primer término el impacto directo por factor, el segundo término el impacto acumulado por las operaciones del sistema y el tercer término, el impacto asociado por la interacción entre componentes del sistema con elementos del entorno. Este modelo es extrapolado en un modelo circular de activo genérico (Tabla 3), el cual permite medir el impacto de recuperación de tecnología.

Tabla 3. Modelo de depreciación circular vs. Modelo de depreciación lineal.

Ingreso, ahorro, beneficio del proyecto	PRECIO KWh	Demanda Energía	INGRESO	PRECIO	Ahorro	Beneficio Total
Unidades	$\$/KW$	KW	$\$$	$\$/Ton$	Ton	$\$$
Presupuesto de energía	wp	$x(n)$	$wp*x(n)$	wa	$wa*x(n)$	$(wp-wa)*x(n)$

Costos de almacenamiento de energía	Costos KWh	Prod. Energía	Costos O&M
Unidades	$\$/KW$	KW	$\$$
Presupuesto de costos y gastos	wc	$x(n)+\Delta x(n)$	$wx*(x(n)+\Delta x(n))$

Este esquema de reutilización se ha formulado como alternativa al modelo de depreciación lineal de activos, mediante un plan de actualización y un presupuesto de ahorro de energía, que permiten estimar el indicador de beneficios de la aplicación del proyecto, así mismo se puede aplicar en la mitigación de impacto ambiental, a través de la recuperación de calor industrial –tanto por conducción, convección o radiación–, optimización por reciclaje de energía, factores que pueden ser calculados y compensados a través del modelo matemático desarrollado.

CONCLUSIONES

Gracias al estudio realizado se estableció una ecuación que modela el mecanismo en términos de física clásica y los niveles de interacción de la variable de energía, a través de un término interpretado, para el control de la realimentación de componentes de energía, logrado por la correspondencia estructural del LFSR con el sistema físico, ponderando la interacción entre patrones radiantes de flujo y ondas. Una ventaja viene dada por la solución híbrida, mediante la aproximación de parámetros clásicos y la combinación óptima de señales del compensador. El modelo permite incorporar el efecto fractal, logrando aportes en:

Desarrollo de una arquitectura sobre algoritmo de generación de códigos VHDL, con las funciones en un loop para descripción de componentes parametrizables sobre hardware, que permite definir la compensación simétrica y fractal de sistemas concatenados, por la capacidad de cómputo, velocidad de procesamiento en tiempo real y prestaciones de la tecnología.

Interpretación de similitud entre sistemas físicos y operadores matemáticos logrando una matriz de correspondencia, como herramienta de modelado que supera las limitaciones de los métodos convencionales, extrapolable para aplicaciones sostenibles y sistemas de energías renovables.

Obtención de un modelo de depreciación para economía circular, basada en un criterio de reutilización donde se estableció una proporción de 1.618 como factor de reutilización, el 61,8% de los componentes están en capacidad de ser reutilizados sobre etapas del sistema y los componentes de energía potencial.

Soporte para aplicaciones de métodos físicos de reciclaje de componentes de sistemas de energías renovables como paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, basados en láser, ultrasonido y separación de capas ultrafinas, mediante polarización óptica de materiales componentes.

REFERENCIAS

- [1] L. Beraldo, D. Albiero, A. J. Da Silva Maciel, I. Dal Fabbro, & S. Rodrigues. Técnica de Moiré aplicada al análisis de esfuerzos de compresión en el bambu guadua. Maderas. Ciencia y tecnología, vol. 9, no. 3, pp. 309-322, 2007.
- [2] C. Sandoval-Ruiz. Ω – Vórtices y acoplamientos resonantes en modelo de patrón de flujo toroidal regenerativo mediante física moderna y ondas, Calibre, vol. 41, no. 1, pp. 1-20, 2024.
- [3] R. Dash. (2020). Performance analysis of an evolutionary recurrent Legendre Polynomial Neural Network in application to FOREX prediction. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, vol, 32, no. 9, pp. 1000-1011.
- [4] A. Golmankhaneh, & D. Baleanu. About Maxwell's equations on fractal subsets of \mathbb{R}^3 . Open Physics, vol. 11, no. 6, pp. 863-867, 2013.
- [5] C. Medina. Estudio teórico, numérico y experimental sobre la fuerza de arrastre en oscilaciones amortiguadas. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 46, e20240017, 2024.
- [6] F. Manjón, J. Villalba, E. Arribas, A. Nájera, A. Beléndez and J. A. Monsoriu, Vórtices no estacionarios en un vaso de agua, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 35, no. 3, pp. 3304, 2013.
- [7] B. Mills, C. Ho, N. Schroeder, R. Shaeffer, H. Laubscher, & K. Albrecht. Design evaluation of a next-generation high-temperature particle receiver for concentrating solar thermal applications. Energies, vol. 15, no. 5, pp. 1657, 2022.
- [8] C. Sandoval-Ruiz. e-KiteLab: Investigación en Física aplicada para mantenimiento y optimización de sistemas de energías renovables. Revista I&D, vol. 14, no. 1, pp. 95-105, 2024.
- [9] I. Castro-Fernández, R. Borobia-Moréno, R. Cavallaro & G. Sánchez-Arriaga. Three-dimensional unsteady aerodynamic analysis of a rigid-framed delta kite applied to airborne wind energy. Energies, vol. 14, no. 23, pp. 8080, 2021.
- [10] J. Rodríguez. Polarización de la luz: conceptos básicos y aplicaciones en astrofísica. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, no. 4, e4310, 2018.
- [11] C. Sandoval-Ruiz. Fractal mathematical over extended finite fields $F_p[x]/(f(x))$, Proyecciones, vol. 40, no. 3, pp. 731-742, 2021.