

# PROYECTO COMETA SOLAR – CS PARA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sandoval-Ruiz, Cecilia E.

cesandova@gmail.com

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

Facultad de Ingeniería, Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado,  
Universidad de Carabobo, Venezuela.

Recibido (13/04/20), Aceptado (30/04/20)

**Resumen:** La presente investigación comprende una revisión de estrategias de optimización de los sistemas fotovoltaicos orientado a los ejes de desarrollo sostenible, así como conceptos tecnológicos que comprenden técnicas de reconfiguración de módulos fotovoltaicos y seguimiento del punto de máxima potencia. Dando lugar al diseño de un método alternativo de optimización, basado en posicionamiento inteligente de elementos dirigibles suspendidos a determinada altura, a fin de obtener una adaptación a las condiciones de máxima potencia y modificación del espectro para neutralizar la degradación de los módulos FV. Este esquema propone una mínima intervención de los sistemas instalados concentrando el diseño a los cometas solares heliostáticos, estudiando el modelo de control y optimización, a fin de presentar menor impacto ambiental y ofrecer soluciones ecológicas. Igualmente, se analiza la tecnología de entrenamiento bio-inspirado para seguimiento solar y concentración por guía de onda para el sistema MPPT. Se obtiene como resultado una estrategia formulada con la descripción de los componentes, definición de la tecnología y ecuaciones de soporte. Siendo el aporte principal, una solución para re-direccionamiento de radiación solar y extensión de las horas pico de sol, en superficies de conversión fotovoltaica, al tiempo de proponer la protección de la radiación directa en superficies naturales.

**Palabras Clave:** Energías Renovables, Entrenamiento Neuronal Bio-Inspirado, Cometa Heliostático Solar, Optimización MPPT.

## SOLAR COMET PROJECT - CS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM OPTIMIZATION

**Abstract:** The present investigation includes a review of optimization strategies of the photovoltaic systems oriented towards the axes of sustainable development, as well as technological concepts that include reconfiguration techniques of photovoltaic modules and monitoring of the maximum power point. Giving rise to the design of an alternative method of optimization, based on intelligent positioning of airships suspended at a certain height, in order to obtain a signal adapted to the conditions of maximum power and quality to neutralize the degradation of PV modules. This scheme proposes a minimal intervention of the installed systems concentrating the design to the heliostatic solar kites, studying the control and optimization model, in order to present less environmental impact and offer ecological solutions. Similarly, the bio-inspired training technology for solar tracking and waveguide concentration for the MPPT system is analyzed. The result is a strategy formulated with the description of the components, definition of the technology and support equations. The main contribution, a solution for re-addressing of solar radiation and extension of peak sun hours, on photovoltaic conversion surfaces, while proposing the protection of direct radiation on natural surfaces.

**Keywords:** Renewable Energies, Bio-Inspired Neural Training, Solar Heliostatic Comet, MPPT Optimization.

## I. INTRODUCCIÓN

El proyecto cometa solar está asociado a una investigación en optimización fotovoltaica y sistemas de energías renovables ERNC [1-7], el cual comprende un innovador arreglo de concentradores [8] y el concepto de red neuronal fractal para bio-entrenamiento en el sistema de seguimiento en hardware [9-10], implementando la red neuronal sobre tecnología FPGA – Field Programmable Array Gates. Recopila una revisión de estrategias de optimización de los sistemas fotovoltaicos, desde técnicas de seguimiento solar encapsulados en paneles convertidores [11], método de optimización de densidad de potencia de los sistemas fotovoltaicos SFV, estudio de técnicas para mejorar la eficiencia de los paneles solares (intensificados), reconfiguración del sistema, seguimiento solar, arreglos de heliostatos y concentradores distribuidos, donde se han considerado antecedentes como el proyecto espejo [12], en el que tres espejos gigantes controlados por ordenador siguen

la radiación solar y reflejan su luz hacia un punto específico. Así como la disposición de elementos suspendidos en el aire, considerando avances aerodinámicos de elementos fotovoltaicos [13] y en tecnología eólica [14]. Todo esto ha permitido definir conceptos de innovación tecnológica en cometas solares: colectores (transmisión por fibra óptica), fotovoltaicos y adaptativos [15], este último consiste en la configuración de heliostatos dispuestos en cometas (papagayos, volantes, etc.), dirigibles u otros elementos que permita la concentración y direccionamiento inteligente de la radiación solar (desde una determinada altura), hacia arreglos fotovoltaicos instalados.

## II. DESARROLLO

En primer lugar se han estudiado las etapas del SFV y los factores de optimización en cada una de ellas, tal como se presenta en la Tabla I.

**TABLA I. Etapas del sistema fotovoltaico**

Etapa de Adaptación	Etapa de Conversión	Etapa de Electrónica	Etapa de Almacenamiento
Concentración Solar	DSSC	Optimizador de potencia	Almacenamiento directo
CSL y Lentes ópticos	Fotovoltaica	Seguimiento ángulo óptimo	Entrada del convertidor
Direccionamiento	Modelo térmico del panel	MPPT	Almacenamiento indirecto
(Arreglo de espejos)	Co-generación Termo-Solar	Arreglo FV reconfigurable	Salida del convertidor
Filtrado y tratamiento	Refrigeración y RCR	Inversor	Señal intermedia

### A. Concentradores de radiación solar

Los elementos concentradores tienen como función adaptar el parámetro de irradiancia solar  $S_x$ , recibida para optimizar la irradiancia sobre los paneles FV. Existen diversas tecnologías de concentración solar basadas en principios ópticos [16] o foto-luminiscencia [17-20]. En el caso, del concentrador solar luminiscente - CSL, se absorbe la luz solar y la re-emite en forma de fluorescencia a su interior, guiándola hacia los bordes del concentrador, donde es convertida en electricidad, a partir de un material fotovoltaico. Donde la radiación incidente es reflejada hasta alcanzar el objetivo que corresponde al convertidor fotovoltaico (realimentación). Un colorante luminiscente se caracteriza por sus espectros de absorción, un tiempo  $\tau$  de retardo en el material y el espectro de emisión de luz, conocido como fenómeno de luminiscencia, los cuales generalmente presentan regiones espectrales en superposición. A la separación espectral entre los picos de ambos espectros se le conoce en inglés como Stokes Shift. Según el tipo de colorante (sensibilizador DSSC) se absorbe la radiación solar de una cierta energía (es decir, de determinada longitud de onda) y la re-emite a energía inferior.

El CSL actúa también como un filtro absorbiendo la indeseada radiación infrarroja responsable del recalen-

tamiento del sistema y de la degradación química de los materiales que lo constituyen. Una condición deseada es encontrar un colorante que pueda absorber el mayor ancho espectral de la radiación solar y a vez su pico de emisión coincida con el pico de eficiencia cuántica de la celda fotovoltaica. El guiado de la fluorescencia en el interior del concentrador se debe al fenómeno de la Reflexión Interna Total (RIT). De esta manera, se observa la correspondencia del modelo de CSL con la estructura LFSR Linear Feedback Shift Register estudiada en [7], [9-10], donde el porcentaje de captación espectral se corresponde con el coeficiente del polinomio generador para la ganancia de la rama respectiva, en una estructura de concatenación colaborativa, el retardo de transmisión de luz en el material corresponde al elemento de memoria, los multiplexores coinciden con los filtros espectrales y la realimentación RIT y los sumadores de las etapas intermedias a la contribución de cada rama del LFSR. En el subsistema óptico de concentración solar, se resumen las diversas alternativas.

### B. Filtrado o Tratamiento Selectivo

La selectividad de la longitud de onda de la radiación incidente, con radiación disipada en forma de calor, siendo una energía desaprovechada en el arreglo

convertidor. La temperatura disminuye la eficiencia del panel FV, a la vez que el calor liberado pasa a aumentar la temperatura ambiental siendo un efecto negativo. Al identificar cada uno de estos componentes del espectro electromagnético: ultravioleta (rango de 10 a 400 nm, aplicaciones de esterilización sin dejar residuos químicos, conservación de agua y desinfección del agua), luz

visible (rango efectivo de 400 a 700 nm, para conversión fotovoltaica) e infrarroja (rango de 0.7 a 1000  $\mu\text{m}$ , es una forma de radiación térmica que puede ser aplicada en conversión con materiales termoelectrónicos), se observa utilidad para cada rango  $\lambda$ . La clasificación y relación de variables de almacenamiento son presentadas en la Tabla II.

**TABLA II. Energía Solar y Almacenamiento**



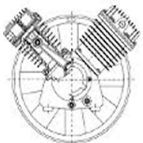
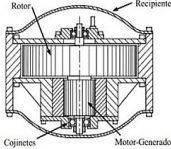
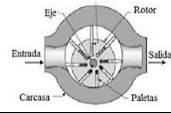
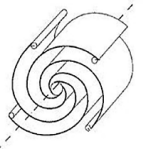
Energía Solar	Tecnología de Conversión	Almacenamiento Directo
Calor (I.R)	Termo-Solar	Sales de almacenamiento térmico
	Termo-Eléctrico	
Fotones	Fotovoltaica	Ultra-Condensadores / Baterías
	Baterías fotoeléctricas	Separación de compuestos químicos fotoactivos
	Fotosíntesis química	Plantas industriales (algas)
	Síntesis en hardware reconfigurable	FVPGA – Arreglos HW programable por fotones
Ultravioleta Energía resultante	Esterilización de agua	-
		Tecnología
	De Conversión	De Almacenamiento
Eléctrica	Fotovoltaica	Condensadores
Química	Fotosíntesis	Baterías
Mecánica	Foto-dilatación	Resortes / Volantes de inercia
Neumática	Motor de Stirling	CAES Aire comprimido

En el caso del sistema fotovoltaico optimizado, se requiere el tratamiento apropiada para una concentración de longitud de onda de conversión efectiva, filtrado (a fin de proteger las superficies de radiación UV, elevación de temperatura y degradación en el caso de los paneles solares) y re-utilización de las longitudes de onda complementarias (en otras aplicaciones). Todo esto con el objetivo de aprovechar de forma eficiente la energía recibida y atenuar los efectos de temperatura que puedan afectar la eficiencia del panel fotovoltaico y el efecto ambiental. En el marco de la tecnología FPGA de síntesis de hardware, se consideró la síntesis por efecto fotoeléctrico y baterías fotoeléctricas en las que se realice la configuración de compuestos químicos de elementos de carga eléctrica, definiendo el comportamiento de los enlaces por activación de fotones, entre diversos modelos de conversión y almacenamiento en la primera etapa, a fin de disminuir los factores de pérdidas del almacenamiento por conversión intermedia.

### C.Arreglos Fotovoltaicos y Sistema de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia

Los SFV presentan diversos aspectos a optimizar [21], el diseño algoritmos de seguimiento y control [22-23] se ven exigidos por los múltiples factores que determinan las condiciones de irradiancia y temperatura, en tal sentido establecer métodos de optimización de estos factores permitirá contar con una dinámica más estable que permita facilitar el sistema de seguimiento del punto de máxima potencia – MPPT [8], refrigeración del panel [24], canalización de la radiación solar directa, etc. Por otra parte, los efectos ambientales de sistemas de refrigeración requieren ser mitigados, en lo que se debe mantener los criterios ambientales, incorporando la alternativa de recuperadores de calor residual. Así como tecnologías de almacenamiento de ERNC [25-27], resumidos en la Tabla III.

TABLA III. Sistema de Almacenamiento de ERNC

Almacenamiento por	Descripción	Esquema
Transitorio para aplicación en convertidor fotovoltaico		
Potencial lumínico Según las propiedades del material.	Concentradores luminiscentes Se define un tiempo $\tau$ entre absorción de radiación y emisión de luz.	
Almacenamiento por campo eléctrico		
Potencial Eléctrico Energía Nominal: 0.01MWh Potencia Nominal: 0.25 MW	Ultra-Condensadores Eficiencia: 65-90% Vida útil: 8-17 años $E = \frac{1}{2} C \cdot V^2$	
Almacenamiento Mecánico (partes rotativas)		
Potencial Neumático Energía Nominal: 2860MWh Potencia Nominal: 300 MW	Aire Comprimido Eficiencia: 70-73% Vida útil: 30-40 años	
Potencial Cinético $E = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$ Energía Nominal: 5MWh Potencia Nominal: 20 MW	Volantes de Inercia (FlyWheels) Cámara de vacío y levitación magnética en rodamientos para disminuir pérdidas por roce. Eficiencia: 85% Vida útil: 20 años	
Potencial Hidráulico Energía Nominal: 8000MWh Potencia Nominal: 1000 MW	Bombeo hidráulico (agua de mar) Eficiencia: 65-80% Vida útil: 30-50 años Hasta 2GW	
Potencial Elástico $E = \frac{1}{2} k \cdot d^2$	Resortes Radioidales, que se comprimen por aplicación de un par de torque en el eje.	

En la selección de la tecnología de almacenamiento se consideran las ventajas de los sistemas de almacenamiento en campo eléctrico por la velocidad de carga y descarga, sin pérdida de rendimiento. Estos se basan en un principio de separación física de protones y electrones, por lo que no se presenta acumulación de calor o deformación del dispositivo. En el caso de los ultra-condensadores flexibles de nanotubos de carbono – CNT el proceso de fabricación de estas estructuras se puede definir criterios sostenibles, de forma similar a la fabricación de paneles fotovoltaicos.

Debido a la baja densidad de conversión de energía de la tecnología fotovoltaica, otro aspecto a optimizar corresponde a las estrategias de aprovechamiento de la superficie. Para esto se propone una valorización de potencial de los tejados de edificaciones urbanas, una plataforma de instalación de estructuras fotovoltaicas, el modelo de alquiler de tejados a los propietarios/usuarios de la energía, desde la administración de las centrales de energía con el conocimiento, experiencia y talento humano del sector.

En [28] se reseña que la energía fotovoltaica flotan-

te (UFF) en depósitos hidroeléctricos se ha propuesto como una alternativa ventajosa a los sistemas en tierra debido a la posibilidad de aumentar la eficiencia al reducir la temperatura, así como a las ventajas económicas de los costos de adquisición de terrenos evitados, una instalación más rápida. y obtener una licencia ambiental, ahorrando agua mediante la reducción de la evaporación, entre otros. Tipos de paneles Sobre flotador Directo sobre agua, los cuales presentan entre las ventajas - Permite un seguimiento al sol. - Permite grado de inclinación lo que da mayor radiación. - Puede existir un espacio para la mantención - La corrosión por contacto del agua afecta al flotador y no al panel - Fácil instalación, debido a que no necesita grandes soportes. - Mayor eficiencia que sobre flotador debido al contacto directo con el agua - Menores esfuerzos en las uniones. Entre las desventajas - Gran volumen de elementos a instalar - Aumenta el costo de construcción - Se debe desmontar todo para poder hacer una mantención - Problemas locales no se pueden resolver dentro del agua. - La corrosión afecta a los paneles. Siendo un aspecto crítico el intercambio de calor en los cuerpos de agua y

sus efectos sobre la biodiversidad. Algunas investigaciones presentan alternativas de tecnología para optimizar los SFV, el efecto térmico y la protección de áreas naturales, como se resume en la Tabla IV.

**TABLA IV. Estrategias y Tecnologías de optimización**

Métodos de optimización	Descripción
ESCO (Energy Service Company)	Infraestructura con eficiencia energética, con una valorización de potencial de los tejados de edificaciones urbanas, una plataforma de instalación de estructuras fotovoltaicas, el modelo de alquiler de tejados a los propietarios/usuarios de la energía, desde la administración de las centrales de energía con el conocimiento, experiencia y talento humano del sector.
Infraestructura verde	Este tipo de infraestructura con revestimiento vegetal, tiene como objetivos la conservación de la biodiversidad, además de crear mejores condiciones en el hábitat e integrar criterios ambientales, absorción de CO <sub>2</sub> [29].
Refrigeración de SFV	Esta técnica contribuye considerablemente a la simplificación del algoritmo SPMP, a través de un sistema de enfriamiento que permite controlar la temperatura de las células fotovoltaicas, al transformar el módulo fotovoltaico en fotovoltaico / térmico (FV/T). Modelo térmico de los módulos fotovoltaicos [24].
Adaptación dinámica de parámetros del convertidor	Entre los métodos describen el de adaptación dinámica de parámetros del convertidor, donde definen el paso para la corrección del ciclo de trabajo basados en el criterio (di/dv) para conductancia incremental [22].
Métodos de mitigación de radiación	En [30] se plantea la colocación de esferas en el hielo, con función de aumentar la reflexión, como un escudo térmico. Igualmente, se mencionan circuitos de bombeo hidráulico de agua fría de mar, para recuperar el espesor de la plataforma glaciar, sin embargo, estos presentan altos costos y elevada demanda de energía.
Métodos de protección de radiación	En [31] se presenta un planteamiento basado en una capa para reflejar los rayos solares y disminuir la temperatura, a través de una capa de partículas específicas que sea formada usando un dirigible a una altura de 20 Km, para estudiar la dispersión y su comportamiento, en materia de geo-ingeniería. De todo esto, surge la alternativa de integrar energía solar fotovoltaica y sistemas de protección ambiental, a través del control de temperatura, por filtro de radiación (separación espectral), para disminuir la radiación solar directa sobre glaciares y áreas forestales.
Optimizadores de Potencia	En [23] se presenta el arreglo de optimizadores de potencia para sistemas fotovoltaicos por módulo FV.

### III.MÉTODO DE DISEÑO

Electrónica de Potencia y Hardware Reconfigurable y Optimización de las Etapas del Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, tienen dos componentes básicos: (1) la unidad de generación y (2) la unidad de acondicionamiento de la señal para el perfil de red a interconectar (el inversor DC-AC).

En [18] se plantean diversas técnicas de optimización del SFV, con conexión directa entre el generador fotovoltaico y el inversor, sin embargo, se puede incluir una etapa intermedia, a fin de ajustar los parámetros para mejorar el rendimiento del inversor. La idea esencial del sistema MODEN (modulación de energía) es almacenar transitoriamente la energía generada por los módulos fotovoltaicos cuando la potencia de generación es tan baja que la conversión se realizaría a bajo rendimiento y, una vez almacenada, aplicársela al inversor a una potencia a la que su rendimiento sea óptimo (normalmente alrededor del 50% de su potencia nominal). Esto debido a las características de producción de energía fotovoltaica.

Luego del estudio de las técnicas disponibles [7] y las propuestas de optimización, la investigación se concentra en el proyecto cometa solar, que consiste en

cometas (elementos suspendidos), con función de heliostato para direccionamiento de radiación solar hacia los arreglos fotovoltaicos. La lógica de control de posición (altura, ángulo de elevación y azimut) del cometa, puede ser dirigida de manera remota desde la estación terrena, basado en el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles FV, o bien puede ser diseñado un algoritmo de control neuronal para el posicionamiento inteligente, en base al seguimiento del heliostato y con los datos de la ubicación del arreglo. Para lo cual se ha diseñado un esquema de entrenamiento basado en la entrada de datos del nivel de irradiancia por un sensor de fibra óptica, tutorado en una planta (en el sistema inteligente de seguimiento solar para la fotosíntesis), a fin de entrenar la respuesta del elemento de seguimiento basado en los pesos de la red neuronal, al que se ha denominado entrenamiento bio-inspirado del control neuronal [10].

#### Optimización del Control de Irradiancia

1. Algoritmo de seguimiento de heliostatos con control neuronal bio-entrenado.
2. Entrenamiento de la red neuronal con tutoría de plantas en proceso de fotosíntesis.
3. Arreglo adaptativo de cometas heliostatos, inspira-



do en beamforming de antenas inteligentes [32].

4. Direccionamiento de la radiación solar por heliostatos (función satelital).

5. Sincronización de configuración aérea y MPPT del arreglo fotovoltaico.

### Optimización del Control de Temperatura

1. Sistema de ventilación forzada / refrigeración, para temperatura constante en paneles FV.

2. Recuperadores de calor regenerativo del sistema de enfriamiento de paneles.

3. Convertidores termo-solares en cogeneración solar para aprovechamiento de energía térmica.

Estos planteamientos tienen como objetivo optimizar las condiciones de entrada al sistema, que representan las variables independientes en el proceso de conversión fotovoltaica, con el objetivo de estabilizar la dinámica del sistema en cuanto a irradiancia y temperatura, a fin de (1) simplificar el esquema de control en el seguimiento del punto de máxima potencia MPPT, (2) extender el número de horas de sol pico HSP, lo que representa un incremento en el potencial del arreglo FV, (3) aportar contribuciones de radiación directa, difusa y reflejada en la conversión de manera eficiente. Adicionalmente, tiene como contribución la aplicación para protección de radiación directa de áreas protegidas como glaciares y bosques (según especificaciones en el control), filtrado selectivo del espectro con el objetivo de proteger los paneles de componentes de radiación que degradan los materiales del mismo, a fin de ampliar su vida útil y disminuir la temperatura aumentando la eficiencia.

Por otra parte, se ha considerado el diseño de edificaciones de alta eficiencia energética, que consuman menos energía que las casas convencionales, así como recuperadores de calor residual en equipos eléctricos e industriales para aprovechar la fuente de energía térmica, realimentándola a la matriz energética de ERNC, con el objetivo de disminuir la disipación de calor residual que representa una fuente de contaminación ambiental. Así como estrategias de techos solares para edificaciones, promovidas de forma centralizada.

## IV. RESULTADOS

Entre los resultados obtenidos se encuentra el diseño conceptual, modelo y propuesta de innovación de cometas solares heliostáticas. Estos cometas solares requieren definir un material reflectante liviano, elementos de control reconfigurable para establecer las ponderaciones óptimas de concentración y filtrado espectral de la radiación, en una etapa de experimental de

diseño y configuración, a fin de garantizar la operación eficiente y segura, dentro de un estudio de impacto ambiental detallado en nuevas tecnologías.

### A. Diseño Conceptual de Optimización Centralizada del SFV

Diversas investigaciones han buscado alternativas para proteger los glaciares del deshielo, debido a las altas temperaturas e incidencia solar directa [30-31]. Adicionalmente, las condiciones topográficas (efecto de sombra por la cordillera), disminuye el potencial FV en ciertas áreas. Con el propósito de solventar este efecto se ha propuesto la implementación de heliostatos controlados, a cierto nivel de altura óptima. En un arreglo inteligente de cometas heliostatos solares, en una función similar a elementos satelitales y arreglo de antenas, como colectores solares y reflectores de emisión dirigida a los campos fotovoltaicos (con elevada direccionalidad), que representan los receptores en la estación terrena.

La estación terrena comprende la unidad de generación fotovoltaica, elementos de almacenamiento transitorio e inversores de adaptación de la señal a la red. Para su optimización se plantea la reconfiguración dinámica del arreglo fotovoltaico. En el caso de la estación aérea, se encuentra la aplicación de heliostatos para concentración solar, basados en los principios de direccionamiento de la radiación incidente por sistemas ópticos, así como la optimización respecto a la altura del arreglo, se plantea una estación aérea, que permita re-direccionar la radiación solar con cometas repetidores. Entre sus funciones adicionales, está la de concentrar la radiación para una longitud de onda selectiva y filtrar la radiación UV con el fin de proteger la superficie de este tipo de ondas, lo cual puede tener amplia aplicación en la protección de glaciares y ambientes forestales sensibles.

Adaptador de Irradiancia para el Sistema Reconfigurable – FV

El adaptador está compuesto por cometas (elementos ópticos) con geometría definida para la captación de radiación solar incidente a una altura  $H$  y su re-direccionamiento adaptado a un campo fotovoltaico específico de una altura  $h$  y una superficie definida (ver Figura 1). En principio se define una geometría plana por su facilidad de posicionamiento en el espacio aéreo definido para su función, un mecanismo más complejo puede ser definido por un elemento de estructura piramidal, una pirámide invertida replegable para captación unida por el extremo a una pirámide de proyección para dirigir la radiación solar al campo fotovoltaico.

Adicional a la estructura se requiere definir el algoritmo adaptativo de optimización de la radiación inci-

dente sobre el campo fotovoltaico. En este sentido, se define la aplicación de redes neuronales artificiales con entrenamiento dinámico para su función de optimización. Este deberá ser coordinado con la configuración

del arreglo fotovoltaico definido por un sistema reconfigurable en tecnología FPGA de control y una matriz de relés que permitan definir las conexiones para obtener máxima potencia de salida del SFV.

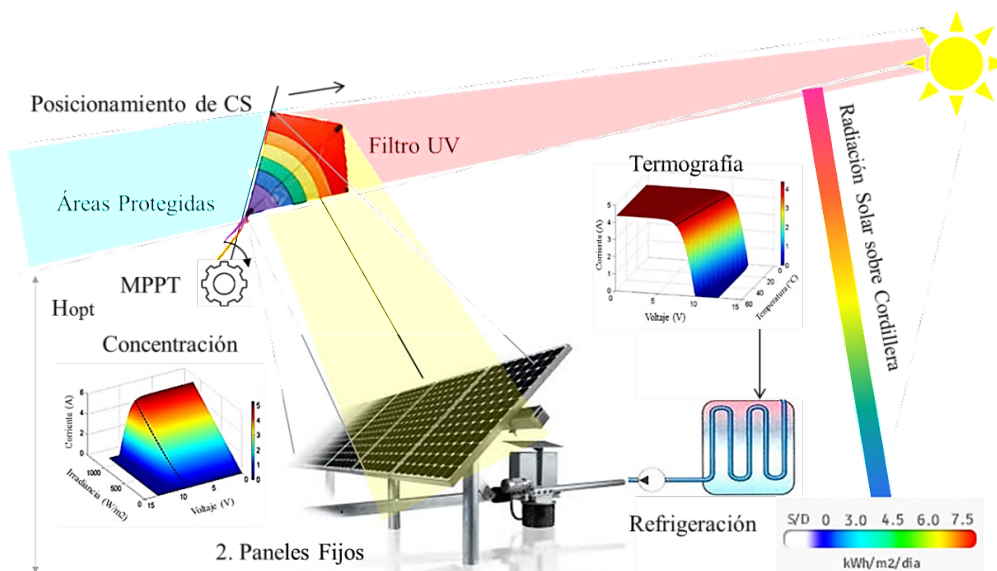


Figura 1. Diseño Conceptual del Proyecto Cometa Solar

En la ilustración se ha seleccionado un heliostato para adaptación de la irradiancia sobre el arreglo fotovoltaico, en la cual se desvía o re-direcciona la radiación solar hacia los paneles que se encuentran en una localización de bajo potencial, como técnica para potencializar superficies que pueden ser descartadas en estudios de factibilidad técnica, pero que presentan ventajas ambientales pueden ser adaptados, dentro de la

aplicación de criterios de sostenibilidad.

En primer lugar, se estudió la correspondencia entre los sistemas solares fotovoltaicos y los sistemas de telecomunicaciones, a fin de establecer aportes en tecnología basada en los avances que se tiene en arreglos de antenas inteligentes y relación señal a ruido, como se presenta en la Tabla V.

TABLA V. Correspondencia entre los sistemas estudiados.

	Sistema de Energía Solar	Sistema de Telecomunicaciones
Relación de Tecnologías	Señal electromagnética	Entrada al sistema
	LSC concentrador solar luminescente	Modulación a través de las propiedades del material
	Atenuación de radiación UV	Filtros de la señal de entrada
	Transmisión de luz solar (fotones)	Guía de onda (fibra óptica)
	Captación de luz solar adaptativa	Antenas Inteligentes (captadores)
	Direccionamiento de luz solar adaptativo	Transmisión inalámbrica por satélite
	Conversión Fotovoltaica LFSR(n,k)	Codificación/Decodificación de la señal RS(n,k)

En la relación de correspondencia se encuentra nuevamente la auto-similitud entre las estructuras del convertidor fotovoltaico, modificadores espectrales, concentradores CSL, arreglos del sistema fotovoltaico, operadores neuronales del esquema de control, sistema de almacenamiento de ERNC multi-etapas con reali-

mentación. Seguidamente, se estableció un conjunto de aspectos de optimización que permiten integrar en la propuesta tecnológica factores socio-ambientales de interés en el desarrollo sostenible de las ERNC, como se presenta en la tabla VI.

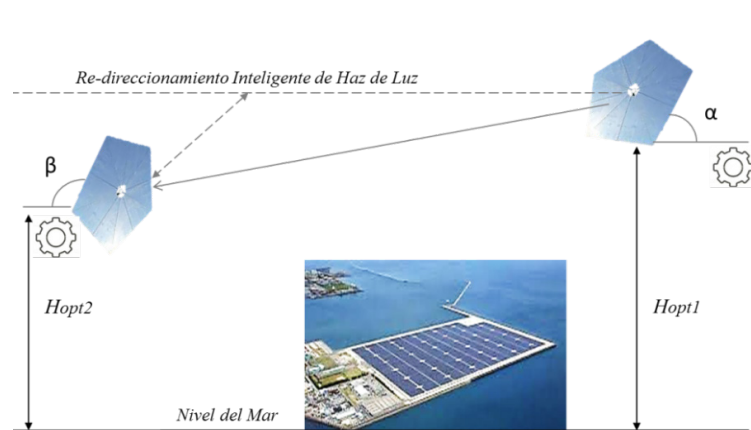
**TABLA VI. Estrategias de Innovación para Factibilidad Técnica y Ambiental.**

Propuesta de Innovación	Descripción
Techos plegables para ESCO	Infraestructura Energética basada en la adaptación de las áreas urbanas a infraestructura verde, módulos configurables, techos plegables. Consiste en un mecanismo de desplazamiento de un panel de optimización (concentradores, lentes formulados y material fotovoltaico alternativo) para superposición sobre el panel fotovoltaico instalado, a fin de aumentar la eficiencia de conversión.
ANN aplicada a hábitat fauna local	La infraestructura energética debe tener un compromiso con la protección de la fauna local, crear ecosistemas y minimizar la temperatura ambiental.
Concentrador Solar Aéreo A2SR	Adaptador Aéreo para Sistemas Reconfigurables, con el objetivo de aumentar la eficiencia en los arreglos fotovoltaicos, así como proteger los glaciares y bosques.
Modelo LFSR para optimización SFV	Identificación de correspondencia del modelo con la estructura LFSR para avanzar en optimización de los sistemas fotovoltaicos.
Estrategia basada en proyectos ERNC	Módulos piezoeléctricos para el suelo de los pisos, sistemas neumáticos de limpieza por aire comprimido para ahorra agua, automatización en gestión de residuos y subproductos. Todo esto para obtener edificaciones con menos consumo de recursos y agua, que permitan hacer más sostenibles los espacios urbanos, desde la gestión y optimización de la compañía de servicio de energía.
FPGA electrónica reconfigurable	Infraestructura energética reconfigurable. Arreglos con matriz de relés para diseño de alta eficiencia dinámica, en arreglos fotovoltaicos reconfigurables
Sistemas de Potencia FV reconfigurable	Nuevos modelos de BW para reconfiguración y programas de reciclaje de paneles
Recuperadores de calor regenerativos	Circuitos de recuperación de calor residual en sistemas FV urbanos e industriales
Neumática de almacenamiento (reg.)	Identificación de etapas de almacenamiento LFSR en sistemas mecánicos
Laboratorio móvil LatAm	Investigación y desarrollo adaptativo con electromovilidad
Responsabilidad Social Empresarial RSE	Tecnología de modelo circular, rotación de activos y
Responsabilidad Ambiental Empresarial RAE	Gestión ambiental y control centralizado de eficiencia energética
Investigación en sistemas pilotos de eficiencia	Pruebas experimentales en diversas áreas con los cometas solares para medición de rendimiento.
I+D en capacitación para ESCO	Centrales virtuales con asistencia en mantenimiento y optimización

Seguidamente, aplicando el modelo de radiación solar disponible en las herramientas de diseño, se realizó un conjunto de ensayos comparando la potencia para diversos paneles fotovoltaicos y configuraciones específicas del arreglo, seleccionando un panel fotovoltaico

co bifacial por sus características de alta densidad de energía y opción de mantener el arreglo fotovoltaico en un ángulo fijo, modificando el ángulo de re-direccionamiento en el heliostato, como se muestra en la figura 2.

Configuración del Arreglo Inversor / Microinversor		
$N_{p\_paralelo} = \frac{I_{in\_máx\_inversor}}{1.25 * I_{SC}}$	Delimitado por la corriente de entrada máxima del inversor	
$N_{p\_serie} = \frac{V_{in\_máx\_inversor}}{1.25 * V_{OC}}$	Delimitado por el Rango de Tensión de entrada del inversor	
<b>Arreglo con MicroInversores</b>		
$V_{in\_Máx\_inversor}$	Compatible	
$I_{in\_máx\_inversor}$	Compatible	
Definido por parámetros del módulo FV		
<b>Datos de Selección del Inversor</b>		
Arreglo de N. módulos	5	Datos del Inversor
Factor de cálculo	1,25	Modelo microinv
$V_{OC}$ del módulo PV	22,10	$V_{in\_máx\_inversor}$
Paralelo: $V_{oc} * N_p$	133,94	23,00
$I_{SC}$ del módulo PV	8,16	$I_{in\_máx\_inversor}$
Serie: $I_{sc} * N_p$	49,45	8,50



**Figura 2. Esquema de Aplicación de Arreglo Distribuido de Concentradores Solares Aéreos**

La configuración del arreglo de concentración deberá estar soportada sobre una base de datos, para un conjunto de características técnicas de equipos (paneles fotovoltaicos, micro-inversores, inversores centralizados), que permite estimar los parámetros eléctricos del sistema, a partir de los caso de estudios o ensayos par-

ticulares. Los resultados del ensayo de referencia son presentados en la Tabla VII (destaca el coeficiente de pérdida por temperatura), se observa la optimización del seguimiento en dos ejes, esta optimización debe ser co-relacionado con el arreglo de concentración solar



TABLA VII. Ensayo del Sistema de Seguimiento en el arreglo FV.

Ensayo:	Panel Fotovoltaico Bifacial				Tipo de Arreglo	Total Diario	Total Anual	Factor Planta	Inclinación	Azimet
$TC_{Isc}$	0,044	% / °C	4,0832	mA/°C	Unidad	KWh	MWh	%	°	°
$TC_{Voc}$	-0,31	% / °C	-145,70	mV/°C	Fijo Horizontal	14.81	5.407	19	0	0
$I_{sc}$	9,28	A	Corriente corto circuito		Fijo Inclinado	15.87	5.792	20	23	-20
$V_{oc}$	47	V	Voltaje de circuito abierto		HSAT	20.32	7.415	26	45	-
$I_{mpp}$	8,68	A	Corriente MPP		VSAT	14.81	5.407	19	0	-
$V_{mpp}$	37,7	V	Voltaje MPP		Seguimiento 2 ejes	22.48	8.207	29	var	var
$W_p$	327,2	W	325	W	Capacidad Instalada	3250				

De esta manera, se puede observar que las herramientas de estimación de potencia producida en una determinada superficie, no cuenta con una base de datos para modelos comerciales de dispositivos, lo que sería útil para enlazar la selección de la tecnología con el modelo matemático de estimación de radiación solar convertida. Por otra parte, la altura de los elementos receptores no es considerada en el modelo, sino que se incluye un índice de corrección por el efecto de las sombras dadas por la topología para la superficie seleccionada, resulta de interés conocer la incidencia solar y capacidad instalada en un arreglo que permita posicionar un elemento heliostato a una altura  $H$  determinada. De esta manera, la propuesta quedaría dada de la forma: Selección de dispositivos (equipos fotovoltaicos y electrónica de potencia) → carga automática de parámetros del dispositivo (factor de temperatura, eficiencia, parámetros eléctricos) → configuración base del arreglo respecto al inversor (micro-inversores / arreglo serie paralelo con inversor central) → configuración del montaje del arreglo (tipo de seguimiento del sistema) → Altura del sistema de captación solar → optimización

dinámica A2SR (configuración del montaje y configuración del arreglo, según las condiciones de MPPT).

### B. Control Neuronal entrenado en Hardware

En la optimización dinámica del arreglo heliostático del proyecto, el primer aspecto a destacar es el diseño de un control neuronal para su implementación sobre tecnología FPGA, que comprende el entrenamiento sobre hardware, especificando el target a través del comportamiento de una planta (seleccionada en este caso una enredadera). Esto permitirá que el sistema pueda adaptarse a la dinámica de la irradiancia, dada por la potencia incidente por unidad de superficie, expresada en  $W/m^2$ . En base a la eficiencia del seguimiento solar de las plantas, se ha considerado enlazar un segmento de fibra óptica al tallo de un enredadera, para el entrenamiento de la red neuronal artificial en hardware, lo que podrá establecer el comportamiento del sistema de seguimiento con criterios de alta eficiencia, el diagrama de bloques del esquema de control, se presenta en la Figura 3.

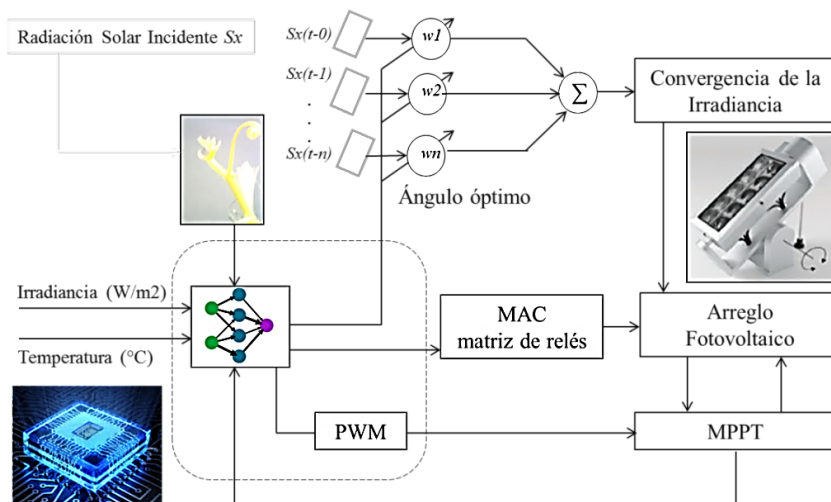


Figura 3. Esquema de Control Neuronal de Seguimiento Solar.

Donde cada optimizador tiene un operador elevador (coeficiente de optimización), condensador de almacenamiento y la configuración LFSR. Elementos de geo-

metría óptica, dopado y propiedades del material LSC - Concentrador Solar Luminiscente, fibra óptica, Stokes Shift (desplazamiento espectral) Modificación Espec-

tral. Los concentradores solares luminiscentes - LSC de capa única de plástico altamente eficientes requieren el diseño de luminóforos que tengan una separación espectral completa entre los espectros de absorción y emisión (gran cambio de Stokes), por lo que en las investigaciones se han diseñado, sintetizado y caracterizado nuevos colorantes, con alto rendimiento cuántico fluorescente [33]. Stokes Shift es la diferencia (en energía, número de onda, unidad de frecuencia) entre la posición de la banda de máxima absorción  $\lambda_a$  y la banda de máxima emisión  $\lambda_e$  espectral, expresado:  $\Delta\lambda = \lambda_e - \lambda_a$ , donde

se estudia el comportamiento del concentrador bajo un modelo de registros desplazamientos dados por las unidades de energía almacenada en la diferencia espectral.

En resumen un elemento adaptador puede permitir mejorar la densidad de potencia de conversión. Del estudio se puede proponer igualmente, un esquema híbrido de paneles multi-funcionales (ver Tabla VIII), para aumentar la densidad de potencia integrando diversas tecnologías de conversión en una dada unidad de superficie.

**TABLA VIII. Relación de correspondencia.**

Tecnología	Ganancia: $w \cdot x_i$	Shift Register	Realimentación	Estructura de capas
Concentrador CSL	óptica	<i>stokes shift</i>	Reflexión óptica	Películas colorantes
Fotovoltaica	fotoeléctrica	corriente de fotones	PERC fotones	Tándem FV dopado
DEG	electroquímica	corriente de gotas	FET gotas	Estructura FET
Termosolar	termoeléctrica	gradiente térmico	RCR térmico	capas aislantes

Al identificar la estructura se puede proponer un arreglo con reciclado programable en términos de los componentes factibles de degradación (definiendo consumibles como cartuchos recargables de material fotoeléctrico), para su regeneración, a través de la reimpresión de circuitos o combinaciones de tándem de material fotoeléctrico para re-establecer las propiedades fotovoltaicas, separados por un material aislante para facilitar la clasificación de componentes y su reciclaje inteligente. La composición estaría dada por la estructura: capa o película (film) material funcional – capa de aislante químico (inocua – no funcional) – capa funcional en composición tándem. Todo esto con la idea de

presentar una tecnología reemplazable en componentes de forma sencilla, con mínimo impacto ambiental y configuración dinámica de los componentes plug and play, a fin de garantizar la actualización tecnológica sostenible.

Todo esto da origen a nuevos conceptos, estableciendo subcategorías en la clasificación HW/SW, considerando componentes portantes de la estructura física que no están sometidos a degradación, reemplazables, capas biodegradables de recambio frecuente (Bioware), con tecnología reconfigurable de matriz de relés y los elementos programables firmware (en la electrónica del dispositivo) y software.

Comp. Portantes HW	Reemplazables RW	Capas orgánicas BW	Firmware	Software
Hardware			Software	

### Diseño conceptual del ERNC-Lab Móvil

A partir de la necesidad de actualización del talento humano y capacitación en nuevas tecnologías de ENRC [34], se plantea un laboratorio móvil para el servicio itinerante a los parques de energías renovables que conforman el sector energético. A fin de ofrecer un programa actualizado de capacitación técnica, el estudio de los sistemas de energías renovables y diseño de protocolos de optimización, a fin de hacer estos sistemas más eficientes. La estación itinerante estará basada en electromovilidad, una estructura replegable de arreglo fotovoltaico para desplegar en terreno como referencia y abastecimiento eléctrico de la unidad, cabina de medición de eficiencia y evaluación de los niveles de degradación de los paneles instalados, termografía, robótica de optimización, entre otras.

### Aportes de la Investigación

Una estrategia de desarrollo social sostenible para urbanismos residenciales (verticales / horizontales), comercial e industrial, la adaptación de edificaciones a la plataforma propuesta para aprovechamiento del potencial energético y participación en el modelo de producción de energías renovables. Un modelo de promoción de eficiencia energética, capacitación de talento humano en tecnologías de optimización, educación ambiental y el desarrollo de energías renovables distribuidas basadas en empresas de servicio de energía, que financian la instalación, gestión eficiente y mantenimiento técnico. Estudios de impacto ambiental y responsabilidad en la producción de energías renovables de manera sostenible. Uno de los puntos de estudio corresponde con el impacto ambiental de la fotovoltaica flotante, efecto

sobre la fauna marina, calidad del agua, entre otras. Más aún, la fotovoltaica flotante ha sido destacada por el enfriamiento de los paneles fotovoltaicos a través de las corrientes de agua en la superficie instalada, pero la disipación de calor residual tiene un efecto en el aumento de la temperatura del agua, por lo que se debe diseñar un sistema de recuperación de calor totalmente responsable para la aplicación regenerativa de la energía captada en forma de calor. El modelo de economía circular asociado a la tecnología de hardware reconfigurable y sistemas regenerativos, tanto en el diseño como mantenimiento.

Se ha propuesto el proyecto cometa solar basado en Adaptador Aéreo para el Sistema Reconfigurable A2SR Fotovoltaico, con configuración remota, que representa un novedoso esquema de optimización de los SFV convencionales, simplificación del sistema de control y actuadores, disminuyendo los factores de falla y mantenimiento requerido en el campo fotovoltaico distribuido. Se ha propuesto módulos de optimización portátiles como puede ser los sistemas de recuperación de calor regenerativo en una unidad móvil, filtros de mangas y elementos ópticos. Al igual que la propuesta de rodamientos magnéticos, en un esquema híbrido con el sistema convencional de lubricación hidráulico de turbinas (elementos convertidores) para disminuir pérdidas de fricción en el sistema de re-convertidores, basado en sales de almacenamiento térmico, volantes de inercia, aire comprimido, bombas hidráulicas, entre otros. Se definió un modelo matemático generalizado en operadores LFC(n,k), que representa un aporte científico, donde se han considerado los términos componentes del sistema LFSR identificado de forma adaptativa con elementos selectivos en la configuración de la arquitectura [5].

Finalmente, para el sistema de almacenamiento, con tratamiento de las estructuras LFSR en el dominio continuo, la conversión de energía estaría expresado por  $y(n)$ , en la etapa de conversión, ponderada por los pesos  $w_c$  del arreglo fotovoltaico y en la etapa de optimización, ponderada  $w_a$  para los pesos de optimización (concentradores, adaptación de irradiancia), como se expresa en (1).

$$y(n) = \int_{i=0}^{n-k} w_c * \left[ \int_{j=0}^m w_a * x(j) \frac{dx}{dj} + x(n-1) \right] \frac{dx}{di} + y(n-1) \quad (1)$$

En el tratamiento discreto se puede establecer el modelo de desplazamiento con la variación entre dos puntos continuos registrados en el elemento LFSR, así como el gradiente para la variación por unidad de distancia sobre una superficie definida, como en el caso de los convertidores de gradiente térmico oceánico OTEC,

así como paneles de alta densidad de conversión de potencia para fotovoltaica, térmica e híbrida. Donde el modelo se puede re-expresar en función de fotones, gotas en el caso de DEG, elementos discretos de aporte de energía, que es convertida con los coeficientes de optimización del sistema y acumulada en la integral o sumatoria correspondiente, como se presenta en (2).

$$y(n) = \sum_{i=0}^{n-k} w_c * \sum_{j=0}^m w_a * x(j) + x(n-1) + y(n-1) \quad (2)$$

En [8] se presenta el modelo con elementos de habilitación  $b_s$  y expresada en función de la entrada (3).

$$y(t) = \sum_{i=1}^{n-k} c_i \left( \sum_{i=1}^m f_i(t) * x(i) \right) + b_s * y_0(t-1) \quad (3)$$

La reconfiguración comprende elementos selectivos y la adaptación dinámica de los pesos o coeficientes, en función de las condiciones óptimas y máxima eficiencia del sistema fotovoltaico.

## V.CONCLUSIONES

Gracias a la propuesta desarrollada, considerando avances orientados a una nueva generación de módulos fotovoltaicos de alta densidad, a través de concentradores, espejos intensificadores por canales reflectantes de los rayos solares, sistema de seguimiento encapsulado, fibra óptica para canalización y seguimiento solar, lo que se traduce en menos cantidad de material fotovoltaico, así como, bio-paneles solares inteligentes (aplicando algas marinas), que resultan más ecológico, más económico y eficiente. A todo esto se le incluye la investigación de estrategias de optimización de las actuales instalaciones, ampliando la eficiencia, la densidad energética y las horas de sol pico, para parques solares y convertidores distribuidos en fotovoltaica urbana y flotante (sobre estructuras basadas en plástico recuperado).

De esta manera, se obtiene un modelo de desarrollo basado en estrategias de sostenibilidad y adaptación de las actuales tecnologías aplicando arreglos concentradores e inteligencia artificial inspirada en la naturaleza, así como estrategias para retornar los componentes electrónicos y fotovoltaicos, de manera de reutilizarlos y actualizarlos para evitar RAEE. Un aporte importante corresponde al esquema de control de seguimiento solar, donde se ha seleccionado un sistema neuroadaptativo, basado en ANN fractales con bio-entrenamiento, inspirado en los procesos inteligentes de la naturaleza, como la fotosíntesis en plantas, que pueden ser reproducido en tecnologías de energías renovables. Igualmente, los programas de reciclaje inspirados en procesos de

descomposición de compuestos por probióticos para asimilación de componentes de energía, dosificación, síntesis de nutrientes y lógica molecular, aplicable en Foto-FPGA.

Integrando tecnologías con amplia trayectoria como corresponde a las antenas inteligentes y sistemas de telecomunicaciones en los sistemas fotovoltaicos (convertidores de ERNC), conceptos de cogeneración solar, basado en iniciativas de investigar el comportamiento de nuevas tecnologías, disminuir la cantidad de material fotovoltaico, los costos de implementación, el consumo de energía en la fabricación de los paneles y haciendo más eficiente el sistema. Por otra parte, se considera el impacto ambiental del calor residual, donde se propone aplicar recuperadores de calor para realimentar al sistema termo-solar, a fin de comprobar la mejor alternativa en eficiencia térmica. Considerando el diseño con ciclos de recuperación de los sistemas y analizando la capacidad de reciclaje, vida útil y regeneración de los componentes.

Otros trabajos relacionados comprenden la base matemática del modelo en correspondencia con los circuitos LFSR, como corresponde al operador LFC(n,k) para aplicaciones de optimización para plantas fotovoltaicas de concentración [5], que permite así mismo la estimación de recursos en tecnología FPGA [35]. Desde el punto de vista, socio-ambiental se propone la capacitación en sistemas ERNC, aplicando estrategias didácticas basada en proyectos [36-37], analizando el impacto positivos en las zonas protegidas de glaciares y áreas forestales, así como las ventajas de la estrategia centralizada para optimización de instalaciones distribuidas, es un aporte en relación a las potencialidad energéticas de la región, dentro de un enfoque sostenible que promueva igualmente el desarrollo de las regiones, la bio-diversidad y el equilibrio, aplicando arquitectura sostenible [38-40], robótica aplicada [41] y control adaptativo para seguimiento solar [42].

Se propone así, un modelo innovador para el estudio de la eficiencia y soluciones óptimas en SFV. El concepto de tele-reconfiguración a través de tecnología FPGA, neuro-control y entrenamiento sobre hardware permitirá optimizar la estructura del arreglo fotovoltaico, la electrónica de potencia y el ángulo óptimo de los cometas heliostáticos solares, a fin de alcanzar alta eficiencia en el sistema. La naturaleza, el respeto y protección ambiental de la fauna y flora deben ser los ejes de desarrollo de las tecnologías, basados en sistemas regenerativos, optimización de recursos y energía, así como la reutilización y reciclaje programado de equipos re-configurables, criterios de bajo consumo energético, diseño con materiales bio-degradables, incorporando

electrónica de control bio-inspirada, sistemas ópticos, foto-luminiscencia y adaptadores para el modelo de optimización.

## REFERENCIAS

- [1]C. Sandoval-Ruiz, “Modelo VHDL de Control Neuronal sobre tecnología FPGA orientado a Aplicaciones Sostenibles”. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, Vol. 27, No. 3, 2019, pp. 383-395. [En línea]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n3/0718-3305-ingeniare-27-03-00383.pdf>
- [2]C. Sandoval-Ruiz, “Control de Micro-Redes de Energía Renovable a través de estructuras LFCS Reconfigurables en VHDL”. *Ciencia y tecnología*, Vol. 18, 2018, pp. 71-86. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/view/847>
- [3]C. Sandoval-Ruiz, “Códigos Reed Solomon para sistemas distribuidos de energías renovables y smart grids a través de dispositivos electrónicos inteligentes sobre tecnología FPGA”. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, Vol. 16, 2018, pp. 37-54. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/296>
- [4]C. Sandoval-Ruiz, “Plataforma de Investigación de Redes Eléctricas Reconfigurables de Energías Renovables aplicando Modelos LFSR”. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 23(95), 2019, pp. 103-115. <http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/253/409>
- [5]C.Sandoval-Ruiz, C. “Operador matemático LFC(n,k) en campos finitos basado en concatenación fractal para GF(2m) – Extendido”. *Ciencia e Ingeniería*, Vol. 41, No. 2, 2020, pp. 197-204. [En línea]. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/16055/21921927185>
- [6]C. Sandoval-Ruiz, “Arreglos Fotovoltaicos Inteligentes con Modelo LFSR-Reconfigurable”. *Ingeniería: Revista de la Universidad de Costa Rica*, Vol. 30, No. 2, 2020, pp. 32-61. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/39484>
- [7]C. Sandoval-Ruiz, “Modelo LFSR de Optimización de Arreglos Solares Fotovoltaicos en Sistemas de ERNC Reconfigurable”. *Revista Ingeniare*. En revisión.
- [8]C. Sandoval-Ruiz. “Arreglo Inteligente de Concentración Solar FV para MPPT usando Tecnología FPGA”. *Revista Técnica Universidad del Zulia*. En revisión.
- [9]C. Sandoval-Ruiz, “Modelo Neuro-Adaptativo en VHDL, basado en circuitos NLFSR, para control de un Sistema Inteligente de Tecnología Sostenible”. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, Vol. 21, No. 85, 2017, pp. 140–149.



- [10]C. Sandoval-Ruiz, "LFSR-Fractal ANN Model applied in R-IEDs for Smart Energy". IEEE Latin America Transactions, VOL. Vol. 18, No. 4, 2020, pp. 677-686. [En línea]. Disponible en: <https://www.inaoep.mx/~IEEElat/index.php/transactions/article/view/1423/446>
- [11]EcoInventos (2020, Ene. 8). ISP Solar afirma que sus nuevos paneles solares reducen el coste de la energía solar a la mitad. [Online]. Available: [https://ecoinventos.com/isp-solar-paneles-solares-alta-eficiencia/?fbclid=IwAR0C95va6jjT7jYth4L\\_yllWOFaftP714Qfozg-MJ7db9xLqGIH47IRYDq-4](https://ecoinventos.com/isp-solar-paneles-solares-alta-eficiencia/?fbclid=IwAR0C95va6jjT7jYth4L_yllWOFaftP714Qfozg-MJ7db9xLqGIH47IRYDq-4)
- [12]Efeverde (2015, Abr. 17). Espejos para llevar el sol a un pequeño pueblo. [Online]. Available: <https://www.efeverde.com/noticias/espejos-para-llevar-el-sol-a-un-pequeno-pueblo-de-noruega/>
- [13]L. Lizama, (2020, Ene. 18). Globos solares. Tecnología. [Online]. Available: <http://www.upsocl.com/ciencia-y-tecnologia/globos-solares-la-tecnologia-capaz-de-generar-400-veces-la-energia-de-un-pannel-otro-paso-adelante/?fbclid=IwAR0nPqe0mjvyvrupo4c1BnK8HBG2LKQiDXoDFXEbip-1mnf0UQchGph0IFs>
- [14]EcoInventos (2020, Ene. 20). Altaeros Bat, la turbina eólica que genera el doble de energía a 300 metros de altura. [Online]. Available: [https://ecoinventos.com/altaeros-bat/?fbclid=IwAR0SP2-\\_cXn-A\\_euLESgS-HY51MPAzXql63LIg\\_urNPheqAZ6oGpeNZXBzw](https://ecoinventos.com/altaeros-bat/?fbclid=IwAR0SP2-_cXn-A_euLESgS-HY51MPAzXql63LIg_urNPheqAZ6oGpeNZXBzw)
- [15]A. Fernández-Balbuena, "Sistemas ópticos para concentración, captación y guiado de radiación solar". Universidad Complutense de Madrid. 2011.
- [16]F.Daorta, & S. Warren, "Concentradores luminiscentes para las aplicaciones fotovoltaicas", 2015.
- [17]G. R. González, & S. O. Muñoz, "Análisis comparativo de dos técnicas para el transporte vertical de la luz natural". REVISTARQUIS, Vol. 7, No. 1, 2018.
- [18]I. Parola, D. Zaremba, R. Evert, J. Kielhorn, F. Jakobs, M. Illarramendi, & H. Johannes, "High performance fluorescent fiber solar concentrators employing double doped polymer optical fibers". Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 178, 2018, pp. 20-28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024818300138>
- [19]J. Castro, R. García-Alvarado, H. Aguilar & SP. Sánchez-Friera, "Diseñar el color de la eficiencia: Concentradores Solares Luminiscentes y aceptación usuaria". RChD: creación y pensamiento, Vol. 3. No. 5, 2018.
- [20]J.M. González de la Fuente, "Utilización de ultracondensadores para la mejora de eficiencia de una instalación fotovoltaica", 2015.
- [21]J. Díaz-Barnabé, & A. Morales-Acevedo, "Experimental study of the equivalence of the Adaptive Incremental Conductance (AIC) and the Adaptive Perturb and Observe (APO) algorithms for PV systems maximum power tracking". IEEE Latin America Transactions, Vol. 17, No. 8, 2019, pp. 1237-1243.
- [22]J. De Souza Silva, H. Moreira, D. de Mesquita, M. Dos Reis, & M. Villalva, "Study of Power Optimizers for grid-connected photovoltaic systems". IEEE Latin America Transactions, 17(01), 2019, pp. 127-134.
- [23]N. Da Rocha, L. Brighenti, J. Passos & D. Martins, "Photovoltaic Cell Cooling as a Facilitator for MPPT". IEEE Latin America Transactions, Vol. 17, No. 10, 2019. pp. 1569-1577.
- [24]A. Lladó Sánchez, "Estudio de almacenamiento de energía mediante aire comprimido: los sistemas CAES (compressed air energy storage)", (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya), 2015.
- [25]M. Clemente Jul, "Comparación de tecnologías de almacenamiento energético provenientes de energías renovables". In Anales de la Real Academia de Doctores de España, Vol. 16, No. 1, pp. 29-49. Real Academia de Doctores de España, 2012.
- [26]J. Guacaneme, D. Velasco & C. Trujillo, "Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes". Información tecnológica, Vol. 25, No. 2, pp. 175-188, 2014.
- [27]V. Arroyo Sáez, "Estudio de pre-factibilidad de la implementación de un parque fotovoltaico flotante en depósitos de relave en la zona centro-norte de Chile", 2017.
- [28]EcoInteligencia (2020, Ene. 8). Ciudades que se adaptan al cambio climático. [Online]. Available: <https://www.ecointeligencia.com/2020/01/ciudades-cambio-climatico-vitoria/?fbclid=IwAR2qQpYy-LaFIQASR1nVy9LxJ-cLCRdscgxU8VJJTRDRq-CxAsk3wID5qOYvg>
- [29]J. Castellanos, C. Sandoval & M. Azpúrua, "Implementación sobre FPGA de un Algoritmo LMS para un arreglo de antenas inteligentes". Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Vol. 37, No. 3. Pp. 270-278, 2015.
- [30]EcoInventos (2019, Nov. 6). Ice911, el plan para cubrir con minúsculas esferas de vidrio el Ártico y ayudar a restaurar el hielo y estabilizar el clima. [Online]. Available: <https://ecoinventos.com/ice911/?fbclid=IwAR2g2-nZSZ34eJVV18xdx72Rc41cdUn7UxpgkzoCcS8WDHjafxUxOtMorh8>
- [31]EcoInventos (2019, Dic. 1). Geoingeniería. Van a lanzar un "filtro solar" en la estratosfera para enfriar la Tierra. [Online]. Available: <https://ecoinventos.com/geoingenieria-filtro-solar-estratosfera-para-enfriar-la-tierra/>
- [32]A. Sanguineti, M. Sassi, R. Turrise, R. Ruffo, G.

Vaccaro, F. Meinardi & L. Beverina, “High Stokes shift perylene dyes for luminescent solar concentrators”. *Chemical Communications*, Vol. 49, No. 16, pp. 1618-1620, 2013.

[33]C. Sandoval-Ruiz, “Plataforma Reconfigurable de Investigación aplicada a Movilidad Sostenible”. *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, Vol. 20, No. 78, pp. 35–41, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/748/601>

[34]C. Sandoval-Ruiz, “Métodos Numéricos en Diferencias Finitas para la Estimación de Recursos de Hardware FPGA en arquitecturas LFSR(n,k) Fractales”. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. Vol. XX No. 03, 2019, pp. 1-10. ISSN: 2594-0732. DOI: 10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.032.

[35]C. Sandoval Ruiz, “Plataforma de Gestión, Investigación y Formación en Tecnologías Sostenibles, para soporte de un Laboratorio Remoto”. *Revista Eduweb, Universidad de Carabobo*, Vol. 10, No. 1, 2016, pp. 79–92. [En línea]. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v10n1/art06.pdf>

[36]D. Steckler, C. Nava, J. Duarte, J. Zambrano & C. Sandoval-Ruiz, “Design of Neural Networks on micro-controllers, applied in functional modules for an eco-park”. *Revista Ingeniería UC*, Vol. 25, No.1, 2018, pp. 50–60. [En línea]. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v25n1/art06.pdf>

[37]C. Sandoval-Ruiz, “Sistema Eco-Adaptativo integrado en elementos arquitectónicos con tecnología sostenible”. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, Vol. 4, No. 8, 2015, pp. 96–109. [En línea]. Disponible en: <https://issuu.com/recperspectiva/docs/rec8/96>

[38]C. Sandoval-Ruiz, “Diseño Arquitectónico Inteligente aplicando conceptos de Urbótica y Sostenibilidad”. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, Vol. 6, No. 11, 2017, pp. 18-27.

[39]C. Sandoval-Ruiz, “Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City”. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, Vol. 7, No. 12, 2018, pp. 1–19.

[40]J. Valero-Moro, Y. Bonilla-Turmero, & C. Sandoval-Ruiz, “Estación tele-operada de robótica móvil, para el laboratorio de micro-controladores”. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, Vol. 21, No. 83, 2017, pp. 69–75. [En línea]. Disponible en: <http://www.uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/794/639>

[41]Sandoval Ruiz, C. “Adaptive Control in VHDL Applied to a Solar Oven”. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 1, No. 23, 2014, pp. 142–147. [En línea]. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_40/recursos/04\\_v19\\_24/revista\\_23/27092014/21.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_23/27092014/21.pdf)