REVISEN

REVISTA DE INVESTIGACIÓN PARA EL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL

ISSN 2542-3118 Depósito legal: DC2016001554. Volumen 5. Número 1. Enero - Junio 2026

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
Ministerio del Poder Popular para la ENERGÍA ELÉCTRICA
FIDELZ Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

Revista de Investigación para el Sector
Eléctrico Nacional 2026.
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético
Luis Zambrano (FIDELZ)

REVISEN. Volumen 5. Número 1.
Año 2026

Formato
Digital

Depósito Legal:
DC2016001554

ISSN:
2542-3118

Email
revisenfidelz@gmail.com

Télefono
(0212) - 5091097
(0212) - 5092309

Dirección
Avenida Vollmer, Torre Ministerio del Poder Popular
para la Energía Eléctrica.San Bernardino, Distrito Capital.
República Bolivariana de Venezuela

Ministerio del Poder Popular para la
ENERGÍA ELÉCTRICA

FIDELZ
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

Autoridades

Rolando Alcalá
Editor Jefe
Ministro del Poder Popular para la Energía Eléctrica

Tania Elizabeth Masea Linares
Editora Ejecutiva
Directora General de la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

REVISEN. Volumen 5. Número 1. Enero - Junio 2026
Aprobada mediante reunión ordinaria del Consejo Directivo de la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano Nº 18 de fecha 07 de Agosto de 2026

Tania Elizabeth Masea Linares
Directora General de la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

José Amaranto Vargas
Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica

Elías Sánchez
Ministerio del Poder Popular para las Comunas y los Movimientos Sociales

Pedro Acosta
Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC)

Mercedes Gutiérrez
Representate de los trabajadores del sector eléctrico

Comité Editorial

Dra. Nidia Figueredo
Universidad de las Villas.
La Habana. Cuba

Dr. Carlos Pacheco
Universidad Popular del Ambiente
"Fruto Vivas"

Comité Técnico

MSc. Reinaldo Gonzalez
Dr. Carlos Méndez
Dra. Elybet Hernández
Dra. Marubi Arcas
Dr. Vicente Durán
MSc. Jesús Castillo
MSc. Charlee Robles
Soc. Gabriel Sanabria
MSc.Danny Urbina
MSc.Jaime Marquez

Diagramación y Diseño

Sonel Martínez
Aydamar Dorta

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

CONTENIDO

Editorial **6**

Artículos Arbitrados

Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo para el Aula de Computación 1 del Complejo Académico El Sabino, UNEFM **9**

Infraestructura Fotovoltaica para Mitigar la Desertificación: Efectos Microclimáticos y Ecológicos **22**

Impacto de las Descargas Atmosféricas en Líneas de Transmisión **36**

Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Sector Eléctrico (1990–2022) **53**

Gestión integral de residuos y seguridad de la nación: Hacia un modelo de soberanía energética en Venezuela **65**

Tecnoecología: una concepción innovadora para la caracterización de la energía solar en el Sector Eléctrico Nacional **77**

Construcción del Conocimiento: Dimensiones del Epistemicidio de los Luis Zambrano **92**

Coloquios de Investigación

Autonomía Energética y Desarrollo Comunitario Sostenible: Impacto del Sistema Fotovoltaico en la Cadena de Valor Pesquera de Toco de Osma, La Guaira **105**

La Sombra del Sol **108**

La Doctrina Geopolítica Venezolana: Del Ideal Bolivariano a la Soberanía y Proyección Energética en el Siglo XXI **109**

Hacia una Acuicultura sostenible en Venezuela **111**

III Encuentro con Don Luis Zambrano

El Arte del Hacer: Don Luis Zambrano y la Legitimación de la Tecnología Popular **116**

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

EDITORIAL

Innovación a través de la Investigación Aplicada y Soberanía Tecnológica: El Imperativo del Sector Eléctrico Venezolano.

En Venezuela, el sistema eléctrico nacional se encuentra en una encrucijada histórica. La creciente demanda de una sociedad en desarrollo, sumadas a los desafíos inherentes a la operación y mantenimiento de una infraestructura compleja, exigen una respuesta que trascienda la simple administración de la crisis. Hoy, más que nunca, se impone un cambio de paradigma: dejar de ser únicamente consumidores de tecnología foránea para convertirnos en generadores de soluciones propias, adaptadas a nuestra realidad y orientadas a la consolidación de la soberanía eléctrica.

Es en este contexto, donde la investigación aplicada emerge, no solamente como una opción académica, sino como la columna vertebral estratégica para el fortalecimiento integral de los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización.

La investigación aplicada, aquella que se traduce en prototipos, bienes, servicios, protocolos y tecnologías tangibles, es la llave maestra para desbloquear el potencial del sector. Es insuficiente diagnosticar; es fundamental crear. El desarrollo de nuevas tecnologías para el mantenimiento predictivo y correctivo, la formulación de protocolos de gestión novedosos que optimicen la operación y reduzcan pérdidas, y la ingeniería de soluciones para robustecer la infraestructura, son tareas ineludibles para el desarrollo sostenible e independiente.

En este panorama, la labor de instituciones como la Fundación Instituto para el Desarrollo Eléctrico Luis Zambrano se erige como un faro de referencia ineludible. Su proceso investigativo ha demostrado, con hechos concretos, que la inventiva nacional está a la altura de los desafíos. El desarrollo del desulfatador de baterías, un prototipo destinado a prolongar la vida útil de un componente crítico en subestaciones y sistemas de respaldo, no es un logro menor; es una solución directa a un problema real de costos y confiabilidad. De igual manera, el robot para limpieza de paneles solares, representa la automatización de una tarea esencial, para maximizar la eficiencia de la generación fotovoltaica y facilitando la labor de los trabajadores y trabajadoras.

Estos prototipos, junto con la elaboración de currículos para cursos especializados, que invitan a la investigación desde la formación, configuran un ecosistema virtuoso. No se trata solo de inventar, sino de formar para seguir inventando. La Fundación, al integrar la formación avanzada con la investigación y el desarrollo tecnológico, está sembrando las bases para una nueva generación de profesionales que no solo operen el sistema, sino que lo mejoren continuamente.

Es imposible hablar de este despertar inventivo, sin rendir homenaje a su génesis. La impronta de Don Luis Zambrano, oriundo del estado Mérida, resuena en cada uno de estos proyectos. Su legado de creatividad, perseverancia y compromiso con el desarrollo nacional es el combustible que impulsa a la Fundación que lleva su nombre. Zambrano no fue solo un inventor prolífico; fue un visionario que entendió que la verdadera independencia de un país se forja en el taller, en el laboratorio y en la resolución ingeniosa de los problemas cotidianos. Su figura es un recordatorio permanente de que el genio creador venezolano existe y está latente, esperando las condiciones y el apoyo para florecer.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

El reto, como comunidad científica y como sector, es monumental. Desde esta tribuna editorial, impulsamos la sinergia entre universidades, centros de investigación, educacion media técnica, el INCES, la industria eléctrica, entes gubernamentales, Industrias y la investigación aplicada no puede ser un esfuerzo aislado. Debe estar intrínsecamente ligada a las necesidades operativas reales del sistema, y sus resultados deben encontrar vías expeditas para su implementación.

El camino hacia un sector eléctrico moderno, resiliente y soberano pasa, obligatoriamente, por el fomento decidido de la ciencia y la tecnología propias. Los desarrollos de la Fundación Instituto para el Desarrollo Eléctrico Luis Zambrano son la prueba fehaciente de que es posible. Es hora de que ese espíritu innovador deje de ser la excepción y se convierta en la norma que rija el destino del sector eléctrico nacional.

Consejo Editorial

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

ARTÍCULOS ARBITRADOS

FIDELZ

DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA EL AULA DE COMPUTACIÓN 1 DEL COMPLEJO ACADÉMICO EL SABINO, UNEFM

Quintero Galicia, R. J., Reyes Marín, E. J.
Universidad Nacional Experimental de Especialidades Eléctricas (UNEXEE)

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema solar fotovoltaico autónomo (SFV-A) para garantizar la continuidad operativa del Aula de Computación 1 en el Complejo Académico El Sabino (CAES) de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). El estudio se fundamentó en un diseño no experimental de campo y una metodología de proyecto factible. El diagnóstico inicial reveló una demanda energética crítica de 27.486 Wh/día. Se aplicó el método de selección de Robert Norton para evaluar tecnologías de captación, acumulación y control. Los resultados determinaron el uso de 15 paneles de silicio monocristalino (340 W), un inversor híbrido trifásico de 9 kW y 10 baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO4). El sistema diseñado proporciona una autonomía de 2 días y requiere una inversión total de 19.112 USD, demostrando viabilidad técnica y sostenibilidad económica a largo plazo.

Palabras claves: energía solar, autonomía energética, litio-ferrofosfato, inversor híbrido, Paraguaná.

DESIGN OF A STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM FOR COMPUTER LAB 1 OF THE EL SABINO ACADEMIC COMPLEX, UNEFM

ABSTRACT

This research aimed to design an autonomous photovoltaic solar system (PV-S) to ensure the continuous operation of Computer Lab 1 at the El Sabino Academic Complex (CAES) of the Francisco de Miranda National Experimental University (UNEFM). The study was based on a non-experimental field design and a feasible project methodology. The initial assessment revealed a critical energy demand of 27,486 Wh/day. Robert Norton's selection method was applied to evaluate energy collection, storage, and control technologies. The results determined the use of 15 monocrystalline silicon panels (340 W), a 9 kW three-phase hybrid inverter, and 10 lithium iron phosphate (LiFePO4) batteries. The designed system provides two days of autonomy and requires a total investment of 19,112 USD, demonstrating technical viability and long-term economic sustainability.

Keywords: solar energy, energy autonomy, lithium iron phosphate, hybrid inverter, Paraguaná.

INTRODUCCIÓN

La transición global hacia fuentes de energía sostenibles ha dejado de ser una opción para convertirse en una necesidad estratégica, especialmente en entornos académicos donde la continuidad operativa es crítica para el proceso de enseñanza-aprendizaje. El Complejo Académico "El Sabino" de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), como centro de formación tecnológica, enfrenta el reto de garantizar el suministro eléctrico constante para sus laboratorios ante las fluctuaciones y limitaciones de la red eléctrica convencional.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

El diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV) Autónomo para el Aula de Computación 1 surge como una solución técnica y ecológica que busca la soberanía energética del recinto. Un sistema autónomo, a diferencia de los sistemas conectados a la red, depende exclusivamente de la captación de radiación solar y del almacenamiento en bancos de baterías, lo que permite el funcionamiento independiente de los equipos de computación incluso durante interrupciones del servicio eléctrico nacional.

Este proyecto integra diversos componentes fundamentales de la ingeniería eléctrica y térmica:

• **Arreglo Fotovoltaico:** Encargado de la conversión de la energía lumínica en energía eléctrica de corriente continua (DC).

• **Regulador de Carga:** Dispositivo que gestiona el flujo de energía hacia las baterías para evitar sobrecargas y descargas profundas.

• **Banco de Baterías:** Sistema de almacenamiento de energía necesario para cubrir la demanda en momentos de baja radiación o durante la noche.

• **Inversor de Corriente:** Elemento crítico que transforma la corriente continua (DC) almacenada en corriente alterna (AC), compatible con los computadores y periféricos del aula.

Finalmente, se busca resolver el problema que se genera por la inestabilidad del suministro eléctrico en la Península de Paraguaná, afectando severamente las actividades académicas en el CAES de la UNEFM. El Aula de Computación 1, vital para la formación técnica, sufre interrupciones constantes que impactan el presupuesto operativo y la calidad educativa. No obstante, la región cuenta con niveles de irradiación solar excepcionales, lo que justifica el diseño de un sistema basado en energías renovables para mitigar la dependencia de la red nacional. El objetivo general de este trabajo es desarrollar un diseño detallado que satisfaga los requerimientos energéticos de dicho espacio de forma autónoma.

Fundamentación y Arquitectura del Sistema Fotovoltaico

De acuerdo con el Proyecto EnDev/GIZ (2013), un sistema fotovoltaico se define como un conjunto de componentes integrados para la captación de energía solar y su transformación directa en energía eléctrica. Este proceso se sustenta en el efecto fotovoltaico, un fenómeno físico que permite la conversión de radiación lumínica en electricidad aprovechable.

La arquitectura del sistema se organiza bajo tres subsistemas técnicos fundamentales:

• **Subsistema de Generación:** Constituido por el generador fotovoltaico (módulos), cuya función es la captación de fotones y la generación inicial de corriente continua.

• **Subsistema de Almacenamiento:** Basado en acumuladores que preservan la energía para garantizar el suministro durante periodos de nula o baja irradiación solar.

• **Subsistema de Control:** Comprende dispositivos de gestión (reguladores e inversores) que supervisan la carga, protegen la integridad de los componentes y adecúan los parámetros eléctricos para el consumo.

Estas soluciones tecnológicas son fundamentales en contextos de electrificación rural, zonas de difícil acceso o entornos donde la red eléctrica convencional presenta fallas recurrentes.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Seguridad Eléctrica y Gestión de Puesta a Tierra

Bajo los principios de Wiles (2005), la puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas no es un elemento opcional, sino un requisito de seguridad crítica. Este sistema desempeña dos funciones técnicas esenciales: la equipotencialización y la conexión del sistema a tierra. La primera estabiliza la tensión operativa mediante la unión deliberada de un conductor de corriente con un electrodo de tierra, mientras que la segunda vincula todas las superficies metálicas no conductoras (estructuras y carcasas) al sistema de tierra.

Nota técnica de seguridad: La creación de un camino de baja resistencia es un requisito funcional indispensable. Este diseño permite la disipación segura de corrientes de falla, asegurando que los dispositivos de protección (fusibles y disyuntores) actúen oportunamente para salvaguardar la integridad de las personas y los equipos.

Metodologías de Estimación de Carga Energética

La determinación de la carga es el pilar del dimensionamiento técnico. Siguiendo los hallazgos de Neagu Bratu Serba (1999), se aplican tres metodologías de cálculo según la naturaleza del proyecto, incluidas en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Resumen de parámetros técnicos y su aplicación.

Método de estimación	Parámetros técnicos considerados	Aplicación principal
Por Similitudes	Análisis de perfiles de consumo y necesidades de iluminación por tipo de usuario.	Cargas domésticas y comerciales estándar.
Cálculo analítico	Evaluación de potencia instalada, demanda máxima y factor de demanda.	Dimensionamiento riguroso de ingeniería.
Por equipos específicos	Análisis de transformadores, alimentadores, plantas de emergencia y bancos de capacitores.	Entornos industriales y de alta complejidad.

Fuente: Elaboración propia

Caracterización Técnica y Tipología de Módulos Fotovoltaicos

Según Solanki (2013), un módulo fotovoltaico es un conjunto de celdas conectadas eléctricamente y encapsuladas en materiales de alta resistencia a la intemperie. Para garantizar la calidad y durabilidad, estos componentes deben fabricarse bajo la norma internacional IEC-61215.

Basado en la clasificación de Kalogirou (2014), se identifican las siguientes tecnologías:

• **Monocristalino:** Posee una estructura cristalina totalmente ordenada, fabricada con silicio puro dopado con boro. Presenta el mayor rendimiento y es altamente valorado por su amplia disponibilidad en el mercado.

• **Policristalino:** Estructura con múltiples cristales. Aunque su rendimiento es ligeramente inferior debido a las zonas irregulares de cristalización, es una opción equilibrada en costes.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• **Amorfo:** Presenta un alto desorden estructural. Se fabrica depositando silicio en lámina delgada sobre sustratos de vidrio o plástico; es económico pero de baja eficiencia.

• **Capa Delgada (Thin Film):** Basada en sulfuro de cadmio (CdS) y sulfuro cuproso (Cu2S). Es una tecnología con bajo grado de desarrollo y rendimiento limitado.

• **Arsenuro de Galio (GaAs):** Tecnología de altísima eficiencia que mantiene su estabilidad operativa ante elevadas temperaturas. Su uso es restringido debido a los altos costos por la escasez del material.

Justificación Técnica: Para proyectos de optimización, se priorizan los paneles de silicio monocristalino y policristalino, dado que representan la mejor relación valor vs. rendimiento y robustez técnica disponible.

Análisis Estructural y Físico del Panel y la Célula

La arquitectura física del panel (Rodrigues y Urbina, 2020) comprende una estructura multicapa diseñada para la protección y maximización de la eficiencia:

1. **Marco de aluminio anodizado:** Proporciona rigidez estructural y resistencia a la corrosión.
2. **Cubierta exterior de vidrio templado:** Protege contra agentes climáticos; su cara externa es lisa (anti-suciedad) y la interna es rugosa para asegurar adherencia.
3. **Capa esponjosa y Junta selladora:** Garantizan el cierre hermético y la protección contra la humedad.
4. **Encapsulante (EVA):** Material con alta transmisión de radiación y baja degradación solar.
5. **Cubierta posterior (Back-sheet):** Capas opacas que reflejan la luz que ha pasado por los intersticios de las celdas, forzándola a incidir nuevamente sobre ellas.

Anatomía de la Célula Fotovoltaica: La célula opera mediante la interacción de materiales semiconductores Tipo P (positivo) y Tipo N (negativo), unidos en una Junta N-P. En la superficie, cuenta con una rejilla de contacto para recolectar la corriente. Cuando la radiación incide —considerando un valor estándar de 1000 W/m²—, los fotones generan un flujo de electrones a través del campo eléctrico de la junta.

Caja de Conexiones: Contiene los bornes de salida y los diodos de protección, vitales para prevenir daños por sombras parciales y asegurar la continuidad operativa del arreglo.

Análisis de Componentes Periféricos del Sistema

Según Méndez, Cuervo y Pareja (2012), los componentes de gestión técnica son:

• **Baterías (Acumuladores):** Se prioriza la tecnología de Plomo-Ácido por ser una tecnología ampliamente estudiada y con la mejor relación coste/beneficio frente al Li-ion. Su vida útil se define por ciclos de carga hasta que la capacidad se reduce al 80% del valor nominal.

• **Regulador de carga:** Gestiona la carga y descarga de las baterías. Implementa el voltaje de corte para prevenir descargas profundas que comprometan la vida útil del banco.

• **Inversor:** Componente de alta criticidad que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Actúa como gestor inteligente al decidir el momento oportuno para introducir la energía en la red de distribución.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• **Generador fotovoltaico:** Conjunto de módulos conectados en serie y paralelo, configurados específicamente hasta alcanzar el voltaje adecuado para su utilización final.

Clasificación Operativa de los Sistemas Fotovoltaicos

Guevara, Navarro y Ramírez (2015) clasifican los sistemas según su configuración operativa:

1. **Sistemas Aislados (Autónomos):** Orientados a zonas sin red. Requieren obligatoriamente acumulación. El campo debe dimensionarse para satisfacer la carga y recargar las baterías simultáneamente durante las horas de sol.
2. **Sistemas de Conexión a Red:** No utilizan baterías, reduciendo costos y complejidad. Inyectan la energía directamente y cuentan con sistemas de seguimiento de tensión para garantizar una entrega síncrona y segura.
3. **Sistemas Híbridos o Mixtos:** Combinan el generador fotovoltaico con otras fuentes (ej. grupos electrógenos) para maximizar la confiabilidad del suministro.

Aplicaciones Prácticas y Escenarios de Implementación

Basado en Martin N. (2007), la tecnología se despliega en diversas escalas de potencia:

• **Escala de Miliwatts:** Dispositivos electrónicos portátiles (relojes, calculadoras).

• **Escala de Watts:** Sistemas domésticos de baja demanda.

• **Escala de Kilowatts:** Centrales de generación de potencia para satisfacer demandas industriales o residenciales masivas.

Los sectores estratégicos de alta confiabilidad incluyen la electrificación rural en zonas aisladas y la infraestructura de telecomunicaciones, donde la autonomía energética es un requisito operativo crítico.

METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO

Esta investigación se enmarcó bajo el enfoque cuantitativo. Según Hernández et al. (2014), en este tipo de enfoque se establece que los datos que se recogen y estudian son de naturaleza cuantitativa, estableciendo la correlación con la variable: Sistema fotovoltaico. Este enfoque resulta adecuado porque permite medir de manera objetiva los niveles de consumo eléctrico del Aula de computación, la irradiación solar disponible en la zona y otros factores técnicos necesarios para dimensionar el sistema propuesto.

Ahora bien, los diversos tipos de investigación existentes brindan la posibilidad al investigador de lograr cada uno de los objetivos planteados; es por ello que es de vital importancia poseer un claro y amplio conocimiento sobre los diferentes tipos de estudios que pudiesen adoptarse para obtener resultados que se aproximen en alto porcentaje.

Dentro del modelo metodológico que adoptó esta investigación, es de tipo descriptivo. Con respecto a estos estudios, Arias (2012) señala: "La investigación descriptiva tiene como objetivo la caracterización de un fenómeno, situación o grupo, mediante la medición de variables o el análisis de sus atributos" (p. 87).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Después de la anterior definición expuesta por el autor, se clasifica la presente investigación como descriptiva, dado que se explicarán los principios del funcionamiento de un sistema de alimentación para el Aula de computación del CAES, UNEFM, y sus características, como también los pasos para el logro de los mismos; además, se busca encontrar las características físicas, eléctricas y operativas, tales como: ¿Cuántos paneles fotovoltaicos se necesitan para alimentar las cargas críticas de la sala de computación? ¿Cuál será el tipo de arreglo para el banco de baterías a utilizar?, entre otras preguntas que van de la mano con las características básicas de una investigación descriptiva.

Por otro lado, se recopiló, analizó e interpretó información referente a características meteorológicas y geográficas del Aula de computación, tales como la latitud de la zona, el nivel de irradiación promedio, días solares promedio, temperatura promedio de la zona, clima a lo largo del año, entre otros aspectos. Hay que mencionar, además, que se expresaron los criterios utilizados para el diseño de un sistema de alimentación eléctrica para las cargas críticas del Aula de computación, tomando en cuenta la carga total, consumo diario, entre otras consideraciones.

Por otra parte, Arias (2012) señala: “el diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado"(p. 27). En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental. Es la base sobre la cual se construyen todos los aspectos del proceso investigativo, asegurando la coherencia entre los objetivos, los métodos de recolección y análisis de datos.

El diseño de investigación no experimental es aquel donde no se manipulan deliberadamente las variables, sino que los fenómenos se observan en su estado natural. Kerlinger (1979) explica que “En este tipo de investigación, el investigador no tiene control sobre las variables independientes, ya que estas ya ocurrieron o no pueden ser modificadas de forma intencional” (p. 40). Por tanto, las relaciones entre variables se analizan sin intervención activa del investigador. Para la investigación, se incorporó el diseño no experimental debido a que la investigación fue de carácter observacional, sin manipulación de variables. El objetivo principal es diseñar un sistema solar fotovoltaico que satisfaga la demanda energética del Aula de computación 1 del CAES, UNEFM.

En este caso el diseño no experimental corresponderá a una investigación de campo, donde el mismo autor refiere que: “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental” (p. 31).

Es por esto que esta investigación se consideró como una investigación de campo, debido a que se tomaron directamente los datos energéticos del Aula de computación 1 y las condiciones del entorno para establecer un sistema solar fotovoltaico que responda a estas demandas, considerando los equipos, horarios de uso y limitaciones espaciales para el montaje del sistema, y así garantizar que el diseño sea adaptado a la realidad de dicha Aula. Además, Arias (2012) señala que “un proyecto factible se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p. 29). De lo antes planteado, un proyecto factible consiste en el desarrollo de una proposición, de un modelo como solución a una problemática de tipo práctico de una comunidad, tal y como la establecida en esta investigación, ya que se elaboró una propuesta que permita garantizar el suministro de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del potencial solar en la zona.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Población Técnica

Para Arias (2012), "La población, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio" (p. 81). Por su parte Hurtado (2010) define población como "un conjunto de elementos o seres concordantes entre sí en cuanto a una serie de características, de los cuales se deseó obtener alguna información" (p. 154).

Procedimiento

• **Fase de Campo:** Recolección de datos in situ mediante observación directa y levantamiento técnico de las placas de características de los equipos (voltaje, amperaje, potencia nominal).

• **Fase Documental:** Caracterización del recurso solar mediante el análisis de la base de datos NASA POWER, utilizando el registro histórico del quinquenio 2020-2025 para determinar la irradiancia promedio en la ubicación geográfica de El Sabino.

El resumen de la carga eléctrica para el diseño del sistema solar fotovoltaico del Aula de Computación 1 se basa en un inventario técnico detallado de los equipos, sistema de iluminación y el cálculo de las horas de uso diario. A continuación, se detallan los componentes y consumos identificados en las fuentes, así como la aplicación de los criterios propuestos.

1. Inventario de Carga (Población Técnica)

El sistema está diseñado para alimentar un total de 22 dispositivos finales que conforman la carga crítica del aula:

• **16 Computadoras de mesa:** Cada una con una potencia nominal de 300 W.

• **06 Lámparas LED:** Cada una con una potencia nominal de 18 W.

2. Desglose de Potencia y Demanda Diaria

Los cálculos se realizaron considerando un tiempo de operación estimado de 4 horas al día para todos los equipos (Tabla 2):

Tabla 2. Potencia y Demanda Diaria

Equipo	Cantidad	Potencia total (W)	Horas de uso	Demanda (Wh/día)
Computadoras (300 W)	16	4.800 W	4	19.200 Wh/día
Lámparas LED (18 W)	6	108 W	4	432 Wh/día
Totales Base	**22**	**4.908 W**	**-**	**19.632 Wh/día**

Fuente: Elaboración propia

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

3. Demanda Crítica Ajustada

Para garantizar la fiabilidad del suministro y siguiendo las recomendaciones del Código Eléctrico Nacional (NEC) y literatura técnica, se aplicaron factores de seguridad al diseño:

• **Factor de Seguridad por Energía (40%):** Se incrementó la demanda base para cubrir pérdidas no contabilizadas y variaciones, estableciendo una demanda energética de diseño de 27.486 Wh/día.

• **Potencia Media A.C. Requerida:** Basada en la demanda diaria distribuida en las horas de operación, se calculó en 6.871,5 W.

• **Factor de Dimensionamiento del Inversor (25%):** Para soportar picos de arranque (especialmente de múltiples monitores y CPUs simultáneamente), se aplicó un factor de 1.25 a la potencia media, resultando en un requerimiento nominal de 8.589,37 W.

4. Especificación Final del Sistema

Basado en este resumen de carga, el diseño final seleccionó componentes con las siguientes capacidades para satisfacer la demanda:

• **Inversor/Regulador:** Capacidad de 9.000 W (9 kW) para cubrir los picos de potencia calculados.

• **Generación Fotovoltaica:** 15 paneles de 340 W, capaces de generar 27.783 Wh/día, cubriendo con un ligero superávit la demanda crítica.

• **Almacenamiento:** Un banco de baterías con capacidad total de 96 kWh para garantizar 2 días de autonomía total sin radiación solar.

RESULTADOS Y ANÁLISIS: CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la selección de los componentes, se establecieron los criterios de evaluación para cada sistema de captación, acumulación, conversión y estructura, basándose en las condiciones específicas que se encuentran en el Aula de computación 1 del CAES de la UNEFM. La evaluación de las alternativas se realizó por medio de la matriz de selección de Robert Norton, dándole ponderación según los criterios de selección requeridos.

Dichas alternativas deben satisfacer los requerimientos del diseño, como lo son economía, mantenibilidad, resistencia, confiabilidad y funcionamiento. Una vez evaluadas las alternativas, se seleccionó la más adecuada, a cada criterio se le asignó un peso porcentual, siendo estos los siguientes:

• Economía (30%)

• Funcionamiento (30%)

• Resistencia (20%)

• Mantenibilidad (20%)

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Para evaluar las alternativas de diseño del sistema, se tomó en cuenta la escala de valores comprendida entre 1 y 5, de la manera siguiente: 1 = Pésimo, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Muy bueno. De acuerdo a esta puntuación, se le asignó a cada parámetro un valor junto al porcentaje. Finalmente la selección se hará con el mayor valor obtenido de la sumatoria.

Evaluación del Sistema de Captación

Para esta evaluación, se compararon (Tabla 3) las tecnologías de los paneles solares con base a la célula fotovoltaica de silicio: monocristalino, policristalino y amorfo y se aplicó el procedimiento descrito anteriormente.

Tabla 3. Evaluación del Sistema de Captación

Criterio	Peso	Policristalino	Monocristalino	Amorfo
Economía	30%	4 (1.2)	3 (0.9)	4 (1.2)
Resistencia	20%	3 (0.6)	5 (1.0)	4 (0.8)
Mantenibilidad	20%	4 (0.8)	5 (1.0)	2 (0.4)
Funcionamiento	30%	4 (1.2)	5 (1.5)	2 (0.6)
Total	**100%**	**3.8**	**4.4**	**3.0**

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del Sistema de Acumulación (Baterías)

La selección fue crítica para garantizar dos (2) días de autonomía sin sol, evaluando los parámetros de funcionamiento y vida útil (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación del Sistema de Acumulación (Baterías)

Criterio	Peso	Plomo-Ácido (VRLA)	Ion-Litio (LiFePO4)	Flujo Redox
Funcionamiento	30%	3 (0.9)	5 (1.5)	4 (1.2)
Vida Útil (Resistencia)	20%	2 (0.4)	5 (1.0)	5 (1.0)
Puntuación Total	**-**	**3.2**	**4.7**	**2.8**

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del Inversor y Estructura

El inversor híbrido con modo isla obtuvo 4.5/5 debido a su capacidad de gestionar fuentes mixtas y operar de forma independiente. La estructura independiente en techo fue seleccionada con 4.4/5, permitiendo una inclinación óptima de 24° hacia el sur para maximizar la captación.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Resumen del diseño del Sistema Fotovoltaico

Para la selección final del sistema fotovoltaico, se tomaron las teorías de Messenger y Ventre (2020), la selección adecuada de los elementos debe sustentarse en criterios técnicos que consideren las condiciones operativas y los requerimientos en cuanto a la carga se refiere. Este proceso de evaluación permite comparar las alternativas disponibles en el mercado, asegurando la operatividad entre los sistemas optimizando así, el desempeño total de la instalación. La metodología de evaluación debe incorporar aspectos tanto técnicos como económicos, alineándose con los principios de ingeniería confiable y sostenibilidad financiera.

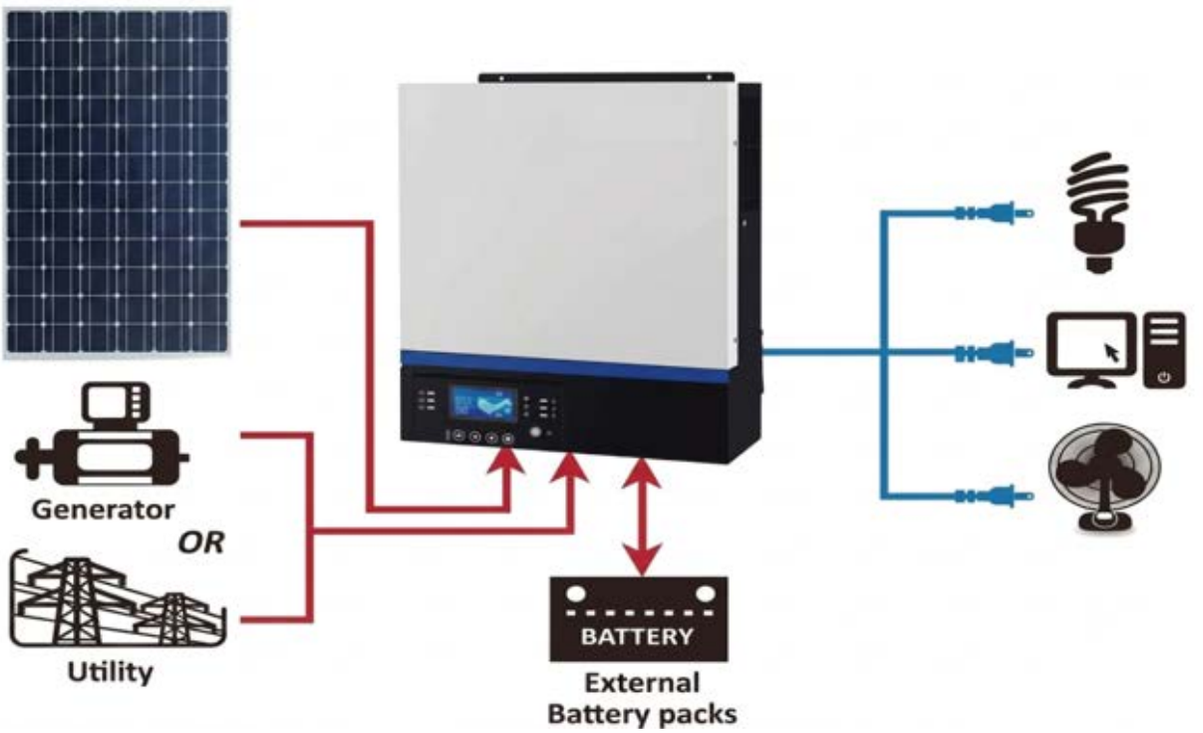
Desde la base de la carga total de 4.908 W, aplicando un factor de seguridad del 40%, la demanda diaria es de 27.486 Wh/día. El resumen de la selección se muestra en la tabla 6 y se esquematiza en la figura 1.

Tabla 6. Resumen del diseño del Sistema Fotovoltaico

Descripción	Marca/Capacidad	Potencia	Cantidad	Arreglo
Paneles Solares	Jinko Solar Tiger Neo	340 Wp	15	3s5p
Banco de baterías	96 kWh (76.8 kWh útiles al 80% de descarga).	48 V / 200 Ah	10	Paralelo
Inversor	Inversor Growatt MOD 9000TL3-XH (soporta picos de arranque de hasta 18.000 W)	9 KW	1	

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Funcionamiento del sistema fotovoltaico



Fuente: Quintero y Reyes (2025).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Estimación de Costos

Con el análisis de costos del sistema fotovoltaico (Tabla 7), se determinó la viabilidad económica y el retorno de inversión de este proyecto de energía renovable. A diferencia de las fuentes de energía convencionales, donde el costo operativo (combustible) es el factor dominante, en la energía solar el peso financiero recae principalmente en la inversión inicial. Un análisis integral debe considerar no solo la adquisición de equipos, sino también los gastos proyectados a lo largo de la vida útil del sistema, que suele ser de 20 a 25 años.

Tabla 7. Estimación de Costos

Renglón	Monto (USD)
Costos de Equipos (Paneles, Inversor, Baterías)	16.255
Materiales Eléctricos	1.870
Máquinas, Herramientas y EPP	617
Mano de Obra Especializada	370
Total Inversión	**19.112**

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En correspondencia con los objetivos específicos planteados al inicio de esta investigación, que se desarrolló con la premisa de realizar el Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para el Aula de Computación 1 del Complejo Académico El Sabino de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, se derivan los siguientes aspectos más relevantes y que contribuyen a dar respuesta a la problemática planteada.

• Se determinó que la configuración más eficiente para las necesidades del Aula de Computación 1 es un sistema fotovoltaico autónomo con capacidad de funcionamiento en modo isla. Tras evaluar las tecnologías disponibles mediante matrices de selección ponderadas, se concluyó que la tecnología de paneles de silicio monocristalino modelo Jinko Solar Tiger Neo 340W y las baterías de Ion-Litio (LiFePO4) EG4-LLlifep04 ofrecen la mejor relación entre eficiencia, vida útil y mantenibilidad frente a las condiciones climáticas de la zona (alta radiación y temperatura), superando a las opciones de policristalino y plomo-ácido. El mes con mayor criticidad de acuerdo a los datos meteorológicos de radiación solar es el mes de noviembre y el más favorable el mes de marzo.

• El dimensionamiento técnico logró cubrir la demanda energética crítica estimada en 27.486 Wh/día. Se validó el uso de 15 módulos fotovoltaicos de 340W con un arreglo de 3 filas en serie de 5 paneles fotovoltaicos en paralelo y un inversor híbrido (inversor/regulador) de 9000 W, modelo Growatt MOD 9000TL3-XH capaz de manejar los picos de arranque de los equipos informáticos y las luminarias. El cálculo del banco de baterías (10 unidades de 48 V, 200 Ah en paralelo) asegura una autonomía operativa de 2 días, blindando al aula contra fallas prolongadas de la red externa. Asimismo, se definió la geometría solar óptima con una inclinación de 24°, maximizando la captación en el emplazamiento geográfico del CAES.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• La estimación de los costos de fabricación y ensamblaje de los equipos que constituyen el sistema de electrificación fotovoltaico, arrojó un costo total de 19.112 USD. Si bien representa una inversión inicial considerable, principalmente debido a la tecnología de almacenamiento de litio y el inversor híbrido, este costo se justifica por la durabilidad extendida de los componentes (vida útil superior a 6000 ciclos en baterías) y la eliminación de las pérdidas en actividades académicas por falta de energía eléctrica, confirmando la viabilidad financiera del proyecto a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. Episteme.

Kalogirou, S. A. (2014). Solar energy engineering: Processes and systems [Ingeniería de la energía solar: Procesos y sistemas] (2ª ed.). Academic Press / Elsevier.

Martin, J. (2007). The meaning of the 21st century: A vital blueprint for ensuring our future [El significado del siglo XXI: Un plan vital para asegurar nuestro futuro]. Riverhead Books.

Messenger, L., & Ventre, G. (2020). Distributed Systems: Concepts and Design (6th ed.). Pearson.

Méndez Muñiz, J. M., y Cuervo García, R. (2012). Energía solar fotovoltaica (2ª ed.). FC Editorial / Fundación Confemetal.

NASA. (2025). Surface Meteorology and Solar Energy. Langley Research Center.

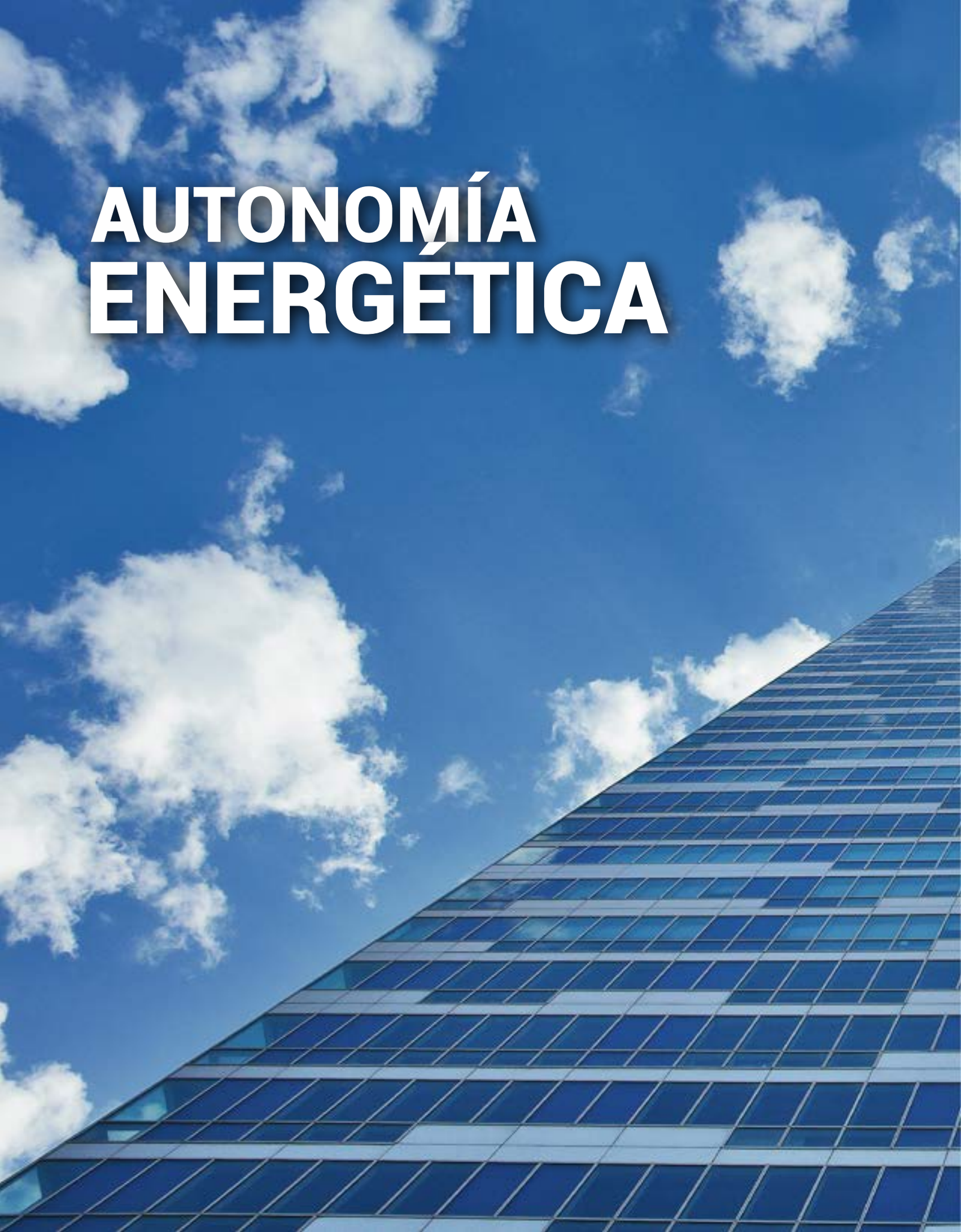
Navarro, A. A., Ramírez, L., Silva, M., Larrañeta, M., y Lillo-Bravo, I. (2015). GIS analysis for solar thermal electricity potential assessment [Análisis SIG para la evaluación del potencial de electricidad solar térmica]. SolarPACES Conference Proceedings.

Neagu, A., Bratu, S., y Serban, C. (1999). Determinarea sarcinii și dimensionarea liniilor electrice aeriene [Determinación de la carga y dimensionamiento de líneas eléctricas aéreas]. Editura Tehnică.

Solanki, K. (2013). Apache Myriad: Apache YARN distribuido en Apache Mesos (trad. al español). Packt Publishing.

Rodrigues, J., & Urbina, A. (2020). Sistema alterno de energía fotovoltaico. URBE.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118



AUTONOMÍA ENERGÉTICA

INFRAESTRUCTURA FOTOVOLTAICA PARA MITIGAR LA DESERTIFICACIÓN: EFECTOS MICROCLIMÁTICOS Y ECOLÓGICOS

Thiany Nathaly Castillo Venegas, Carlos Isaac Quiñones Torres
Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC)
thiany.fundelec@gmail.com, carlosisaacq21@gmail.com

RESUMEN

La desertificación constituye una amenaza crítica para los ecosistemas áridos y la seguridad energética a nivel mundial, ya que no es un problema localizado en una sola región. Dada su importancia, se han realizado investigaciones multidisciplinarias que sugieren que la infraestructura de energía solar fotovoltaica (FV) es una alternativa limpia. Particularmente, bajo el enfoque agrivoltaico, se pueden inducir efectos positivos en la recuperación de suelos degradados. En este sentido, el presente artículo de divulgación científica revisa la evidencia actual sobre cómo la instalación de paneles solares modifica el microclima local mediante la reducción del albedo y la temperatura superficial, disminuyendo de esta manera la evaporación y favoreciendo la retención de humedad. Para ello, se analiza la integración de cultivos bajo paneles agrivoltaicos como mecanismo para revertir la degradación edáfica en zonas áridas. Por ejemplo, se mencionan casos de estudio en el desierto de Tengger en China y proyectos en el Sahel Mauritano. Los resultados de estos proyectos indican un aumento significativo de la biomasa vegetal y la reactivación del microbioma del suelo. Se concluye que la infraestructura FV que se diseña con criterios ecológicos actúa como una barrera física que reduce la erosión eólica y fija el terreno, ofreciendo de esta manera una vía sinérgica para combatir la desertificación y promover la soberanía energética.

Palabras clave: agrivoltaica, desertificación, energía solar, microclima, restauración ecológica.

PHOTOVOLTAIC INFRASTRUCTURE TO MITIGATE DESERTIFICATION: MICROCLIMATIC AND ECOLOGICAL EFFECTS

ABSTRACT

Desertification poses a critical threat to arid ecosystems and global energy security, as it is not a problem confined to a single region. Given its importance, multidisciplinary research has been conducted, suggesting that photovoltaic (PV) solar energy infrastructure is a clean alternative. In particular, the agrivoltaic approach can induce positive effects on the recovery of degraded soils. In this regard, this scientific article reviews current evidence on how the installation of solar panels modifies the local microclimate by reducing albedo and surface temperature, thereby decreasing evaporation and promoting moisture retention. To this end, the integration of crops under agrivoltaic panels is analyzed as a mechanism to reverse soil degradation in arid zones. For example, case studies in the Tengger Desert in China and projects in the Mauritanian Sahel are mentioned. The results of these projects indicate a significant increase in plant biomass and the reactivation of the soil microbiome. It is concluded that PV infrastructure designed with ecological criteria acts as a physical barrier that reduces wind erosion and stabilizes the land, thus offering a synergistic approach to combating desertification and promoting energy sovereignty.

Keywords: agrivoltaics, desertification, solar energy, microclimate, ecological restoration.

INTRODUCCIÓN

El avance de la desertificación constituye una de las crisis ambientales más apremiantes de nuestra era. Según el Global Land Outlook de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), considera que la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía afectan a más de 3.000 millones de personas en todo el planeta, siendo las comunidades rurales pobres, los pequeños agricultores, las mujeres, los jóvenes, los pueblos indígenas y otros grupos en situación de vulnerabilidad los más perjudicados (UNCCD, 2022, p. 24). Esta degradación sistemática de la capacidad productiva del suelo no solo incrementa la inseguridad alimentaria e hídrica, sino que también, exacerba la vulnerabilidad climática de las poblaciones que habitan en las regiones áridas, las cuales cubren más del 45% de la superficie terrestre y albergan a una de cada tres personas en el mundo (UNCCD, 2022, p. 24). Paralelamente, tomando en cuenta lo antes expuesto, la transición energética global impulsa la instalación masiva de parques solares fotovoltaicos en estas mismas regiones por su alta radiación solar. Tradicionalmente, se ha percibido un conflicto entre el uso energético y la conservación del suelo.

Sin embargo, un creciente cuerpo de literatura científica revela una sinergia potencial: la infraestructura fotovoltaica puede actuar como un agente activo de modificación microclimática y restauración ecológica (Choi, 2024, p. 18). Investigaciones pioneras han demostrado que la integración de cultivos bajo paneles solares, enfoque conocido como agrivoltaico, reduce la temperatura ambiental hasta en 1.2°C y mejora la eficiencia en el uso del agua hasta en un 157%, al tiempo que incrementa la producción de ciertas especies como el chiltepin, que produce tres veces más frutos, y el tomate cherry, que produce el doble de frutos (Barron-Gafford et al., 2019, p. 3). Más recientemente, el modelo de pastoreo fotovoltaico (integración de ganado, como ovejas, bajo los paneles) ha emergido como una estrategia complementaria para el control de la vegetación y la restauración de suelos degradados, con casos emblemáticos en el desierto de Gobi (People's Daily Online, 2025; CGTN español, 2022).

LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La desertificación en zonas áridas se caracteriza por la pérdida de cobertura vegetal, la erosión eólica e hídrica, el aumento de la temperatura superficial y la disminución de la materia orgánica y la humedad del suelo. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), estos procesos son impulsores clave de la degradación en tierras secas y están directamente vinculados con el cambio climático inducido por actividades humanas; estos procesos son explicados en el capítulo tres y cuatro en su declaración (IPCC, 2019). Las tierras secas cubren aproximadamente el 45% de la superficie terrestre global y albergan a más de 3.000 millones de personas, muchas de las cuales enfrentan pobreza, inseguridad alimentaria y marginación económica y política (IPCC, 2022).

Este círculo vicioso de degradación reduce la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural del ecosistema, profundizando la vulnerabilidad de las comunidades que dependen directamente de estos territorios para su subsistencia. Por otro lado, la instalación de grandes parques solares en estas áreas, aunque necesaria para la generación de energía limpia y la transición energética global, enfrenta desafíos significativos como la posible alteración del paisaje, la fragmentación de hábitats y la competencia por el uso del suelo con actividades agrícolas y de conservación. Con lo antes expuesto, la pregunta que surge es: ¿De qué manera el diseño y la implementación de infraestructura solar fotovoltaica pueden funcionar como una herramienta estratégica para mitigar los procesos de desertificación, favoreciendo la estabilización del suelo y la recuperación de la humedad en zonas áridas degradadas?

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Analizar la experiencia internacional en el uso de infraestructura solar fotovoltaica como herramienta de mitigación de la desertificación para identificar estrategias de carácter técnico-ecológico aplicables al Sistema Eléctrico Nacional venezolano.

Objetivos Específicos

• Examinar los cambios microclimáticos generados por la infraestructura fotovoltaica en zonas áridas a partir de la evidencia documentada en casos internacionales.

• Determinar de qué manera la integración de cultivos bajo paneles solares promueve la restauración de la cobertura vegetal además de la actividad microbiana del suelo.

• Evaluar la viabilidad de implementar parques solares con enfoque agrivoltaico en regiones desertificadas de Venezuela considerando los desafíos del Sistema Eléctrico Nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para esta revisión divulgativa se basó en una investigación documental de carácter analítico. Para ello, se realizó una revisión sistemática de literatura científica especializada, la cual se complementó con el análisis de informes técnicos de organismos internacionales y publicaciones académicas indexadas. En primer lugar, se consultaron bases de datos de alto rigor científico, como Google Scholar, ScienceDirect, Nature, Scopus y ResearchGate, utilizando palabras clave específicas: 'agrivoltaics', 'desertification', 'photovoltaic microclimate', 'soil restoration' y 'photovoltaic sheep'. Se priorizaron estudios de caso y artículos de revisión. La información se sintetizó en torno a tres variables principales: (1) modificación del microclima (temperatura, humedad, albedo), (2) respuesta biológica (biomasa vegetal, microbioma, integración animal) y (3) dinámica de erosión (velocidad del viento, fijación de sedimentos).

Análisis de Datos

Los datos extraídos de los estudios se organizaron y analizaron mediante: comparación cualitativa entre casos de estudio para identificar líneas articuladoras, síntesis narrativa de los mecanismos físicos y biológicos descritos y elaboración de tabla comparativa para visualizar los cambios en las variables clave entre suelos con y sin cobertura fotovoltaica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modificación del Microclima: Reducción de la Evaporación y la Temperatura

Los resultados obtenidos de las investigaciones consultadas confirman que los paneles solares alteran significativamente el balance energético superficial. El principal mecanismo responsable de esta alteración es la reducción del albedo, es decir, la fracción de radiación solar reflejada por la superficie. En este sentido, estudios realizados en la región desértica de Xinjiang en China demuestran que la instalación de paneles fotovoltaicos reduce el albedo superficial a valores comprendidos entre 0,1 y 0,334, en comparación con el rango de 0,128 a 0,38 registrado en zonas sin paneles. Esta disminución se debe fundamentalmente a la

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

absorción de radiación por parte de los módulos y a la creación de extensas áreas de sombra (Jiang et al., 2025, p. 6). Por consiguiente, esta modificación del balance radiactivo reduce la radiación neta que alcanza el suelo y altera los flujos de calor sensible y latente en la interfase superficie-atmósfera.

La reducción de la radiación incidente tiene consecuencias directas e inmediatas sobre la temperatura del suelo. Investigaciones desarrolladas en áreas kársticas de Yunnan (China), con paneles en operación durante 7 y 13 años, muestran que el sombreado generado por los módulos reduce significativamente la temperatura del suelo, con diferencias de hasta 4 a 6 °C durante las horas de mayor insolación (Gao et al., 2025, p. 5). De manera similar, estudios realizados en desiertos templados del noroeste de China confirman que los paneles actúan como una barrera térmica eficaz, disminuyendo la temperatura superficial y amortiguando las fluctuaciones térmicas diarias (Yang et al., 2025, p. 8).

Esta disminución térmica tiene una consecuencia directa sobre la dinámica hídrica del suelo: la reducción de la tasa de evaporación. El sombreado crea un microclima más húmedo y fresco, lo que permite una mayor retención de la escasa humedad edáfica en zonas áridas. Al respecto, mediciones realizadas en instalaciones fotovoltaicas de Minnesota en EE.UU. demostraron que el contenido de humedad del suelo en áreas con vegetación bajo paneles era significativamente mayor que en áreas sin vegetación, alcanzando valores comparables a los de zonas de control sin paneles (Choi, 2024). Asimismo, estudios en la región kárstica de Shilin confirmaron que el sombreado de los paneles incrementa la humedad del suelo hasta en un 30%, efecto que se mantiene incluso después de 13 años de operación continua (Gao et al., 2025, p. 5).

Adicionalmente, la rugosidad aerodinámica introducida por las estructuras fotovoltaicas modifica los patrones de viento a nivel superficial. Investigaciones en el desierto de Gobi documentaron reducciones en la velocidad del viento de hasta un 40% dentro de los parques solares, lo que contribuye a disminuir la erosión eólica y, por ende, la evaporación (Jiang et al., 2025, p. 9). En consonancia, estudios en desiertos templados de Gansu en China con diferentes tiempos de operación (1,7 años y 13 años) demostraron que la reducción de la velocidad del viento se mantiene a largo plazo, creando condiciones microclimáticas estables que favorecen la recuperación de la vegetación (Yang et al., 2025, p. 9).

El caso del Parque Solar de Talatan, que se encuentra ubicado en Qinghai (China), constituye un ejemplo emblemático de estos efectos. Mediciones documentadas por fuentes oficiales confirman que la instalación fotovoltaica, en operación desde 2012, ha reducido la velocidad del viento en un 40% y aumentado la humedad del suelo en un 30%. En consecuencia, se ha creado un microclima que ha permitido recuperar la cobertura vegetal hasta un 80% en áreas previamente desertificadas (People's Daily Online, 2025). Este efecto combinado, modificación del balance energético, reducción de la temperatura y aumento de la humedad edáfica, constituye la base física que posibilita los procesos de restauración ecológica documentados en este artículo.

Tecnología Agrivoltaica y Pastoreo Fotovoltaico: Reversión de la Degradación del Suelo

La agrivoltaica combina la generación solar con la producción agrícola bajo los paneles; esto no solo protege el suelo, sino que lo regenera activamente. Barron-Gafford y colaboradores demostraron en sus experimentos en Arizona que el arbusto perenne silvestre chiltepín (Capsicum annuum var. glabriusculum) es una especie adaptada a crecer bajo la sombra de árboles nodriza, por lo cual, produjo tres veces más frutos bajo la sombra de los paneles solares en comparación con el cultivo tradicional a pleno sol. Asimismo, el tomate cherry (Solanum lycopersicum var. cerasiforme), altamente sensible al calor, duplicó su producción en el sistema agrivoltaico, atribuyéndose este incremento a la mitigación del estrés combinado por calor y sequía atmosférica (Barron-Gafford et al., 2019, p. 3). En contraste, el jalapeño (Capsicum annuum var. annuum)

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

mostró una producción de frutos similar entre tratamientos, pero con una eficiencia en el uso del agua con un 157% superior bajo los paneles, logrando el mismo rendimiento con un 65% menos de pérdida de agua por transpiración (op. cit. 2019, p. 3).

Adicionalmente, se observó un beneficio mutuo para la infraestructura energética: los paneles solares en el sistema agrivoltaico alcanzaron temperaturas hasta 9°C más bajas durante el día, en comparación con los paneles en instalaciones tradicionales sobre suelo desnudo. Este enfriamiento se atribuye al balance de energía, donde una mayor proporción del calor sensible se desvía hacia calor latente mediante la evapotranspiración de la vegetación subyacente, lo que puede traducirse en un aumento de la eficiencia de conversión fotovoltaica (op. cit. 2019, p. 4).

Una variante innovadora de este enfoque es el pastoreo fotovoltaico (solar grazing), donde el control de la vegetación espontánea se realiza mediante ganado, como ovejas, en lugar de métodos mecánicos o herbicidas. Este modelo, implementado a gran escala en el Parque Solar de Talatan en el desierto de Gobi, no solo resuelve el problema operativo del crecimiento excesivo de hierba que bloquea los paneles, sino que también aporta beneficios ecológicos adicionales. El estiércol del ganado fertiliza naturalmente el suelo, y el pastoreo controlado favorece la diversidad vegetal y la actividad microbiana (People's Daily Online, 2025; CGTN español, 2022). Investigaciones en curso sugieren que estas prácticas pueden incrementar la abundancia de hongos micorrícicos arbusculares y bacterias beneficiosas, acelerando los ciclos de nutrientes y la formación de suelo como lo demuestran los estudios realizados a nivel universitario (University of Arizona, 2026).
Parque Solar de Talatan (Desierto de Gobi, Qinghai, China).

El caso más emblemático y documentado de integración energía-ganadería-restauración se encuentra en el Parque Solar de Talatan, ubicado en el desierto de Gobi, en la provincia de Qinghai, a 3.200 metros sobre el nivel del mar (People's Daily Online, 2025). Este complejo, construido a partir de 2012 (CGTN español, 2022), ocupa 61.000 hectáreas (609 km²) y alberga aproximadamente 7 millones de paneles fotovoltaicos, con una capacidad instalada que supera los 17 GW, convirtiéndolo en una de las mayores instalaciones solares del mundo (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

El área, que originalmente presentaba un 98.5% de desertificación y era azotada por tormentas de arena (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025), ha experimentado una transformación radical. La instalación de los paneles ha actuado como barrera contra el viento, reduciendo su velocidad y disminuyendo la evaporación. Mediciones documentadas señalan "…una reducción de la velocidad del viento del 40% y un aumento de la humedad del suelo del 30%" (op. Cit., 2025). El agua utilizada para la limpieza periódica de los paneles se infiltra en el suelo, contribuyendo a la humedad edáfica (op.cit., 2025).

El problema y la solución innovadora: El reverdecimiento espontáneo del suelo bajo los paneles, aunque positivo ecológicamente, generó un desafío operativo, la hierba crecía hasta superar un metro de altura, bloqueando los paneles y "reduciendo la eficiencia energética", además de representar un riesgo de incendios en invierno. Esta información fue reportada por People's Daily Online (Noticias Agropecuarias, 2025). La solución surgió de la colaboración con pastores locales: se introdujeron ovejas para el control biológico de la vegetación (op.cit., 2025).

Resultados Ecológicos y Productivos

- La cobertura vegetal se ha recuperado hasta "alcan zar el 80% en áreas que eran desierto absoluto" (CGTN Español, 2022; People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• El parque produce anualmente 118.000 toneladas de pasto, suficientes para alimentar a 200.000 ovejas (People's Daily Online, 2025).

• El modelo "generación arriba, cultivo entre paneles, pastoreo debajo" ha permitido establecer 32 eco-pastizales fotovoltaicos y 56 sitios de pastoreo centralizado (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

• Más de 20.000 ovejas pastan anualmente en el parque, beneficiando a 18 aldeas circundantes (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

• Los pastores, como Yehdor y Zhao Guofu, han visto duplicar sus ingresos y aumentar sus rebaños (de 200 a más de 300 ovejas), con ingresos familiares cercanos a los 100.000 yuanes anuales (unos 14.000 dólares) (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

• Se ha desarrollado una marca comercial para la carne de las "ovejas fotovoltaicas", comercializada a través de plataformas de comercio electrónico en toda China (CGTN Español, 2022; People's Daily Online, 2025).

• El parque ha generado empleo para más de 3.000 personas y ha ayudado a 173 aldeas a superar la pobreza (People's Daily Online, 2025; SCIO, 2025).

Innovaciones técnicas: Los ingenieros ajustaron el diseño de las instalaciones, ampliando la separación entre filas de paneles de 3 a 5 metros y elevando la altura de montaje de 50 cm a 1.5-1.8 metros para permitir el libre movimiento del ganado. Además, se implementaron sistemas de monitoreo con drones infrarrojos y orejeras con código QR para la trazabilidad digital del ganado.

Desierto de Tengger (China)

En la región sur del desierto de Tengger, las grandes bases fotovoltaicas han integrado estrategias de conservación de la vegetación. Chen y Qiang (2024) documentaron que la infraestructura fotovoltaica modifica las condiciones ambientales para las plantas fijadoras de arena, reduciendo su mortalidad y aumentando la cobertura vegetal en comparación con las áreas de desierto abierto. Este enfoque, denominado "energía solar fotovoltaica de alta calidad más control de la desertificación", busca activamente la creación de un modelo de restauración ecológica asistida por la tecnología.

Proyecto en el Sahel (Mauritania)

Enmarcado en la iniciativa de la "Gran Muralla Verde", el "China-África Green Technology Park" ha transformado 4 hectáreas de desierto en un área productiva. Utilizando energía solar para el bombeo de agua y combinando el sombreado de los paneles con la fijación de dunas, han logrado establecer un vivero con 8.000 plantones y cultivar hortalizas en suelo previamente estéril (Xinhua News Agency, 2025). Este caso demuestra la viabilidad de crear nichos ecológicos en el límite del Sáhara mediante la infraestructura solar.

Mecanismos de Reversión: Fijación del Terreno y Control de la Erosión

La infraestructura fotovoltaica contribuye a la fijación física del terreno a través de dos mecanismos principales. En primer lugar, las filas de paneles y sus estructuras de soporte aumentan la rugosidad aerodinámica de la superficie, actuando como rompevientos eficaces. Investigaciones en la región desértica de Xinjiang en China documentaron “reducciones significativas en la velocidad del viento de hasta un 40%” en el interior de los parques solares, debido a la obstrucción del flujo de aire por los paneles (Jiang et al., 2025, p. 9).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Estudios en desiertos templados de Gansu confirman que este efecto se mantiene a largo plazo, con reducciones sostenidas de la velocidad del viento incluso después de 13 años de operación continua (Yang et al., 2025, p. 9-10). En el caso emblemático del Parque Solar de Talatan, se ha documentado una reducción del 40% en la velocidad del viento, contribuyendo significativamente a la disminución de la erosión eólica (CGTN Español, 2022).

En segundo lugar, al reducir la velocidad del viento, se favorece la deposición de las partículas que ya estaban siendo transportadas en sedimentación. Este material particulado se acumula alrededor de las estructuras y especialmente dentro de la vegetación que crece protegida bajo los paneles. El crecimiento de raíces y la formación de costras biológicas favorecidas por la mayor humedad y la acción fertilizante del estiércol en sistemas de pastoreo fotovoltaico consolidan este sedimento, anclando el terreno y revirtiendo el proceso de erosión. Estudios detallados en instalaciones fotovoltaicas de Minnesota en EE.UU. demostraron que la presencia de vegetación bajo los paneles no solo aumenta la humedad del suelo, sino que también preserva las fracciones finas del suelo de arcillas y limos que son esenciales para la retención de carbono y nutrientes, actuando como un amortiguador contra la erosión (Choi, 2024). Los pilares de cimentación de los paneles también contribuyen a estabilizar la arena, creando microtopografías que favorecen la retención de agua y sedimentos.

Para sintetizar y comparar de manera visual el impacto de la infraestructura fotovoltaica sobre las principales variables edáficas y ambientales, se presenta la Tabla 1, la cual contrasta las condiciones del suelo desértico expuesto frente al suelo bajo la influencia de los módulos solares en los casos de estudio analizados.

Tabla 1. Comparación de Variables Edáficas y Ambientales: Suelo Desértico Expuesto vs. Suelo Bajo

Variable	Suelo Desértico Sin Paneles (Control)	Suelo Bajo Módulos Fotovoltaicos
Temperatura superficial del suelo	Alta (hasta >60°C en superficie)	Reducida (hasta 4-6°C menos en picos)
Humedad del suelo	Baja (alta evaporación)	Elevada (hasta +30% de humedad)
Velocidad del viento (a 2 m)	Alta (erosión activa)	Reducida (hasta -40%; efecto sostenido a 13 años)
Cobertura vegetal / Biomasa	Muy baja (esporádica, <5%)	En aumento (hasta 80% en Talatan)
Actividad microbiana	Muy baja (latente)	Reactivada (aumento de diversidad bacteriana, cambios en filos dominantescomo Proteobacteria y Acido bacteria)
Producción de pasto	Nula o mínima	118.000 toneladas/año en Talatan
Beneficios económicos locales	Pastoreo marginal o nulo	Ingresos familiares ~14.000 USD/año; 173 aldeas beneficiadas

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de las fuentes citadas. Una síntesis visual integradora de estas variables, basada en la normalización de los datos a una escala común, se presenta en el gráfico de barras de la Figura 1.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Normalización de variables y análisis integrador

Dado que las variables analizadas en la Tabla 1 se expresan en unidades heterogéneas (grados Celsius, porcentaje de humedad, velocidad del viento, diversidad microbiana, toneladas de biomasa e ingresos económicos), se aplicó un proceso de normalización a una escala común del 1 al 10, donde 1 representa un estado crítico o nulo y 10 un estado óptimo o de máximo impacto. A continuación, se presentan los valores normalizados para cada dimensión evaluada:

Tabla 2. Valores Normalizados. Módulos Fotovoltaicos

Variable	Suelo Desértico (Control)	Suelo Bajo Módulos FV
Estabilidad Térmica	2	9
Retención De Humedad	1	8
Protección Eólica	3	9
Biodiversidad Microbiana	1	7
Productividad De Biomasa	1	10
Impacto Socioeconómico	1	10

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de las fuentes citadas.

Criterios de normalización (fundamentados en la literatura)

- Estabilidad Térmica: Control (2) por temperaturas superficiales >60°C que inhiben procesos biológicos; bajo paneles (9) por reducción de 4-6 °C durante picos de insolación (Gao et al., 2025, p. 5; Yuan Fang et al., 2022, citado en Gao, 2025).

- Retención de Humedad: Control (1) por pérdida casi instantánea de agua por evaporación; bajo paneles (8) por incremento de hasta 30% de humedad edáfica (CGTN español, 2022; Gao et al., 2025, p. 5; Choi, 2024).

- Protección Eólica: Control (3) por erosión activa que degrada la capa superficial; bajo paneles (9) por reducción del 40% de la velocidad del viento (Jiang et al., 2025, p. 9; CGTN español, 2022).

- Biodiversidad Microbiana: Control (1) por estado latente de comunidades microbianas; bajo paneles (7) por reactivación evidenciada en cambios de filos dominantes como Proteobacteria y Acidobacteria (Gao et al., 2025, pp. 6-9).

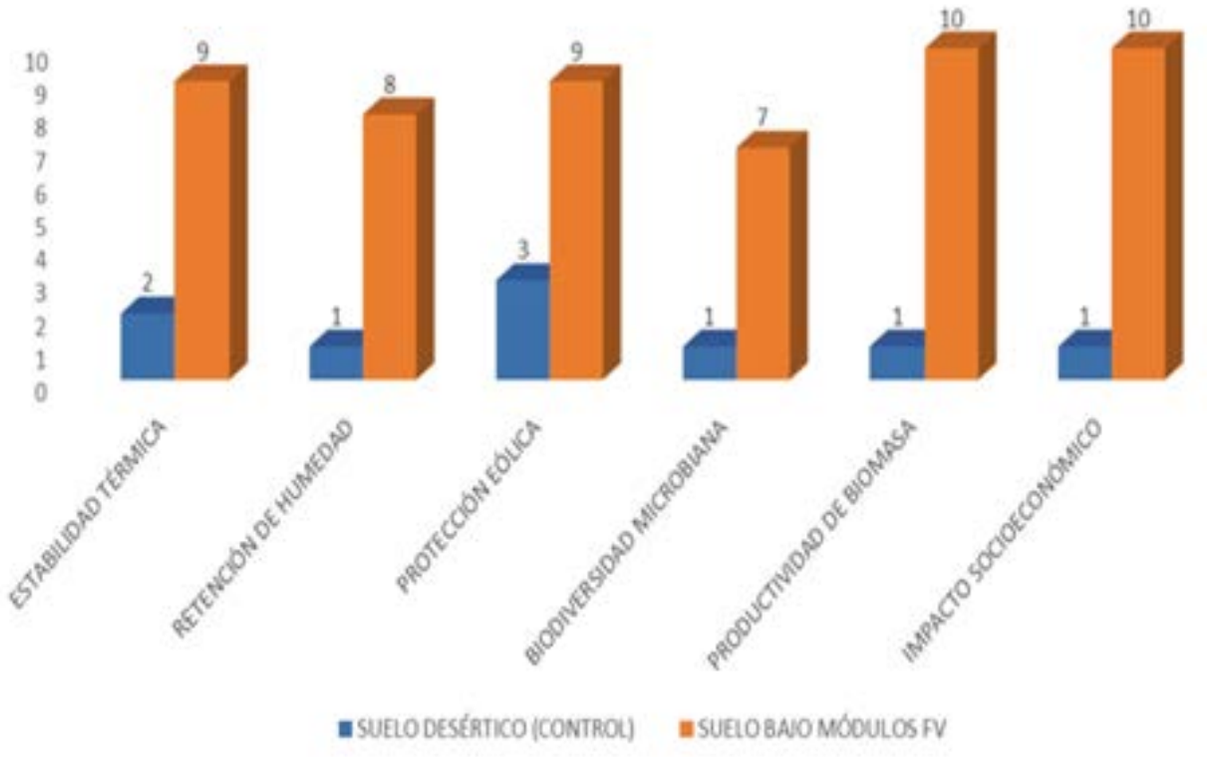
- Productividad de Biomasa: Control (1) por cobertura vegetal <5%; bajo paneles (10) por 118.000 toneladas anuales de pasto y recuperación del 80% de cobertura vegetal (People's Daily Online, 2025).

- Impacto Socioeconómico: Control (1) por pastoreo marginal; bajo paneles (10) por ingresos familiares de ~14.000 USD/año y beneficios directos para 173 aldeas (SCIO, 2025; People's Daily Online, 2025).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Para visualizar el contraste entre el suelo desértico y el suelo bajo módulos fotovoltaicos en las seis dimensiones normalizadas (Tabla 2), se elaboró la Figura 1 utilizando la escala común 1-10.

Figura 1. Gráfico de Barras Comparativo de la Restauración



Nota. Elaborado por el autor con datos de la tabla 2

En la Figura 1 se observa que las barras correspondientes al suelo desértico (control) presentan alturas muy bajas, próximas a 1 en la mayoría de las variables, reflejando la fragilidad del ecosistema original: baja estabilidad térmica, escasa retención de humedad, nula productividad biológica y ausencia de beneficios económicos. Por el contrario, las barras del suelo bajo módulos fotovoltaicos alcanzan alturas significativamente mayores (entre 7 y 10), evidenciando que la mitigación del estrés abiótico (térmico, hídrico y eólico) crea condiciones para la recuperación de la biota edáfica, lo que a su vez genera servicios ecosistémicos de producción de biomasa y externalidades socioeconómicas positivas. La diferencia en la altura de las barras entre ambas condiciones constituye una representación gráfica contundente del éxito del modelo de integración implementado en proyectos como el Parque Solar de Talatan. Los resultados demuestran que la transición energética puede alinearse con la restauración ecológica y el desarrollo rural de manera sinérgica y no antagónica.

Aplicabilidad al contexto venezolano y pertinencia para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

En Venezuela, la desertificación y la degradación de tierras afectan principalmente la región noroccidental (estado Falcón, Península de Paraguaná), los llanos centrales (estados Guárico y Apure) y la alta Guajira (estado Zulia). Datos de MapBiomas Venezuela (2024) indican que entre 1985 y 2023 el país perdió más de 4 millones de hectáreas de ecosistemas naturales (4% de sus coberturas originales).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Asimismo, en la región norte, las áreas transformadas por actividades humanas (principalmente agrícolas) pasaron del 40% en 1985 al 48% en 2023 (MapBiomas Venezuela, 2024). Esta degradación sistemática incrementa la inseguridad alimentaria y exacerba la vulnerabilidad climática. Por otra parte, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) enfrenta desafíos estructurales en generación, transmisión y distribución. Más del 78% de la electricidad generada en 2023 provino de plantas hidroeléctricas (Electroenergy, 2026). Ante este escenario, el Estado venezolano diseñó el Plan Nacional de Energías Alternativas (PNEA), cuyo objetivo es diversificar la matriz energética mediante la incorporación de 2.800 MW al SEN para 2030, de los cuales 2.000 MW corresponden a proyectos solares fotovoltaicos, con la construcción de 25 parques solares durante 2024-2027 (MPPEE, 2022, pp. 7-8). Adicionalmente, el país cuenta con la Ley sobre Energías Renovables y Alternativas (Asamblea Nacional, 2015).

La sinergia documentada en este artículo ofrece una oportunidad estratégica: la instalación de infraestructura fotovoltaica en áreas degradadas no solo diversificaría la matriz energética y fortalecería la soberanía energética, sino que también actuaría como herramienta de restauración ecológica y desarrollo rural. Por ejemplo, la Península de Paraguaná, en el estado Falcón y zonas desérticas del estado Zulia, caracterizadas por alta radiación solar, suelos áridos y un ambiente claramente desértico, constituyen enclaves idóneos para desarrollar proyectos agrivoltaicos. Cabe destacar la experiencia del equipo técnico de la Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC) en la instalación de sistemas híbridos solar, eólico, diésel en estas regiones desérticas. Como parte de dicha labor, se ha observado en campo un fenómeno significativo: el crecimiento acelerado de la vegetación herbácea y arbustiva en las áreas de influencia directa de los paneles fotovoltaicos. Este reverdecimiento, si bien es un indicador positivo de la recuperación del suelo, ha generado la necesidad de crear unidades de poda específicas para controlar el exceso de biomasa bajo los módulos, garantizando así la operación eficiente y segura de los sistemas híbridos. El cambio entre las condiciones iniciales, el suelo desértico expuesto y el estado actual con vegetación bajo los paneles puede apreciarse claramente en las siguientes figuras 2 y 3 suministradas como evidencia del proceso de restauración ecológica inducido por la infraestructura fotovoltaica en el país.

Figura 2. Zona desértica en el estado Zulia municipio

Nota: Desierto de La Guajira. Está situado en la península de La Guajira

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Figura 3. Sistema hibrido de 12 kVA instalado por Fundelec en el Alta Guajira estado Zulia.Guajira Alta Guajira. Ecosistémica

Nota: Evidencia del efecto de reverdecimiento inducido por infraestructura fotovoltaica.

Este hallazgo venezolano corrobora lo documentado en el Parque Solar de Talatan (China), donde el reverdecimiento espontáneo bajo los paneles también generó la necesidad de implementar estrategias de control biológico (pastoreo con ovejas). En el contexto nacional, la creación de unidades de poda constituye una solución técnica local que abre la puerta a futuros modelos de agrivoltaica o pastoreo fotovoltaico adaptados a las condiciones de Zulia y Falcón. Todo ello en concordancia con los lineamientos del PNEA (MPPEE, 2022) y la Ley sobre Energías Renovables y Alternativas (Asamblea Nacional, 2015).

CONCLUSIÓN

La infraestructura fotovoltaica diseñada con criterios ecológicos actúa como una barrera física que reduce la erosión eólica, fija el terreno, mejora el microclima y favorece la recuperación de la biota del suelo. Ofrece así una vía sinérgica para combatir la desertificación y promover la soberanía energética, alineando la transición energética con la restauración ecológica y el desarrollo rural. En el contexto venezolano, su adopción representa una oportunidad estratégica para el SEN y las comunidades de zonas áridas. Finalmente, la infraestructura FV no debe concebirse solo como fuente de energía, sino como un activo ambiental y social capaz de abordar problemas críticos del SEN como la generación descentralizada y la resiliencia climática, contribuyendo a la lucha contra la desertificación.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2015). Ley sobre Energías Renovables y Alternativas. Gaceta Oficial N° 40.681. https://www.asambleanacional.gob.ve/leyes/ley-sobre-energias-renovables-y-alternativas

AVN (Agencia Venezolana de Noticias). (2025, 30 de octubre). Instalan 94.000 paneles solares en El Vigía para generar 40% de demanda eléctrica en estado Mérida. https://avn.info.ve/instalan-94000-paneles-solares-en-el-vigia/

Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., … Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. Nature Sustainability,2(9), 848–855. https://www.researchgate.net/publication/335583033_Agrivoltaics_provide_mutual_benefits_across_the_food-energy-water_nexus_in_drylands

CGTN Español. (2022, 15 de noviembre). Avanzar hacia el desarrollo sostenible: Energía solar fotovoltaica y ovejas [Archivo de video]. Recuperado de https://summarize.ing/video-292649

Choi, C. S. (2024). Evaluation of Land, Soil, Water, and Vegetation-Related Ecosystem Services and Tradeoffs at Utility-Scale Solar Photovoltaic Facilities (Tesis doctoral, Temple University). Recuperado de https://scholarshare.temple.edu /server/api/core/bitstreams/f75e0330-b734-4a8e-9934-b4a0eb5b6717/content Gao, W., Liu, Y., Hu, J., Luo, Z., Zhang, J., & Wang, Y. (2025). Effects of years of operation of photovoltaic panels on the composition and diversity of soil bacterial communities in rocky desertification areas. Microorganisms, 13(6), 1414. https://doi.org/10.3390/microorganisms13061414

Electroenergy. (2026, 1 de febrero). Panorama Técnico del Sistema Eléctrico Nacional de Venezuela (SEN). https://electroenergyic.com/panorama-tecnico-del-sistema-electrico-nacional-de-venezuela-sen/

IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, J. Malley (Eds.)]. https://www.ipcc.ch/srccl/

IPCC. (2022). Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. En Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp3/

Jiang, J., Du, H., Yin, H., & Su, H. (2025). Study on the impact of large-scale photovoltaic systems on key surface parameters in desert area regions of Xinjiang, China. Energies, 18(12), 3170. https://doi.org/10.3390/en18123170

MapBiomas Venezuela. (2024, 5 de noviembre). Venezuela ha perdido una extensión de cobertura natural equivalente al tamaño de Delta Amacuro. https://venezuela.mapbiomas.org/2024/11/04/venezuela-ha-perdido-una-extension-de-cobertura-natural-equivalente-al-tamano-de-delta-amacuro/

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

MPPEE (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica). (2022). Plan Nacional de Energías Alternativas (PNEA). https://ve.mofcom.gov.cn /cms_files/oldfile//ve/202402/20240209030300603.pdf

MPPEE (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica). (2025a, 21 de enero). Inauguran Granja Fotovoltaica del Complejo Habitacional Bubuquí en Mérida. https://mppee.gob.ve/?p=94078 MPPEE (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica). (2025b). Ministro Márquez supervisa avances de la granja de paneles solares en El Vigía. https://mppee.gob.ve/?p=94100

Noticias AgroPecuarias. (2025, 22 de diciembre). Paneles solares y ovejas: cómo China logra que el desierto vuelva a ser verde. Noticias AgroPecuarias. Recuperado de https://www.noticiasagropecuarias.com/2025/12/22/panel es-solares-yovejas-como-china-logra-que-el-desierto-vuelva-a-ser-verde/

People's Daily Online. (2025, 18 de julio). NW China's Qinghai combats desertification through solar power generation and animal husbandry. People's Daily Online. Recuperado de http://en.people.cn/n3/2025/0718/c90000-20342155.html

SCIO (State Council Information Office). (2025, 16 de julio). Qinghai pioneers green growth with ecology-first strategy. SCIO. Recuperado de http://english.scio.gov.cn/scionews/2025-07/16/content_117980923.html

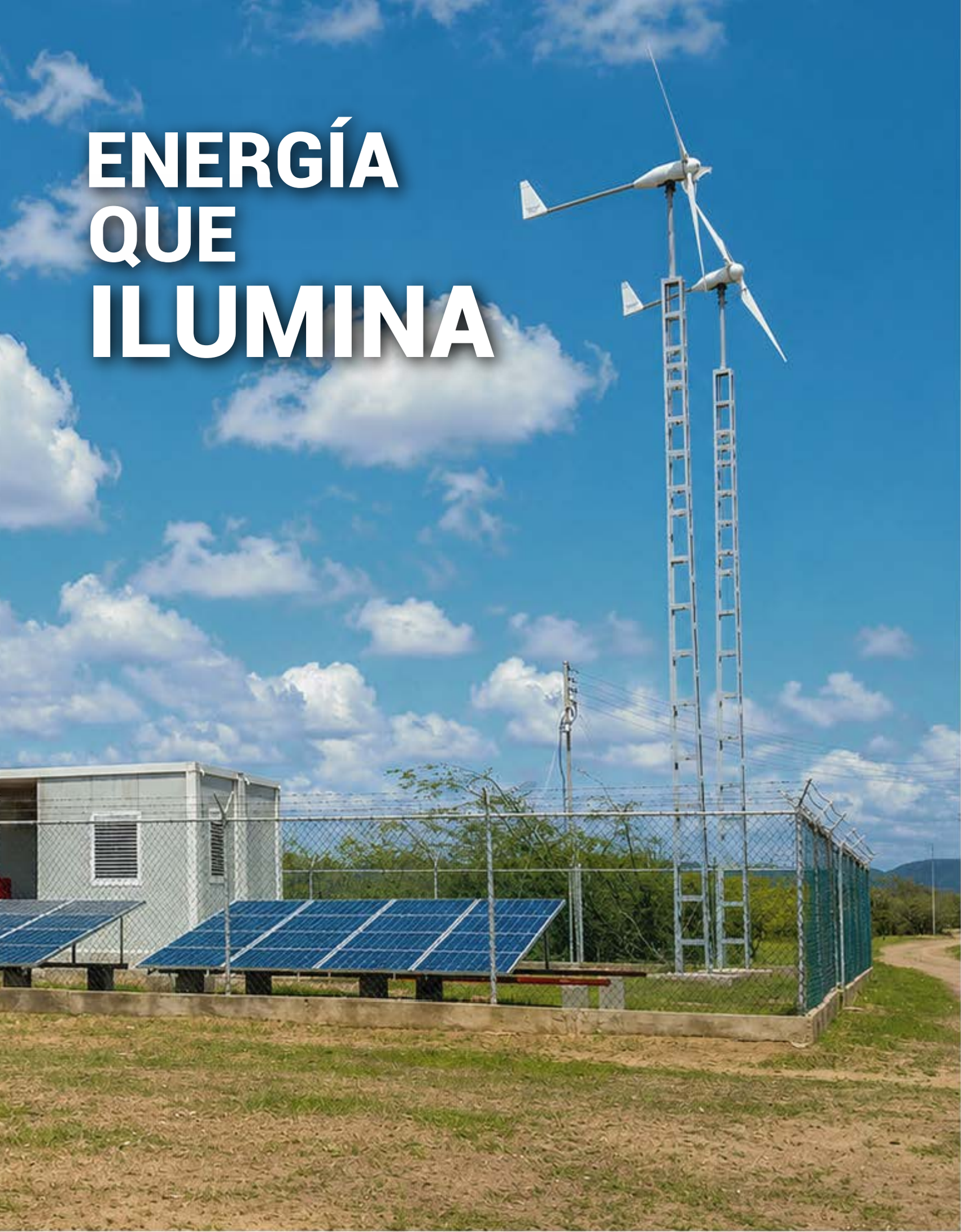
UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2022). Global Land Outlook: Land Restoration for Recovery and Resilience (2ª ed., p. 24). Bonn, Germany. Recuperado de https://ww.unccd.int /resources/global-land-outlook/global-land-outlook2nd-edition

University of Arizona, Barron-Gafford, G. A., et al. (2026). Enhancing climate-smart crop performance in arid agrivoltaics systems: effects of photovoltaic shading and soil amendments on tepary bean growth, yield, and associated soil microbiome. Plant and Soil. Publicación anticipada en línea. Recuperado de https://crfs.arizona.edu/news/exploring-crop-nutrients-agrivoltaic-systems

Xinhua News Agency. (2025, 6 de junio). "☒色示范田"扎根撒哈拉沙漠["Green demonstration field" takes root in the Sahara Desert]. Shenyang Daily. Recuperado de https://epaper.syd.com.cn/syrb/h5/html5/2025-06/06/content_121059_18587642.htm

Yang, Y., Liu, X., Chen, T., Tian, Y., Cai, Z., Ma, S., Li, Q., Zhao, L., Xiao, J., & Shi, Y. (2025). The coupling relationship between vegetation and soil in photovoltaic power stations within temperate desert regions. Agriculture, 15(19), 2097. https://doi.org/10.3390/agriculture15192097
.

ENERGÍA QUE ILUMINA



IMPACTO DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Gustavo Carrasco, Freddy Brito, Aura Brito, Jean Michel Ravel, Francis Moreno
Comité de Análisis Técnico del Sistema Eléctrico Nacional (CATSEN)
gcarra03@gmail.com,fbritoucv@gmail.com.ve, aurabrito85@gmail.com, jmravel@gmail.com, franciseilynmoreno@gmail.com

RESUMEN

En el siguiente trabajo se describe la metodología utilizada para el cálculo de la tasa de salida forzada por descargas atmosféricas de las líneas de Transmisión de Corpoelec a 115, 230, 400 y 765 kV variando las magnitudes de los rayos entre 10 y 200 kA cubriendo zonas de bajo y alto nivel ceráunico, además de variar la resistencia de puesta a tierra entre 10 y 2000 Ohmios considerando el suelo de alta resistividad eléctrica. Se determinaron con el ATP las corrientes de rayo que producen descargas retroactivas por cada tipo de línea de transmisión. Los resultados obtenidos arrojaron que los sistemas a 115 kV son los más susceptibles al arqueo de las cadenas de aisladores, para corrientes ≥ 50 kA, el arqueo ocurre incluso con RPT tan baja como 10 Ω. En cambio, con corrientes bajas (5–20 kA), el sistema es robusto si la Rpt < 1000 Ω. Para líneas de transmisión (LT) a 230 kV y superiores ofrecen mejor desempeño. A 230 kV: no se presenta arqueo para I ≤ 20 kA, incluso con Rpt elevada. Para 400 kV y 765 kV son altamente resistentes a arqueos en rangos bajos/medios de corriente de rayo. Solo en altas corrientes (≥150 kA) se requiere Rpt < 1000 Ω para evitar arqueos (especialmente en 765 kV).

Palabras claves: tasa de salida, torres, líneas, puesta a tierra, descargas atmosféricas, ATP.

IMPACT OF ATMOSPHERIC DISCHARGES ON TRANSMISSION LINES

ABSTRACT

This paper describes the methodology used to calculate the lightning-induced forced outage rate of Corpoelec transmission lines rated at 115, 230, 400, and 765 kV. The analysis varies the lightning peak current magnitudes from 10 to 200 kA, covering low and high isokeraunic level zones, and varies the grounding resistance from 10 to 2000 Ω, considering high soil electrical resistivity. ATP simulations were employed to determine the lightning currents that cause backflashovers for each type of transmission line. The results indicate that 115 kV systems are the most susceptible to insulator string flashover; for currents ≥ 50 kA, flashover occurs even with a grounding resistance (Rg) as low as 10 Ω. Conversely, at low currents (5–20 kA), the system remains robust if Rg< 1000 Ω. Transmission lines rated at 230 kV and above exhibit better performance. At 230 kV, no flashover occurs for I ≤ 20 kA, even with elevated Rg values. The 400 kV and 765 kV lines are highly resistant to flashover within low-to-medium lightning current ranges. Only at high currents (≥150 kA) is an Rg < 1000 Ω required to prevent flashover (especially for the 765 kV systems).

Keywords: forced outage rate, towers, transmission lines, grounding, lightning, ATP.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

INTRODUCCIÓN

La importancia de un suministro eléctrico continuo y confiable es mandatorio durante el proceso de diseño de las líneas de transmisión, su puesta a tierra y apantallamiento de las fases para garantizar una adecuada tasa de salida forzada por descargas atmosféricas en función de los mapas ceráunicos del país y los niveles de tensión de las líneas. Cabe destacar que las líneas hasta 115 kV se deben diseñar considerando las sobretensiones por descargas atmosféricas, mientras que las de 230 a 765 kV se diseñan considerando las sobretensiones por maniobras.

Se realizaron simulaciones con el programa Alternative Transient Program (ATP) considerando las características de cada tramo de las líneas y determinar las magnitudes de corrientes de rayo que producen descargas retroactivas. Este estudio surge debido a fallas recurrentes en el sistema eléctrico nacional (SEN), donde se atribuían las mismas a las descargas atmosféricas en los diferentes niveles de tensión y a deficiencias en las puestas a tierra.

Características de las líneas evaluadas

En este punto se describen las características técnicas de las líneas en cuanto a sus componentes: torres, conductores, cadenas de aisladores y su puesta a tierra. Dichas características son necesarias para la modelación y simulación en el ATP, ya que son indispensables para determinar la tasa de salida forzada por descargas atmosféricas de las líneas de transmisión.

Se modelaron mediante el programa ATP:

- Las Líneas de Transmisión a 115, 230, 400 y 765 kV.

- Las longitudes de las cadenas de aisladores para 115, 230kV, 400kV y 765kV se consideraron 1m, 2m, 3,91m y 7 m respectivamente.

La tensión disruptiva (V_dis) se determina en función de las longitudes de la cadena de aisladores, de la magnitud de la descarga atmosférica (entre 5 a 200 kA), de la rampa del frente de onda (0.5, 1.2 y 2 μs) y de la resistencia de puesta a tierra (Rpt), cuyo valor varía entre 10 a 2000 Ω. En la tabla 1 se muestran dichas características.

Configuración de la puesta a tierra

Para el aislamiento y puesta a tierra de las líneas se consideró un apantallamiento efectivo de los conductores de guarda y su desempeño ante descargas atmosféricas; además, son importantes los siguientes puntos:

El conductor de guarda debe garantizar un apantallamiento efectivo para evitar la incidencia de rayos en los conductores de fase.

- La resistencia de puesta a tierra (Rpt) debe ser de 10Ω para obtener una tasa de salida forzada de fallas anuales o salidas por cada 100 km al año. En la tabla 2 se muestra, de acuerdo con las normas, el número de fallas anuales permitido por nivel de tensión (CIGRE Technical Brochures). Se publican las estadísticas internacionales de confiabilidad de líneas de transmisión. Los valores de 7 y 1 salida/100 km-año para 400 kV y 765 kV coinciden con promedios reportados en estudios CIGRE sobre líneas EHV.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

- Dos contrapesos continuos a lo largo de la ruta que atraviesa la línea en caso de alta resistividad del terreno

Las torres

Las características físicas y geométricas de las torres doble terna a 115, 230, 400 y 765 kV fueron modeladas considerando cada una de sus partes (ménsulas y cuerpo de las diferentes torres) mediante el programa ATP, los cuales poseen distintas alturas para cumplir con los requerimientos de diseño del aislamiento de la línea. En las figuras 1, 2, 3 y 4 se muestran las torres modeladas en ATP y la cadena de aisladores utlizadas para este estudio.

Metodología empleada

Para lograr los objetivos del trabajo se empleó la siguiente metodología y consideraciones:

a. Se reresentaron las líneas a 115, 230, 400 y 765 kV mediante el modelo de parámetros distribuidos para líneas de transmisión y otros modelos del programa ATP para las resistencias de puesta a tierra, la tensión de ruptura de la cadena de aisladores, descargas atmosféricas y las fuentes (CIGRE WorkingGroup 33.02, 1990; Carrasco y Villa, 1999).

b. Se determinaron, mediante simulaciones con el ATP (Electric PowerResearchInstitute, 1982; LEUVEN EMTP Center, 1993), las magnitudes de corrientes de rayos que producen descargas retroactivas y el orden de falla de las fases de la línea para puestas a tierra entre 10 a 1000 kA, según las mediciones efectuadas. Los rayos tendrán magnitudes de corrientes entre 20 y 200 kA pico y ocasionan que la tensión en la torre, debido a la descarga atmosférica, tenga una polaridad opuesta a la máxima tensión de operación de una de las fases de la línea (condición de fase dominante) para producir una falla del aislamiento. En la figura 6 se muestra la modelación en el ATP del sistema estudiado.

c. Finalmente, se calculó la tasa anual de salida forzada por descargas retroactivas de la línea para 120 días de tormenta al año.

Determinación de la corriente de rayo con el programa ATP

Para determinar la corriente de rayo (Irayo) que produce descarga retroactiva al menos en una cadena de aisladores, se modelaron 10 vanos por cada tramo y torre empleados, incluyendo modelos de resistencia de puesta a tierra y de la cadena de aisladores. Adicionalmente, se incluyó una fuente equivalente a la tensión de operación de la línea y una fuente para inyectar las corrientes de rayos, según se muestra en la Figuras 5 y 6.

La tensión de ruptura de la cadena de aisladores

Cuando la descarga atmosférica impacta en un apoyo de la línea, ocasiona que la cadena de aisladores sea sometida a la diferencia de potencial entre la ménsula de la torre y el conductor de fase. En el caso de superar la tensión de ruptura de la cadena de aisladores, se produce la falla del aislamiento. Para calcular la tensión de ruptura, se utilizó la siguiente ecuación:

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

$$U_r = L_c \cdot \left(0,4 + \left(\frac{0,71}{t_{cresta}^{0,75}}\right)\right) \cdot 1000$$

Normas internacionales IEEE Std 1410 y IEC 60071-2.
Donde:
Ur = Tensión de ruptura de cadena de aisladores, (MV).
Lc = Longitud de la cadena de aisladores, (m).
t = Tiempo de cresta de la onda de corriente, (µs).

En la tabla 2 se muestran los resultados de Ur en función de la longitud de la cadena de aisladores típico para los diferentes niveles de tensión del SEN.

Cálculo de la tasa de salida forzada de la línea por descargas retroactivas

La línea en estudio posee características diferentes (torres, alturas, resistencia de puesta a tierra, etc.) a lo largo de su ruta. Para evaluar el comportamiento, se subdividió en varios tramos que en promedio tienen características similares. Entonces, se puede obtener la tasa total de salida forzada de la línea por descargas retroactivas como la suma de los cálculos de las tasas de salidas de cada tramo, a través de la siguiente ecuación (Electric Power Research Institute, 1982; IEEE Working Group on Lightning Performance of Transmission Lines, 1985):

$N = Ng \times W \times L \times P(I > Ic) \times 10^{-3}$(2)
$W = b + 4h$

Donde:

N = Tasa de falla de la línea o del tramo por año.
Ng = Días de tormenta al año (Densidad ceráunica).
Pi = Probabilidad acumulada del rayo (P(Irayo)).
L = Longitud de la línea o del tramo, (Km).
b = Separación entre conductores de guarda, (m)
h = altura del conductor de guarda, (m).
W = Ancho de Captura Efectivo (Exposure Width): Representa el ancho efectivo de la zona que puede atraer descargas atmosféricas hacia la línea de transmisión.

Magnitudes de Corriente de Rayo y Probabilidades para Cálculo de Tasas de Salida Distribución de Probabilidad de Corriente de Rayo (IEEE Std 1243-1997) se puede calcular en forma aproximada mediante la siguiente expresión (fórmula de probabilidad acumulada):

Para primer retorno:
P(I>Ic)=1/(1+(Ic/31)^2.6) (3)

Donde:
- Ic=Corriente crítica de flameo inverso (backflashover) en kA
- P(I>Ic)= Probabilidad de que la corriente exceda Ic.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Criterios y modelos utilizados

En este punto se describen los diferentes criterios y modelos utilizados en el trabajo.

Las líneas a 115, 230, 400 y 765 kV

Los vanos de la línea se representaron con el modelo de parámetros distribuidos (R, L y C) no balanceado, calculados para una frecuencia de 500 kHz (LEUVEN EMTP Center, 1993). Las longitudes delos vanos y la altura de las torres dependerán de los niveles de tensión.

La descarga atmosférica

Esta se representó con una fuente de corriente tipo doble rampa, cuya magnitud pico se alcanza en un tiempo de cresta para luego cae al 50% de esa magnitud en un tiempo de cola de 50μs (LEUVEN EMTP Center, 1993). En la tabla 2 se indican las características del tiempo de cresta de la onda en función de las magnitudes de la corriente de descarga atmosférica y la tensión de ruptura de la cadena de aisladores calculada con la ecuación (1) (Carrasco y Villa, 2001; Ohio Brass, s.f.).

La cadena de aisladores

Se modelaron, como se muestra en la Figura 4, mediante una combinación serie-paralelo de capacitancias que representan la distribución de potencial con respecto a la torre de transmisión y la corriente de fuga a lo largo de la cadena. Para simplificar la representación, se determinó la capacitancia equivalente, resultando valores de 4 a 10 pF (Carrasco y Villa, 1999).

En cuanto a la ruptura dieléctrica de la cadena de aisladores, se representó a través de un interruptor controlado por tensión (Electric Power Research Institute, 1982; LEUVEN EMTP Center, 1993). Este cierra sus contactos cuando la diferencia de potencial entre el apoyo y el conductor de fase (como consecuencia de la descarga atmosférica) supera la tensión de ruptura. La tensión de ruptura de la cadena de aisladores se indica en la tabla 2, mientras que en la tabla 9 se presentan la corriente crítica por nivel de tensión, el CFO (Critical Flashover Voltage) y la Rpt.

Resistencias de puesta a tierra

Estas se representaron como resistencias fijas con valores entre 10 y 1000 para cada caso de estudio y poder cubrir así todos los diferentes valores de Rpt medidos a lo largo de la línea.

Las torres

Estas se representaron por medio de líneas de transmisión, con impedancias calculadas de la geometría de las partes que conforman el apoyo, en serie con su Rpt. El tiempo de propagación en el poste o la torre, se calculó como la relación existente entre la altura o longitud de sus partes y el 90 ó 70% de la velocidad de la luz cuando se propaga en un medio distinto al vacío (EPRI, 1982; IEEE WGLPTL, 1985; LEUVEN EMTP Center, 1993).

Los modelos para torres se calculó la impedancia de sus partes mediante las ecuaciones de cono o cilindro de acuerdo al tipo de torre.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Criterios y modelos utilizados

En este punto se describen los diferentes criterios y modelos utilizados en el trabajo.

Las líneas a 115, 230, 400 y 765 kV

Los vanos de la línea se representaron con el modelo de parámetros distribuidos (R, L y C) no balanceado, calculados para una frecuencia de 500 kHz (LEUVEN EMTP Center, 1993). Las longitudes delos vanos y la altura de las torres dependerán de los niveles de tensión.

La descarga atmosférica

Esta se representó con una fuente de corriente tipo doble rampa, cuya magnitud pico se alcanza en un tiempo de cresta para luego cae al 50% de esa magnitud en un tiempo de cola de 50μs (LEUVEN EMTP Center, 1993). En la tabla 2 se indican las características del tiempo de cresta de la onda en función de las magnitudes de la corriente de descarga atmosférica y la tensión de ruptura de la cadena de aisladores calculada con la ecuación (1) (Carrasco y Villa, 2001; Ohio Brass, s.f.).

La cadena de aisladores

Se modelaron, como se muestra en la Figura 4, mediante una combinación serie-paralelo de capacitancias que representan la distribución de potencial con respecto a la torre de transmisión y la corriente de fuga a lo largo de la cadena. Para simplificar la representación, se determinó la capacitancia equivalente, resultando valores de 4 a 10 pF (Carrasco y Villa, 1999).

En cuanto a la ruptura dieléctrica de la cadena de aisladores, se representó a través de un interruptor controlado por tensión (Electric Power Research Institute, 1982; LEUVEN EMTP Center, 1993). Este cierra sus contactos cuando la diferencia de potencial entre el apoyo y el conductor de fase (como consecuencia de la descarga atmosférica) supera la tensión de ruptura. La tensión de ruptura de la cadena de aisladores se indica en la tabla 2, mientras que en la tabla 9 se presentan la corriente crítica por nivel de tensión, el CFO (Critical Flashover Voltage) y la Rpt.

Resistencias de puesta a tierra

Estas se representaron como resistencias fijas con valores entre 10 y 1000 para cada caso de estudio y poder cubrir así todos los diferentes valores de Rpt medidos a lo largo de la línea.

Las torres

Estas se representaron por medio de líneas de transmisión, con impedancias calculadas de la geometría de las partes que conforman el apoyo, en serie con su Rpt. El tiempo de propagación en el poste o la torre, se calculó como la relación existente entre la altura o longitud de sus partes y el 90 ó 70% de la velocidad de la luz cuando se propaga en un medio distinto al vacío (EPRI, 1982; IEEE WGLPTL, 1985; LEUVEN EMTP Center, 1993).

Los modelos para torres se calculó la impedancia de sus partes mediante las ecuaciones de cono o cilindro de acuerdo al tipo de torre.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Análisis de resultados.

A continuación, se indican los aspectos más importantes observados en los diferentes casos simulados (véanse las tablas 4 a 8):

Línea a 115 kV. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 1 mt.
Hallazgos Críticos:

RPT ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 20 kA,
Para I = 50–200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt ≥ 10 Ω

Línea a 230 kV. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 2 mts.
Hallazgos Críticos:

RPT ≥ 100 Ω → alto riesgo con I ≥ 50kA
RPT ≥ 20 Ω → alto riesgo con I ≥ 100kA
Para I = 150–200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt ≥ 10 Ω.

Línea a 400 kV. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 3.91 mts.
Hallazgos Críticos:

Rpt ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 50kA
RPT ≥ 100 Ω → alto riesgo con I ≥ 75kA
Para I = 100–200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt≥ 10 Ω

Línea a 765 KV. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 7 mts.
Hallazgos Críticos:

Rpt ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 150 kA
Para I ≥ 200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt ≥ 100 Ω

Se apreció una tendencia de falla similar para las diferentes torres, con alta dependencia del valor de Rpt, que influye directamente en cuál fase falla primero (alta, bajas o todas). Los apoyos altos (ménsulas) fallaron antes que los bajos y, en los casos con resistencias de puesta a tierra de 20 Ω, se requirieron rayos con corriente de 150 kA. En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para los diferentes niveles de tensión en cuanto a corriente de rayo que produce la descarga retroactiva en la línea y su correspondiente valor de Rpt.

El calculó de la tasa de salida forzada de la línea por descargas retroactivas para 120 días de tormenta al año, utilizado los valores inicial y final de resistencia de puesta a tierra, los resultados de la Tabla 3 y la ecuación (2), arrojó una tasa de salidas por año por cada 100 km de líneas de transmisión por descargas atmosféricas, según el Nivel de Tensión: 115, 230, 400 y 765 kV.

Las tasas de salida (outage rates) por descargas atmosféricas varían significativamente según el nivel de tensión, diseño de la línea, condiciones del terreno y densidad ceráunica de la región. A continuación, se presentan los valores obtenidos en este estudio técnico:

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Sistema de Transmisión Venezolano (1984-2006):

- 230 kV: 8.5 salidas/100 km-año (promedio histórico)
- 400 kV: 7 salidas/100 km-año
- 765 kV: 1 salida/100 km-año

Las descargas atmosféricas causan entre 40% y 70% de las fallas en líneas a 115, 230 y 400 kV. Anualmente la densidad de rayos varía significativamente, dificultando el diseño basado en promedios históricos.

Líneas de 765 kV - Estudio de Caso (EDELCA) :

- Tasa calculada: 0.81 a 1.38 salidas/100 km-año para 60 y 100 días de tormenta.
- Corriente crítica para flameo inverso: ~255 kA con resistencia de tierra de 20 Ω.

Finalmente, en la tabla 3 se resumen los resultados de la tasa de salida de la línea en función del número de apoyos, longitud del tramo, resistencia de puesta a tierra (inicial y final) y su contribución en porcentaje al total de fallas.

CONCLUSIONES

1. Los sistemas a 115 kV son los más susceptibles al arqueo:

- Para corrientes ≥ 50 kA, el arqueo ocurre incluso con RPT tan baja como 10 Ω.
- En cambio, con corrientes bajas (5–20 kA), el sistema es robusto si Rpt< 1000 Ω.

2. Sistemas a 230 kV y superiores ofrecen mejor desempeño:

- 230 kV: No se presenta arqueo para I ≤ 20 kA, incluso con Rpt elevada.
- 400 kV y 765 kV: Altamente resistentes a arqueos en rangos bajos/medios de corriente de rayo.
- Solo en altas corrientes (≥150 kA) se requiere Rpt< 1000 Ω para evitar arqueos (especialmente en 765 kV)

3. La longitud de la cadena de aisladores es crítica; a mayor voltaje del sistema, se requiere una cadena más larga para evitar arqueos.

4. Existe una relación no lineal entre corriente de rayo y tensión inducida; la tensión entre torre y fase crece exponencialmente con la corriente del rayo, especialmente a partir de 50 kA.

5. Rpt (resistencia de puesta a tierra) es un factor de control clave:

- Rpt < 20 Ω: Ideal para líneas críticas.
- Rpt > 1000 Ω: Aumenta drásticamente el riesgo de arqueo en líneas de 115 kV y moderadamente en 230–400 kV.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

6. La tasa de salida forzada de la línea por descargas retroactivas para 120 días de tormenta al año se obtuvo de 9 y 7 salidas anuales, ó 3,2 salidas por año cada 100 km.

7. Se considera adecuada la tasa de salida forzada obtenida para esta línea, de acuerdo a los valores de diseño empleados para este nivel de tensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrasco, G., & Villa, A. (1999, mayo). Simulación con ATP de pararrayos para las líneas a 115 y 400 kV de EDELCA [Ponencia]. VIII Encuentro Regional Latinoamericano de la CIGRE (ERLAC), Paraguay.

Carrasco, G., & Villa, A. (2001, diciembre). Revisión de la Tasa de Falla de la Línea Las Claritas – Santa Elena a 230 kV por descargas atmosféricas [Informe técnico]. Departamento de Investigación y Análisis de Transitorios, C.V.G. EDELCA.

CIGRE Working Group 33.02. (1990). Guide lines for representation of network elements when calculating transients (CIGRE TechnicalBrochure No. 39). CIGRE.

Electric Power Research Institute. (1982). Transmission line reference book 345 kV and above (2.ª ed.). EPRI.

IEEE Working Groupon Lightning Performance of Transmission Lines. (1985). A simplified method foresti matinglightning performance of transmission lines. IEEE Transaction son Power Apparatus and Systems, PAS-104(4), 919–932. https://doi.org/10.1109/TPAS.1985.319056

LEUVEN EMTP Center. (1993). Alternative Transients Program (ATP) rule book. Autor.

Ohio Brass. (s. f.). Lightning protection for distribution and transmission systems (Protecta*Lite systems catalog). Hubbell Power Systems.

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Tensión Disruptiva Vs Longitud de la cadena de aisladores y el tiempo de cresta de la descarga atmosférica

		Tiempo de Cresta de la onda µ seg		
		0,5	1,2	2
	Irayo kA	20 kA	50 – 100 kA	150 – 200 kA
Vsistema (kV)	Lc (m)	Ur1 (kV)	Ur2 (kV)	Ur3 (kV)
34,5	0,6	956	612	493
115	1	1594	1019	822
115	1,2	1913	1223	987
230	1,8	2869	1835	1480
230	2	3188	2039	1644
230	2,1	3348	2140	1727
400	3,5	5579	3567	2878
400	3,6	5739	3669	2960
400	3,91	6233	3985	3215
765	6,3	10043	6421	5180
765	7	11159	7135	5755

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 2. Tasa de Salida (salidas/100 km-año) IEEE Std 1243-1997 – "Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines"

Nivel de Tensión	Tasa de Salida	Observaciones
115 kV	3 - 20 salidas/100 km-año	Mayor vulnerabilidad por menor nivel de aislamiento
230 kV	8.5 salidas/100 km-año	Promedio reportado: 8.5 salidas/100 km-año
400 kV	7 salidas/100 km-año	Promedio reportado: 7 salidas/100 km-año
765 kV	1 salidas/100 km-año	Promedio reportado: 1 salida/100 km-año; mejor desempeño por mayor aislamiento

Tabla 3. Resumen resultados

Sistema (kV)	Rango de I_rayo (kA)	Vdisr (kV)	PAT con Arqueo (Ω)	Observación
115	5 – 20	1594	≥1000 (solo para 20 kA)	Para 5–10 kA: ningún arqueo; para 20 kA: arqueo solo si RPT ≥ 1000 Ω
	50 – 100	1019	Todos (≥10 Ω)	Arqueo siempre, incluso con RPT = 10 Ω
	150 – 200	822	Todos (≥10 Ω)	Arqueo siempre, incluso con RPT = 10 Ω
230	5 – 20	3188	Ninguno	No hay arqueo en ningún caso
	50 – 75	2039	≥100	Arqueo solo si RPT ≥ 100 Ω
	100	2039	≥20	Arqueo desde RPT = 20 Ω
	150 – 200	1644	Todos (≥10 Ω)	Arqueo siempre
400	5 – 20	6233	Ninguno	No hay arqueo en ningún caso
	50 – 75	3985	≥1000	Arqueo solo si RPT ≥ 1000 Ω
	100 – 200	3215 – 3985	Todos (≥10 Ω)	Arqueo siempre, incluso con RPT = 10 Ω
765	5 – 100	7135 – 11159	Ninguno	No hay arqueo en ningún caso
	150 – 200	5755	≥1000	Arqueo solo si RPT ≥ 1000 Ω

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Figura 1. Torres modeladas a 115, 230 y 400 kV.

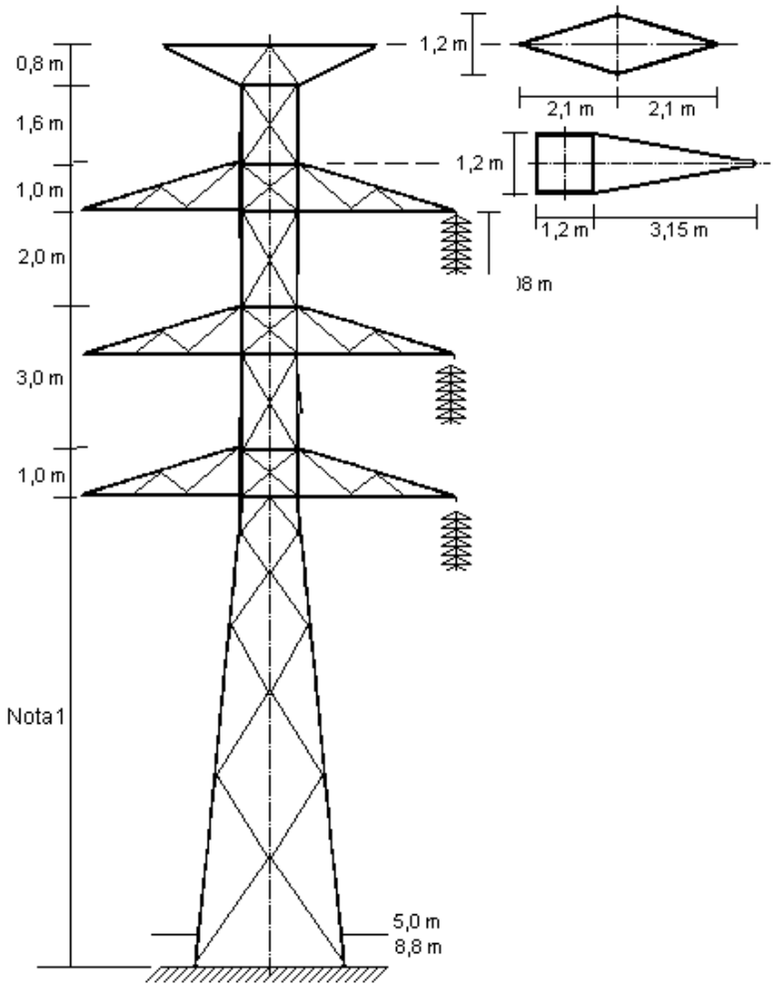
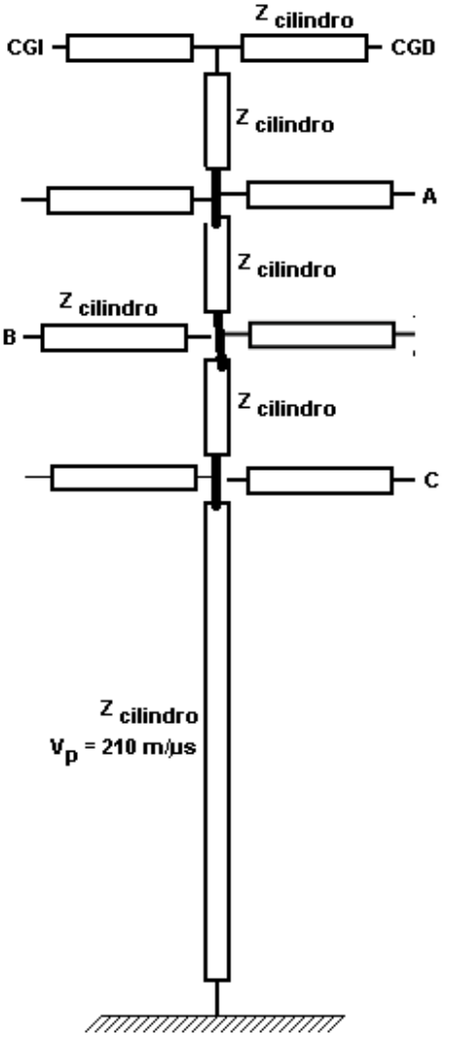


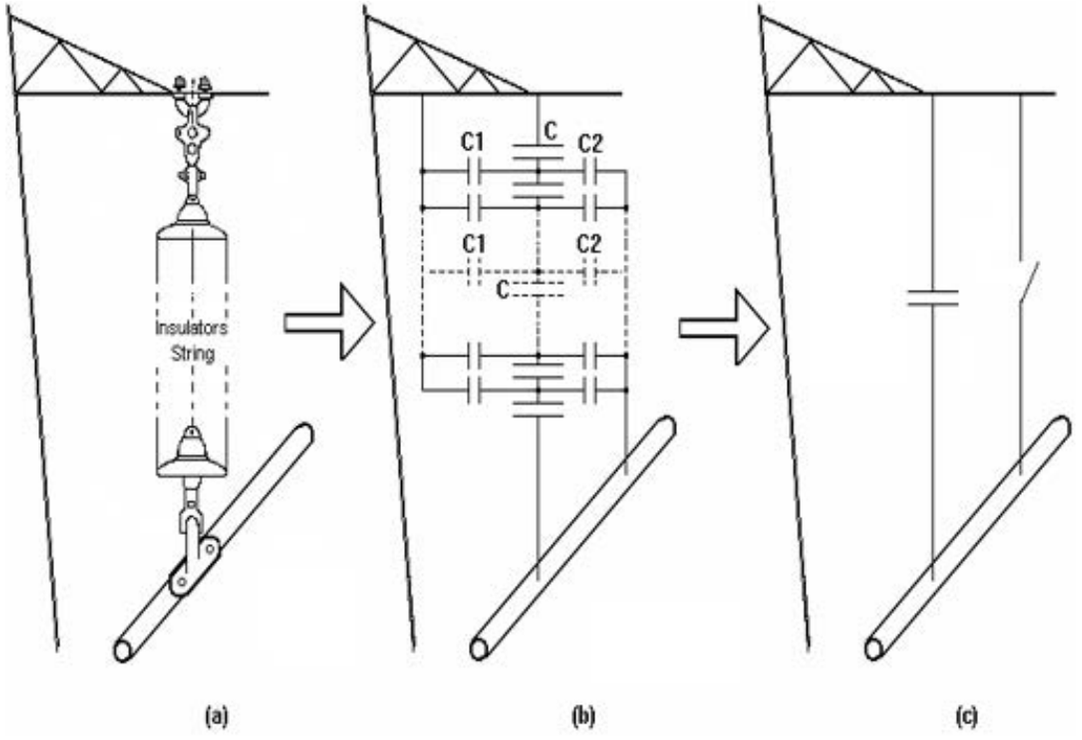
Figura 2. Torres a 115, 230 y 400 kV



Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Figura 3. Torres a 765 kV

Figura 4. Modelo utilizado para las cadenas de aisladores



Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Figura 5. Corriente del rayo (I_rayo): desde 5 kA hasta 200

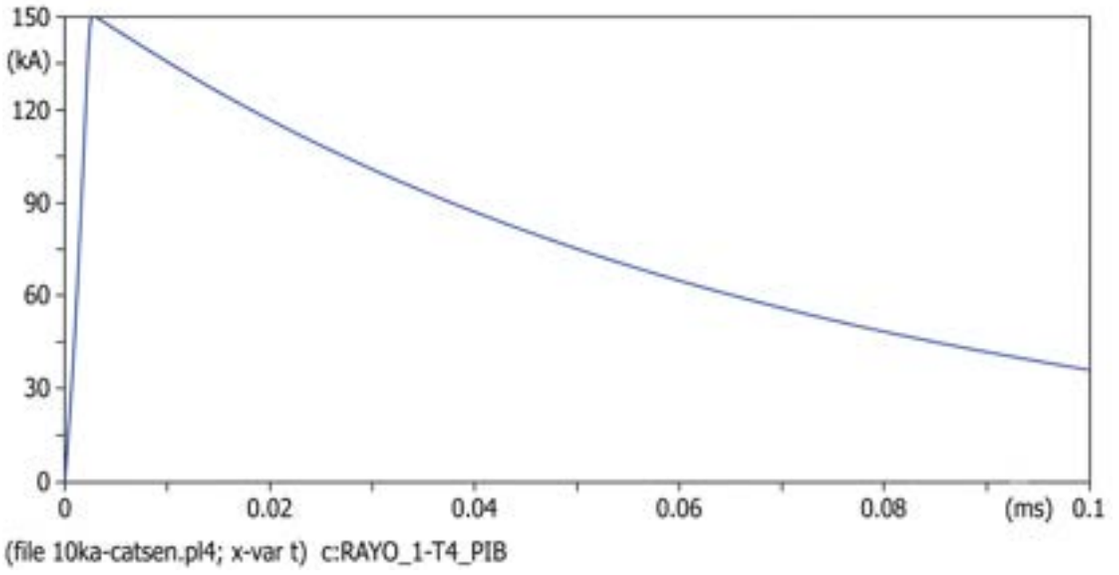
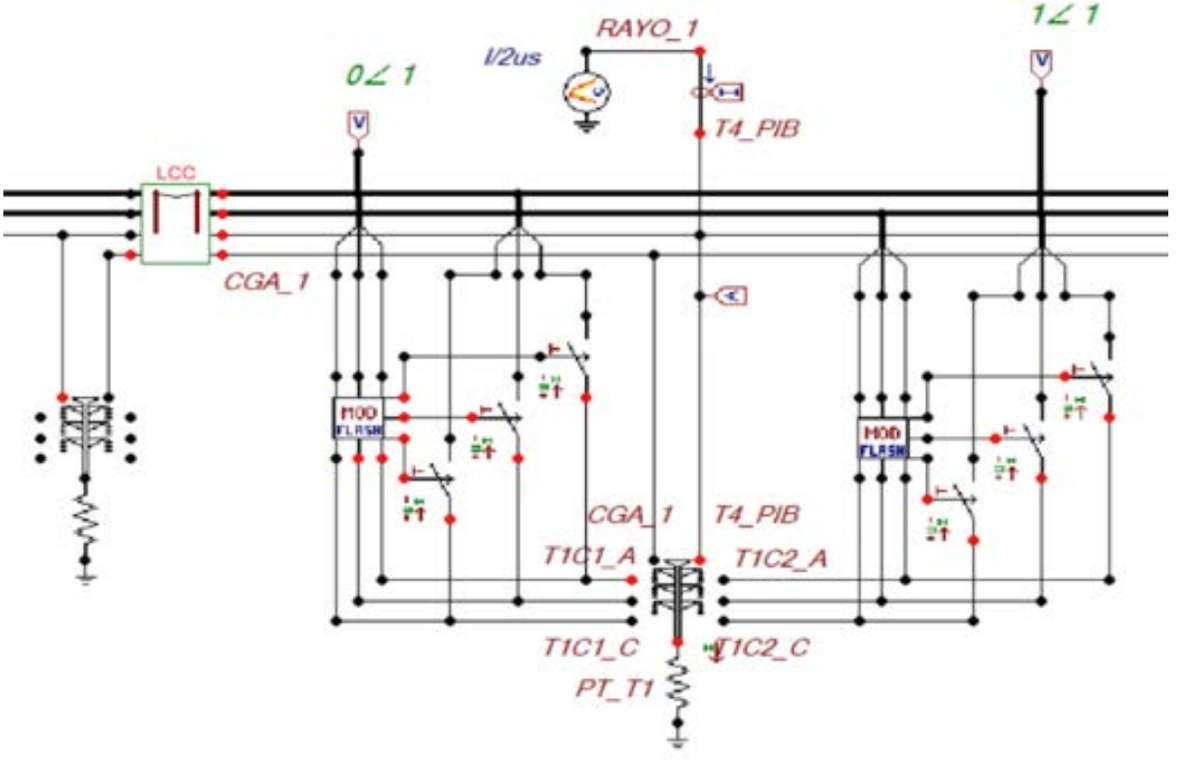


Figura 6. Esquema del modelo de las líneas empleado en ATP



Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 4. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 1 mts Línea a 115 kV

Prob.	PAT(Ω)	10	20	100	1000	2000	Vdisr
(%)	I rayo (kA)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	Lc-KV
99,14%	5	108	115	173	427	460	1594
94,99%	10	224	231	390	895	974	1594
75,76%	20	438	486	811	1851	2010	1594
22,39%	50	1123	1207	1934	4708	5111	1019
9,14%	75	1711	1834	3110	7088	7690	1019
4,54%	100	2320	2486	4205	9560	10372	1019
1,63%	150	1447	2123	6117	14217	15349	822
0,78%	200	1764	2690	8134	19208	20669	822

RPT ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 20 kA
Para I = 50–200 kA, el contorneo es casi inevitable si Rpt ≥ 10 Ω

Tabla 5. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud de cadena de aisladores 2 mts. Línea a 230 kV

Prob.	PAT(Ω)	10	20	100	1000	2000	Vdisr
(%)	I rayo (kA)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	Lc-KV
99,14%	5	116,4	125	92	395	432	3188
94,99%	10	282	291	326,6	884	967	3188
75,76%	20	579,8	603	779,5	1885	2056,5	3188
22,39%	50	1684,67	1697,2	2066,2	4914,5	5326	2039
9,14%	75	1434,22	1659,57	3115,09	7229	7659,6	2039
4,54%	100	1655,4	2041	4173	9806	10592	2039
1,63%	150	1952,7	2570	6264	14189	15275	1644
0,78%	200	2394	3238	8400	19303	20797	1644

Rpt ≥ 100 Ω → alto riesgo con I ≥ 50 kA
RPT ≥ 20 Ω → alto riesgo con I ≥ 100 kA
Para I = 150–200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt ≥ 10 Ω

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 6. Diferencia de potencial entre torre y fase. Longitud cadena de aisladores 3.91 mts. Línea a 400 kV

Prob.	PAT(Ω)	10	20	100	1000	2000	Vdisr
(%)	I rayo (kA)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	Lc-KV
99,14%	5	125	125	132	375	426	6233
94,99%	10	414	415	422	912	1021	6233
75,76%	20	991	989	992	2008	2204	6233
22,39%	50	2108	2177	2573	5247	5703	3985
9,14%	75	3362	3439	3954	7946	8594	3985
4,54%	100	4867	4897	5204,2	10506	11518	3985
1,63%	150	5723	5921	7676,5	16059	17470	3215
0,78%	200	8171	8356	10258,3	21590	23428	3215

Rpt ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 50 kA
Rpt ≥100 Ω → alto riesgo con I ≥ 75 kA
Para I = 100–200 kA, el contorneo es casi inevitable si Rpt ≥ 10 Ω.

Tabla 7. Diferencia de potencial entre torre y fase, Longitud de cadena de aisladores 7 mts Línea a 765 KV

Prob.	PAT(Ω)	10	20	100	1000	2000	Vdisr
(%)	I rayo (kA)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	Lc-KV
99,14%	5	143	136	135	34	63	11159
94,99%	10	16,49	1	41,35	372,7	424,7	11159
75,76%	20	212,77	240,45	268	1051,2	1160,3	11159
22,39%	50	562,6	670,8	1126,1	3050,9	3321,2	7135
9,14%	75	805,95	1017,5	1845	4745	5154,3	7135
4,54%	100	961,6	1292,9	2569	6516	7062	7135
1,63%	150	1230,6	1875,5	4028,4	9817	10633	5755
0,78%	200	1556	2301,4	5484	13136	14243	5755

Rpt ≥ 1000 Ω → alto riesgo con I ≥ 150 kA
Para I ≥ 200 kA, el contorneo es inevitable si Rpt ≥ 100 Ω

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 8. Tensión de ruptura Línea a 115 kV

Prob.	RPT(Ω)	10	20	100	1000	2000	Vdisr
(%)	I rayo (kA)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	V(kV)	Lc-KV
99,14%	5	108	115	173	427	460	1594
94,99%	10	224	231	390	895	974	1594
75,76%	20	438	486	811	1851	2010	1594
22,39%	50	1123	1207	1934	4708	5111	1019
9,14%	75	1711	1834	3110	7088	7690	1019
4,54%	100	2320	2486	4205	9560	10372	1019
1,63%	150	1447	2123	6117	14217	15349	822
0,78%	200	1764	2690	8134	19208	20669	822

Rpt $\geq$ 1000 Ω → alto riesgo con I $\geq$ 20 kA
Para I = 50–200 kA, el contorneo es casi inevitable si Rpt $\geq$ 10 Ω

Las corrientes críticas (Ic) que causan flameo inverso dependen del nivel de tensión, la resistencia de puesta a tierra y el CFO (Critical Flashover Voltage):

Tabla 9. Corrientes Críticas Típicas por Nivel de Tensión

Nivel de Tensión	**CFO Típico**	**Corriente Crítica (Rg=10Ω)**	**Corriente Crítica (Rg=40Ω)**	**Probabilidad de Excedencia**
115 kV	650 kV	~40-60 kA	~20-30 kA	15-35% (Rg=40Ω)
230 kV	1095 kV	~80-110 kA	~40-60 kA	8-25% (Rg=40Ω)
400 kV	1400-1550 kV	~100-130 kA	~50-70 kA	5-15% (Rg=40Ω)
765 kV	1800-2100 kV	~120-150 kA	~60-90 kA	3-10% (Rg=40Ω)

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

FORTALECIMIENTO ELÉCTRICO

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR ELÉCTRICO (1990–2022)

Darwin Planes A., Edison Mayorga.
Viceministerio de Fuentes Alternas y Participación Popular, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
planes29@gmail.com, edimayor82@gmail.com

RESUMEN

Este estudio presenta los resultados del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Sector Eléctrico, desarrollado para una serie temporal que abarcó desde 1990 al 2022. La iniciativa fue parte de la Tercera Comunicación Nacional y el Primer Informe Bienal de Transparencia, coordinada por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo (MINEC). Se aplicó la metodología y directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero por consumo de combustibles en plantas termoeléctricas. El análisis y los resultados contribuyeron al reporte del INGEI nacional, fortaleciendo la transparencia climática y el cumplimiento de compromisos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, emisiones, inventario, sector eléctrico, Venezuela.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS INVENTORY FOR THE ELECTRICITY SECTOR (1990–2022)

ABSTRACT

This study presents the results of the Greenhouse Gas Inventory for the Electricity Sector, developed for a time series spanning from 1990 to 2022. The initiative was part of the Third National Communication and the First Biennial Transparency Report, coordinated by the Ministry of Popular Power for Ecosocialismo (MINEC). The methodology and guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) were applied to estimate greenhouse gas emissions from fuel consumption in thermoelectric power plants. The analysis and results contributed to the National Greenhouse Gas Inventory (INGEI) report, strengthening climate transparency and compliance with commitments under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

Keywords: Greenhouse gases, emissions, inventory, electricity sector, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La crisis climática representa uno de los mayores retos ambientales que enfrentamos. Su causa principal radica en la intensificación del efecto invernadero, provocada por actividades antropogénicas, especialmente la quema de combustibles fósiles que libera grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. Este proceso ha desencadenado un calentamiento global progresivo, con impactos visibles en todo el planeta. Ante esta realidad, la comunidad internacional, a través de la CMNUCC, exhorta a los países a monitorear y reportar sus emisiones de manera transparente (establecido en el Artículo 4 de la CMNUCC) mediante la elaboración de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), como herramienta clave para la acción climática.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Para la elaboración de los INGEI, los Estados Partes deben aplicar las directrices metodológicas del IPCC, de esta manera, se asegura la calidad, coherencia y comparabilidad entre todos los inventarios.
Venezuela, como signatario, ha ratificado su compromiso, incluyendo el Protocolo de Kioto y su Enmienda de Doha de 2017, comprometiéndose a reportar las emisiones de Dióxido de Carbono (CO2), Metano (CH4) y Óxido Nitroso (N2O). El país ha elaborado y reportado tres (03) INGEI, los cuales han sido parte de un proceso técnico y participativo.

Dentro de las principales categorías de fuentes emisoras de GEI se encuentra el sector energía. En particular, el sector eléctrico representa un componente esencial de la infraestructura energética nacional y, al mismo tiempo, una fuente de emisiones derivadas principalmente de la quema de combustibles fósiles (gas, gasoil y fueloil) en plantas termoeléctricas. El cálculo de las emisiones junto con el factor de emisión de CO2 equivalente (CO2 eq) es fundamental, ya que ofrece una métrica clave para evaluar las concentraciones de carbono liberadas por el sistema y orientar la formulación de estrategias y acciones de mitigación para reducir GEI en el sector.

Este estudio se enmarca en la iniciativa de la Tercera Comunicación Nacional y el Primer Informe Bienal de Transparencia de Venezuela, coordinados por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo (MINEC). Los resultados obtenidos no solo contribuyen al INGEI nacional, sino que también fortalecen la transparencia climática del país, al proporcionar una serie de tiempo coherente y comparable de las emisiones del sector. El estudio abarca una serie temporal de 32 años, desde 1990 hasta 2022, lo que permite un análisis integral de la evolución de las emisiones.

El objetivo de este estudio es presentar los resultados del INGEI del Sector Eléctrico de Venezuela, estimando las emisiones y el factor de emisión correspondiente para la serie temporal 1990-2022, considerando: Las emisiones de CO2, CH4 y N2O generadas por el consumo de gas, gasoil y fueloil en las plantas termoeléctricas.

Emisiones totales de CO2 equivalente del sector y la Generación de Energía Bruta (GEB) total del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), considerando todas las fuentes.

El factor de emisión de CO2 equivalente para el Sector Eléctrico para cada año del período 1990-2022.

METODOLOGÍA

Como aporte del Sector Eléctrico al INGEI, publicado en la Tercera Comunicación Nacional, se siguió y aplicó las directrices metodológicas del IPCC-2006. Asimismo, se establecieron acuerdos relevantes entre las diferentes instituciones participantes, que permitieron construir y validar la serie de tiempo coherente para el período 1990 – 2022.

A continuación, se describen las consideraciones y premisas generales utilizadas en la metodología:

1. La estimación de las emisiones de GEI se realizó utilizando los factores de emisión y procedimientos de cálculo contenidos en la metodología propuesta por el IPCC referentes al módulo I de energía. Asimismo, se tomaron como referencia los datos relacionados al consumo de combustibles fósiles y la producción de energía eléctrica (GWh) de diferentes fuentes estadísticas nacionales, como la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS), Petróleo y Otros Datos Estadísticos (PODE) y los anuarios/boletines estadísticos del MPPEE. Para los cálculos de las emisiones se utilizó el software: IPCC Inventory Software, versión 2.93, desarrollado por la CMNUCC, para facilitar la estimación de emisiones de GEI mediante metodologías estandarizadas y reconocidas internacionalmente.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

2. De acuerdo con las Directrices del IPCC, las emisiones de GEI, generadas por las plantas termoeléctricas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), se clasifican como emisiones directas, ya que provienen de fuentes controladas dentro del territorio nacional. Además, estas emisiones se enmarcan dentro de la categoría de fuentes de combustión fija, dado que se originan en equipos estacionarios utilizados para la generación de energía mediante la quema de combustibles fósiles.

3. Se estableció una serie temporal de 32 años, comprendida entre 1990 y 2022. Este período fue seleccionado con el objetivo de analizar de manera integral la evolución de las emisiones de GEI incluyendo datos históricos de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero desde 1990, año base reconocido internacionalmente, con el fin de garantizar la coherencia, comparabilidad y transparencia en el seguimiento de las emisiones.

4. Los gases considerados por el país para el INGEI y, por ende, por el sector eléctrico, fueron el Dióxido de Carbono (CO2), Metano (CH4) y Óxido Nitroso (N2O), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto y ratificados por Venezuela en la Enmienda de Doha del Protocolo de Kioto en el año 2017.

5. La ecuación general para la estimación de las emisiones de GEI se presenta a continuación:

Emisiones = Datos de Actividad x Factor de Emisión

Donde:

Datos de Actividad (DA): Representan la cantidad de actividad que genera emisiones de GEI, por ejemplo, la cantidad de electricidad generada por cada tipo de combustible.

Factor de Emisión (FE): Representa la cantidad de GEI liberados por unidad de actividad, por ejemplo, kg CO2eq/MWh generado.

6. Las estimaciones de las emisiones del Sector Eléctrico se realizaron aplicando el método de Nivel 1, que se basa en las cantidades de combustible quemado procedente de las estadísticas nacionales de energía y los factores de emisiones por defecto establecidos en las Directrices del IPCC. En este sentido, para el desarrollo del factor de emisión del SEN se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Para el cálculo de la emisión de CO2 equivalente:

Datos del consumo de combustible: se considera el consumo anual de cada tipo de combustible (gas, gasoil y fueloil) utilizado por las plantas termoeléctricas del SEN.

Densidades químicas de los combustibles: para los cálculos del consumo de combustible en gigagramos, se utilizaron las densidades químicas, según datos estadísticos del PODE, como se muestra a continuación:

Tabla 1. Densidades químicas de los combustibles (PODE 2005)

Combustibles	Densidades
Gas	0,75 kg/m^3
Gasoil	870 kg/m^3
Fueloil	975kg/m^3

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• **Poder calorífico:** se emplearon los valores caloricos netos (VCN) expresados en TJ/Gg, para cada tipo de combustible, según las Directrices del IPCC 2006, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Valor calorífico de los combustibles (IPCC 2006)

Tipo de combustible	Valor Calórico Neto (TJ/Gg)
Gas Natural	48
Gas/DiéselOil	43
Fuelóleo Residual	40,4

• **Factores de emisión:** se emplearon los factores de emisión por defecto disponibles en la base de datos de emisiones del IPCC (EFDB, del inglés Emission Factor Database), según las Directrices del IPCC 2006, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Factor de emisión de los combustibles (IPCC 2006)

Factor de emisión de CO_2 eficaz (kg/TJ) (Valores por defecto)			
Combustible	**FE por defecto CO_2**	**FE por defecto CH_4**	**FE por defecto N_2O**
Gas Natural	56100	1	0,1
Gas / Diésel Oil	74100	3	0,6
Fuelóleo Residual	77400	3	0,6

• **Potencial de calentamiento:** se emplearon los valores de los potenciales de calentamiento atmosférico (PCA) para un horizonte temporal de 100 años, indicados en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, como se muestra a continuación:

Tabla 4. Potencial de calentamiento de los gases (IPCC 2006)

Nombre comercial común	Fórmula química	Potencial de calentamiento
Dióxido de carbono	CO_2	1
Metano	CH_4	25
Óxido nitroso	N_2O	298

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

a) Para el cálculo de la energía eléctrica total generada

• La generación de energía eléctrica se obtiene a partir de la energía bruta anual reportada por las plantas de CORPOELEC, expresada en GWh. Se consideran tanto las plantas que consumen combustibles fósiles para generar electricidad como las centrales de energías limpias (hidroeléctricas, eólicas, fotovoltaicas, entre otras).

b) Cálculo del factor de emisión de CO2 equivalente para el SEN

• El factor de emisión de CO2eq para el SEN en un año en particular se obtiene a partir de las estimaciones de las emisiones de CO2 eq y la generación de energía bruta total del Sector Eléctrico, mediante la siguiente ecuación:

$$\textbf{\textit{Factor de Emisión}} = \frac{E \text{ de GEI } (tCO_2 \text{ eq})}{\textbf{\textit{GEB Total}}\ (GWh)}$$

PROCEDIMIENTO

Para estimar las toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2eq) y calcular el factor de emisión correspondiente para cada año, se aplicó un procedimiento sistemático que incluye varias etapas. A continuación, se detallan los pasos, desde la recopilación de datos de consumo de combustibles hasta determinar el factor de emisión específico, conforme a las metodologías establecidas por las Directrices del IPCC. No obstante, la recopilación de datos relacionados con el consumo de combustible y generación de energía bruta se logró organizar de la siguiente forma:

Para el período comprendido entre 1990 y 2000, los datos de generación eléctrica se obtuvieron de la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS); no obstante, ante la ausencia de registros desagregados sobre el consumo específico de combustibles en el parque termoeléctrico, se implementó un procedimiento de estimación técnica, en el cual se utilizó como referencia el Informe Anual OPSIS 1997, para establecer una relación proporcional entre la generación térmica y el consumo de gas natural, gasoil y fueloil de ese año. Bajo la premisa de que dicha participación relativa en el mix térmico se mantuvo constante, se replicó el patrón para completar la serie histórica; si bien esta aproximación presenta limitaciones inherentes, resultó una medida indispensable para garantizar la integridad y continuidad del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Sector Eléctrico.

Para el período 2001-2004, la estimación del consumo de combustible se realizó siguiendo el mismo procedimiento técnico aplicado en el punto anterior, utilizando información estadística del PODE proveniente del Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Ante la necesidad de desagregar los datos, se empleó la proporción de consumo por tipo de combustible (gas, gasoil y fueloil) registrada en el año 2005, según lo establecido en el Anuario Estadístico del MPPEE, garantizando así la coherencia metodológica en la reconstrucción de la serie histórica.

Del año 2005 al 2018, se utilizó la información de los Anuarios Estadísticos del Sector Eléctrico Venezolano.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Durante el año 2019 el país sufrió un atentado contra el Sistema Eléctrico Nacional generando un apagón masivo, por lo que no se reportó información.

Del año 2020 al 2022 se manejó información procedente de los Boletines del Centro Nacional de Despacho (CND) de CORPOELEC.

Paso 1

A partir de la información recopilada y en vista que los datos de consumo de combustibles están expresados en diferentes unidades: millones de metros cúbicos (MMm³) para el gas, millones de litros (MMlts) para el gasoil y miles de toneladas (MTon) para el fuel oil, es necesario convertirlos a una unidad común, por ejemplo a MMm³ o MTon. Para ello, se deben aplicar los siguientes factores de conversión:

Tabla 5. Factores de conversión de unidades

De	Procedimiento	a
m^3	Consumo de combustible (m^3)*densidad (t/m^3)	ton
Lts	Consumo de combustible (Lts)*densidad (t/m^3)	ton
Lts	Multiplicar por 1.000	m^3
Ton	Toneladas / densidad del combustible (t/m^3)	m^3
GWh	3,6	TJ

Paso 2

Calcular el consumo total de combustible en masa, expresado en Gigagramos (Gg). Para ello, se toma el consumo previamente convertido a una unidad común y se multiplica por las densidades químicas específicas correspondientes a cada tipo de combustible.

Paso 3

Se calcula el consumo de combustible en términos de energía, expresado en Terajulios (TJ). Para ello, se multiplica el consumo en Gigagramos (Gg) por el poder calorífico específico de cada tipo de combustible.

Paso 4

Se procede a calcular las emisiones generadas por cada tipo de combustible. Para ello, se multiplica el consumo energético en Terajulios (TJ) por los factores de emisión por defecto establecidos en las directrices del IPCC 2006, específicos para cada combustible. Este cálculo permite obtener las emisiones correspondientes de dióxido de carbono ($GgCO_2$), metano ($GgCH_4$) y óxido nitroso (GgN_2O), expresadas en Gigagramos.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Paso 5

Se realiza la conversión de las emisiones totales de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) a su equivalente en dióxido de carbono (Gg CO_2 eq). Para ello, se multiplican las emisiones de cada gas por su respectivo potencial de calentamiento global (PCG), según los valores establecidos por el IPCC.

Paso 6

Para expresar las emisiones en una unidad más comúnmente utilizada, se convierte el valor obtenido en Gigagramos de CO_2 equivalente (Gg CO_2e) a toneladas de CO_2 equivalente (t CO_2e). Esta conversión se realiza multiplicando por 1.000, ya que un Gigagramo equivale a mil toneladas métricas.

Paso 7

Para estimar la generación bruta total de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), expresada en Gigavatios-hora (GWh), se realiza la suma de la producción proveniente de todas las fuentes disponibles. Esto incluye tanto la generación a partir de combustibles fósiles como la generación mediante fuentes de energía limpia, tales como hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa, entre otras.

Paso 8

Finalmente, se determina el factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) para el Sector Eléctrico. Este indicador se obtiene dividiendo el total de emisiones en toneladas de CO_2 equivalente (t CO_2e) entre la generación bruta total de energía eléctrica, expresada en Gigavatios-hora (GWh). El resultado representa la cantidad de emisiones generadas por cada unidad de energía producida, y constituye una métrica clave para evaluar la intensidad de carbono del sistema eléctrico y orientar estrategias para reducir las emisiones.

RESULTADOS

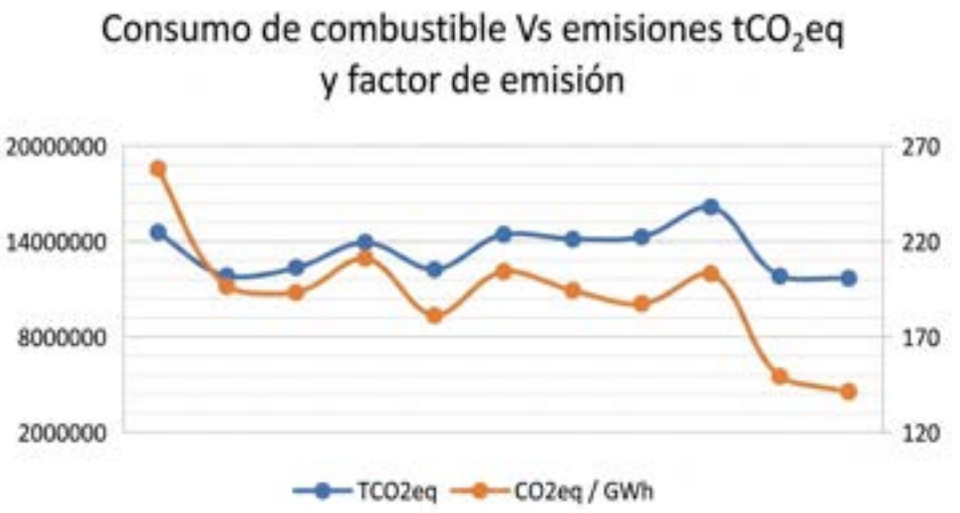
Tras la aplicación de la metodología del IPCC (Nivel 1) para la serie temporal 1990-2022, se determinó la evolución de las emisiones de CO_2 equivalente y el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional. A continuación, se describen los comportamientos observados por períodos, priorizando el análisis de tendencias sobre los valores de consumo y generación.

Período 1990 al 2000:

La siguiente Figura 1 ilustra la evolución de las emisiones de tCO2 equivalente y el comportamiento del factor de emisión para el período analizado.

FIDELZ

Figura 1. Consumo de combustible vs emisiones tCO2eq y factor de emisión 1990 - 2000

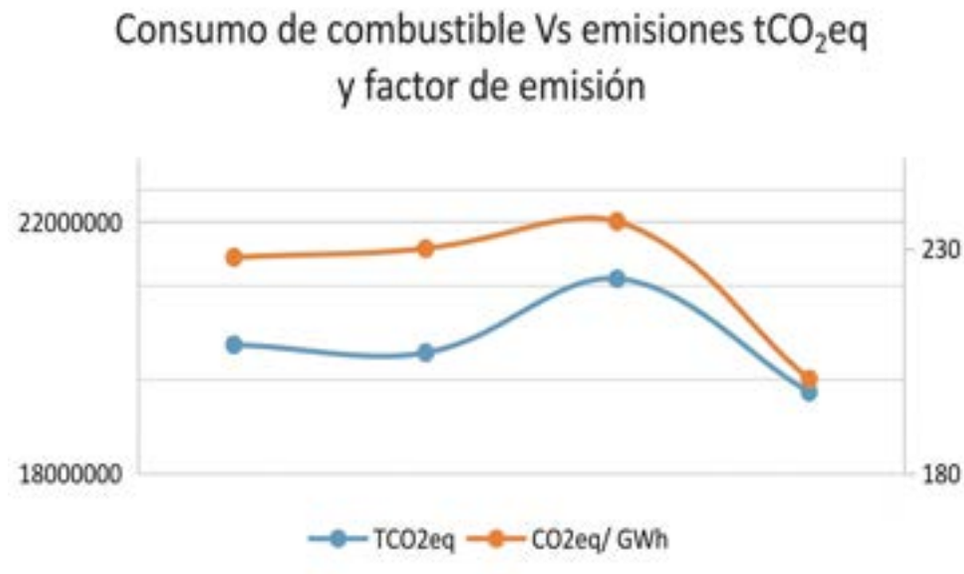


Durante este período el sistema mantuvo un consumo de gas natural relativamente constante, promediando los 5.300 MMm3. La dependencia de líquidos fue moderada, lo que mantuvo el factor de emisión por debajo de 200 (CO2eq/GWh). En consecuencia, los resultados de esta década muestran una estabilidad estructural tanto en las emisiones totales como en el factor de emisión. Al tratarse de una serie proyectada sobre la base de 1997, se consolidó un factor de emisión promedio que actúa como línea base y estándar comparativo para los períodos siguientes.

Período 2001-2004:

A continuación, se visualiza el comportamiento comparativo de las emisiones totales y el factor de emisión registrado en la serie temporal analizada.

Figura 2. Consumo de combustible vs emisiones tCO2eq y factor de emisión 2001 - 2004



Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Al igual que en el decenio anterior, durante este período se mantuvo un consumo de gas natural relativamente constante, promediando los 4.100 MMm3. De igual forma se mantuvo el factor de emisión por debajo de 230 (CO2eq/ GWh).

Este bloque marca el inicio de una transición en los registros oficiales hacia una mayor sistematización de los datos energéticos nacionales.

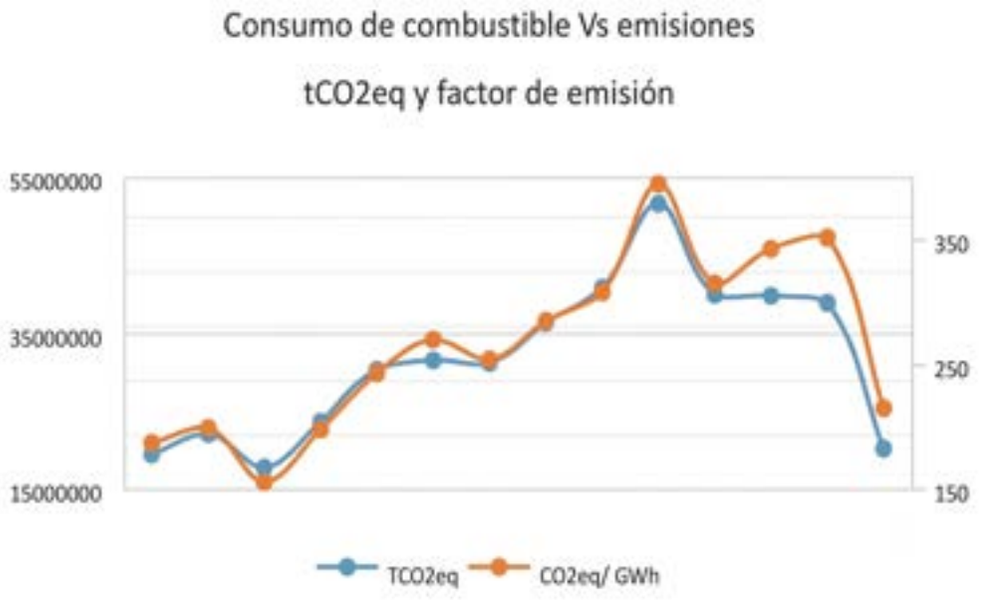
Período 2005-2018:

Durante este período, el parque termoeléctrico de CORPOELEC registró un consumo récord de combustibles líquidos para compensar el déficit de generación en las centrales hidroeléctricas. A pesar de que el aprovechamiento del gas natural alcanzó un hito histórico de 11.898 MMm3 en 2016, este incremento fue insuficiente para desplazar al gasoil y al fueloil durante las crisis de baja hidrología.

La recurrencia de eventos climáticos extremos, particularmente el fenómeno de "El Niño" en los lapsos 2009-2010 y 2013-2017, provocó una reducción crítica en los caudales de los ríos y en los niveles de los embalses estratégicos. Esta situación no solo comprometió el suministro para consumo humano, sino que limitó severamente la capacidad de generación hidroeléctrica, obligando a un mayor despacho térmico. En consecuencia, la variabilidad climática se consolidó como el factor determinante de la alta intensidad de carbono y el incremento en el factor de emisión observado durante estos períodos.

A partir de 2015, se comenzó a observar una reducción progresiva impulsada por cambios en la disponibilidad y despacho de estas fuentes energéticas, como se puede observar en la siguiente gráfica.

Figura 3. Consumo de combustible vs emisiones tCO2eq y factor de emisión 2005 - 2018



Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

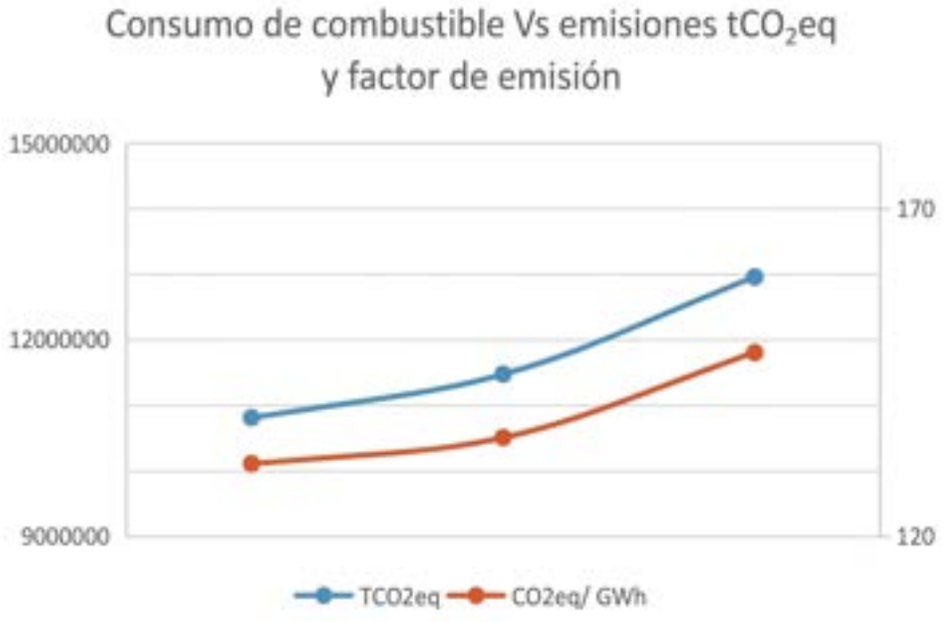
Período 2019:

Para este año no se cuenta con resultados ni información oficial en el inventario. Esta interrupción en la serie temporal se debe al evento de interrupción sistémica (Blackout) que afectó al país, lo que impidió la generación de reportes estadísticos consistentes para ese ciclo anual.

Período 2020-2022:

Como se observa en la gráfica, hay una reducción progresiva y significativa de las emisiones totales. El consumo de fueloil descendió a niveles mínimos en el 2020, mientras que el gas natural se estabilizó como la fuente térmica principal. Esto ha permitido que el factor de emisión del sector alcance sus niveles históricos más bajos.

Figura 4. Consumo de combustible vs emisiones tCO2eq y factor de emisión 2020 - 2022



CONCLUSIONES

Conclusiones sobre el Inventario de GEI del Sector Eléctrico (1990–2022):

• El estudio ratifica que el Sector Eléctrico representa una fuente de emisiones de GEI en Venezuela, atribuibles principalmente al uso de combustibles fósiles en plantas termoeléctricas. Esta categoría de emisión, clasificada como directa y de combustión fija, según las directrices del IPCC, requiere ser abordada por el sector mediante estrategias y acciones de mitigación, que permitan reducir progresivamente los GEI en el SEN.

• Se aplicaron las directrices del IPCC 2006 (Nivel 1), utilizando factores de emisión por defecto, valores calóricos netos y potenciales de calentamiento global. Al mismo tiempo, se utilizó el software oficial del IPCC, garantizando los principios claves del INGEI: exactitud, coherencia, exhaustividad, comparabilidad y transparencia.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

• La serie de tiempo de 32 años (1990–2022) fue construida con criterios de coherencia y representatividad, pese a las limitaciones en la disponibilidad de datos desagregados en ciertos períodos. Se emplearon estimaciones proporcionales para mantener la continuidad del inventario.

• La evolución del factor de emisión permite evaluar la eficiencia climática del Sector Eléctrico, siendo un indicador clave para el seguimiento de compromisos en el marco de la CMNUCC y el Acuerdo de París.

• El sistema eléctrico ha pasado de un modelo de alta vulnerabilidad y alta emisión durante las crisis climáticas de la década pasada, a un esquema actual con una base térmica más orientada al gas natural, lo que favorece el cumplimiento de los compromisos de mitigación de Gases de Efecto Invernadero del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IPCC (2006). Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Capítulo 1. Introducción. Volumen 2: Energía.

IPCC (2006). Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Capítulo 2. Combustión Estacionaria. Volumen 2: Energía.

MPPEE (2010-2018). Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Nacional. Oficina de Planificación, Presupuesto y Organización. Coordinación de Estadística.

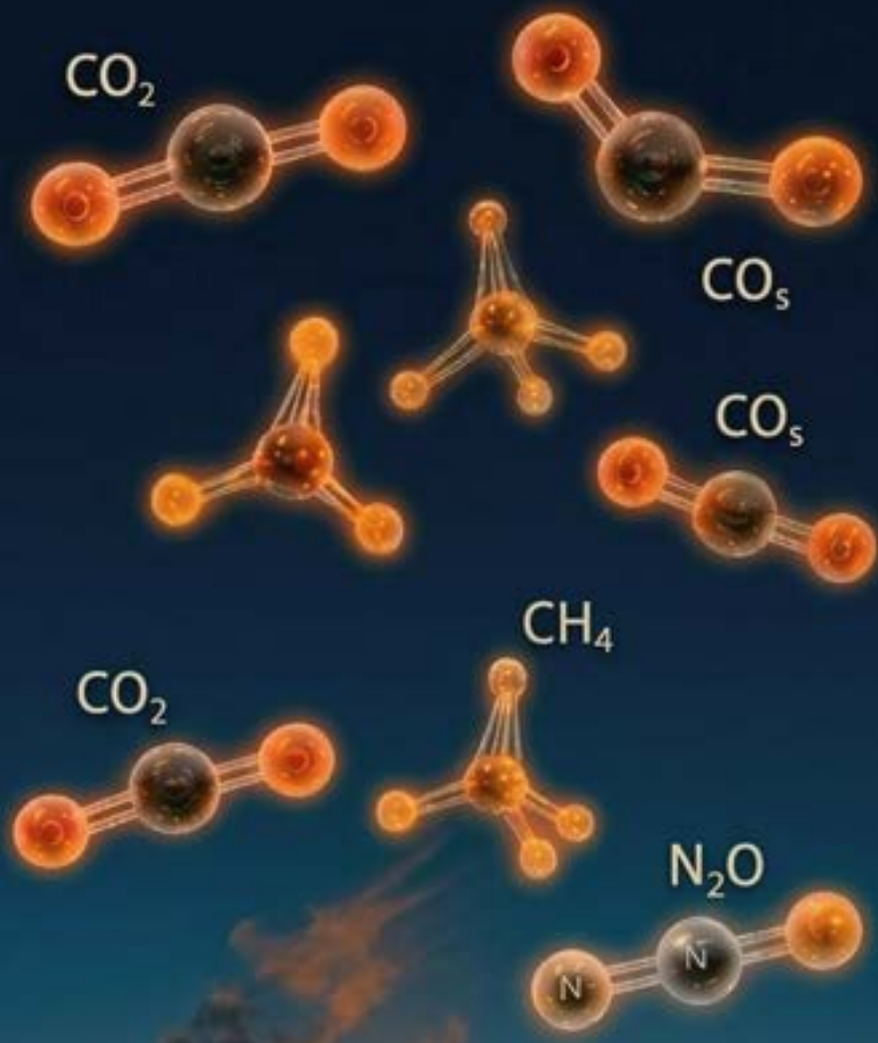
MPPEE (2019-2022). Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Boletín Mensual Estadístico del Sector Eléctrico Nacional. Centro Nacional de Despacho (CND). Departamento de Información Operativa del SEN.

OPSIS (2000): Oficina de Operación de Sistemas Interconectados. Informe anual año 1997 y 2000.

PODE (2005). Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Petróleo y Otros Datos Estadístico. Coordinación Sectorial de Estadística, Precios Internacionales y Economía.
Software de Inventario IPCC 2006. Versión 2.98.

FIDELZ

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR ELÉCTRICO (1990-2022)



GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y SEGURIDAD DE LA NACIÓN: HACIA UN MODELO DE SOBERANÍA ENERGÉTICA EN VENEZUELA

Jesús Miguel Castillo Golding
Viceministerio de Fuentes Alternas y Participación Popular, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
jesuscastillogolding@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación analiza la gestión ambiental de los residuos en la República Bolivariana de Venezuela bajo la premisa de que el manejo inadecuado de los desechos constituye una vulnerabilidad para la Seguridad de la Nación. El estudio se plantea como objetivo fundamental la necesidad de un modelo de gestión integral que transforme los residuos de una amenaza pasiva a un recurso aprovechable para fortalecer la soberanía nacional. Metodológicamente se plantea una investigación documental, examinando el ordenamiento jurídico vigente, incluyendo la Constitución, la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación y el Plan de la Patria. Los resultados identifican que la acumulación de residuos impacta negativamente en los ámbitos social, ambiental y económico, afectando la estabilidad del Estado y el desarrollo integral. Se concluye que la gestión de residuos es un componente vital de la seguridad integral, proponiendo una articulación efectiva entre las instituciones públicas, la educación ambiental y la corresponsabilidad social para garantizar el bienestar de la población y la preservación de los activos estratégicos de la nación.

Palabras clave: gestión ambiental, residuos, seguridad de la nación, soberanía, Venezuela.

INTEGRATED WASTE MANAGEMENT AND NATIONAL SECURITY: TOWARD A MODEL OF ENERGY SOVEREIGNTY IN VENEZUELA

ABSTRACT

This research analyzes the environmental management of waste in the Bolivarian Republic of Venezuela under the premise that inadequate waste handling constitutes a vulnerability for National Security. The objective of the study is to substantiate the need for an integrated management model that transforms waste from a passive threat into a usable resource to strengthen national sovereignty. Methodologically, a documentary investigation is proposed, examining the current legal framework, including the Constitution, the Organic Law of National Security, and the Plan de la Patria. The results identify that waste accumulation negatively impacts social, environmental, and economic spheres, affecting State stability and sustainable development. It is concluded that the transformation of waste into a strategic asset is fundamental for national sovereignty and the population's well-being, proposing effective coordination between public institutions, environmental education, and social co-responsibility to safeguard the nation's strategic assets.

Keywords: environmental management, waste, national security, sovereignty, Venezuela.

Gestión Integral de Residuos y Seguridad de la Nación: Un Vínculo Estratégico para el Desarrollo Sustentable en Venezuela

En el escenario global contemporáneo, la seguridad de las naciones ha trascendido la visión tradicional, estrictamente ligada a la defensa territorial y militar. En la doctrina bolivariana, expresada tanto con la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV) como en la Ley Orgánica de la Seguridad de la Nación, esta se entiende como un concepto integral y multidimensional que garantiza el desarrollo pleno de los derechos ciudadanos en los ámbitos social, político, económico y, fundamentalmente, ambiental. En la República Bolivariana de Venezuela, este mandato tiene un rango constitucional que vincula la soberanía con el equilibrio ecológico, estableciendo que la protección del entorno es una condición necesaria para la supervivencia del Estado y el bienestar de su población.

No obstante, el crecimiento demográfico acelerado y los modelos de consumo lineal imperantes han derivado en una generación crítica de residuos y desechos que, ante la ausencia de una gestión ambiental adecuada, se transforman en una amenaza latente. La acumulación descontrolada de desechos no solo representa un problema estético o de salud pública, sino que constituye una vulnerabilidad estratégica que afecta directamente la estabilidad de los servicios esenciales y la paz social. Un manejo inadecuado de los residuos degrada los ecosistemas, contamina las fuentes hídricas y genera riesgos epidemiológicos que pueden comprometer la capacidad de respuesta de las instituciones del Estado.

La gestión ambiental en Venezuela trasciende el ámbito municipal para insertarse en la doctrina de defensa integral, fundamentada en el artículo 127 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), el cual reza que “Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado”.

Por consiguiente, el presente artículo, realizado a partir del estudio realizado por Castillo (2025), “Gestión ambiental de residuos para la República Bolivariana de Venezuela en el marco de la Seguridad Nacional” tiene como objetivo analizar la gestión ambiental de los residuos bajo la óptica de la Seguridad de la Nación y su proyección hacia un modelo de soberanía energética en Venezuela. Se examina cómo la transición de un modelo lineal de disposición final hacia uno circular de aprovechamiento integral y soberanía tecnológica no solo cumple con los objetivos de desarrollo sostenible y el Plan de la Patria, sino que fortalece la resiliencia del país. En este sentido, el residuo deja de ser visto como una carga pasiva para ser comprendido como un recurso estratégico que, mediante la educación ambiental y la articulación institucional, contribuye a la defensa integral de la nación y a la sostenibilidad del Sistema Eléctrico Nacional a través de potenciales modelos de valorización energética.

EL PROBLEMA: EL RESIDUO COMO VULNERABILIDAD ESTRATÉGICA

En la República Bolivariana de Venezuela, la gestión de los residuos sólidos urbanos ha sido históricamente abordada desde una visión técnico-operativa reduccionista, limitada a la recolección y disposición final con un enfoque lineal; sin embargo, una evaluación del mismo, en el marco de la Seguridad de la Nación, ha permitido determinar cómo esta gestión ha evolucionado hasta convertirse en una vulnerabilidad crítica que compromete los ámbitos social, económico y ambiental del Estado. La crisis se manifiesta no solo en la saturación de los vertederos y rellenos sanitarios, sino en la fragmentación de la soberanía sobre los recursos naturales básicos.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Un factor emergente que agrava esta situación es la proliferación descontrolada de microplásticos. Estos contaminantes persistentes han permeado las principales cuencas hidrográficas a nivel mundial, generando una amenaza directa contra la soberanía hídrica; en ese sentido, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021) nos dice: “Acelerar la transición hacia las energías renovables, eliminar subsidios y adoptar enfoques circulares, ayudarán a reducir los residuos plásticos en la escala necesaria, de acuerdo con el informe titulado: ‘De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos’”. Para un Estado cuya matriz energética depende en más de un 70% de la generación hidroeléctrica, la degradación de los cuerpos de agua no es solo un problema ecológico, sino un riesgo para la estabilidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Asimismo, la persistencia de un modelo de "economía lineal" —donde el residuo se considera un desecho sin valor— choca frontalmente con los objetivos de la Segunda Transformación (2T) del Plan de la Patria. Una política de aprovechamiento integral y de una cultura de corresponsabilidad en el Poder Popular no permite que el residuo actúe como un agente de desestabilización social, generando riesgos epidemiológicos y degradación del hábitat. Por lo tanto, el problema central radica en la ausencia de un modelo estratégico de gestión ambiental que reconozca al residuo como un recurso aprovechable y que blinde los activos naturales de la nación frente a las nuevas amenazas ambientales globales, garantizando así la resiliencia del Estado y la soberanía energética.

METODOLOGÍA

La presente investigación se inserta en un análisis documental basado en el arqueo de fuentes. Esta elección metodológica permite trascender la mera descripción de la crisis de los residuos para profundizar en la comprensión de los significados que los actores sociales e institucionales otorgan a la gestión ambiental en el marco de la Seguridad de la Nación. De este modo, la investigación no solo analiza leyes, sino que interpreta la realidad de las vulnerabilidades ambientales como fenómenos que afectan la soberanía integral.

El nivel de la investigación documental estableció la revisión de documentos bajo un criterio de selección intencional con el fin de establecer los documentos que permitieran realizar el análisis sobre el manejo de desechos, la protección de infraestructuras críticas y las consecuencias y beneficios que pudieran darse al ambiente.

El procedimiento se estructuró en dos fases dialécticas:

- **Fase Analítico-Sintética:** Revisión y contraste del ordenamiento jurídico (CRBV, LOSN, Plan de la Patria) frente a la problemática en general y la emergente de los microplásticos.

- **Fase Integradora:** Triangulación de la información para la formulación de las trece (13) líneas de impulso estratégico, alineadas con la Segunda Transformación (2T) del Plan de la Patria.

La presente investigación se define como un estudio de carácter documental-crítico, centrado en el análisis sistemático de fuentes informáticas, legales, técnicas e institucionales vinculadas a la gestión pública. Se parte de que los documentos no son registros neutros, sino construcciones discursivas que reflejan una perspectiva que valora la subjetividad, las tensiones políticas y el contexto social del fenómeno estudiado (Sandín, 2003). Este andamiaje metodológico asegura el rigor científico del análisis de contenido, garantizando que las propuestas finales no surjan de la especulación teórica abstracta, sino que emerjan de un diagnóstico situado y riguroso de la literatura oficial, normativa e histórica que describe la realidad operativa del Estado venezolano y los desafíos estructurales del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Marco Normativo y Seguridad de la Nación

La gestión ambiental en Venezuela no es solo una obligación ecológica, sino un mandato constitucional vinculado a la supervivencia del Estado. Según la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), en su artículo 127, es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro.

Desde la perspectiva de la Seguridad de la Nación, esta investigación identifica que la gestión de residuos se inserta en los siete ámbitos de acción del Estado (económico, social, político, cultural, geográfico, ambiental y militar). La Ley Orgánica de Seguridad de la Nación define la seguridad como la condición, estado o situación que garantiza el goce de los derechos y garantías en los diferentes ámbitos por parte de los venezolanos. En este sentido, un manejo deficiente de los residuos sólidos urbanos genera:

1. **Vulnerabilidad Ambiental:** Degradación de ecosistemas críticos y contaminación de fuentes hídricas.

2. **Riesgo Social:** Amenazas a la salud pública que pueden derivar en crisis epidemiológicas, afectando la estabilidad social.

3. **Impacto Económico:** El desaprovechamiento de materiales reciclables y el potencial energético de los desechos representa una pérdida de recursos estratégicos para la soberanía nacional.

Finalmente, el Plan de la Patria establece como objetivo histórico la salvación de la especie humana y la preservación de la vida en el planeta. Esto obliga a la transición de un modelo lineal de "recolección y disposición final" hacia uno circular de "gestión integral y aprovechamiento", donde el residuo deje de ser una amenaza para convertirse en un insumo del desarrollo productivo y energético del país.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: HACIA UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL Y SOBERANA

El análisis de la realidad de la gestión de residuos en Venezuela, contrastado con el marco jurídico de la Seguridad de la Nación, permite identificar que el problema no radica únicamente en la capacidad operativa, sino en la concepción estratégica del residuo. Los resultados se discuten bajo tres dimensiones fundamentales extraídas de la investigación:

La Gestión de Residuos como Factor de Vulnerabilidad en los Ámbitos de Seguridad

De acuerdo con los hallazgos, la acumulación y el manejo inadecuado de los desechos sólidos trascienden lo ambiental para convertirse en una amenaza a la estabilidad del Estado. En el ámbito social, la ineficiencia en la gestión genera focos de insalubridad que vulneran el derecho a la vida y la paz ciudadana, principios básicos de la Seguridad de la Nación.

En la discusión con los expertos, se determinó que la gestión de residuos impacta directamente en el ámbito económico y geográfico. Un territorio con pasivos ambientales críticos ve mermada su capacidad productiva. Para el sector eléctrico, esto se traduce en riesgos operativos: vertederos incontrolados cuyos incendios o lixiviados amenazan la infraestructura de transmisión y la estabilidad de las cuencas que alimentan el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

La Ley Orgánica de Seguridad de la Nación (2002), en su Artículo 2 reza "La seguridad de la Nación está fundamentada en el desarrollo integral, y es la condición, estado o situación que garantiza el goce y ejercicio de los derechos y garantías en los ámbitos económico, social, político, cultural, geográfico, ambiental y militar de los principios y valores constitucionales por la población, las instituciones y cada una de las personas que conforman el Estado y la sociedad, con proyección generacional, dentro de un sistema democrático, participativo y protagónico, libre de amenazas a su sobrevivencia, su soberanía y a la integridad de su territorio y demás espacios geográficos". Por lo que la ineficiencia en el manejo de residuos genera una vulnerabilidad en el ámbito social y geográfico, lo cual compromete el goce de los derechos ciudadanos y la estabilidad del territorio, contraviniendo dicha disposición.

El Conflicto entre la Economía Lineal y la Soberanía Tecnológica

Los resultados revelan una contradicción entre el marco legal (que promueve el desarrollo sustentable) y la praxis administrativa (que mantiene un modelo lineal de "comprar, usar y tirar"). La discusión sugiere que para alcanzar la soberanía tecnológica—objetivo central de la seguridad de la Nación— es imperativo transitar hacia nuevos enfoques no lineales, donde puede destacar la valorización energética de los residuos.

La investigación identifica que la falta de una industria nacional de aprovechamiento obliga al Estado a importar insumos que podrían obtenerse de los desechos. Por tanto, la gestión integral no es solo una medida ecológica, sino una estrategia de independencia económica, donde el residuo se reinserta en la cadena productiva, disminuyendo la dependencia externa y fortaleciendo la resiliencia del país ante bloqueos o crisis de suministros.

El Poder Popular y la Corresponsabilidad en la Defensa Integral

Un hallazgo fundamental en el análisis es el rol del Poder Popular. La discusión de los resultados apunta a que la gestión de residuos no puede ser exclusivamente estatal; requiere de la corresponsabilidad establecida en la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación.

Se puede establecer que las comunidades organizadas son los primeros respondientes ante la vulnerabilidad ambiental. La propuesta de las líneas de impulso estratégico surge de esta necesidad de territorializar la gestión. Al empoderar a las comunidades en la clasificación y aprovechamiento, el Estado descentraliza la carga operativa y crea una red de vigilancia ambiental que protege los activos estratégicos de la nación, garantizando la continuidad de los servicios públicos, incluido el eléctrico.

Los hallazgos del arqueo de esta investigación demuestran que la gestión de residuos en Venezuela requiere un cambio de paradigma que trascienda la visión operativa de "aseo urbano" hacia una visión de defensa integral. A partir del análisis del marco jurídico y estratégico, se proponen los siguientes ejes de acción:

1. **Educación Ambiental como Herramienta de Seguridad:** La educación ambiental no es un accesorio pedagógico, sino un instrumento estratégico. Al concienciar a la ciudadanía sobre la reducción en el origen y la clasificación de desechos, se reduce la carga sobre los vertederos, disminuyendo focos de inestabilidad sanitaria y social.

2. **Corresponsabilidad Estado-Ciudadanía**: Siguiendo el principio de perfecta fusión popular-militar-policial, la gestión de residuos debe involucrar a las comunidades organizadas. Esto fortalece la resiliencia local y permite identificar vulnerabilidades ambientales antes de que se conviertan en amenazas a la seguridad territorial.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

3. Valorización Energética y Tecnológica: Se identifica que la transformación de residuos en recursos (energía o materia prima) es un paso fundamental para la soberanía. En el contexto del Sector Eléctrico Nacional, esto abre la puerta a la generación distribuida a partir de biomasa o valorización térmica, alineándose con la protección de la infraestructura crítica del Estado.

Tabla 1. Relación Estratégica entre Ámbitos de la Seguridad de la Nación y la Gestión de Residuos

Ámbito de Seguridad	Impacto de la Gestión Inadecuada	Relación Directa con el Sector Eléctrico
Ambiental	Degradación de ecosistemas, contaminación hídrica y pérdida de biodiversidad.	Alteración de las cuencas hidrográficas que alimentan los embalses de generación.
Social	Riesgos epidemiológicos, proliferación de vectores y deterioro de la salud pública.	Conflictividad social en zonas aledañas a infraestructuras eléctricas por insalubridad.
Económico	Pérdida de recursos aprovechables (materias primas) y altos costos de remediación.	Desaprovechamiento del potencial de biomasa y residuos para la autogeneración energética.
Geográfico	Saturación de suelos y contaminación de acuíferos estratégicos.	Riesgo de incendios en vertederos incontrolados próximos a líneas de transmisión y subestaciones.
Político	Debilitamiento de la gobernanza local y fragmentación institucional.	Dificultad para articular planes de contingencia ambiental en activos estratégicos del Estado.

Nota. Elaboración propia basada en los resultados de la investigación (Castillo, 2026)

Como se observa en la Tabla 1, los aspectos ambientales, sociales, económicos, geográficos y políticos de una inadecuada gestión de los residuos en el país pueden incidir negativamente en el Sistema Eléctrico Nacional, pero entre ellos resalta el desaprovechamiento de un recurso local como es la biomasa generada y que ya viene siendo extensamente utilizada en muchos países como fuente energética primaria local para la generación eléctrica.

PROPUESTA DE LÍNEAS DE IMPULSO ESTRATÉGICO (RESULTADOS)

Partiendo de la investigación de Castillo, J. (2025), y como resultado de la triangulación entre el marco legal, la doctrina de Seguridad de la Nación y la realidad operativa diagnosticada, se proponen trece (13) líneas de impulso estratégico. Estas buscan transformar el paradigma actual hacia una gestión ambiental que fortalezca la soberanía integral:

1. Institucionalización de la Gestión Integral: Crear una instancia de coordinación de alto nivel que unifique las competencias fragmentadas entre el Poder Nacional, Estadal y Municipal.

2. Blindaje de Infraestructura Crítica: Implementar perímetros de protección ambiental en zonas de generación y transmisión eléctrica para prevenir riesgos por acumulación de residuos e incendios.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

3. Fomento de la Economía Circular: Establecer incentivos fiscales y técnicos para empresas y comunidades que reinserten materiales recuperados en la cadena productiva nacional.

4. Territorialización de la Gestión: Empoderar a las Mesas Técnicas de Reciclaje y Aseo (Metras) como unidades de base para la vigilancia y control ambiental en las comunidades.

5. Valorización Energética de Residuos (Waste-to-Energy): Promover tecnologías de generación distribuida a partir de biomasa y biogás generado en rellenos sanitarios controlados y estaciones de transferencia para aliviar la carga del SEN.

6. Actualización del Marco Regulatorio Local: Adecuar las ordenanzas municipales a los estándares de la Ley de Gestión Integral de la Basura y la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación.

7. Sistema Nacional de Información Ambiental: Crear una plataforma de datos en tiempo real sobre la generación y disposición de residuos para la toma de decisiones estratégicas.

8. Protección de Cuencas Estratégicas: Ejecutar planes de saneamiento agresivos en los ríos tributarios de los embalses de las centrales hidroeléctricas, eliminando vertederos clandestinos.

9. Educación Ambiental para la Defensa Integral: Incorporar la gestión de residuos como contenido obligatorio en los programas de formación de la Milicia Bolivariana y el Poder Popular.

10. Desarrollo de Tecnologías Soberanas: Financiar proyectos de ingeniería nacional para el diseño de maquinaria de clasificación y procesamiento de residuos, reduciendo la dependencia de importaciones.

11. Certificación de "Territorios Limpios": Crear un sello de calidad para municipios que cumplan con estándares de basura cero, vinculando este logro a la eficiencia en el uso de la energía.

12. Monitoreo de Nuevas Amenazas (Microplásticos): Establecer protocolos de vigilancia química en las fuentes hídricas para prevenir la contaminación por polímeros persistentes en el sistema de agua y energía.

13. Alianza Cívico-Militar-Técnica: Conformar brigadas especializadas para la respuesta inmediata ante contingencias ambientales que amenacen la paz social o los servicios públicos.

CONCLUSIONES

La evaluación sistémica de la gestión ambiental de los residuos en la República Bolivariana de Venezuela, analizada a la luz de la Doctrina de Seguridad de la Nación, permite estructurar las siguientes conclusiones fundamentales:

1. El residuo como amenaza multidimensional y asimétrica: La acumulación descontrolada y la disposición final inadecuada de los desechos sólidos urbanos han dejado de ser un problema estrictamente logístico o de ornato municipal para convertirse en una vulnerabilidad estratégica. Esta situación impacta negativamente los ámbitos social, ambiental y económico del Estado, transformándose en una "amenaza silenciosa" que erosiona la calidad de vida, compromete la salud pública y degrada de forma irreversible los activos naturales de la nación.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

2. Pérdida de oportunidad estratégica en la valorización de residuos: La investigación evidencia que el esquema actual de gestión lineal genera una notable pérdida de oportunidad para el Estado venezolano, al considerar el residuo como un pasivo o desecho sin valor en lugar de un activo estratégico. En el contexto de la Seguridad de la Nación y la soberanía energética, el desaprovechamiento del potencial de biomasa, valorización térmica y reciclaje de polímeros no solo sobrecarga los sistemas de disposición final, sino que priva al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de fuentes alternativas de generación distribuida y desaprovecha recursos que podrían sustituir importaciones, limitando la resiliencia y la independencia económica del país frente a contingencias externas.

3. Paradoja normativo-institucional: Venezuela cuenta con un entramado jurídico e institucional robusto y vanguardista, encabezado por la Constitución, la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación y el Plan de la Patria. Sin embargo, los hallazgos revelan una brecha crítica en la praxis administrativa debido a la fragmentación institucional y al solapamiento de funciones entre los distintos niveles de gobierno. La ausencia de una rectoría ambiental centralizada y articulada debilita la capacidad de comando y control del Estado sobre este recurso estratégico.

4. La corresponsabilidad como pilar de la Defensa Integral: El tránsito definitivo de un modelo extractivista y lineal hacia una economía circular territorializada es inviable sin la participación protagónica del Poder Popular. La transferencia de capacidades y el empoderamiento de las comunidades organizadas en la gestión local de residuos no constituyen una carga operativa, sino un ejercicio legítimo de soberanía y unión cívico-militar para la protección inmediata del territorio y sus servicios esenciales.

RECOMENDACIONES

Con el propósito de operativizar los hallazgos de esta investigación en el marco de la Segunda Transformación (2T) del Plan de la Patria (2025-2031), se proponen las siguientes acciones prioritarias para el Estado venezolano:

1. Elevar la gestión ambiental de residuos a categoría de Interés de Seguridad de la Nación: Dictar políticas de protección especial y blindaje ambiental en las cuencas e infraestructuras estratégicas del Sistema Eléctrico Nacional para mitigar riesgos operativos derivados de la contaminación por desechos.

2. Unificar la rectoría y gobernanza ambiental: Diseñar un mecanismo centralizado de articulación institucional que elimine la duplicidad de competencias entre ministerios, gobernaciones y alcaldías.

3. Implementar el Modelo de Economía Circular Territorializada: Promover e incentivar proyectos a escala comunal e industrial para la valorización de residuos (tanto material como energética), concibiendo el desecho como una fuente de materia prima nacional que reduzca la dependencia tecnológica y la importación de insumos.

4. Institucionalizar la Educación Ambiental Soberana: Desarrollar programas formativos transversales basados en la ética ecosocialista y la corresponsabilidad ciudadana, orientados a la defensa del patrimonio natural como un deber fundamental para con la seguridad y supervivencia del Estado.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abela, J. (2006) Las técnicas de Análisis de Contenido: Una revisión actualizada.https://metodologiaecs.wordpress.com/2017/02/19/andreu-abela-jaime-2011-las-tecnicas-de-analisis-de-contenido-una-revision-actualizada

Alejo, M. y Osorio, B. (2016) El informante como persona clave en la investigación cualitativa. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.

Arias, F. (2012) El Proyecto de Investigación. Caracas: Episteme.

Asamblea Nacional Constituyente. (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 36.860 (Extraordinaria).

Asamblea Nacional. (2002). Ley Orgánica de Seguridad de la Nación. Gaceta Oficial N° 37.594.

Asamblea Nacional. (2010). Ley de Gestión Integral de la Basura. Gaceta Oficial N° 6.017 (Extraordinaria).

Presidencia de la República. (2019). Ley Constitucional Plan de la Patria, Proyecto Nacional Simón Bolívar, Tercer Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2019-2025. Gaceta Oficial N° 6.452 (Extraordinaria).

Boff, L, (2000). La dignidad de la Tierra. Editorial Trotta. Colección estructura y procesos. serie religión. Madrid España.

Castillo Golding, J. M. (2025). Gestión ambiental de residuos para la República Bolivariana de Venezuela en el marco de la Seguridad Nacional [Tesis de maestría inédita]. Instituto de Estudios Avanzados en Seguridad Nacional "Gran Mariscal Antonio José de Sucre" (IAESEN).

Cifuentes, R. (2011). Diseño de proyectos de investigación cualitativa. Buenos Aires, Argentina: Noveduc. Revista Theoria, Vol. 14 (1): 61-71, 2005 ISSN 0717-196X. https://www.noveduc.com/productos/diseno-de-proyectos-de-investigacion-cualitativa/?srsltid=AfmBOoowLKOs4X1fnl_oeHBeVCvxequHcXXLSKRD0Ir2plJHaS1Isk2O

Cisterna, F. (2005) Categorización y Triangulación como Procesos de Validación del Conocimiento en Investigación Cualitativa.

Colby, M. (1991). Enviromental Management in Development: The Evaluation of Paradigns. World Bank Discussions Paper. n 80.Volume 3, Número 3, septiembre de 1991, páginas 193-213

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) Gaceta Oficial N° 36.860 del jueves 30 de diciembre.

Diccionario de Ecología (2016) Paisajes, Conservación y Desarrollo Sustentable para Latinoamérica. Diccionario de la Real Academia Española, 23º edición de (2024) Concepto de Residuo. https://dle.rae.es/estrategia

Concepto de Estrategia. https://dle.rae.es/estrategia

ESGISinnova (2023) ¿Qué es un Sistema de Gestión Ambiental? https://www.nueva-iso-14001.com/2023/10/que-es-un-sistema-de-gestion-ambiental/

Ferrara, G. (2008). Fundamentos para la evaluación y control de la calidad ambiental. Cendes UCV Caracas, Venezuela.

Golabi, et al, (2016). Transforming Municipal Waste into a Valuable Soil Conditioner through Knowledge-Based Resource-Recovery Management.Tomado de. Solid waste as a Renewable resource Methodologies Edited by Jimmy alexander fariaalbanese, phd and m. Pilar ruiz, phd © 2016

Guilles, D. (1987) La estrategia. Foucault. Ediciones Paidos: Barcelona España.

Gürtler, L. y Günter, H. (2007) Modos de Pensar y Estrategias de la Investigación Cualitativa. Universidad de Tübingen (Alemania). Instituto de Ciencias de Educación. https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=23057

Hernández, R., Fernández, F. y Baptista, P. (2016) Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.

Kaza, S.; Yao, L.; Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; © Washington, DC:Worldbank. License: CC BY 3.0 IGO." http://hdl.handle.net/10986/30317

Laécio, J. y Berrios, M. (2012). Aplicabilidad de la Política Nacional de Residuosa la Realidad de Brasil. Universidad del Bío – Bío. Chillan – Chile.

Lago, L. (2007) Particularidades del sistema de gestión ambiental en la industria.https://www.monografias.com/trabajos14/gestion-ambiental/gestion-ambiental
Machado, P. (2012).Principios de la Política Nacional de Residuos de Brasil. Universidad Metodista de Piracicaba.

Maiello, A., Nogueira, A., Freitas, T. (2018). Aplicación de la Política Nacional Brasileña de Gestión de Residuos. Río de Janeiro: Universidad Federal de Río de Janeiro.

Martínez, M. (2006). Ciencia y arte en la metodología cualitativa en las ciencias sociales. México: Trillas.

Martínez, M. (2007). La investigación cualitativa etnográfica en educación. México: Trillas.

Martínez, M. (2012). Nuevos fundamentos de la investigación científica. México: Trillas.

Matiz, F. y Quintero, E. (2019) Pensamiento estratégico: concepto, impulsores y práctica. https://books.google.co.ve/books?id=DH54EAAAQBAJ&pg=PA155&dq=La+pr%C3%A1ctica+de+la+gesti%C3%B3n+de+peter+drucker&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&ved=2ahUKEwiwoPijoq2NAxVNRDABHauwGOw4ChDoAXoECAsQAw#v=onepage&q=La%20pr%C3%A1ctica%20de%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20peter%20drucker&f=false

Méndez, E. (1999). Planificación ambiental y desarrollo sostenible. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 144 p.

Ministerio del Poder Popular Para el Ecosocialismo (2017). Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. http://www.minea.gob.ve/wp-content/uploads/2015/10/Segunda-Comunicación-sobre-Cambio-Climático-I.pdf

Paredes Bastidas, Adolfo (2021). Aproximación teórico-critico a la gestión estratégica de los residuos y desechos sólidos en Venezuela desde el enfoque de la competitividad sistémica. Revista Estudios Gerenciales y de las Organización Volumen 5, Número 10. Julio-Diciembre 2021 ISSN: 1317-3337

Pérez, E. (2001). Derecho Ambiental. Mc Grw Hill. Bogotá Colombia.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024). El ABC de los plásticos. https://www.undp.org/es/el-abc-de-los-plasticos.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021). De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. https://www.researchgate.net/publication/355467663_From_Pollution_to_Solution_A_Global_Assessment_of_Marine_Litter_and_Plastic_Pollution

Ramírez, F. y Martin, V. (2008). Implicaciones éticas de los términos gerencia y gestión en el desarrollo de la identidad corporativa. Quórum Académico, 5(2), 117-134.

Ramírez, (2015). Propuestas de estrategias para la gestión integral de la basura, municipio sucre del estado Miranda. Caracas Venezuela.

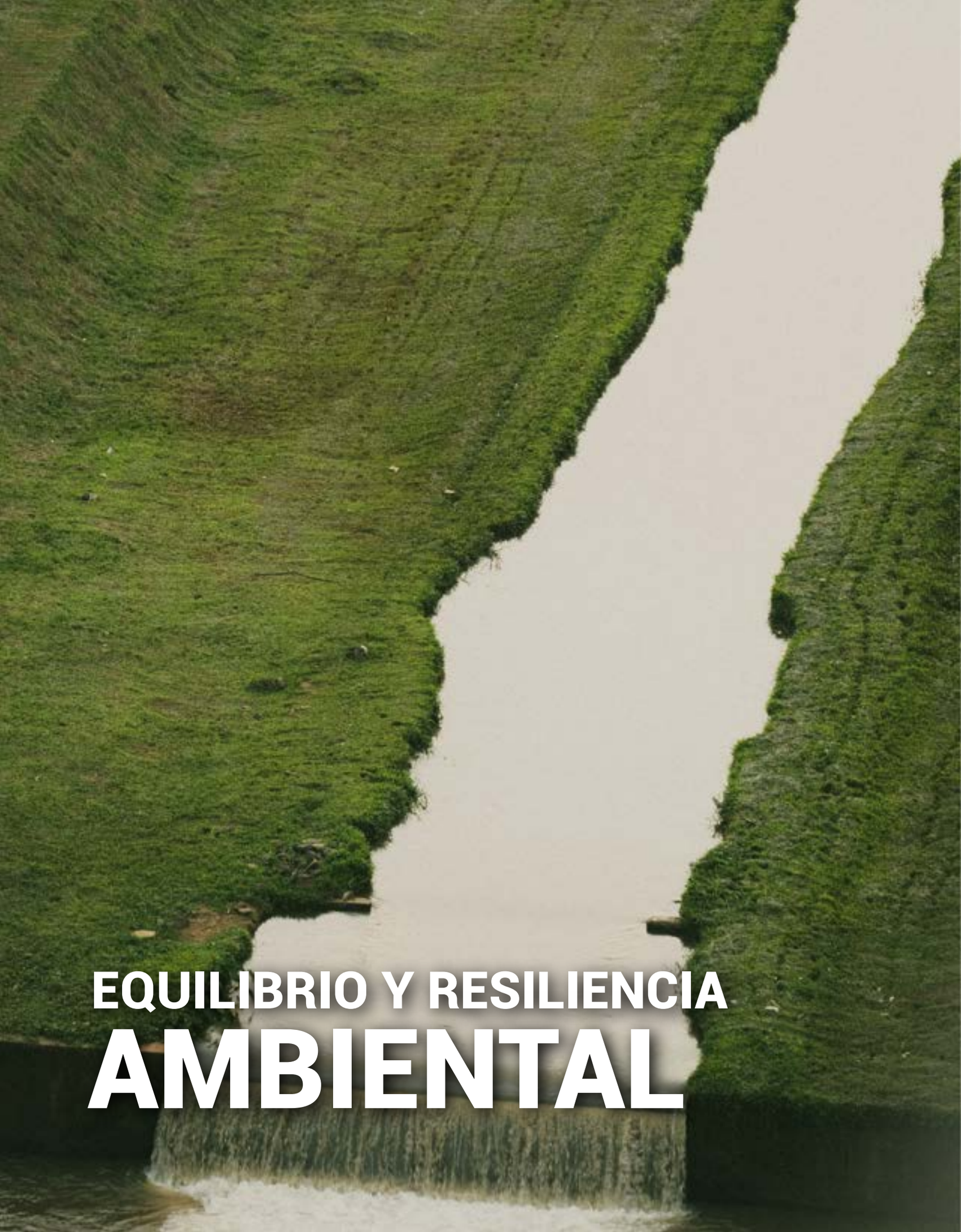
Reyes-Ruiz, L. & Carmona Alvarado, F. A. (2020). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio. Universidad Simón Bolivar. Caracas. Venezuela .Disponible enhttps://bonga.unisimon.edu.co/server/api/core/bitstreams/2af35a4b-2abf-4f78-a550-0a4e4764e674/content

Sánchez, F. (2004). Relaciones entre actividad económica y gestión ambiental: el caso Polar. Caracas: Autor.

Sandín, M. P. (2003). Investigación cualitativa en educación: Fundamentos y tradiciones. McGraw-Hill.

Villalba, L. (2013) La Gestión de residuos y desechos sólidos en el Área Metropolitana de Caracas. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS) Oficina en Venezuela de la Fundación Friedrich Ebert.

FIDELZ



EQUILIBRIO Y RESILIENCIA AMBIENTAL

TECNOECOLOGÍA: UNA CONCEPCIÓN INNOVADORA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL

Nidia Xiomara Figueredo de Arias, Carlos Enrique Pacheco Savino
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano (FIDELZ)
nfigueredo1410@gmail.com, pacheco520@gmail.com

RESUMEN

En la presente investigación se utiliza la teoría fundamentada para la creación de una nueva terminología para el desarrollo de la energía solar en el Sector Eléctrico Nacional, el caso específico se centra en la Tecnoecología de la Energía Solar, con un enfoque que integra principios de la ecología con el estudio de los sistemas tecnológicos; su objetivo es generar los criterios epistemológicos para desarrollar un marco de análisis con visión integral en definiciones técnicas y ecológicas de la energía solar, como estrategia para homologar la terminología en materia de generación de energía de las fuentes de energía renovables que existen localmente, con la intención de promover el uso de energía eléctrica sustentable que satisfaga las necesidades actuales y futuras. La metodología utilizada fue cualitativa basada en criterios epistemológicos para desarrollar la concepción de la tecnoecología de la energía solar en el Sector Eléctrico Nacional desde la visión de los expertos. La información se obtuvo mediante entrevistas a profundidad con siete informantes clave (gerentes y expertos del sector eléctrico nacional del MPPEE y CORPOELEC). El análisis de información se realizó a través de la Teoría Fundamentada de Glaser y Strauss, que incluye codificación abierta, axial y selectiva, así como el análisis hermenéutico y la triangulación de información. Esto trajo como resultado los criterios epistemológicos para el desarrollo de la Tecnoecología de la Energía Solar en el Sector Eléctrico Nacional, estableciendo componentes claros, creando el razonamiento para su concepción y organizando un marco teórico con visión integral.

Palabras claves: Energía, Tecnoecología, Sector Eléctrico Nacional.

TECHNOECOLOGY: AN INNOVATIVE CONCEPT FOR THE CHARACTERIZATION OF SOLAR ENERGY IN THE NATIONAL ELECTRICITY SECTOR.

ABSTRACT

This research uses grounded theory to create a new terminology for the development of solar energy in the National Electricity Sector. The specific focus is on the Technoecology of Solar Energy, with an approach that integrates ecological principles with the study of technological systems. Its objective is to generate epistemological criteria for developing an analytical framework with a comprehensive vision of the technical and ecological definitions of solar energy. This serves as a strategy to standardize the terminology used for energy generation from locally available renewable energy sources, with the intention of promoting the use of sustainable electricity that meets current and future needs. The methodology employed was qualitative, based on epistemological criteria, to develop the concept of the technoecology of solar energy in the National Electricity Sector from the perspective of experts. The information was obtained through in-depth interviews with seven key informants (managers and experts from the national electricity sector of the Ministry of Popular Power for Electric Energy (MPPEE) and the National Electricity Corporation (CORPOELEC). Information analysis was conducted using Glaser and Strauss's Grounded Theory, which includes open, axial, and selective coding, as well as hermeneutic analysis and information triangulation. This resulted in the

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

epistemological criteria for the development of Solar Energy Technoecology in the National Electricity Sector, establishing clear components, creating the rationale for its conception, and organizing a comprehensive theoretical framework.

Keywords: Energy, Technoecology, National Electricity Sector.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética global y la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático han impulsado una transformación en la matriz energética mundial. En este contexto, las fuentes de energía renovables, y particularmente la energía solar, emergen como pilares fundamentales para la construcción de sistemas energéticos más sostenibles, amigables y equitativos. La República Bolivariana de Venezuela, nación dotada de un gran potencial solar aún subexplotado, se enfrenta a un doble desafío: la diversificación de su matriz energética históricamente dependiente de los combustibles fósiles y la urgente necesidad de modernizar el Sistema Eléctrico Nacional.

La transición hacia un modelo energético solar no es solamente una cuestión tecnológica o económica; implica una profunda interrelación entre la tecnología, el ecosistema y la sociedad. Es precisamente en esta vinculación donde la Tecnoecología encuentra las bases para un marco analítico robusto y pertinente. La Tecnoecología, al integrar principios de la ecología con el estudio de los sistemas tecnológicos, permite evaluar no solo la eficiencia y viabilidad de las tecnologías, sino también sus impactos ambientales, sociales y económicos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de recursos hasta su disposición final, pasando por la manufactura, instalación, operación y mantenimiento.

Este artículo incorpora el estudio de la Tecnoecología de la Energía Solar en el Sector Eléctrico Nacional, buscando comprender las complejas dinámicas que incluyen su potencial implementación y consolidación. Se realizará un constructo que contenga la definición clara, la identificación de variables observables, la selección de indicadores y la validación del instrumento de medición. El proceso implica una fase cualitativa (Corona, 2018) para la elaboración del instrumento y una fase cuantitativa para la evaluación de sus propiedades. Adicionalmente, se explorará la viabilidad técnica, ecológica y de desarrollo humano en el contexto energético particular de Venezuela, considerando no solo los beneficios intrínsecos de esta fuente renovable, sino también los desafíos y factores externos que podrían surgir.

COMPONENTES BÁSICOS DE LA TEORÍA FUNDAMENTADA

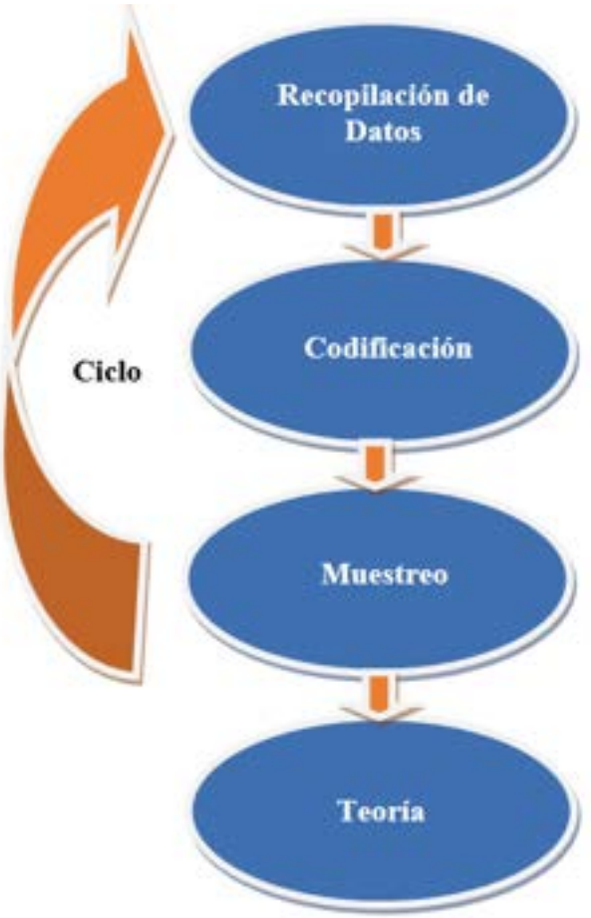
La Teoría Fundamentada (TF) es una metodología de investigación cualitativa que genera teorías a partir de datos empíricos sistemáticamente recopilados y analizados, en lugar de probar hipótesis preconcebidas. Sus bondades radican en la creación de conceptos nuevos desde el contexto real, alta flexibilidad, comprensión holística de fenómenos complejos y un enfoque riguroso pero inductivo.

Este artículo tiene como propósito mostrar la metodología utilizada en la creación de una teoría desde la visión compleja de las energías alternativas y complementarias del Sector Eléctrico Nacional. Para ello, se desarrollaron referentes teóricos que han repercutido en el comportamiento humano, desde la dimensión ontológica con una visión compleja y dinámica de esta realidad. Epistémicamente, se ubica en el construccionismo social desde el paradigma cualitativo interpretativo con una metodología cualitativa.

Como se puede ver en la figura 1, se muestra el seguimiento adecuado al modelo de la teoría fundamentada aplicada en este artículo. Este modelo recoge las indicaciones iniciales de Glasser y Strauss (1967).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Figura 1. Seguimiento al modelo de la Teoría Fundamentada



Después de identificar la metodología se procedió a especificar el contexto de la investigación, el cual giró en torno a las competencias teóricas en el escenario del Sector Eléctrico Nacional y a las teorías planteadas por López (2021) y por Romero (2022), en relación a las energías renovables y el impacto ambiental. Los sujetos de estudio estuvieron relacionados de manera directa con el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) y la Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec) y son considerados como informantes clave que, para Martínez (2004), son "aquellos que de alguna manera expresarán sus experiencias, vivencias, conocimiento de su quehacer profesional dentro de la función de la investigación." (p. 27).

Estos informantes clave laboran en el nivel de la alta gerencia y desempeño en áreas medulares y administrativas del Viceministerio de Nuevas Fuentes y Uso Racional y Eficiente de la Energía (VNFUREE) y CORPOELEC, con funciones en el nivel operativo. Para la selección de los informantes clave se procedió a realizar una conversación previa de carácter informal con los actores que laboran en el MPPEE y CORPOELEC para reflexionar acerca de quiénes serían los seleccionados.

En un principio, la configuración del grupo de informantes clave requirió especificar con precisión los elementos relevantes de la misma, por lo que la elección tuvo, entre otros aspectos, la heterogeneidad y la accesibilidad de los mismos. El grupo se configuró de manera intencional, donde se priorizó la profundidad acerca de la Corporación Eléctrica Nacional.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

La secuencia de aplicación se ajusta al modelo de Glasser y Strauss. Para la recopilación de datos, se compartió la definición de Alejo & Osorio, 2016. "Los informantes son el eje principal de una investigación cualitativa y deben ser seleccionados cuidadosamente. Su selección involucra decisiones muéstrales tomadas en el momento en que se proyecta el estudio y se complementan durante el trabajo de campo". De esta forma se da inicio al ciclo de la teoría fundamentada, correspondiente a la recopilación de datos. Se diseñó un instrumento asociado a los propósitos de la investigación y se seleccionó un experto en energía solar.

El autor estableció la selección de los informantes clave más idóneos para la obtención de información acorde al estudio. En la tabla 1 se resumen los datos de los funcionarios de alto nivel gerencial y expertos en el Sector Eléctrico Nacional y Corpoelec.

Tabla 1. Funcionarios de alto nivel gerencial y expertos en el Sector Eléctrico Nacional

Informantes	Nombre de la empresa	Ubicación	Razón social
1	Viceministerio de Nuevas Fuentes y Uso Racional y Eficiente de la Energía (VNFUREE)	Viceministerio	Pública
2	VNFUREE	Dirección General de Uso Racional y Eficiente de la Energía (DGUREE).	Pública
3	VNFUREE	Dirección General de Uso Racional y Eficiente de la Energía (DGUREE).	Pública
4	VNFUREE	Dirección General de Energías Alternativas (DGEA).	Pública
5	VNFUREE	Dirección General de Ecoenergía (DGEE).	Pública
6	VNFUREE	División Nacional de Ingeniería (Fuentes Alternativas de Autogeneración).	Pública
7	VNFUREE	División Nacional de Ingeniería (Fuentes Alternativas de Autogeneración).	Pública

Fuente: Elaborado por el autor (2025)

Posteriormente, con base en las interrogantes de la investigación, se procedió a la entrevista del experto seleccionado, tomando en cuenta su conocimiento y experiencia en el área de energía, se formularon las preguntas de la entrevista para ser aplicadas a la muestra seleccionada; luego de haber sintetizado la respuesta del informante clave, se construyeron las categorías iniciales. En la siguiente tabla 2, se expone la relación de las preguntas de la entrevista.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 2. Relación de las preguntas de la entrevista, informante clave y los propósitos

Interrogantes de la Investigación	Propósitos de la Investigación	Preguntas de la entrevista	Categorías Iniciales
¿Cuál es la terminología utilizada en relación con la concepción de la tecnoecología en el Sector Eléctrico?	Comprender la toma de decisiones que se aplica en el viceministerio de Nuevas Fuentes y Energía, en las direcciones de: -Uso Racional y Eficiente de la Energía. -Energías Alternativas y Ecoenergía.	¿Qué significado tiene para usted tecnoecología de la Energía Solar en el sector eléctrico nacional?	Visión Integral
¿Cuál es la visión integral de la tecnoecología vista desde la Energía Solar?	Caracterizar la complejidad de la terminología técnica del término tecnoecología en el Sector Eléctrico.	¿Cómo es la visión del concepto de tecnoecología manejado en el sector eléctrico nacional?	Sector Eléctrico Nacional
¿Cuál es la caracterización de la tecnoecología de la Energía Solar manejada en el Sector Eléctrico Nacional?	¿Interpretar los componentes del constructo teórico de la tecnoecología?	¿Cómo caracterizaría la tecnoecología en el Sector Eléctrico Nacional?	
¿El uso de la tecnoecología genera aportes a la sostenibilidad, desarrollo endógeno y al buen vivir?	La tecnología como elemento clave para la sostenibilidad, desarrollo endógeno y el buen vivir.	¿Cuál sería el papel de la tecnoecología en la sostenibilidad, desarrollo endógeno y buen vivir?	

Fuente: Elaborado por el autor (2025)

TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS Y CODIFICACIÓN

Se emplearon como técnicas del análisis de la información del contenido, las entrevistas en matrices de categorías y la triangulación de información. Asimismo, se utilizaron la síntesis interpretativa, la cual consiste en resumir y conceptualizar las expresiones suministradas por los entrevistados. En la tabla 3 se presentan las categorías iniciales.

Tabla 3. Categorías iniciales del objeto de estudio

Categoría de iniciales del estudio
1. Desarrollo sustentable ambiental.
2. Proceso de complejidad económica y social.
3. Gestión ambiental y energética.
4. Desarrollo de políticas públicas.
5. Abordaje político de la transformación ecológica.
6. Transformación de paradigmas.

Fuente: Elaborado por el autor (2025)

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Con base en esta conceptualización, se descompusieron los datos cualitativos en categorías iniciales, permitiendo la identificación de patrones, temas y categorías emergentes; la codificación abierta se realizó mediante el análisis línea por línea, lo cual implicó un estudio detallado y minucioso de los datos, frase por frase, para comenzar a agrupar y relacionar estos códigos y así construir una comprensión más profunda del fenómeno estudiado; estos fueron representados en un esquema elaborado por el investigador. Una vez finalizada la reagrupación de las subcategorías, se presentan en la siguiente Tabla 4 los resultados.

Tabla 4. Matriz de Contenido 1. Numeración de las subcategorías

Categorías	Subcategorías	Número
1. Desarrollo sustentable ambiental	- Tecnología	1
	- Energía Solar	2
	- Ecología	3
	- Aplicaciones en el sector eléctrico	4
2. Proceso de complejidad económica y social	- Políticas Energéticas	5
	- Gestión de operaciones y mantenimiento	6
	- Normas ecológicamente humanizadas	7
3. Gestión Ambiental y Energética	- Análisis del ciclo de vida	8
	- Integración de la energía	9
	- Económica del ambiente	10
	- Gestión de residuos	11
	- Gestión de proyectos de energía solar	12
4. Desarrollo de políticas públicas	- Regulación de políticas	13
	- Desarrollo de proyectos	14
	- Análisis de riesgos	15
	- Dependencia de materiales externos	16
	- Optimización de sistemas fotovoltaicos	17
5. Abordaje político de la transformación ecológica	- Energía solar fotovoltaica	18
	- Energía solar pasiva	19
	- Sistemas híbridos	20
	- Fotovoltaica de conexión a red	21
6. Transformación de paradigmas	- Tecnología accesible	22
	- Sostenibilidad	23
	- Tecnología amigable al ambiente	24

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Este proceso es definido por Glaser y Strauss (1967) como: "...recolección de datos guiada por los conceptos derivados de la teoría que se está construyendo y basada en el concepto de hacer comparaciones, cuyo propósito es acudir a lugares, personas o acontecimientos que maximicen las oportunidades de descubrir variaciones entre los conceptos y que hagan más densas las categorías en términos de sus propiedades y dimensiones" (p. 221).

Con base en esta conceptualización, el investigador procedió a realizar la codificación de las subcategorías que se presentan en las tablas de resultados. La codificación de las subcategorías y el resultado aplicado al informante clave 1 se muestra en la tabla 5. A continuación, esperando una mayor comprensión de la codificación se ilustra con un ejemplo.

Ejemplo del código empleado

FIDELZ

Tabla 5. Matriz de contenido 2. Categorización y codificación de las categorías y subcategorías. Informante clave 1(PM)

N°	Categorías	Sub Categorías	Código
1	Desarrollo sustentable ambiental	1. Tecnología	DCP.T. I1.L1-3; L5-7
		2. Energía Solar	DCP.ES.I1. L1;3;5;7
		3. Ecología	DCP.ECO.I1. L1;4;6;7
		4. Aplicaciones en el Sector Eléctrico Nacional	DCP.ASE.I1. L1;2;3;5;7
2	Proceso de complejidad económica y social	5. Políticas Energéticas	PCES.PE.I1, L1-3; L5; L7
		6. Gestión de Operaciones y Mantenimiento	PCES.GOM.I1. L2-3; L5-6
		7. Normas Ecológicamente Humanizadas	PCES.NEH. I1. L2
3	Gestión Ambiental y Energética	8. Análisis del ciclo de vida	GAE.ACV.I1. L1;3-4;6
		9. Integración de la energía	GAE.IE.I1. L1-3; 5;7
		10. Economía del Ambiente	GAE.EA.I1. L1;3-7
		11. Gestión de residuos	GAE.GR.I1. L1;3-4;6-7
		12. Gestión de Proyectos de Energía Solar	GAE.GPES. I1.L2;8-6
4	Desarrollo de políticas públicas	13. Regulación de Políticas	DPP.RP.I1. L1-3; 7
		14. Desarrollo de Proyectos	DPP.DP.I1. L3;1;5-6
		15. Análisis de Riesgos	DPP.AR.I1. L1
		16. Dependencia de materiales externos	DPP.DME.I1. L6
		17. Optimización de Sistemas Fotovoltaicos	DPP.OSF.I1. L6
5	Abordaje político de la transformación ecológica	18. Energía Solar Fotovoltaica	APTE.ESF.I1. L1
		19. Energía Solar Pasiva	APTE.ESP.I1. L4
		20. Sistemas Híbridos Solar - Diésel	APTE.SH. I1.L3
		21. Fotovoltaica de conexión a red	APTE.FCR.I1. L3
6	Transformación de paradigmas	22. Tecnología accesible y de bajo costo	TP.TA.I1. L5
		23. Sostenibilidad y facilidad de uso	TP.S.I1. L5-6
		24. Tecnología amigable con el ambiente	TP.TAA. I1. L7;1;4

Fuente: Elaborado por el autor (2025)

Los hallazgos develados de las entrevistas

Una vez aplicada la entrevista a profundidad (flexible y abierta) a los siete informantes clave, quienes fueron seleccionados de acuerdo con la intencionalidad del investigador por haber interactuado en un periodo extendido y haber estado ligados por objetivos comunes en el ambiente natural y cotidiano del Viceministerio de Nuevas Fuentes de Energías Renovables y Eficiencia Energética (VNFUREE) del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y la Corporación Eléctrica Nacional – CORPOELEC, se procedió a realizar la transcripción de las entrevistas, de donde derivan los discursos de sus actores, sobre sus consideraciones,

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Para ello, se realizó la descripción completa de cada categoría emergente ubicándola en el fenómeno técnico ecológico objeto de estudio, posteriormente se comenzó el proceso de análisis e interpretación de la información para dar la estructura que llevó a la comprensión y reconstrucción de la realidad social que ocupa la investigación, y así generar la teoría de integración compleja para el Sector Eléctrico Nacional.

De esta manera, las narraciones de los discursos expresados por los informantes claves (durante la aplicación de la entrevista a profundidad) desde sus vivencias, voces y experiencia son resumidas en tablas, la transcripción y la lectura analítica permitió develar los hallazgos para fundamentar el propósito general de la investigación: Generar un Constructo Teórico para el Sector Eléctrico Nacional.

Para el análisis de la información se utilizó la Teoría Fundamentada de Glaser y Strauss (1967) que para Sandoval (1997) es: "Un método de investigación cualitativa que permite desarrollar teorías y que conforma los procesos de análisis necesarios para derivar los hallazgos que dan origen al acercamiento teórico." (p. 71). Se considera que su objetivo es el de generar teoría a partir de textos recogidos (se acopiaron durante la aplicación de la entrevista a profundidad) en contextos naturales (el Sector Eléctrico Nacional) y sus hallazgos son formulaciones teóricas de la realidad (que derivan de la interpretación hermenéutica).

Método comparativo continuo

Este método implicó una comparación constante y sistemática de los datos a medida que se fueron recopilando y analizando, lo que permitió al investigador identificar patrones, temas y categorías emergentes. Para la aplicación del método comparativo continuo se realizaron las siguientes acciones:

El primero denominado codificación abierta, donde se comenzó el proceso de análisis de la información, se realizó una segunda lectura a la información obtenida en la entrevista a profundidad aplicada a los siete informantes clave para agrupar la información según características comunes, sus propiedades y dimensiones, mediante la vinculación directa con las categorías iniciales y poder agruparlas. Para ello, se utilizó la matriz de contenido 1, donde se presenta la descripción de la información y la matriz de contenido 2 que expone las categorías y sus respectivas subcategorías organizadas.

El segundo paso, la identificación como codificación axial, se logró durante la construcción de las categorías y las subcategorías, las cuales se relacionaron y contrastaron en función de las teorías posteriormente definidas por el investigador, cerrando así el proceso de análisis y comenzando el proceso de síntesis. Para ello, se utilizó la matriz de contenido 3, donde se procedió a la triangulación del resultado de las categorías con la teoría.

Con relación a la triangulación metodológica, se procedió al cruce de la información obtenida mediante los hallazgos recopilados en la matriz de contenido 1 y 2, luego la interpretación hermenéutica del investigador y la contrastación con las teorías, para generar un esquema teórico y proceder a generar un Constructo Teórico desde la visión del Sector Eléctrico Nacional.

Con el tercer paso denominado codificación selectiva; se comienza el proceso de síntesis que se dio una vez terminada la integración de las categorías y subcategorías con la intención de formar un esquema teórico de cada una de ellas.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Categorización de la información (Codificación abierta)

En esta fase se estructuró un modelo inicial, que de acuerdo a Miles y Huberman (1994), se apoya fundamentalmente en la observación de la realidad empírica y en los objetivos de la investigación. El modelo inicial subyace de la reducción de los primeros datos obtenidos de la aplicación de la entrevista a profundidad.

Fue así, como durante el proceso de descripción de la información emergieron seis categorías y veinticuatro subcategorías que fueron enumeradas arábigamente de manera progresiva. Posteriormente se fueron comparando las categorías, identificando similitudes para agruparlas en función de sus propiedades y dimensiones; es decir de acuerdo a la repetición de los patrones en que se identifican. Cada subcategoría guarda relación con la categoría respectiva quedando agrupadas en la matriz de categorías y subcategorías, a saber: en la categoría Desarrollo Sustentable Ambiental, emergieron cuatro subcategorías: Tecnología, Energía Solar, Ecología y Aplicaciones en el Sector Eléctrico Nacional.

Como segunda categoría se obtuvo el Proceso de complejidad económica y social, y sus subcategorías son: Políticas Energéticas, Gestión de operaciones y Mantenimiento, y Normas Ecológicamente Humanizadas para normar la tecnología para el servicio del ser humano. En cuanto a la categoría de Gestión Ambiental y Energética, emergieron cinco subcategorías: Análisis del ciclo de vida, Integración de la Energía, Economía del Ambiente, Gestión de Residuos, y Gestión de Proyectos de Energía Solar.

Para la categoría Desarrollo de Políticas Públicas emergieron cinco subcategorías: Regulación de Políticas, Desarrollo de proyectos, Análisis de riesgo, Dependencia de materiales externos y Optimización de sistemas fotovoltaicos. Para la quinta categoría: Abordaje político de la transformación ecológica, emergieron cuatro (4) subcategorías, siendo estas las siguientes: Energía Solar Fotovoltaica, Energía Solar Pasiva, Sistemas Híbridos Solar-Diésel y Fotovoltaica de conexión a red.

Finalmente, de la categoría Transformación de paradigmas, surgieron tres (3) subcategorías: Tecnología accesible y de bajo costo, Sostenibilidad y facilidad de uso, y por último, Tecnología amigable con el ambiente, para que el futuro tecnológico respete la naturaleza y pueda ser armonioso con la misma. De esta forma quedaron plasmadas un total de veinticuatro subcategorías, respetándose la numeración arábiga correspondiente, lo que permitió comenzar el proceso de codificación abierta que permitió agruparlas según características comunes y construir las subcategorías; este proceso se hizo mediante la matriz de contenido 1.

Para la codificación se utilizaron las letras iniciales en mayúscula de la propiedad, de las categorías, el signo de puntuación punto y seguido, posteriormente se colocaron las letras iniciales de cada palabra en mayúscula de la subcategoría, punto y seguido, se colocó la letra I en mayúscula para indicar el informante seguido del número 1, 2, 3, 4, 5, 6 ó 7, según corresponda al mismo; y finalmente la letra L mayúscula que indica la línea seguida del número de línea que corresponden a las subcategorías.

De esta forma, en la matriz de contenido 2, se evidencian las categorías, subcategorías y la codificación de las mismas obtenidas por cada informante clave. Cabe destacar que la descripción de la información y las líneas pueden apreciarse en la tabla 4. Ahora bien, la codificación abierta utilizada, en concordancia con lo expuesto por Glaser y Strauss (1990), tiene como fin:

…descomponer los datos en partes discretas, se examinan minuciosamente y se comparan en busca de similitudes y diferencias. Los acontecimientos, sucesos, objetos y acciones o interacciones que se consideren conceptualmente similares en su naturaleza o relacionados en el significado se agrupan bajo conceptos más abstractos, denominados categorías…" (p.112).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Con base en esta conceptualización, se descompusieron los datos cualitativos en categorías iniciales, lo que permitió la identificación de patrones, temas y categorías emergentes. La codificación abierta se realizó mediante el análisis línea por línea, implicó un estudio detallado y minucioso de los datos, frase por frase, se comenzó a agrupar y relacionar estos códigos para construir una comprensión más profunda del fenómeno estudiado y fueron representados en un esquema elaborado por el investigador. Una vez finalizada la reagrupación de las subcategorías, se presentan los resultados.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación se derivan directamente de la aplicación de la Teoría Fundamentada (Glaser y Strauss), utilizando el método comparativo continuo para procesar la información obtenida de siete informantes clave del sector eléctrico nacional.

A continuación, se presentan los resultados organizados según las fases metodológicas empleadas:

1. Fase de Codificación Abierta: Surgimiento de Categorías

A través del análisis línea por línea de las entrevistas, se descompusieron los datos para identificar patrones y temas. Como resultado de esta fase, emergieron 6 categorías principales y 24 subcategorías:

- **Desarrollo Sustentable Ambiental:** Incluye subcategorías como tecnología, energía solar, ecología y aplicaciones en el sector eléctrico.

- **Proceso de Complejidad Económica y Social:** Se enfoca en políticas energéticas, gestión de operaciones y la humanización de normas tecnológicas.

- **Gestión Ambiental y Energética:** Abarca el análisis del ciclo de vida, gestión de residuos y proyectos de energía solar.

- **Desarrollo de Políticas Públicas:** Comprende la legislación, análisis de riesgo y optimización de sistemas fotovoltaicos.

- **Abordaje Político de la Transformación Ecológica:** Se centra en tipos de energía solar (fotovoltaica, pasiva, híbridos) y conexiones a red.

- **Transformación de Paradigmas:** Agrupa la tecnología accesible, la sostenibilidad y el futuro tecnológico amigable con la naturaleza.

2. Fase de Codificación Axial: Triangulación y Relación

En esta etapa, se relacionaron las subcategorías mediante la triangulación de métodos, datos y teorías. Los resultados muestran una interconexión donde la tecnología no se ve como un elemento aislado, sino profundamente entrelazado con la estructura productiva y el bienestar social. Se determinó que la transición a la energía solar en Venezuela requiere un marco que integre la eficiencia técnica con la resiliencia del sistema eléctrico y la capacidad de carga ecológica.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

3. Fase de Codificación Selectiva: Para la construcción de la Teoría

Esta fase permitió la síntesis final para generar los criterios epistemológicos de la Tecnoecología de la Energía Solar. Los hallazgos finales se resumen en una visión integral que abarca cinco dimensiones fundamentales (se muestran en la siguiente tabla 6):

- **Dimensión Ambiental:** Integración de principios ecológicos desde el diseño hasta el uso de la tecnología solar.

- **Dimensión Tecnológica:** Fomento de la innovación en reciclaje, almacenamiento de energía y adaptación de la infraestructura de red.

- **Dimensión Económica:** Transformación hacia una economía circular y la generación de "empleos verdes", reduciendo la dependencia de materiales externos.

- **Dimensión Ecológica:** Reducción drástica de la huella de carbono y gestión eficiente de recursos naturales durante todo el ciclo de vida.

- **Dimensión Social:** Participación de las comunidades locales, equidad social y abordaje de la pobreza energética mediante soluciones descentralizadas.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 6. Matriz de contenido 3. Resumen de los resultados de la triangulación por categorías

Categorías	Desarrollo Sustentable Ambiental	Procesos de Complejidad Económica y Social	Gestión Ambiental y Energética	Desarrollo de Políticas Públicas	Abordaje Político de la Transformación Ecológica	Transformación de Paradigmas
Dimensión Ambiental	Integra principios ecológicos en el diseño, producción y uso de tecnologías solares.	No es solo de instalar paneles; el proceso implica un sinfín de factores que van desde la estructura productiva del país hasta las dinámicas de las comunidades.	La gestión integral de los impactos ambientales y energéticos a lo largo de todo su ciclo de vida desde la producción hasta su disposición final.	Son el principal motor para impulsar su adopción y asegurar una transición energética sostenible.	Se enfoca en integrar la dimensión social y ambiental en todo el ciclo de vida de la tecnología solar.	Este cambio de mentalidad va más allá de la simple sustitución de fuentes de energía y se centra en un enfoque holístico que impacta la forma en que concebimos, producimos y consumimos energía.
Dimensión Tecnológica	Aplicación Tecnológica.	Innovación y Adaptación. Infraestructura de Red, almacenamiento de energía.	Innovación en producción: el desarrollo de tecnologías avanzadas para el reciclaje, reutilización y compostaje.	Innovación y desarrollo.	La innovación para desarrollar procesos de producción más limpios y eficientes, así como para la creación de tecnologías de reciclaje.	Enfoque en la eficiencia y la integración.
Dimensión Económica	Impacto que el diseño, producción y uso de tecnologías solares ecológicas tiene en las personas y en la sociedad.	Impacta la estructura productiva, la inversión y los Mercados.	Costos del ciclo de vida: Oportunidades de negocio. Reputación y Mercado.	Motores de crecimiento: promueve la inversión. La sostenibilidad se convierte en un motor de innovación y competitividad.	Se enfoca en la economía circular, donde se promueve la reutilización y el reciclaje de materiales, lo que reduce la dependencia de materias primas costosas y volatiles.	Transformación de la estructura productiva: generación de empleos verdes. Nuevos modelos de negocio.
Dimensión Ecológica	Integración de los principios de la naturaleza en el ciclo de vida completo de la tecnología solar.	Impacto ambiental positivo: disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).	Reducción de residuos y emisiones. Uso eficiente de recursos.	Reduce drásticamente la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).	Considerar el uso de recursos naturales en la fabricación de paneles, el consumo de agua en la limpieza y el reciclaje o disposición final de los componentes al terminar su vida útil.	Redefinición de la sostenibilidad: el "enfoque holístico" implica que la transición no se trata solo de reducir emisiones de carbono, sino de repensar cómo se usan los recursos naturales en todo el ciclo de vida de la energía.
Dimensión Social	Impacto que el diseño, producción y uso de tecnologías solares ecológicas tiene en las personas y en la sociedad.	La transición a la energía solar no es un proceso puramente técnico, sino que está profundamente entrelazado con la sociedad y las personas.	Salud y bienestar de las comunidades. Equidad social. Participación y transparencia.	Participación y bienestar	Condiciones laborales justas y seguras. El respeto a los derechos humanos en la cadena de suministro de los minerales críticos y la participación de las comunidades locales.	Cambio en el comportamiento y la cultura. La nueva forma de concebir la energía puede abordar la pobreza energética, al ofrecer soluciones más accesibles y descentralizadas.

Fuente: Elaborado por el autor (2025)

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

A través de una aproximación multidisciplinaria, que abarca desde el análisis de ciclo de vida de las tecnologías solares hasta la evaluación de la capacidad de carga ecológica y la resiliencia del sistema eléctrico, esta investigación generó conocimiento fundamental y estratégico. Los hallazgos contribuyen a la toma de decisiones en materia de política energética, inversión en infraestructura y desarrollo tecnológico en Venezuela.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes presentadas en este artículo se centran en la creación de un marco teórico estratégico para la implementación de la energía solar en Venezuela basado en el concepto de Tecnoecología y, en este sentido, se presentan las siguientes:

- La investigación logró transformar los discursos y experiencias de expertos del sector eléctrico en un marco de análisis integral que establece criterios epistemológicos claros para la Tecnoecología de la Energía Solar en el país.

- Los hallazgos sirven como una herramienta estratégica para orientar las políticas energéticas, la inversión en infraestructura y el desarrollo tecnológico dentro del Sector Eléctrico Nacional.

- La aplicación de la Teoría Fundamentada permitió obtener conceptos nuevos desde el contexto real del sector eléctrico venezolano, validando la importancia de integrar la visión de los actores clave para desarrollar soluciones adaptadas a la realidad nacional.

- Finalmente, se concluye que la transición hacia la energía solar no es un proceso meramente técnico, sino que debe estar profundamente entrelazado con la sociedad, el ecosistema y la economía. Esta visión se organiza en cinco dimensiones fundamentales: ambiental, tecnológica, económica, ecológica y social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejo, M & Osorio, B (2016). El informante como persona clave en la investigación cualitativa. Gaceta de Pedagogía Nº 35. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Venezuela.

Bonilla, E y Rodríguez, P (2005) Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales,Editorial Norma (Bogotá).

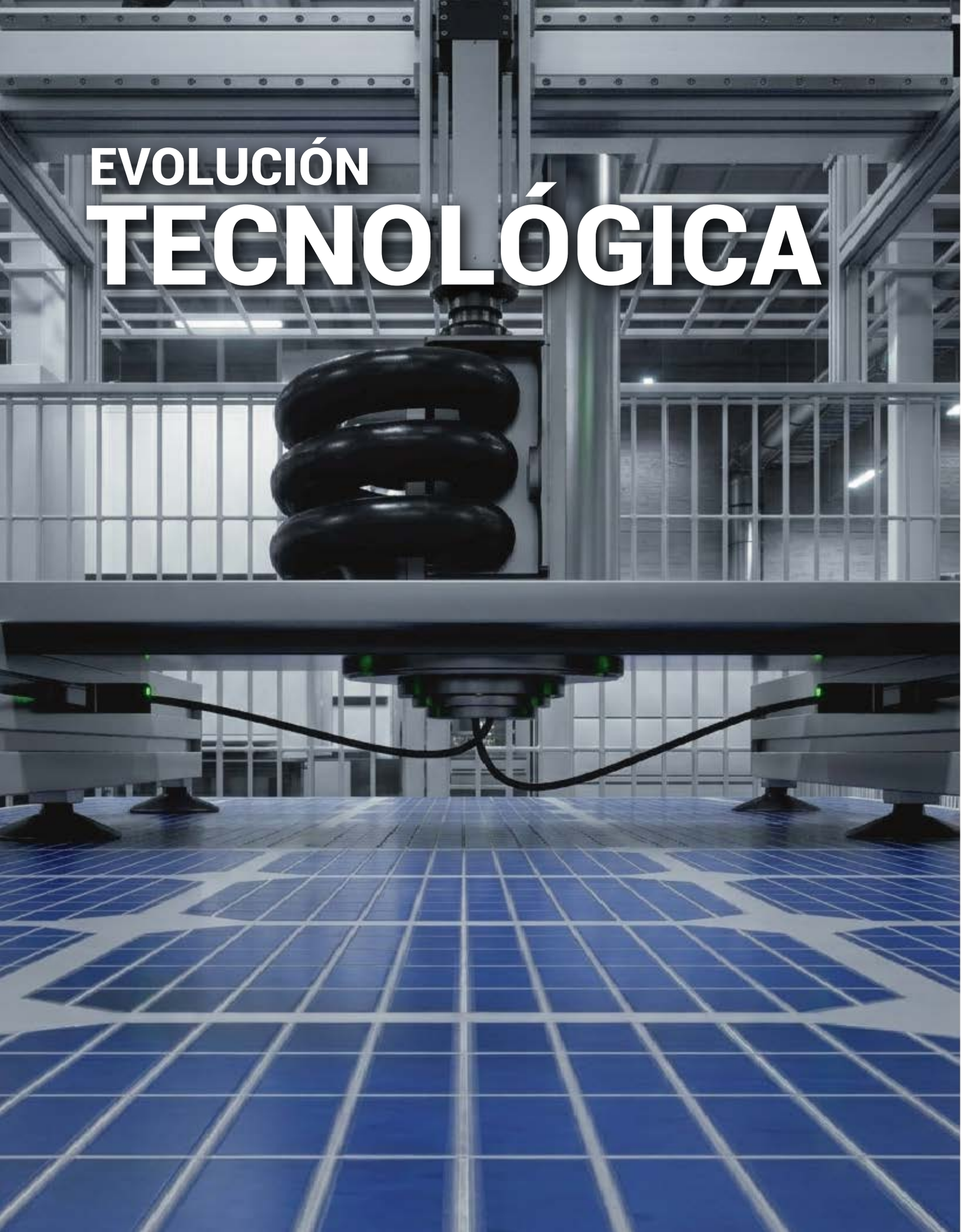
Corona, L (2018). Investigación Cualitativa: Fundamentos Epistemológicos, Teóricos Y Metodológicos. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda,

Glasser, B. y Strauss, A. (1990). Thediscovery of Grounded theory: Strategies forqualitative research. NewYork: Aldine Publishing.

López, A (2021). Energías Renovables en Venezuela Experiencias y lecciones para un futuro sostenible. Editorial La Cueva del Elefante. Venezuela

Martínez (2001). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. Revista Geográfica Venezolana. Universidad de los Andes Venezuela.

Martínez, (2004) La investigación cualitativa etnográfica en educación.Manual Teórico-Práctico.Editorial Trillas. Mexico.



EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO: DIMENSIONES DEL EPISTEMICIDIO DE LOS LUIS ZAMBRANO

Gabriel A. Sanabria D.
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano (FIDELZ)
gabosanabria@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación documental de carácter cualitativo realiza un análisis desde una perspectiva sociológica y descolonial, que permite analizar y comprender cómo los saberes y conocimientos populares, son sistemáticamente excluidos por las estructuras institucionales formales que tienen el poder para la validación del saber. A partir del marco teórico de la construcción social de la realidad (Berger & Luckmann), la relación poder-saber (Foucault) y el concepto de epistemicidio (De Sousa Santos), se examinan casos históricos paradigmáticos, como las terapias galénicas del siglo XVI, el saber numérico de los Pirahã o las biografías de Albert Einstein y Humberto Fernández Morán, para evidenciar que el reconocimiento del conocimiento depende de la relación entre múltiples factores materiales, políticos y contextuales, no solo del genio individual. El núcleo del trabajo se centra en la figura del tecnólogo popular venezolano Luis Zambrano (1901-1990), autodidacta que electrificó pueblos andinos, diseñó maquinaria agrícola y concibió un revolucionario motor de 25 piezas (Turbo-Zam), pero cuya obra quedó inconclusa y marginada por falta de respaldo institucional. Se concluye que la exclusión de creadores como Zambrano no es accidental, sino estructural: el epistemicidio opera cuando los mecanismos burocráticos, académicos, sociales y políticos niegan las condiciones materiales y simbólicas para que ciertos saberes sean validados. La investigación invita a repensar las políticas públicas de ciencia y tecnología para que incluyan y validen a los tecnólogos populares y los conocimientos nacidos en talleres y comunidades como parte constitutiva de la soberanía tecnológica.

Palabras Claves: Epistemicidio, Luis Zambrano, Saberes Populares, Tecnología Popular, Venezuela

THE LUIS ZAMBRANOS: DIMENSIONS OF EPISTEMICIDE IN VENEZUELA

ABSTRACT

This qualitative documentary research carries out an analysis from a sociological and decolonial perspective, allowing the examination and understanding of how popular knowledge and ways of knowing are systematically excluded by formal institutional structures that hold the power to validate knowledge. Drawing on the theoretical framework of the social construction of reality (Berger & Luckmann), the power-knowledge relationship (Foucault), and the concept of epistemicide (De Sousa Santos), the study examines paradigmatic historical cases—such as sixteenth-century Galenic therapies, the numerical knowledge of the Pirahã people, and the biographies of Albert Einstein and Humberto Fernández Morán—to demonstrate that the recognition of knowledge depends on the interplay of multiple material, political, and contextual factors, not solely on individual genius. The core of the work centers on the figure of the Venezuelan grassroots technologist Luis Zambrano (1901–1990), a self-taught individual who brought electricity to Andean towns, designed agricultural machinery, and conceived a revolutionary 25 piece engine (the Turbo Zam), yet whose work remained unfinished and marginalized due to a lack of institutional support. The conclusion is that the exclusion of creators like Zambrano is not accidental but structural: epistemicide operates when bureaucratic, academic, social, and political mechanisms deny the material and symbolic conditions necessary for certain

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

INTRODUCCIÓN: REALIDAD QUE OCULTA

Algunas frases de uso cotidiano, como: “La humanidad ha logrado por ensayo y error consolidar saberes y conocimiento”, “El conocimiento es poder”, “La ciencia avanza gracias a las mentes brillantes” o “Estudia para que seas alguien en la vida” son, sin duda, un resumen que esconde, simplifica o anula las complejidades multifactoriales que se desarrollan en la cotidianidad de nuestros contextos sociales para crear y consolidar saberes y conocimientos. Debemos entender entonces, que en cada sociedad, desde sus factores geográficos, ideológicos, materiales, políticos, institucionales (tribu, escuela, academia, etc.), epistemológicos, culturales, entre otros, se edifica el estatus del conocimiento humano y lo que cada cultura asume como verdad cierta o impuesta.

Es necesario entonces adentrarse en un debate histórico y polémico que se origina desde diversas corrientes de pensamiento filosófico y científico, no para quedarse y profundizar ahí, sino para dar a entender la idea que se quiere dejar plasmada. Los saberes y conocimientos de la humanidad nacen en un entramado complejo de relaciones que se dan entre cada uno de los miembros y estructuras del colectivo social (sociedad), con el yo (individualidad). El conocimiento no nace de la nada y tampoco está esperando que la humanidad llegue ahí a encontrarlo, sino que es una construcción social que como se ha mencionado, involucra múltiples factores materiales, institucionales y políticos (Berger & Luckmann, 1968; Foucault, 1982; Latour & Woolgar, 1995).

Comprender que la realidad social, donde se originan y consolidan los saberes para generar conocimientos, está impregnada y determinada por esa multifactorialidad de elementos, implica asumir que el conocimiento nace desde un lugar (geografía, historia, disponibilidad de recursos), se construye y se establece desde espacios de validación que determinan institucionalmente lo real (clan, iglesia, universidad, tribunales, estado, medios de comunicación, redes sociales), y que además requiere, para sostenerse materialmente, de ciertos recursos o bienes (papel, imprenta, bibliotecas, financiamiento, laboratorio, algoritmo, infraestructuras físicas o digitales) con la intención de imponer políticamente su saber (colonialismo, género, clase social, cientificismo) porque siempre hay una disputa cultural con otros saberes que buscan consolidarse o resistir. En la historia ese establecimiento de la “verdad”, bien sea como absoluto conceptual o moral, ha sido más producto de imposiciones que de consensos.

Se debe tener mucho cuidado de no precipitarse en un debate filosófico, pues no se quiere que el lector haga un ejercicio mental que lo lleve a desvalorar o menospreciar unos saberes sobre otros, en el debate superado entre las Ciencias Sociales, Ciencias Naturales o Ciencias Formales; lo que se quiere dar a entender es que una operación tan sencilla como: 2+2=4 o la famosa ecuación E=〖mc〗^2 constituyen conocimientos reales y aceptados, pero también forman parte de un conocimiento cultural que requiere ser aprendido, enseñado, validado, financiado, traducido y defendido, ya que por sí mismas constituyen a otros saberes y son ladrillos que edifican otros conocimientos que ayudan a moldear y cimentar la realidad actual en la que existimos como sociedad.

Simultáneamente, así como existen estos conocimientos que requieren de todas estas infraestructuras e instituciones de validación, aprendizaje, enseñanza, financiamiento y traducción; existen otros que no cuentan con ellos y eso no implica que necesariamente dejen de ser ciertos. Reconocer esto genera dudas profundas que se quieren dejar en evidencia con esta investigación. Si el conocimiento humano es una construcción social, ¿qué sucede con los individuos y sus saberes cuando no logran obtener el apoyo para sustentar sus saberes, investigaciones y hallazgos? ¿Por qué quedan excluidos por las estructuras institucionales que validan e impulsan financiera y logísticamente investigaciones y conocimientos? ¿Cuántos están siendo ignorados y no visualizamos su talento hoy, porque las estructuras institucionales formales no apoyan ni validan su conocimiento?

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Para obtener respuestas a estas interrogantes, la presente investigación se propone como objetivo general: analizar los mecanismos institucionales de validación del conocimiento que operan como dispositivos de inclusión o exclusión social, a fin de comprender cómo ciertos saberes quedan sistemáticamente marginados por las estructuras formales de poder. Específicamente, se busca: 1. Examinar casos históricos paradigmáticos (las terapias galénicas del siglo XVI, el saber numérico de los Pirahã, las trayectorias de Albert Einstein, Humberto Fernández Morán y Luis Zambrano) para evidenciar que el reconocimiento del conocimiento depende de una multiplicidad de factores materiales, políticos y contextuales; 2. Estudiar la figura del tecnólogo popular venezolano Luis Zambrano como caso ejemplar de epistemicidio, identificando las condiciones que facilitaron o impidieron el respaldo institucional a su obra; y 3. Proponer un conjunto de dimensiones que permitan visibilizar y analizar la exclusión de saberes populares, con miras a repensar las políticas públicas de ciencia y tecnología desde una perspectiva descolonial y socialmente inclusiva.

METODOLOGÍA PARA CONSEGUIR RESPUESTAS

Este documento se inscribe en el paradigma cualitativo con un enfoque hermenéutico y de pensamiento crítico. La idea es hacer una interpretación de cómo los mecanismos institucionales de validación del conocimiento operan como dispositivos de inclusión o exclusión social. La estrategia metodológica es un estudio de casos múltiples de tipo documental, donde se seleccionaron intencionalmente episodios históricos paradigmáticos (las terapias galénicas del siglo XVI, el saber numérico de los Pirahã, las trayectorias de Albert Einstein, Humberto Fernández Morán, y Luis Zambrano) porque comprenderlos por separado y analizarlos en conjunto permite evidenciar patrones recurrentes en la relación entre poder, saber y exclusión (Yin, 2018).

Las fuentes documentales están constituidas por fuentes primarias históricas y biográficas: Dioscórides y Laguna (1570), Everett (2008), Sánchez Ron (2015), Carvalho Kassar (2025) y, para Luis Zambrano, Planchart Licea (s.f.), mientras que el marco conceptual se estructuró con las obras de Berger y Luckmann (1968), Foucault (1982), Latour y Woolgar (1995), Santos (2009) y Vessuri (1995).

El análisis se desarrollará en dos fases:

1. **Hermenéutica:** análisis del contenido a partir de las categorías construcción social de la realidad, relación poder-saber, epistemicidio y saberes populares.

2. **Crítica:** interpretación de los hallazgos a la luz del contexto sociopolítico de cada caso planteado y el venezolano.

A partir de la lectura detallada de cada biografía (Einstein, Fernández Morán y Zambrano) se identificaron aquellos elementos que, de manera recurrente, aparecían como condiciones que facilitaban o impedían el desarrollo y validación del conocimiento, lo cual permitió la elaboración de una tabla que surgió de esta comparación sistemática. Al confrontar los tres casos, los elementos comunes se fueron agrupando en cuatro dimensiones transversales que después se denominaron: 1. Condiciones materiales, 2. Apoyo institucional formal, 3. Redes sociales y 4. Validación simbólica. Cada una de estas fue desagregada a su vez en descriptores que son observables en las fuentes documentales. En este sentido, la Tabla 1 fue una construcción propia de la investigación, que sirve de herramienta analítica. La principal limitación del estudio es la escasez de fuentes primarias sobre Luis Zambrano, lo que obligó a depender exclusivamente del documento de Planchart Licea (s.f.). Es importante destacar que este vacío documental no es un mero obstáculo técnico: es, en sí mismo, un indicador del epistemicidio que se pretende analizar.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Construcción Social del Conocimiento – Ejemplos

Cada conocimiento va de acuerdo a una realidad social determinante y, en este sentido, es importante identificar casos históricos que sirvan de referencia para entender la construcción social del conocimiento. En el siglo XVI, por ejemplo, se ubica un registro para atender casos médicos que ilustran perfectamente este planteamiento.

El Doctor Andrés Laguna, quien fue Médico, Botánico y Humanista español del Renacimiento, en su libro "Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos" (traducción y comentarios de la obra de Dioscórides), escribió: “El estiércol humano fresco suelda las recientes heridas y las libra de inflamación. Dicen que, mezclado con miel, es muy útil a la esquinancia si se untan con él.” (Dioscórides & Laguna, 1570, Libro 2do, Cap. LXXII, p. 173, traducción propia).

La esquinancia es un término desusado en la medicina para referirse a la angina o inflamación de las amígdalas (Real Academia Española, 2014), que está caracterizada por provocar una fuerte sensación de asfixia o dolor en la garganta. Esta recomendación de usar heces humanas para curar nace de saberes existentes en el contexto de la Europa, específicamente en la España del siglo XVI, no se trataba de una superstición al azar; al contrario, formaba parte de los saberes y conocimientos de la medicina galénica de la época. Vale acotar que Andrés Laguna no era un curandero; fue el médico de los papas Pablo III, Julio III y del emperador Carlos V. En su contexto, esta receta se consideraba ciencia de vanguardia en su época.

Continuamos entonces con otro ejemplo actual para comprender lo que se viene explicando: los Pirahã son una comunidad indígena de aproximadamente 300 a 700 personas que habita a orillas del río Maici, en la Amazonia brasileña. Sobre ellos, Everett (2008) señaló que “una de las primeras (cosas que notó) fue la aparente falta de conteo y de números. […] (Los términos que se pensaba que eran números) resultaron ser solo cantidades relativas” (p. 116, traducción propia).

Estos dos casos sirven para reforzar la idea; el conocimiento que tenemos como humanidad es resultado de una realidad social que, de acuerdo a su contexto, construye, impone, reformula y transforma los saberes conforme a la realidad en que los sujetos habitan y las necesidades que deben resolver, es decir, los Pirahã no tienen aritmética porque para su forma de vida no tiene sentido; obviamente cuentan, pero no como el saber científico por medio de la aritmética lo hace.

La sociedad, entonces, de acuerdo con su realidad en un contexto determinado y con las complejidades multifactoriales del mismo, valida o desvalida los saberes y conocimientos mediante la creación de mecanismos y estructuras institucionales formales o informales, es decir, determinan desde estas cuáles son los saberes y conocimientos aceptados. La desvalidación no descarta que esos saberes sigan existiendo e incluso se reformulen en su condición de menos valía; por ejemplo, aún en la actualidad existen el terraplanismo, el creacionismo y la astrología.

Es importante tener en cuenta durante la lectura, que los mecanismos institucionales informales ocurren de forma más difusa en la cotidianidad dentro de las relaciones entre los sujetos en las comunidades reales o virtuales (intersubjetividad), aquí es donde las anécdotas, leyendas, valores y experiencias particulares inciden sobre los saberes y conocimientos que se asumen como ciertos o reales, mientras que desde los mecanismos y estructuras institucionales formales en el caso de la modernidad occidental pueden mencionarse, escuelas, universidades, academias, colegios, sindicatos, gremios, medios de comunicación, centros de investigación, iglesias, entre otros. Otras sociedades tienen o han tenido sus propias instituciones validadoras: en China el sistema de exámenes imperiales keju (605-1905); en el Islam medieval la Casa de la

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Sabiduría de Bagdad (s. VIII-1258); en Mesoamérica los tlamatinime (s. XIV-XVI). Hoy perviven sistemas como la medicina tradicional china (con más de dos milenios), el derecho consuetudinario indígena (reconocido por la OIT en 1989) o los tribunales kanak en Nueva Caledonia (desde 1982). Cada cultura genera sus propios mecanismos para legitimar saberes.

A nivel educativo, las estructuras institucionales formales articuladas en red, establecen burocráticamente en la dinámica social, mecanismos mediante los cuales se engranan para la gestión de procesos formativos de los actores sociales, logrando dinamizar los procesos de generación de saberes y conocimientos validados científicamente a diferentes niveles de formación que le correspondan, mientras que simultáneamente, evalúan e identifican a los sujetos que tienen el conocimiento validado por sus iguales para enseñarlo y/o desempeñarlo en las actividades productivas, investigativas y educativas, etc. Incluso se les da la documentación que permite declarar la validez de sus saberes junto con una escala que promedia la validez de sus conocimientos (diplomas, constancias y promedio de notas).

Este sistema está establecido para replicar, cohesionar y fortalecer la funcionalidad de la estructura social, para que el conocimiento que se genere e imparta no sea cuestionado; es decir, se reproduce como una forma sutil de imposición, de manera que constituye un mecanismo de control social que ejerce poder por medio de titulaciones y estándares, los cuales generan simultáneamente una jerarquía académica que, a su vez, se complementa con la jerarquía social para generar estatus.

Afirmar entonces que el conocimiento humano está condicionado y es resultado de la realidad social que la contextualiza, no busca menospreciar ni tampoco negar la brillantez de las mentes que han existido en la historia de la humanidad para crear conocimientos, es incluso en la individualidad del sujeto científico donde se evidencian, para bien o para mal, los efectos de las complejidades multifactoriales presentes en los contextos sociales donde se desempeñan estas mentes brillantes.

Albert Einstein en su contexto

Albert Einstein (1879-1955), quien es un reconocido físico alemán, nacionalizado suizo y luego estadounidense, autor de la teoría de la relatividad y del efecto fotoeléctrico (que le valió el Nobel en 1921). Perteneció a una familia judía de clase media dedicada a la ingeniería eléctrica, que sufrió inestabilidad económica debido a fracasos comerciales que afrontaron. Einstein se graduó en el año 1900; sin embargo, su carácter independiente le granjeó la antipatía de sus profesores, lo que tuvo como consecuencia que fuera el único de sus compañeros de promoción que no consiguió un puesto de ayudante en la universidad. Durante los años siguientes, para subsistir, se vio obligado a dar clases particulares y a aceptar sustituciones temporales como docente (Sánchez Ron, 2015).

Einstein logró, gracias al apoyo de Marcel Grossmann, quien fuera su compañero de carrera, un puesto estable en la Oficina de Protección de la Propiedad Intelectual de Berna, donde podía trabajar 8 horas al día, seis días a la semana por un salario modesto, lo cual le generó una estabilidad, aunque fuera limitada, para mantener a su primera esposa Mileva Marić y a su hijo Hans Albert, y que resultó ser el espacio perfecto para desarrollar su genialidad. En 1905, aprovechaba las horas libres que le dejaba su espacio laboral con el examen de patentes para publicar cuatro artículos revolucionarios en los Annalen der Physik (Sánchez Ron, 2015). Entre ellos se encontraba el que sentaba las bases de la teoría de la relatividad.

Durante los años siguientes, su producción científica no cesó: abordó la teoría del calor específico (1907), esbozó los problemas de la gravitación y, en 1909, su fama era ya tal que dejó la Oficina de Patentes para ocupar su primera cátedra en la Universidad de Zúrich (Sánchez Ron, 2015, p. 218). Le siguieron Praga

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

y un retorno triunfal a la Escuela Politécnica de Zúrich (1912). En apenas un lustro, el joven que ningún profesor quiso como asistente se había convertido en uno de los físicos teóricos más deslumbrantes de Europa. Por eso, cuando Planck y Nernst tomaron un tren en 1913, no iban tras un desconocido; iban tras la certeza de que incorporar a Einstein a Berlín significaba situar a Alemania en el centro de la física mundial justo antes de la Primera Guerra Mundial.

La Alemania que en 1913 envió a sus más eminentes científicos a buscar a Einstein, dos décadas después, bajo el régimen de Hitler, lo despojó de su nacionalidad y lo forzó al exilio (Sánchez Ron, 2015, pp. 445-446), evidenciando de la forma más trágica posible cómo las estructuras sociales, por medio de sus mecanismos de control, pueden pasar del apoyo a la persecución.

El apoyo (familiar, académico y político) resultó vital para su existencia en la realidad social en la que vivía y para poder generar el conocimiento, que una vez fue validado por las estructuras institucionales formales (Universidades y laboratorios), lo posicionó en el mundo de la producción de conocimientos de la física en Europa, logrando convertirse en pieza clave en el complejo tablero de las estructuras de poder, en el marco de las aspiraciones políticas y militares en el contexto de la Primera y Segunda Guerra Mundial.

La Ciencia, la Política y el Exilio: Humberto Fernández Morán

En nuestra Venezuela podemos situar el ejemplo de Humberto Fernández Morán, médico y científico venezolano, quien es considerado una de las mentes brillantes del siglo XX en América Latina. En 1953 creó el bisturí de diamante y, en 1954, el ultramicrótomo, herramientas fundamentales para cortar muestras ultra delgadas y observarlas al microscopio electrónico. En 1955 fue el primero en fotografiar la estructura atómica del uranio y el germanio (base de los semiconductores), y sentó las bases de la criomicroscopía electrónica, técnica que hoy es clave en biología estructural. En 1954 creó el Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC) –actual IVIC–, el primer centro latinoamericano dedicado a usos pacíficos de la energía nuclear para estudiar el cerebro y tratar tumores.

Distintos momentos de su biografía nos permitirán confirmar y apreciar, en el contexto de nuestra historia venezolana, las complejidades multifactoriales de la realidad social que afrontó nuestro país, las cuales le otorgaron ventajas y desventajas que permitieron o dificultaron la construcción de conocimientos y aportes científicos que realizó incluso fuera de nuestro país.

Empezó sus estudios a los ocho (8) años de edad, adquiriendo una capacitación privilegiada en Ciencias Biológicas, Físicas y Matemáticas. Como su padre Luis Fernández-Morán debió salir con su familia al exilio, el niño logró cursar estudios de primaria y parte de secundaria en los Estados Unidos hasta el año de 1936. A finales de ese mismo año se trasladan nuevamente a Maracaibo, donde cursó estudios como externo en el Colegio Alemán, lo que luego facilitaría su ida a Alemania y le permitiría conocer a Einstein (Carvalho Kassar, 2025).

Sin duda, contar desde la infancia con una educación que le permitió formarse en el extranjero, dominar idiomas y contar con una beca para desarrollar sus estudios superiores en Europa son unas ventajas y privilegios que su familia y entorno podían concederle; incluso, el hecho de compartir espacios para compartir con Einstein demuestra el nivel de las instancias académicas en las cuales llego a estar. Sus estudios en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial le generaron complicaciones y tuvo que cubrir casi exclusivamente con su trabajo la continuidad de sus estudios (Fernández-Morán, citado en Carvalho Kassar, 2025).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Es importante considerar que tras su retorno a Venezuela, contó en 1954 con el apoyo del presidente y dictador Gral. Marco Pérez Jiménez, otorgándole financiamiento, infraestructura y respaldo logístico para la creación del IVNIC, que era un instituto de la más alta jerarquía científica en los campos de Biología Molecular, Microscopía Electrónica, Biofísica y que contó en su sede con el primer reactor nuclear de investigación para usos pacíficos de la energía atómica en América Latina.

Las complejidades multifactoriales existentes en Venezuela para la década de 1950 afectaron positivamente en 1954, cuando el apoyo recibido y los enlaces que contaba Humberto Fernández Morán, permitieron no solo el establecimiento del Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC), sino también la incorporación de científicos extranjeros de primer nivel, como Gunnar Svaetichin (especialista en electrofisiología y microelectrodos), Pierre Denis (experto en física y resonancia magnética nuclear) y Gernot Bergold (pionero en virología), entre otros investigadores documentados en la literatura especializada (Carvalho Kassar, 2025).

El 13 de enero de 1958 aceptó ser Ministro de Educación, ocupando el cargo un poco más de diez días, hasta los eventos del 23 de enero de 1958 que generaron la caída del gobierno dictatorial del Gral. Pérez Jiménez. Luego se generaría la más cruenta campaña de descrédito y persecución en contra de Humberto Fernández Morán, quien se vería obligado a salir del país en contra de su voluntad.

La magnitud de un evento político e ideológico como el 23 de enero de 1958 no solo tuvo influencia en la desaparición de la dictadura y el inicio de lo que se denominó una etapa democrática, sino que incidió sistemáticamente en el cambio de nombre de una de las estructuras institucionales formales (de IVNIC a IVIC), en la sustitución de sus autoridades y en el forzado exilio de Humberto Fernández Morán, quien se dirigió luego a Estados Unidos para incorporarse como profesor vitalicio en la Universidad de Chicago, donde además fundó y dirigió el Laboratorio de Microscopía Electrónica en el Instituto Enrico Fermi y, posteriormente, como investigador principal de la NASA en el programa de análisis de rocas lunares de las misiones Apolo.

Hasta este punto, resulta evidente que una mente brillante necesita de las estructuras institucionales formales, de sus infraestructuras y beneficios, así como de los contactos y enlaces para exponer sus saberes y que los mismos tengan el reconocimiento necesario. Hemos visto, que estas condiciones van a ser determinantes en la posibilidad de construir saberes y conocimiento, pero van a estar determinadas porque el contexto con sus complejidades multifactoriales así lo permitan. Pero ¿qué pasa con aquellos conocimientos cuyo investigador, innovador, tecnólogo, científico, etc., no tiene acceso a los mecanismos establecidos por las estructuras institucionales formales?

La respuesta a esa interrogante es el núcleo fundamental de todos los planteamientos que se han venido presentando. Hay saberes no reconocidos, que son excluidos, porque al nacer en talleres, herrerías, carpinterías, consejos comunales y/o comunas, quedan fuera de los mecanismos establecidos por las estructuras institucionales establecidas para darles validez y formalidad a los mismos. La exclusión de quienes no acceden a esos recursos no es casual: es estructural.

La Necesaria Mirada Descolonial

Vessuri (1995) lo explica con claridad: históricamente, el modelo de "ciencia pura" adoptado en América Latina, definido por la visibilidad internacional, descuida sistemáticamente los saberes locales. No está diseñado para capturar el conocimiento que nace en talleres o comunidades, sino para financiar grupos de investigación que responden a agendas externas.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Ante esto, Boaventura de Sousa Santos profundiza y define esta práctica realizada por las estructuras institucionales, de la siguiente manera: “Los procesos de opresión y de explotación, al excluir grupos y prácticas sociales, excluyen también los conocimientos usados por esos grupos para llevar a cabo esas prácticas. A esta dimensión de la exclusión la he llamado epistemicidio.” (Santos, 2009).

Estudios recientes profundizan esta línea. Garibay Munguía (2026) conceptualiza el “epistemicidio psicodélico” como una continuación de la "colonialidad del saber", donde las cosmovisiones indígenas son despojadas de su contexto sagrado y cultural para ser mercantilizadas, patentadas o validadas únicamente a través de la ciencia occidental. Mientras que Ortiz Castiblanco y García Suárez (2025) proponen metodologías decoloniales para visibilizar saberes históricamente excluidos en el ámbito educativo. En el caso venezolano, Mercado, Sánchez-Rose y Vessuri (2021) documentan el desmantelamiento de las capacidades de investigación y publicación académica, lo que agudiza el descuido estructural de los saberes populares.

En este sentido, mientras que las estructuras institucionales formales para la validación de saberes actualmente sufren las consecuencias de la realidad del contexto venezolano en medio del desmantelamiento de la investigación y publicaciones académicas, están en búsqueda del financiamiento y reconocimiento internacional, ignorando las necesidades y problemáticas regionales o locales; queda en evidencia que todos los mecanismos burocráticos establecidos en la dinámica social de nuestras realidades, están diseñadas para perpetuar el esquema de imposición, control y exclusión de saberes y conocimientos.

Hemos llegado entonces a la pregunta que motivó este artículo: ¿Cuántos "Luis Zambrano" están ignorados y no visualizamos su talento hoy, porque las estructuras institucionales formales no validan su conocimiento?

Mirarnos en el Espejo de Luis Zambrano

No es una casualidad que sea difícil encontrar bibliografía **en el mundo de las editoriales (libros con ISBN, editoriales establecidas) relacionada a Luis Zambrano, sin embargo, aunque sea escasa, existen al menos diversos documentos o publicaciones que permiten estudiarlo.**

Nace el 1.º de mayo de 1901 en Bailadores, Estado Mérida, siendo hijo de padre y madre campesinos. Desde su infancia mostró ser un autodidacta: cuando jugaba, podía crear sus propios juguetes. Cuando su papá lo mandaba a cortar el pasto, pasaba la mayor cantidad de tiempo en el patio trasero de la casa paterna para crear molinos con naranjas (Planchart Licea, s.f., pp. 4-5), cuestión que preocupaba a su padre, quien conversó con el cura Pérez para solicitar apoyo para hablar con el niño sobre esa situación, quien le recomendó que, en lugar de sacarlo de ahí, lo dejara jugar tranquilo y divertirse con las naranjitas; que eso era un instinto por el cual estaba adquiriendo conocimientos para el porvenir. Luis Zambrano señalaba que esa era la escuela de su vida, y que de ahí sacó gran parte de su conocimiento. (Planchart Licea, s.f.)

El cura Pérez se transformó en una pieza clave en la vida de Luis Zambrano, permitiendo que otros saberes pudieran formar parte de la biografía del niño, que por su origen familiar y geográfico tenía predeterminado un acceso limitado a saberes y conocimientos, pues, al igual que todos, estaba condicionado por la realidad social que lo contextualizaba. En ese sentido, se entiende que su iniciación en la lectoescritura fue en su propio hogar, donde los vecinos pagaban a un maestro particular llamado Carlos Pérez, un hombre oriundo de Trujillo, quien le enseñó los rudimentos de la lectura y la escritura. Luis Zambrano asistió durante cerca de un año a una pequeña escuela ubicada en un sector conocido como Las Trincheras. Más tarde, él y su familia se trasladaron a Las Playitas, lugar donde funcionaba una escuela que ofrecía instrucción hasta sexto grado, donde él estudió hasta cuarto grado.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Esta biografía es por excelencia una evidencia de la ausencia de recursos, sobre la cual se desarrolla una diversidad de creaciones que siempre buscaron resolver necesidades concretas de su comunidad. Sus recursos para laborar estuvieron relacionados con la "chatarra", palabra que proponía eliminar del diccionario por considerar que "lo que hay es negligencia" (Planchart Licea, s.f., pp. 5-6).

Esta misma chatarra en la década de 1920, le permitió generar electricidad por primera vez adaptando partes de un carro accidentado a una turbina movida por agua (Planchart Licea, s.f., p. 5). Este logro inicial le permitió, a partir de 1930 y en años sucesivos, electrificar numerosos pueblos andinos con turbinas e instalaciones propias, mucho antes de la llegada de CADAFE (Planchart Licea, s.f., pp. 58-59).

Su etapa como inventor se consolidó plenamente a partir de la década de 1940, tras su paso por la carretera de Pregonero (1939-1942), donde se desempeñó como chofer y luego como jefe de mecánicos (Planchart Licea, s.f., p. 7). Fue entonces cuando creó maquinaria agrícola como peladoras de zanahorias y fresas, clasificadoras de ajo y moledoras de café (Planchart Licea, s.f., p. 8). También desarrolló un sistema para obtener gas metano (biogás) a partir de desechos orgánicos, transformando el residuo en un abono que demostró ser superior al químico (Planchart Licea, s.f., p. 17).

Sin embargo, su proyecto más ambicioso fue el motor Turbo-Zam, concebido desde 1948. Su construcción más avanzada tuvo lugar alrededor de 1970 en los diques y astilleros de Puerto Cabello, cuando contaba con casi 70 años (Planchart Licea, s.f., pp. 34-35). Este motor de combustión, a diferencia de los convencionales de "mil y pico de piezas", se componía de solo 25 piezas y, en sus pruebas, llegó a desarrollar una potencia calculada de 350 caballos de fuerza con un peso de apenas 33 kilos (Planchart Licea, s.f., pp. 8, 34-37). A pesar de su potencial, el motor no pudo ser terminado por "falta de apoyo constante"(Planchart Licea, s.f., p. 8), un reflejo del abandono institucional que marcó su vida y obra. El proyecto quedó inconcluso tras el cambio del gobierno de Rafael Caldera (Partido COPEI 1969-1974) en marzo de 1974 a Carlos Andrés Pérez (Partido Acción Democrática 1974-1979), cuando el personal que lo apoyaba en Puerto Cabello fue sustituido (Planchart Licea, s.f., p. 36).

Se hace manifiesto cómo los elementos multifactoriales que se desarrollan en los contextos sociales generan como resultado una profunda invisibilidad de creadores que, como Luis Zambrano, operan al margen de los cánones académicos, clases sociales, intereses políticos y las voluntades ideológicas. Se trata de un ejercicio de poder que ejerce control sobre los saberes y el conocimiento.

CONCLUSIÓN: ¿Y SI FUERAS UNO DE “LOS” LUIS ZAMBRANO?

Mientras la academia busca alcanzar visibilidad internacional, en la cotidianidad, las comunidades enfrentan y gestionan desde sus propias realidades, problemas que afectan el desarrollo de sus actividades. En algunos casos, encuentran respuestas efectivas por parte del gobierno para solventarlos; en otros, deben resolver a partir de sus propias capacidades. Así, surgen saberes y conocimientos populares que, al no ser sistematizados, suelen quedar excluidos y corren el riesgo de desaparecer.

La historia de Zambrano es la constatación empírica del epistemicidio de Boaventura Santos. El saber de Zambrano, no contó con el apoyo que Einstein tuvo con Grossmann y la Oficina de Patentes, ni con el que Fernández Morán alcanzó con el IVNIC y la beca en Alemania; en cambio, solo tuvo al cura que intercedió para que lo dejaran jugar con naranjas y, más tarde, algunas ventanas de apoyo político que se cerraron con los cambios de gobierno; por lo tanto, no tuvo el apoyo necesario para obtener el respaldo material y simbólico que necesitaba para consolidarse, traducirse y defenderse.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

La idea no es generar un debate sobre aquellos que son genios y aquellos que no lo son; se trata de profundizar la mirada e identificar cómo la realidad social por medio de sus instituciones establece un acceso diferencial a condiciones materiales, institucionales y relacionales. Si no cuentan con las condiciones, ese saber se queda en el taller, en ese mismo sentido, no es que a Zambrano le faltara talento, es que nunca tuvo los enlaces que permiten que un talento se convierta en conocimiento reconocido, lo que muestra que la genialidad no es suficiente.

Se deben realizar los estudios e investigaciones que ayuden al desarrollo de políticas que perduren en el tiempo, para profundizar en los alcances de la soberanía científica y tecnológica, para lo cual es necesario considerar las diversas formas en que la realidad social influye para el desarrollo de saberes y conocimientos. Los casos de Einstein, Fernández y Zambrano han permitido construir y analizar, desde sus realidades y con una perspectiva biográfica, un conjunto de dimensiones y sus respectivos descriptores (Tabla 1). Esto ayuda a comprender que el epistemicidio se manifiesta cuando los elementos burocráticos, académicos, sociales y políticos niegan de forma simultánea: 1. las condiciones materiales para crear conocimientos, 2. el apoyo institucional formal para sostenerse, 3. las redes sociales para conectar o enlazar y 4. la validación simbólica para ser reconocido. Todas estas dimensiones son observables en la Tabla 1.

Esta tabla es presentada como una herramienta de análisis para futuros estudios de casos similares y también para servir de insumo en el desarrollo de políticas de inclusión de saberes populares.

Tabla 1. Dimensiones y descriptores del Epistemicidio en la Validación de Saberes

Dimensiones	Descriptores
1. Condiciones materiales	Acceso a recursos financieros, Estabilidad económica, Acceso a tecnologías, Infraestructura, Herramientas, Tiempo dedicado a la labor investigativa.
2. Apoyo institucional formal	Respaldo institucional (público o privado), Pertenencia institucional, Continuidad institucional, Desarrollo de patentes, Documentación validante.
3. Redes sociales	Apoyo familiar, Contactos estratégicos, Vínculos académicos, Mediadores institucionales (funcionarios o enlaces).
4. Validación simbólica	Difusión, premios y distinciones, Reconocimiento público y de pares, Visibilidad mediática y académica, Inclusión de conocimientos en procesos formativos.

Nota. Se realizó esta tabla con las dimensiones y los descriptores hallados en esta investigación. Es una propuesta que puede ser enriquecida con otras investigaciones para profundizar en el análisis de este fenómeno.

Si el conocimiento es poder como lo señaló Francis Bacon en 1597 y hoy se ha vuelto un refrán popular, entonces negar las condiciones materiales, institucionales y políticas para que ese conocimiento florezca es un acto de poder también: el poder de mantener ciertos saberes en la periferia. Comprender esto obliga a repensar el rol del Estado y sus instituciones. . No se trata solo de crear foros o exposiciones (que seguramente son necesarios como vitrina), sino de modificar los mecanismos burocráticos de validación. Este artículo problematiza e invita a que la política pública se repiense y se asegure de que ninguna mente se pierda simplemente porque nació en el lugar equivocado o no tuvo el contacto adecuado con las jerarquías

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

académicas, políticas y sociales. La inclusión de nuevas prácticas, saberes y conocimientos debe considerar la articulación de mecanismos más flexibles y enriquecedores. La historia de Luis Zambrano nos debe impulsar a sembrar y recolectar las mentes brillantes, que no están esperando a ser descubiertas para empezar a hacer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berger, P. L., y Luckmann, T. (1968). La construcción social de la realidad. Amorrortu.

Carvalho Kassar, G. G. (2025). Descubrir lo invisible: Humberto Fernández-Morán, el tecnólogo atómico. Caracas: Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología / Fondo Editorial Mincyt.

Dioscórides, P., & Laguna, A. de. (1570). Pedacio Dioscórides Anazarbeo, Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos. Salamanca: Mathias Gast.

Everett, D. L. (2008). Don't sleep, there are snakes: Life and language in the Amazonian jungle. Vintage Books.

Foucault, M. (1982). Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas (E. C. Frost, Trad.). Siglo Veintiuno.

Garibay Munguía, G. E. (2026). El silencio del Teonanácatl: Epistemicidio, biocolonialidad y reconfiguración del saber en el renacimiento psicodélico global. Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria sobre Desarrollo Sostenible, 5(2), 324-345. https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i2.218

Latour, B., & Woolgar, S. (1995). La vida en el laboratorio: La construcción de los hechos científicos. Alianza Editorial.

Mercado, A., Sánchez-Rose, I., & Vessuri, H. (2021). Revistas académicas ¿resiliencia o los estertores de la investigación en Venezuela? Revista Espacios, 42(24), 34-57. https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n24p04

Ortiz Castiblanco, C. C., & García Suárez, C. I. (2025). Caminar la enseñanza decolonial: Una propuesta metodológica para la transformación de las ciencias sociales escolares en América Latina. Praxis Educativa, 29(1), 1-19. https://dx.doi.org/10.19137/praxiseducativa-2025-290120

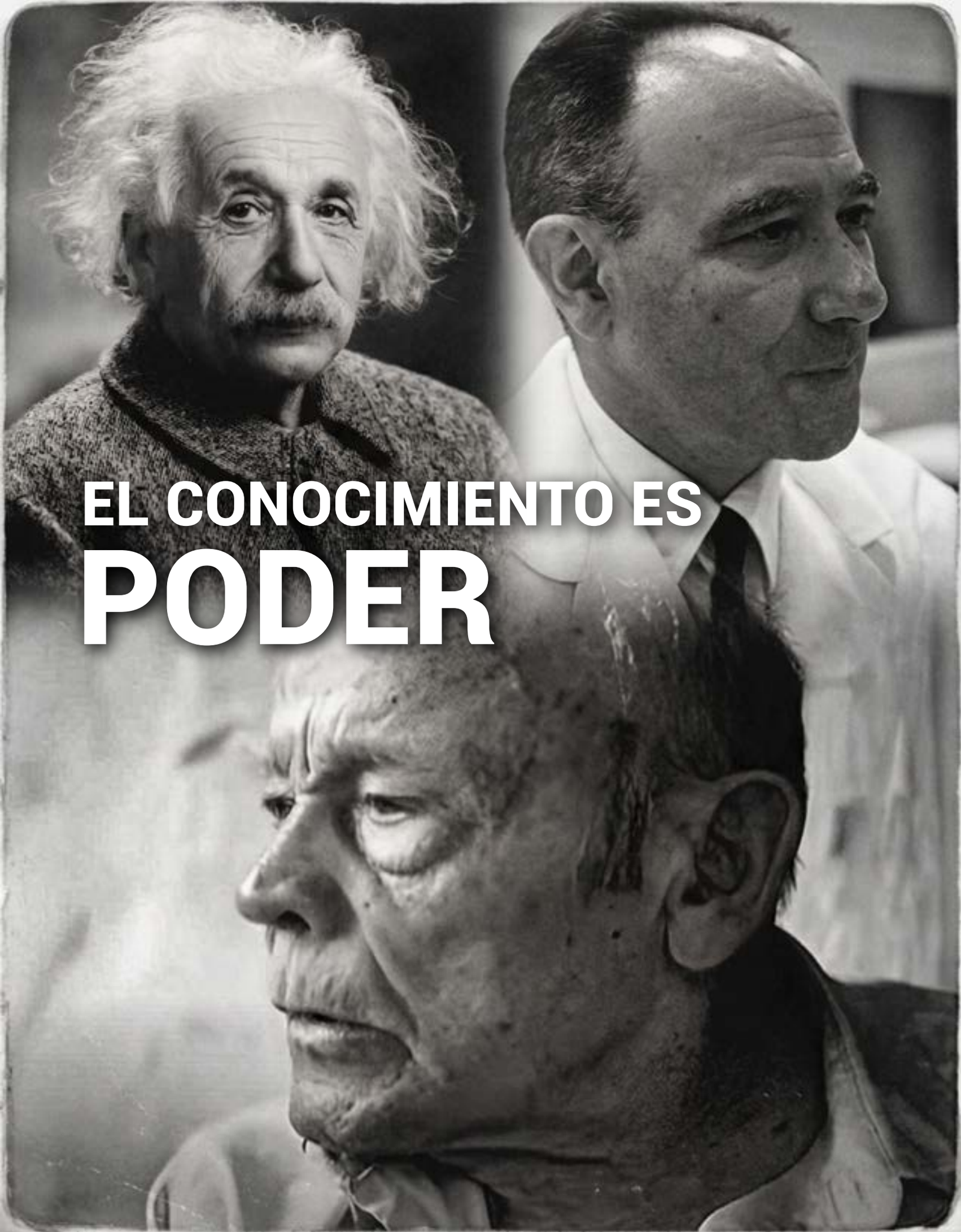
Planchart Licea, E. (s.f.). Luis Zambrano: Tecnólogo popular [Documento digital]. Recuperado el 5 de marzo de 2026, de https://ccarabobolibre.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/05/zambrano.pdf

Real Academia Española. (2014). Esquinancia. En Diccionario de la lengua española (23.ª ed.). Recuperado el 12 de febrero de 2026, de https://dle.rae.es/esquinancia

Sánchez Ron, J. M. (2015). Albert Einstein: su vida, su obra y su mundo. ePUBLibre.

Santos, B. de S. (2009). Una epistemología del Sur: la reinvención del conocimiento y la emancipación social (J. G. Gandarilla Salgado, Ed.). Siglo XXI Editores; CLACSO.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118


EL CONOCIMIENTO ES
PODER

COLOQUIOS DE INVESTIGACIÓN

FIDELZ

AUTONOMÍA ENERGÉTICA Y DESARROLLO COMUNITARIO SOSTENIBLE: IMPACTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA CADENA DE VALOR PESQUERA DE TOCO DE OSMA, LA GUAIRA

Tania Elizabeth Masea Linares
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano (FIDELZ)

RESUMEN

En las regiones costeras, las comunidades pesqueras artesanales, enfrentan desafíos críticos, relacionados con el acceso a la energía confiable, lo que impacta directamente en la cadena de frío, la conservación del producto y la rentabilidad económica. Este ensayo analiza el proyecto de implementación de un Sistema Fotovoltaico (SFV) para la refrigeración y procesamiento de pescado en la comunidad de Toco de Osma (La Guaira, Venezuela), financiado por el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Sistema de Naciones Unidas y ejecutado por la Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano. A través de un enfoque de investigación-acción participativa, se examina cómo la sinergia entre la tecnología de energía limpia y el empoderamiento comunitario transforma los medios de vida locales. Se destaca la construcción colectiva de infraestructura productiva y la instalación del sistema fotovoltaico con baterías, para alimentar refrigeradores, sierras, empaquetadoras e iluminación, además los procesos formativos en economía comunal, mantenimiento técnico y turismo. Los resultados evidencian que la participación activa de los pescadores garantiza la sostenibilidad del equipamiento donado, fomenta la autogestión económica, fortalece el tejido social y posiciona a la comunidad como un referente de turismo gastronómico sostenible. Se concluye que los proyectos de energía renovable de pequeña escala, cuando integran la gobernanza local, sirven como catalizadores para la resiliencia socioeconómica en comunidades costeras.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Comunidad Pesquera, Desarrollo Comunitario, Cadena de Frío, PPD.

INTRODUCCIÓN

La intersección entre la seguridad energética y la seguridad alimentaria es un pilar fundamental para el desarrollo sostenible en comunidades costeras de América Latina y el Caribe. La pesca artesanal, a pesar de ser un motor económico vital, sufre pérdidas post-captura significativas, frecuentemente exacerbadas por la ausencia de electricidad para la refrigeración (FAO, 2022).

En este contexto, las energías renovables, particularmente la solar fotovoltaica, emergen no solo como una alternativa de mitigación climática, sino como una herramienta de justicia social y productividad.

La comunidad de Toco de Osma, situada en el estado La Guaira (Venezuela), a pesar de su riqueza marina y su potencial turístico, históricamente dependió de instalaciones eléctricas improvisadas red o de combustibles fósiles costosos para intentar preservar su producto. La intervención del Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Sistema de Naciones Unidas, dentro de su cluster de energías limpias, buscó abordar esta problemática desde una óptica integral. El objetivo de este ensayo es analizar críticamente el impacto de este proyecto, subrayando cómo la implementación de nuevas tecnologías energéticas, promocionadas por FIDELZ , (Sistema Fotovoltaico) se conjugó con la apropiación social (participación y formación), para crear un modelo de gestión económica autónomo.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO: LA CADENA DE VALOR Y LA TECNOLOGÍA

Tradicionalmente, la dinámica económica en Toco de Osma era lineal: extracción, venta inmediata y perecibilidad rápida. Esta estructura condenaba a los pescadores a vender a intermediarios a precios bajos, pues no poseían la infraestructura para conservar el excedente. El proyecto del PPD articuló una respuesta tecnológica y logística a esta falla de mercado. En el corazón de la intervención se instaló un Sistema Fotovoltaico con baterías. Se A diferencia de sistemas conectados a la red, este SFV garantiza autonomía total. La energía generada por los paneles se almacena en un banco de baterías de ciclo profundo, asegurando el suministro eléctrico continuo para los siguientes equipos donados:

1. Refrigeradores/Freezers de alta eficiencia: Esenciales para detener la descomposición enzimática y bacteriana del pescado, extendiendo su vida útil de horas a días.

2. Máquina empacadora al vacío: Permite agregar valor al producto final, facilitando su almacenamiento prolongado y su presentación para mercados más exigentes.

3. Sierra eléctrica para corte: Optimiza la presentación de filetes y postas, estandarizando el producto y reduciendo el esfuerzo físico de los pescadores.

Este equipamiento no opera en el vacío; se instaló dentro de una caseta de procesamiento construida para cumplir estándares mínimos de higiene, complementada con dos kioscos destinados a la venta directa y preparación de alimentos.

Participación comunitaria y cohesión social

Un aspecto crítico que distingue a este proyecto de las ayudas asistencialistas tradicionales fue la metodología de "construcción social", aplicada por FIDELZ. Los pescadores y sus familias no fueron meros receptores, sino actores centrales en la fase de albañilería y adecuación de la placa.

La construcción de la caseta y los kioscos por parte de la propia comunidad generó un sentido de pertenencia y orgullo que es difícil de replicar cuando la infraestructura es entregada "llave en mano". Esta participación inicial fue crucial para establecer un contrato psicológico de responsabilidad sobre el mantenimiento futuro de los bienes. En el ámbito de los proyectos de cooperación internacional, este enfoque de "mano de obra comunitaria" actúa como un amortiguador contra el abandono tecnológico temprano. La comunidad no solo recibió una nevera; construyó el techo bajo el cual esa nevera funciona, gestionando los conflictos y colaboraciones propias de una obra colectiva.

Fortalecimiento de capacidades: de la técnica a la economía

La sostenibilidad de un sistema de energía renovable en zonas remotas depende críticamente de la capacidad local para repararlo y operarlo. Consciente de ello, el proyecto incluyó un robusto componente formativo que abarcó varias dimensiones:

- **Técnica (Mantenimiento de Paneles y Baterías):** Se formó a miembros de la comunidad, típicamente jóvenes y pescadores, en la lectura de controladores de carga, la limpieza de paneles y la gestión de niveles de electrolitos en baterías. Esta formación garantiza que el SFV no se convierta en "chatarra tecnológica" ante la primera falla menor.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

- **Gestión Empresarial (Economía Comunal y Medios de Vida):** La formación en economía comunal es quizás el componente más transformador. No basta con congelar el pescado; hay que gestionar los costos de reposición de baterías, el empaque y la logística. Los talleres permitieron a la comunidad estructurar fondos de ahorro para la depreciación del sistema, asegurando la longevidad financiera del proyecto.

- **Turismo y Gastronomía:** Al elevar la calidad del producto pesquero y ofrecer un espacio digno (kioscos), la comunidad se posicionó como un destino de "turismo azul". La formación en atención al cliente y preparación de alimentos apalancó la inversión tecnológica para captar un mercado de mayor valor agregado, transformando a los pescadores en anfitriones y empresarios gastronómicos.

Impacto en los medios de vida y la autonomía

El resultado de esta integración tecnológica-comunitaria es la autonomía real. Antes, el pescador de Toco de Osma estaba atado al sol (debía vender rápido antes de que se descompusiera) y al intermediario (única salida rápida). Hoy, la comunidad tiene la capacidad de:

- **Regular la oferta:** Conservar el pescado en días de abundancia para venderlo a mejor precio en días de escasez.

- **Diversificar ingresos:** Vender pescado fresco, pescado fileteado empacado al vacío y platos preparados en los kioscos.

- **Reducir la pobreza energética:** La energía generada por el SFV se destina a la producción, no al gasto doméstico, asegurando que la actividad económica no dependa de un suministro eléctrico nacional errático.

Este proyecto constituye un ejemplo paradigmático de cómo los fondos climáticos y de desarrollo (como el PPD) pueden catalizar transformaciones sistémicas en microescala. No se trata solo de mitigar emisiones de carbono (energía limpia), sino de adaptación climática (refrigeración ante el aumento de temperatura) y resiliencia socioeconómica (nuevos mercados).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El caso de Toco de Osma ofrece lecciones valiosas para la replicabilidad de proyectos similares en otras comunidades pesqueras de Venezuela y el Gran Caribe. La experiencia demuestra que el éxito de un proyecto de energías renovables en entornos comunitarios no reside únicamente en la potencia instalada (kWp), sino en la densidad del tejido social que lo rodea. La clave del éxito radica en la apropiación del proceso productivo completo. La financiación internacional actuó como capital semilla para romper la trampa de la pobreza energética, pero fue la organización comunitaria (formación, construcción y gestión) la que generó el "retorno social de la inversión". Sin embargo, es necesario un monitoreo a largo plazo para evaluar la durabilidad de las baterías y la capacidad real de la comunidad para reponerlas al final de su vida útil. En síntesis, el proyecto fotovoltaico en Toco de Osma trasciende la mera instalación de paneles solares. Representa la construcción de un ecosistema económico local resiliente, donde la energía limpia se convierte en el motor de la soberanía alimentaria, el empoderamiento femenino y la reactivación económica del litoral guaireño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Roma.
Programa de Pequeñas Donaciones (PPD). (2023). Documentación de Proyectos Financiados: Cluster de Energía. PNUD/FMAM.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

LA SOMBRA DEL SOL

Bismark de los Santos Cifuentes Briceño
Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC)

Este cuento se publica con profundo respeto, de manera póstuma, en honor a Bismark Cifuentes, como reconocimiento a su trayectoria y su invaluable contribución al Servicio Eléctrico Nacional.

Había una vez, en un planeta llamado Tierra, tres familias de paneles solares que trabajaban sin descanso para ayudar a la humanidad a reducir los gases que enfermaban el cielo. La más antigua era la familia de los Monofaciales, venerable y llena de experiencia, que durante más de cuatro décadas había convertido la luz del sol en electricidad, aliviando así la fiebre del planeta. Luego llegó la familia de los Bifaciales, joven y ambiciosa, que con sus dos rostros capturaba aún más luz y prometía mayor eficiencia. Pronto, comenzaron a reemplazar a los Monofaciales en los vastos campos de energía, mientras estos últimos, sintiendo que su reinado llegaba a su fin, se preguntaban con tristeza: "¿Qué será de nosotros?"

Y no se equivocaban. Muchos de ellos acababan abandonados en vertederos, destrozados y olvidados, pasando de la Cuna a la Tumba sin ceremonias. Algunos eran desarmados para extraer sus materiales valiosos; otros, con mejor suerte, viajaban a tierras lejanas y pobres para dar su última luz. Mientras tanto, la tercera familia, los ligeros y prometedores Perovskita, observaban desde los laboratorios, sometidas a continuas pruebas, esperando su momento para brillar.

La Tierra, la Pachamama, madre silenciosa, miraba con preocupación este ciclo de reemplazo veloz. La eficiencia crecía, los negocios florecían, pero nadie parecía calcular el costo oculto: millones de toneladas de paneles desechados, convertidos en nuevos venenos para sus aguas y sus suelos. Más arriba, por encima de estas familias de paneles solares, estaban los decisores. Eran las Grandes Corporaciones, la I+D, la Inteligencia Artificial, pero también miles de ingenieros, ecologistas y soñadores que habían empezado a escuchar a la Pachamama. Entendieron que el verdadero progreso no era sustituir, sino sanar; no solo capturar luz, sino también cuidar el fin del viaje.

Así que, entre fotones y esperanza, mientras la Familia Perovskita avanzaba hacia su madurez, una nueva consciencia guiaba su desarrollo: la de crear paneles no solo más eficientes, sino también reciclables, duraderos y amables con el suelo que los sostendría. Al mismo tiempo, se desplegaron programas globales para rescatar a los paneles antiguos de los vertederos, dándoles una segunda vida a través de la reparación, el reúso y el reciclaje responsable de sus materiales. Ahora el viaje era de la Cuna a la Cuna. La Pachamama, entonces, sintió un primer rayo de alivio. Vio que la misma inteligencia que había creado los paneles solares para dejar de quemar combustibles fósiles, ahora se volvía también hacia la protección de sus mares, sus montañas y su futuro. El ciclo no era perfecto, pero por primera vez, la luz que iluminaba las ciudades no opacaba la esperanza.

Y así, entre la sombra y la luz, la humanidad aprendió que el verdadero poder del sol no estaba solo en capturar sus rayos, sino en honrar su ciclo eterno: iluminar sin herir, renovar sin dejar rastro y convertir cada fin en un nuevo amanecer para la Tierra.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

LA DOCTRINA GEOPOLÍTICA VENEZOLANA: DEL IDEAL BOLIVARIANO A LA SOBERANÍA Y PROYECCIÓN ENERGÉTICA EN EL SIGLO XXI

Jesús Miguel Castillo Golding
Viceministerio de Fuentes Alternas y Participación, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
jesuscastillogolding@gmail.com

Hablar de Geopolítica en Venezuela pasa por reconocerse en el ideario que nuestros Padres Libertadores adelantaron aun al concepto mismo de lo que hoy conocemos con ese nombre; pasa por identificar que, para nuestro país, no es un concepto estático, sino una evolución que desde Francisco de Miranda y su proyecto Colombeia, como confederación que buscaba la unidad continental frente a los imperios dominantes de la época, y que luego el ideario del Libertador Simón Bolívar esboza en el Congreso Anfictiónico de Panamá, donde buscó la creación de una confederación sólida entre las nacientes repúblicas para defenderse de eventuales amenazas externas y resolver conflictos internos de forma pacífica y que aún hoy son base de nuestra postura internacional.

En este sentido, podemos decir que la soberanía energética es, al día de hoy, la continuación de las luchas por la independencia del siglo XIX, claro está, adaptada a una nueva realidad donde el poder se mide por el control de los recursos estratégicos y la capacidad de integración regional como forma de proyección del poder nacional; es así como el artículo 152 de la CRBV define claramente que las relaciones internacionales deben responder a los fines del Estado y al ejercicio de la Soberanía, de la misma manera, el artículo 156 (numeral 16) reserva al Poder Público Nacional el régimen de las energías, y la Ley Orgánica de la Seguridad de la Nación vincula claramente el concepto de Desarrollo Integral con la satisfacción de las necesidades de la población venezolana en los ámbitos militar, político, social, cultural, económico, geográficos y ambientales. Estos últimos tres están especialmente conectados con los intereses nacionales desde el punto de vista geopolítico a la vez que energético.

Es aquí donde las fachadas geopolíticas de la nación se hacen fundamentales para el análisis, como espacios de integración energética, dado que nuestra excepcional ubicación geográfica nos permite interactuar en cinco frentes estratégicos como son los Frentes Caribeño y Atlántico, vitales para la proyección marítima y el comercio energético; los Frentes Amazónico, Andino y Guayana Esequiba, como espacios de integración terrestre y de ingentes recursos minerales y espacios naturales de excepcional belleza e importancia ecosistémica, pero también espacios para el intercambio energético tanto de fuentes convencionales como alternas o renovables; todos los cuales permiten a nuestro país proyectar su potencial energético como puntal de independencia económica regional.

Asimismo, es imperativo hacer énfasis en la Fachada Geopolítica que representa la Guayana Esequiba; tras la creación de este nuevo estado, esta se convierte en un eje vital para el impulso marítimo y terrestre en todos los ámbitos de la seguridad de la nación. La proyección política y económica hacia esta región no solo implica la defensa del territorio, sino también la evaluación de sus recursos naturales bajo un modelo de desarrollo integral. La integración de esta fachada en la planificación energética nacional permite una visión de 360 grados que conecta nuestro potencial hidroeléctrico y mineral con una proyección estratégica hacia el Atlántico y el Caribe oriental.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

En este aún nuevo siglo, el paradigma unipolar que caracterizó el final del siglo XX queda, primero expuesto y luego sometido a las presiones derivadas de las economías emergentes y sus nuevas figuras de asociación como preeminentemente destacan los BRICS, dando paso a un nuevo escenario global definido como multipolar, donde principalmente China y Rusia destacan entre otras nuevas potencias como también India y más recientemente Irán, lo que delinea el escenario de multipolaridad al que convocó el Comandante Chávez; y en este escenario, el control de minerales críticos como litio, cobalto y otros, es fundamental para la diversificación de la matriz energética que permitiría romper con la hegemonía y facilitar la consolidación de los nuevos polos de poder, permitiendo a nuestro país supeditar el relacionamiento tecnológico a criterios de soberanía nacional, tal como lo establece la Séptima Transformación del Plan de la Patria 2025 – 2031. Venezuela puede usar su sol y viento para crear alianzas geoeconómicas en el contexto regional a través de sus diferentes fachadas, o con el bloque de los BRICS+, reduciendo la dependencia de tecnologías del centro imperial.

Nuestros líderes en el proceso de la independencia nacional nos dieron la soberanía sobre el territorio y un ideal de unión, no solo nacional sino también regional; el proceso bolivariano nos dio la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela como supremo marco legal hacia la grandeza nacional; y los Planes de Desarrollo nos dan la ruta hacia la realización del ideal de la nación. En este momento, la Patria se encamina a hacer valer su excepcional condición de principal potencia energética petrolera del mundo como asiento de las reservas probadas más grandes del planeta, pero también con un inmenso potencial de energía solar y eólica que nos permite proyectarnos hacia una "Venezuela Potencia Energética Mundial" como ya desde el Plan de la Patria 2007 – 2013 se definió.

En la actualidad, este esfuerzo de diversificación se enmarca en la 7ª. Transformación del Plan de la Patria 2025-2031, específicamente en el eje de la Geopolítica. Esta línea estratégica busca afianzar la ruptura de las amarras del imperialismo y lograr un blindaje económico mediante la configuración de un nuevo sistema internacional de investigación y formación. Desde mi perspectiva técnica, esto implica que el desarrollo de tecnologías renovables en Venezuela debe supeditarse al criterio de soberanía en el relacionamiento tecnológico, asegurando que la transición hacia fuentes alternativas no cree nuevas dependencias, sino que fortalezca la independencia científica nacional ante las demandas de la República.

Esta visión pasa entonces por proyectar el potencial energético hacia los mercados internacionales a través de nuestras fachadas geopolíticas, promoviendo una matriz segura, estable, equitativa y ambientalmente sostenible mediante la diversificación de su matriz de base, logrando que el Estado nacional garantice el bienestar de los pueblos y la defensa integral de la nación.

Desde finales del siglo XIX, pasamos de ser una nación agraria a una potencia petrolera durante el siglo XX, y este siglo XXI será el siglo en que nuestro país proyecte su potencial energético no solo fósil, sino también solar con inmenso potencial en la mayor parte del territorio y eólico en toda nuestra franja costera con especial interés en la Guajira colombo-venezolana de nuestra fachada Caribe, que permitiría construir uno de los parques binacionales de generación eólica más grandes del mundo. El logro de la Venezuela Potencia Energética Mundial es nuestro destino.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

HACIA UNA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN VENEZUELA

Luis E. Sánchez R., Charlee W. Robles G.
Viceministerio de Fuentes Alternas y Participación Popular, Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
luiszro7@gmail.com, charleeguillen@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, la industria camaronera se ha consolidado como uno de los principales rubros de exportación no petrolera. Sin embargo, su crecimiento está fuertemente limitado por la huella energética. Los sistemas de producción intensiva y semi-intensiva dependen críticamente de la energía para dos tareas vitales: el bombeo de agua para el recambio y la aireación artificial (que mantiene los niveles de oxígeno disuelto para garantizar la supervivencia del camarón). La necesidad de una red eléctrica nacional presente y la escasez de diésel para los generadores representan un riesgo biológico y financiero latente. Considerar la implementación de sistemas fotovoltaicos en la industria camaronera venezolana no solo representa una estrategia de mitigación ambiental, sino una necesidad operativa urgente para garantizar la soberanía productiva aprovechando las óptimas condiciones de energía solar de las zonas costeras del país.

DESARROLLO

A pesar de contar con más de cinco décadas de desarrollo, la industria mundial de la producción de camarones se considera aún joven en los ámbitos biológico y tecnológico, habiendo marcado el año 2025 un giro definitivo hacia la sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2025). Su evolución histórica comenzó en la década de 1970 con el dominio de la reproducción artificial en cautiverio, luego transitó hacia el modelo semi-intensivo y la expansión global en los años 80, y superó crisis virológicas masivas en los 90 mediante el mejoramiento genético de líneas resistentes a enfermedades. A partir de los años 2000, el sector se consolidó como un mercado maduro dominado por el camarón blanco (Penaeus vannamei) y el uso de sistemas intensivos de aireación mecánica. De este modo, y sin contabilizar volúmenes de descarte o anomalías productivas en su tendencia histórica, la industria ha logrado mantener una tasa de crecimiento anual compuesta del 5,05% desde los años 90 (FAO, 2025; Global Seafood Alliance, 2011), lo que la convierte en un sector con amplias oportunidades para la innovación energética, a través de la inclusión de sistemas de respaldo con fuentes de energías renovables como la solar, eólica o bioenergía.

Venezuela es uno de los países latinoamericanos que se proyecta como una potencia exportadora de camarón mundial; actualmente el país se ubica en el puesto número 10 en producción de camarón y en el número 14 en área de ocupación por tonelada métrica. A nivel nacional se estima que existen 76 fincas camaroneras; la Tabla 1 presenta la concentración por estado de la actividad camaronera, donde se identifica que el estado Zulia ocupa 19.135 hectáreas, seguido de los estados Sucre, Falcón y Nueva Esparta, donde la actividad se desarrolla en sus respectivas zonas costeras.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Tabla 1. Áreas de Concentración de la Actividad Camaronera

Estado	Hectáreas	Porcentaje
ZULIA	14.500	76
SUCRE	3.585	19
FALCÓN	550	3
NUEVA ESPARTA	500	3
TOTAL	**19.135**	**100**

La industria camaronera venezolana, caracterizada por la cría semiintensiva, genera subproductos que pueden alcanzar el 75% del peso vivo del espécimen (Nunes & Rocha, 2024). Al desarrollarse en lagunas costeras y humedales de alta biodiversidad y relevancia para especies migratorias o en peligro, la actividad interactúa con ecosistemas que posicionan al país entre los más megadiversos del mundo (Desenne & De la Cruz, 2021).

Ante los históricos impactos ambientales en Latinoamérica, instituciones como el Ministerio de Ecosocialismo e INSOPESCA regulan el sector mediante evaluaciones de impacto ambiental continuas para monitorear estas interacciones críticas (Sánchez & Valbuena, 2024).

Los principales impactos e interacciones ambientales a los que se hace seguimiento son:

1. Eutrofización y calidad del agua por efluentes orgánicos: gestión de nutrientes (nitrógeno y fósforo), aprovechamiento óptimo del alimento balanceado y minimización de los desechos orgánicos en el origen.

2. Presión sobre los ecosistemas de manglar y lagunas costeras: se promueve el uso de polígonos sobre planicies aluviales y salinas naturales, minimizando de esta forma la tala directa del manglar de borde.

3. La "Paradoja Ecológica": operación en ciclos cerrados de recirculación e impermeabilización total de sus piscinas, para evitar contaminación con trazas de hidrocarburo.

4. Riesgos biológicos e introducción de especies exóticas: se vigila la aplicación de barreras físicas de contención y uso de mallas milimétricas en los canales de drenaje.

La proyección de aumentar la producción anual de 60.000 a 600.000 toneladas métricas incrementará la biomasa disponible para ciclos de valorización de residuos (Banca y Negocios, 2024).

Al respecto, Torres (2024) señala que la transición hacia sistemas cerrados de recirculación y piscinas impermeabilizadas minimiza las purgas y optimiza las lagunas de sedimentación, eliminando efluentes contaminantes. Este enfoque potencia el aprovechamiento biotecnológico de cabezas y exoesqueletos, transformándolos de pasivos ambientales en materia prima para ensilados animales y biomateriales de alto valor como quitina y quitosano (Mohd Azman Yusoff, 2025; Torres, 2024).

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Alternativa energética sostenible en la industria camaronera a través de la energía solar

Venezuela proyecta alcanzar una producción anual de 600.000 toneladas métricas de camarón, lo que incrementará drásticamente la intensidad energética del sector debido a los requerimientos de bombeo y aireación en sistemas de alta densidad (Banca y Negocios, 2024; Nguyen et al., 2024). Para garantizar la operatividad de los procesos en áreas remotas y mitigar la dependencia de redes inestables, la industria y las fuentes renovables constituyen un binomio inseparable (CAF, 2025).

La ubicación estratégica de las granjas en zonas con abundante recurso solar y eólico favorece la transformación energética (García-Gómez et al., 2025). Asimismo, el aprovechamiento biotecnológico de la biomasa residual mediante bioenergía ofrece una oportunidad clave para mejorar la resiliencia operativa y avanzar hacia la descarbonización sectorial (Malca & Soria, 2023).

Reflexiones finales

El territorio venezolano cuenta con ventajas comparativas notables para la industria camaronera, entre las que destacan sus favorables regímenes de irradiación solar en la región norte costera, los cuales propician un aprovechamiento óptimo de la tecnología solar. No obstante, materializar esta expansión exige un desembolso de capital considerable en infraestructura de generación distribuida. La competitividad internacional del sector dependerá de la capacidad de minimizar la intensidad energética de las granjas antes de plantear la instalación de parques solares. Disminuir el consumo por tonelada no solo reduce los gastos operativos, sino que recorta significativamente la potencia instalada (kWp) necesaria, consolidando un modelo de escalado con innovación técnica y financiera.

Tomando en cuenta lo planteado, el aumento en las densidades de cultivo incrementará de forma crítica los requerimientos de oxígeno disuelto; por lo tanto, la transición hacia matrices bioenergéticas tecnificadas y basadas en fuentes renovables garantiza un suministro eléctrico continuo y eficiente, permitiendo sostener los límites biológicos de la producción de Litopenaeus vannamei hacia criterios de sostenibilidad y viabilidad económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banca y Negocios. (2024, 23 de mayo). Producción nacional de camarones podría pasar de 60 mil hasta 600 mil toneladas anuales con reformas legales. https://www.bancaynegocios.com/produccion-nacional-de-camarones-podria-pasar-de-60-mil-hasta-600-mil-toneladas-anuales-con-reformas-legales/

Chou, C. C., & Chang, Y. S. (2024). Fishery-photovoltaic complementary systems: Balancing green energy production and shrimp (Litopenaeus vannamei) aquaculture microenvironments. Aquacultural Engineering, 104, Artículo 102380. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102380

Desenne, C., & De la Cruz, R. (2021). Perspectivas y desafíos de la industria camaronera en Venezuela. Debates IESA, 26(4), 44-48.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2024). The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. FAO. [https://doi.org/10.4060/cc0461en] (https://doi.org/10.4060/cc0461en)

García-Gómez, J., Anchundia, F., & Rivas, M. (2025). Transición energética en la acuicultura de América Latina: Desafíos del CapEx en la conversión de sistemas diésel a híbridos.

Ministerio del Poder Popular de Pesca y Acuicultura. (2024, 24 de mayo). Fijado protocolo para el suministro de combustible tipo diésel a la flota artesanal a gran escala. Minpesca. [https://minpesca.gob.ve/2024/05/24/fijado-protocolo-para-el-suministro-de-combustible-tipo-diesel-a-la-flota-artesanal-a-gran-escala/](https://minpesca.gob.ve/2024/05/24/fijado-protocolo-para-el-suministro-de-combustible-tipo-diesel-a-la-flota-artesan al-a-gran-escala/)

Nguyen, T. H., Van, T. P., & Henriksson, P. J. G. (2024). Electricity intensity in hyper-intensive shrimp farming (RAS) in Southeast Asia: Mitigating biological risks through grid reliability.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2025). Cambios en el comercio y la producción mundial de camarón. Globefish - Información y análisis sobre el comercio mundial de pescado. https://www.fao.org/in-action/globefish/news-events/news/news-detail/shifts-in-the-global-shrimp-trade-and-production/en

FIDELZ

IV ENCUENTRO CON DON LUIS ZAMBRANO

FIDELZ

EL ARTE DEL HACER: DON LUIS ZAMBRANO Y LA LEGITIMACIÓN DE LA TECNOLOGÍA POPULAR

Nidia Xiomara Figueredo de Arias
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano (FIDELZ)
nfigueredo1410@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El presente ensayo analiza a don Luis Zambrano no solo como un inventor autodidacta, sino como uno de los protagonistas de la construcción desde la práctica, demostrando que el saber no es exclusivo de las universidades, que en muchas ocasiones surge de la praxis del pueblo, el cual en su mayoría no tiene acceso a la educación y tiene la necesidad de resolver a la mayor brevedad posible, reduciendo el tecnicismo a su mínima expresión y logrando soluciones desde el saber popular. Luis Zambrano (1901–1990) no solo es un inventor autodidacta del estado Mérida, sino un máximo exponente de la tecnología popular en Venezuela, un precursor de la soberanía tecnológica y un amante de la naturaleza, mostrando lo que significa, desde el aprender haciendo, redefinir así las fronteras entre el conocimiento empírico, la sustentabilidad ecológica y el desarrollo de las comunidades.

DESARROLLO

La Escuela de la Vida en la construcción de tecnología popular de don Luis Zambrano contra el Dogma Académico

El alcance de las invenciones de Luis Zambrano establece un proceso de aprendizaje que es necesario analizar. Zambrano no fue un técnico formado en las escuelas industriales del Estado ni un ingeniero egresado de las aulas universitarias; fue un autodidacta puro cuya pedagogía fundamental estuvo regida por lo que él mismo denominaba "la escuela de la vida".

Desde niño fue un estudioso de la naturaleza y de los beneficios o fortalezas que podría sacar de ella, primero desde el juego y luego desde la satisfacción de crear en el contexto del trabajo de la tierra. Una de sus competencias innatas fue su capacidad de observación de la naturaleza, el flujo y comportamiento de las aguas en las vertientes andinas y el cansancio físico de los campesinos derivado de las dinámicas agrícolas que sembraron en él la urgencia de crear herramientas que humanizaran el trabajo del campo. Con solo haber cursado el cuarto grado de educación primaria, Zambrano desarrolló una comprensión natural y aguda, pero profundamente matemática y física del entorno. Un dato fundamental construido desde sus innumerables inventos es que descubrió de manera independiente la relación entre la circunferencia y su diámetro —el valor de π— sin haber tenido acceso previo a manuales de geometría analítica.

Comenzó a utilizar la ingeniería inversa, sin saber ni siquiera sus principios y leyes, fabricando piezas y modificando la mecánica de los vehículos y la maquinaria pesada, transformando la crisis de suministro desde su inventiva temprana.

La tecnología popular de Luis Zambrano no fue un conjunto de "ideas empíricas" o de artesanías mecánicas construidas desde el capricho, sino un sistema tecnológico alternativo, endógeno y sustentable. Su obra respondió al espíritu de aportar de manera directa a las necesidades materiales de su entorno y desafió las bases

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

de la obsolescencia, la falta de recursos para innovar, renovar y actualizar dentro de la complejidad de la industria capitalista inmersa en la realidad de nuestro país.

Él descubrió los principios de la dinámica de fluidos a través de la observación de la naturaleza (el agua, las hojas, el viento) y el ensayo y error, desarrollando fórmulas matemáticas propias basadas en analogías visuales. Demostró que el conocimiento no es exclusivo de las universidades y con sus aportes desafió los paradigmas de la ciencia académica.

Rosales, Misael (2023) citada por Márquez (2023) afirma que el legado de don Luis Zambrano al mundo académico es ser el precursor de "…una nueva fase en este tema que tiene que ver con una nueva tecnología popular, que se resuelve en casa y que resuelve a su vez el día a día de la gente, de agricultores que siembran café, plátanos… con tecnología casera. Don Luis Zambrano es una persona representativa de esa nueva tecnología que abrió un reto a la ciencia académica y a la popular" (p. 1).

El legado empírico de Zambrano constituyó una demostración indiscutible de la física, la mecánica y la electricidad aplicadas. La relevancia de sus invenciones desafió la rigidez del mundo académico venezolano, logrando traspasar los muros del conocimiento hegemónico universitario. El punto culminante de esta aceptación de su legado académico tuvo lugar el 29 de noviembre de 1984, fecha en la que la Universidad de Los Andes le confirió el doctorado Honoris Causa. Al reconocer por primera vez a un tecnólogo popular, la institución sentó las bases para una revisión profunda sobre la incorporación de los saberes populares dentro de las dinámicas de investigación formal. Este proceso de legitimación social y científica inspiró a figuras como Fruto Vivas y Raúl Estévez a consolidar la Fundación Luis Zambrano, articulando además el diseño del Premio Luis Zambrano cobijado por el entonces Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

Catálogo de la emancipación de don Luis Zambrano como aporte al impulso de la tecnología popular y el desarrollo de las comunidades aisladas.

El legado tecnológico que dejó don Luis Zambrano tiene más de cincuenta invenciones registradas, las cuales en su mayoría están orientadas a la resolución de nudos críticos de la producción agrícola y el bienestar social de los pueblos andinos. El desarrollo de las diferentes zonas aisladas del estado venezolano ha sido muy cuesta arriba por transporte, por recursos, entre otros obstáculos; por lo tanto, el desarrollo rural avanzaba lentamente sobre todo en electrificación. Por esa razón don Luis Zambrano diseñó e instaló cerca de 20 microturbinas hidráulicas en caseríos aislados como Mucuchachí, San José de Acequias y Canaguá, dotando de luz y fuerza motriz a comunidades históricamente olvidadas.

El Turbo-Zam, un motor rotatorio de explosión que desafió las convenciones de la ingeniería automotriz, representa su obra más icónica que provocó el asombro de la comunidad científica y tecnológica. Con este motor demostró la simplicidad y el desafío a las adversidades, demostrando que mientras un motor convencional de la época requería de miles de piezas móviles complejas (válvulas, árboles de levas, pistones lineales, cigüeñales), el Turbo-Zam lograba una potencia equivalente a 200 caballos de fuerza utilizando únicamente entre 23 y 25 piezas.

El invento de don Luis, el Turbo-Zam, demostró de forma empírica un postulado filosófico que establece que "…la verdadera alta tecnología no radica en la hiper-complejidad inaccesible, sino en la síntesis elegante que maximiza la utilidad con el mínimo de recursos." (Klemp, K., 2020, p. 34).

Entre las invenciones claves de don Luis Zambrano que permitieron el auge de la tecnología popular

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

tenemos: en el área de energía e hidráulica a través de las turbinas de doble efecto de 4 salidas, microcentrales hidroeléctricas locales; en el área de mecánica industrial con el torno grande de 13 tipos de roscas de diferentes precisiones; en el área de sustentabilidad y transporte con la bicicleta moledora de granos, plantas de gas metano a partir de desechos orgánicos, teleféricos montacargas y en el área de procesamiento agrícola: la máquina clasificadora y cernidora de ajo (capacidad de 1.400 kg/h); peladoras de fresas y zanahorias; secadoras de café. Cada uno representó una respuesta a las necesidades de su pueblo y un aporte significativo al desarrollo y progreso de la región andina.

Sus otras invenciones, junto con las anteriormente nombradas, constituyen la manifestación del auge de la tecnología popular que representa "…un fenómeno endógeno donde actores de la propia comunidad, de acuerdo a sus potencialidades climáticas, físicas y geográficas, los niveles de formación técnica y recursos disponibles de diversa índole, buscan dar respuesta a los requerimientos de una comunidad" (Silva, 2020, p. 1), demostrando cómo alcanzar con criterios técnicos desde la experiencia, adecuados niveles de vida y confort, con elementos similares a las tecnologías apropiadas, permitiendo desde la adopción, reproducción, operación y mantenimiento de procesos con un alto nivel de adaptabilidad y precisión.

Don Luis Zambrano, la dimensión ecológica de su obra y su filosofía del aprender haciendo.

Mientras la ingeniería tradicional va de la teoría a la práctica, la tecnología popular de Zambrano hace el camino inverso: de la necesidad a la creación, y de allí a la teoría viva.

Su proceso cognitivo está ligado estrechamente al pensamiento lógico-mecánico con la intuición y una visión holística del cosmos, influenciada por lecturas variadas que iban desde Julio Verne hasta textos filosóficos y científicos (posteriormente leyó a Albert Einstein y Carlos Castaneda).

El modelo de innovación de Luis Zambrano se fundamenta en lo que hoy la pedagogía crítica denomina el diálogo de saberes y el aprender haciendo. Su taller en Bailadores no era un espacio hermético de propiedad intelectual; era un espacio de aprendizaje basado en la escuela abierta desde el contexto, el hacer y la experiencia. Zambrano enseñaba mecánica a los jóvenes de la zona bajo una premisa solidaria: "Si se accidentan en la carretera, tienen que saber resolver, no pueden quedarse varados esperando por el conocimiento de otro". Asimismo, su obra anticipó por décadas los debates contemporáneos sobre el desarrollo sustentable y la ecología política.

Zambrano vivió una época donde el desarrollo industrial no medía los impactos ambientales; sin embargo, sus soluciones operaban en perfecta sincronía con el ecosistema, porque Zambrano amaba la naturaleza, y vivió cerca de ella. Por esto, entre sus premisas tenemos:

- **El uso de energías limpias:** Aprovechaba el caudal de los ríos mediante el diseño de turbinas de eje axial nulo que no alteraban drásticamente el curso del agua ni destruían la biodiversidad fluvial.

- **Economía circular:** Generaba energías a partir de la descomposición de biocombustibles y gas metano a través de desechos orgánicos (chicha de desperdicios) o realizaba abono seco de alta calidad desde residuos sólidos.

- **Tecnología mediante el uso de la ingeniería inversa:** Construía máquinas a partir de chatarra industrial, reciclando componentes y resignificando la materia disponible, contribuyendo así a la soberanía tecnológica del país desde lo nacional y no desde la importación.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

La intersección de estas dos máximas de Don Luis Zambrano revela un modelo de generación de conocimiento profundamente arraigado en la epistemología de la praxis. Cuando Zambrano promulga “No espere saber pa' ponerse a hacer, póngase a hacer pa' poder saber”, desafía el intelectualismo pasivo e instaura el aprender haciendo no solo como método didáctico, sino como el único camino válido para desvelar el saber técnico y fenomenológico a través de la experiencia directa. Sin embargo, este ímpetu inicial del hacer para saber quedaría incompleto sin la salvaguarda de su segunda frase: “No deje que se le cierre la noche al mediodía”. Esta metáfora opera como un imperativo ético y metodológico de la constancia; es el recordatorio de que la investigación y la invención no son actos fortuitos, sino procesos sostenidos que exigen tenacidad para no claudicar a mitad de camino. Así, la filosofía de Zambrano se consolida como un ciclo vital donde la acción audaz abre la puerta al conocimiento, y la perseverancia inquebrantable con el cuidado del ecosistema garantiza su culminación y trascendencia de una forma sustentable y sostenible.

REFLEXIONES FINALES

Como investigadora, el estudiar la trayectoria de Zambrano como tecnólogo y protector del ecosistema nos obliga, como a todos los venezolanos y venezolanas que queremos a nuestro país, a descolonizar el concepto de “tecnología”. La técnica no puede seguir siendo entendida exclusivamente como el subproducto de los laboratorios corporativos o las patentes comerciales de las naciones industrializadas. La tecnología popular, expresada en su máxima pureza por Zambrano, demuestra que la inventiva está íntimamente ligada a la identidad, las necesidades humanas, la solidaridad comunitaria y la búsqueda de su bienestar social desde el saber popular.

En la Venezuela que deseamos, la búsqueda de la soberanía alimentaria, la independencia científica y la resistencia económica que son nuestros imperativos históricos, la figura de don Luis Zambrano se erige como un faro metodológico, una esperanza de que sí podemos y de que cada día somos más. Su pensamiento nos invita a institucionalizar la inventiva popular, a fusionar el rigor científico con el saber popular y recordar que el fin último de toda ciencia y tecnología debe ser, inequívocamente, la liberación y el bienestar colectivo de los pueblos.

A la luz del pensamiento de Zambrano, se hace evidente que los esquemas universitarios basados en la repetición y la hiperespecialización teórica limitan el potencial creativo del estudiante y descontextualizan su práctica social. Para revertir este desarraigo cultural y comunitario, la educación universitaria debe transformar sus estructuras curriculares. Esto implica reorientar la producción de conocimiento científico, validando e integrando activamente al saber popular como un motor legítimo para construir soluciones situadas y contextualizadas.

La dimensión ecológica de Zambrano ofrece una lección metodológica crucial para los modelos de desarrollo del siglo XXI. Frente a un modelo que históricamente ha externalizado sus costos ambientales, la tecnología aplicada por Luis Zambrano emerge como un testimonio de tecnoecología. Esta sensibilidad, nacida de su arraigo territorial y su crianza en estrecho vínculo con la naturaleza, demuestra que es posible generar soluciones energéticas y mecánicas con una huella de carbono neutral y un profundo sentido de pertinencia local. En consecuencia, la conclusión sobre el pensamiento ecológico de Zambrano implica reconocer que el futuro de la sustentabilidad no reside en la tecnología alienante, sino en el retorno a una ciencia situada que reconozca a la naturaleza no como un recurso a explotar, sino como la matriz relacional que sostiene la vida.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Colectivo Carabobo Libre. (2020). Tecnólogo Popular: Vida y Obra de Don Luis Zambrano. Valencia, Venezuela. https://ccarabobolibre.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/05/zambrano.pdf

Fundación Empresas Polar. (s.f.). Diccionario de Historia de Venezuela: Biografía de Luis Zambrano. Caracas, Venezuela. https://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/dhv/entradas/z/zambrano-luis/

Jotave. (2020). Don Luis Zambrano, el inventor popular más destacado de Venezuela. Radio Otilca. https://radio.otilca.org/don-luis-zambrano-el-inventor-popular-mas-destacado-de-venezuela/
Klemp, K. (2020). Dieter Rams: The Complete Works. Phaidon Press.

Márquez, T. (15 de agosto de 2023). Don Luis Zambrano entre la ciencia y el saber campesino. La Inventadera. https://lainventadera.com/2023/08/15/don-luis-zambrano-entre-la-ciencia-y-el-saber-campesino/

Silva, C. (2020). Luis Zambrano pionero de la Tecnología Popular. Scribd.
https://es.scribd.com/document/464054049/LUIS-ZAMBRANO-docx

Universidad de Los Andes. (1984). Discurso de otorgamiento del Doctorado Honoris Causa a Luis Zambrano. Archivo Histórico de la ULA, Mérida, Venezuela.

Depósito Legal: DC2016001554
ISSN 2542-3118

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para la
ENERGÍA ELÉCTRICA

FIDELZ
Fundación Instituto para el Desarrollo Energético Luis Zambrano

@fidelz_vzla

www.fidelz.mppee.gob.ve