Procedimiento para la desactivación y puesta en explotación de parques fotovoltaicos

Procedure for the decommissioning and commissioning of photovoltaic plants

Dayelin Ávila Lores [1]
https://orcid.org/0009-0001-0793-2201
Leider Inocencio Saraiba Núñez[2]
https://orcid.org/0000-0002-9267-4082
Gabriel Hernández Ramírez [3]
Autor para la correspondencia
danielbf8409@gmail.com
Universidad de Holguín, Cuba.

RESUMEN

La transición hacia fuentes renovables constituye un eje estratégico para enfrentar la crisis energética y ambiental contemporánea. En Cuba, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa prioritaria para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, persisten limitaciones metodológicas y prácticas en la fase de desactivación y puesta en explotación de parques solares, lo que afecta su vida útil y sostenibilidad. Este trabajo propone un procedimiento científico y práctico que integra procesos constructivos, tecnológicos y ambientales, orientado a optimizar la gestión de estas fases críticas. La investigación se apoya en métodos teóricos (histórico-lógico, inductivo-deductivo, sistémico-estructural) y estadísticos, aplicados al caso del Parque Fotovoltaico Corúa 5. Los resultados evidencian que una adecuada planificación y ejecución de la desactivación y puesta en explotación contribuye a prolongar la vida útil de los parques, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la competitividad organizacional en el sector energético. El aporte teórico está en la creación de un marco metodológico integral, mientras que el aporte práctico se refleja en la validación de un procedimiento que puede repetirse en proyectos similares.

Palabras clave: Parques fotovoltaicos, Desactivación y puesta en explotación, Vida útil, Competitividad organizacional, Eficiencia energética, Gestión de proyectos, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The transition to renewable sources is a strategic response to current energy and environmental crises. In Cuba, photovoltaic energy has become a priority alternative to diversify the energy

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

matrix and reduce fossil fuel dependence. However, methodological and practical limitations persist in the deactivation and commissioning phases of solar parks, affecting their lifespan and sustainability. This study proposes a scientific and practical procedure that integrates constructive, technological, and environmental processes, aimed at optimizing the management of these critical phases. The research applies theoretical methods (historical-logical, inductive-deductive, systemic-structural) and statistical approaches to the case of the Corúa 5 Photovoltaic Park. Results show that proper planning and execution of deactivation and commissioning contribute to extending the lifespan of solar parks, improving energy efficiency, and strengthening organizational competitiveness in the energy sector. The theoretical contribution lies in the creation of a comprehensive methodological framework, while the practical contribution is reflected in the validation of a procedure that can be repeated in similar projects.
Keywords: Photovoltaic Parks, Deactivation and commissioning, Lifespan, Organizational competitiveness, Energy efficiency, Project management, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética global y el colapso progresivo de los combustibles fósiles han impulsado a los países a buscar alternativas sostenibles que garanticen seguridad energética y reduzcan el impacto ambiental. En este contexto, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las fuentes renovables más relevantes, debido a su bajo costo marginal, su disponibilidad prácticamente ilimitada y su capacidad para contribuir a la descarbonización de los sistemas eléctricos (International Energy Agency [IEA], 2022).

En Cuba, la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado vulnerabilidades económicas y ambientales. Actualmente, cerca del 95% de la electricidad se produce a partir de hidrocarburos, lo que ha motivado la implementación de programas estratégicos para diversificar la matriz energética mediante el desarrollo de parques solares fotovoltaicos (Luukkanen et al., 2023). Estos proyectos no solo buscan reducir la dependencia de importaciones, sino también fortalecer la resiliencia del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) frente a crisis recurrentes de abastecimiento.

En Cuba, la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado vulnerabilidades económicas y ambientales. Actualmente, cerca del 95% de la electricidad se produce a partir de hidrocarburos, lo que ha motivado la implementación de programas estratégicos para diversificar la matriz energética mediante el desarrollo de parques solares fotovoltaicos (Luukkanen et al., 2023). Estos proyectos no solo buscan reducir la dependencia de importaciones, sino también fortalecer la resiliencia del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) frente a crisis recurrentes de abastecimiento.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La gestión integral de la tecnología solar fotovoltaica ha trascendido la clásica visión focalizada en la fase de inversión y montaje civil para convertirse en un campo de estudio multidisciplinario dentro de la administración de activos y la sostenibilidad organizacional. Tradicionalmente, la literatura científica ha priorizado el análisis del potencial de radiación y la eficiencia de conversión fotoeléctrica durante la operación nominal de los parques solares. Sin embargo, la teoría de la gestión del ciclo de vida útil (Life Cycle Management - LCM) sostiene que la rentabilidad real y la resiliencia operativa de estas infraestructuras se definen en los extremos de su horizonte temporal: las fases críticas de puesta en explotación y de desactivación parcial o total. Las insuficiencias en la planificación de estas etapas desencadenan fallas tempranas en los sistemas de conversión, degradaciones aceleradas en los módulos semiconductoras y cuellos de botella en la disposición final de los componentes, lo que empeora drásticamente el valor neto restablecido del proyecto y amenaza la estabilidad del suministro al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Desde la arista de la economía del conocimiento y la gobernanza organizacional, las empresas del sector energético enfrentan el desafío de articular marcos metodológicos estandarizados que sistematicen los flujos de información técnica, ambiental y de mantenimiento predictivo. En el contexto actual de las transiciones energéticas en economías en desarrollo o de insularidad crítica, la sustitución de combustibles fósiles mediante parques fotovoltaicos no solo busca mitigar la huella de carbono, sino también maximizar la autonomía financiera mediante la liberación de divisas. Para asegurar la sostenibilidad de este proceso, resulta imperativo superar el vacío metodológico existente en los procedimientos operativos vigentes, los cuales suelen carecer de protocolos integrados que conecten la ingeniería de montaje, las pruebas de puesta en marcha, la gestión de degradación de activos y las estrategias de economía circular para el reciclaje de módulos solares.

La perspectiva sistémico-estructural permite concebir un parque fotovoltaico no como un agregado de componentes estáticos, sino como un sistema dinámico complejo regulado por variables constructivas, meteorológicas y organizacionales. Bajo este enfoque, la fundamentación teórica de la presente investigación se apoya en tres pilares de conocimiento interconectados:

1. La ingeniería de puesta en explotación: Garantiza que los coeficientes de rendimiento (Performance Ratio) y los parámetros mecánicos se alineen con las curvas teóricas de diseño antes de la sincronización de la planta a la red.
2. La teoría del mantenimiento predictivo y monitoreo de la degradación: Articula herramientas diagnósticas para evaluar la obsolescencia física y la pérdida de capacidad de los paneles solares a lo largo del tiempo.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

3. La gestión ambiental estratégica y economía circular: Delimita el tratamiento de los pasivos ambientales durante la desactivación, asegurando la recuperación de materiales críticos y reduciendo el impacto ecológico territorial.

De este modo, la formulación de un procedimiento riguroso para la desactivación y puesta en explotación constituye una innovación directiva fundamental. Dicha propuesta proporciona a las instituciones del sector energético una capacidad metodológica auditable y replicable, orientada a prolongar la vida útil de los activos, optimizar los costos marginales de operación y consolidar la competitividad organizacional sobre bases científicas de sustentabilidad integral.

METODOLOGÍA

El diseño del procedimiento para la fase de desactivación y puesta en explotación de parques fotovoltaicos se fundamenta en un enfoque sistémico que integra dimensiones constructivas, tecnológicas y ambientales. La investigación se nutre de métodos teóricos y prácticos que posibilitan resolver el problema desde una perspectiva común**.**

En primer lugar, se aplicó el método histórico-lógico, que permitió analizar la evolución de las prácticas de gestión en proyectos fotovoltaicos, identificando las insuficiencias en la literatura y en la normativa vigente. Este análisis evidenció la necesidad de contar con un marco metodológico que garantice la prolongación de la vida útil de los parques solares (Aguilera-García et al., 2020).

El método inductivo-deductivo se utilizó para observar datos específicos sobre la fase de desactivación y puesta en explotación en el Parque Fotovoltaico Corúa 5, formulando hipótesis generales sobre su comportamiento. Posteriormente, estas hipótesis fueron contrastadas con datos empíricos, lo que permitió validar teorías existentes y generar nuevas propuestas aplicables a proyectos similares (Pérez, 2022).

El método sistémico-estructural fue esencial para comprender los parques fotovoltaicos como sistemas complejos, en los que interactúan variables técnicas, económicas y ambientales. Este enfoque permitió identificar factores críticos como la degradación de los módulos, la gestión de residuos y la planificación del ciclo de vida, integrándolos en un modelo predictivo que refleja las relaciones entre dichas variables (Rodríguez, 2023).

Finalmente, se emplearon métodos estadísticos para analizar los datos cuantitativos obtenidos durante la validación del procedimiento. Estos cálculos facilitaron la elaboración de tablas comparativas y la estimación de indicadores de eficiencia energética, lo que permitió comprobar la pertinencia del procedimiento propuesto.

La investigación se estructuró en tres fases:

- ✓ Pre-inversión, donde se definieron los parámetros técnicos y ambientales del proyecto.
- ✓ Ejecución, que incluyó la construcción, montaje y puesta en marcha de los equipos.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

- ✓ Desactivación y puesta en explotación, fase crítica en la que se aplicó el procedimiento diseñado, validando su impacto en la vida útil del parque y en la sostenibilidad organizacional.

Este enfoque metodológico garantiza que la propuesta no solo tenga rigor científico, sino también aplicabilidad práctica, ofreciendo una herramienta replicable para otros proyectos de energía renovable en Cuba y en la región. La siguiente figura muestra una vista panorámica del estado de las fases.

Figura 1

Vista panorámica del estado de las fases del procedimiento



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del procedimiento diseñado para la fase de desactivación y puesta en explotación del Parque Fotovoltaico Corúa 5 permitió identificar aportes significativos en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y competitividad organizacional.

En el plano económico, se constató que la correcta planificación de la puesta en explotación reduce los costos marginales de operación y mejora la rentabilidad del proyecto. La sustitución de combustibles fósiles por energía solar generada localmente contribuye a la liberación de divisas, lo que fortalece la estabilidad financiera del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y abre oportunidades para atraer inversión extranjera bajo esquemas de financiamiento sostenible (Torres, 2024).

Desde la perspectiva social, los resultados evidencian que la implementación de parques fotovoltaicos genera empleos calificados en operación y mantenimiento, lo que impulsa la formación de capital humano especializado en energías renovables. Además, la generación

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

distribuida mejora la resiliencia del servicio eléctrico, reduciendo la frecuencia y duración de los apagones que afectan directamente la calidad de vida de la población (Agenda Económica, 2025). En el ámbito ambiental, la puesta en explotación de los parques solares contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales, mitigando el impacto negativo de las centrales termoeléctricas obsoletas. Sin embargo, se identificaron desafíos asociados al uso del suelo y la biodiversidad, lo que exige una planificación rigurosa para evitar conflictos con áreas agrícolas y ecosistemas sensibles (SECIHTI, 2022).

La fase de desactivación, por su parte, reveló vacíos metodológicos en la gestión de residuos y en la planificación del ciclo de vida de los paneles solares. La incorporación de estrategias de reciclaje y rehabilitación de componentes se presenta como una necesidad urgente para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Este hallazgo coincide con investigaciones recientes que destacan la importancia de integrar prácticas de economía circular en proyectos fotovoltaicos (Morales, 2023).

En términos organizacionales, la validación del procedimiento demuestra que una gestión integral de estas fases críticas no solo prolonga la vida útil de los parques, sino que también fortalece la competitividad de las instituciones energéticas. La capacidad de anticipar escenarios de desactivación y optimizar la puesta en explotación se traduce en ventajas estratégicas que consolidan la resiliencia y sostenibilidad del sector.

La siguiente tabla muestra los hallazgos basados estrictamente en las dimensiones de análisis que evalúa tu procedimiento en el Parque Fotovoltaico Corúa 5.

Tabla 1

Matriz de impactos y aportes del procedimiento en el Parque Fotovoltaico Corúa 5

Dimensión de Análisis	**Resultados e Impactos Identificados en el Parque Corúa 5**	**Aporte a la Sostenibilidad y Competitividad Organizacional**
Económica	Reducción de los costos marginales de operación mediante una correcta planificación.	Mejora la rentabilidad del proyecto.
	Sustitución de combustibles fósiles por generación local.	Liberación de divisas y estabilidad financiera para el Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Dimensión de Análisis	Resultados e Impactos Identificados en el Parque Corúa 5	Aporte a la Sostenibilidad y Competitividad Organizacional
Social	Generación de empleos calificados en las fases de operación y mantenimiento.	Formación de capital humano especializado en fuentes renovables.
	Reducción de la frecuencia y duración de apagones por vía de la generación distribuida.	Elevación de la resiliencia del servicio eléctrico y de la calidad de vida de la población.
Ambiental	* Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.	Alineación directa con los objetivos nacionales de descarbonización.
	Mitigación de impactos negativos provenientes de termoeléctricas obsoletas.	Identificación de la necesidad de introducir estrategias de economía circular y reciclaje para paneles.
Organizacional	Articulación efectiva de los procesos constructivos, tecnológicos y ambientales en fases críticas.	Prolongación de la vida útil de los activos del parque solar.
	Capacidad institucional establecida para anticipar escenarios de desactivación.	Creación de ventajas estratégicas y resiliencia ante entornos de incertidumbre energética.

CONCLUSIONES

1. Aporte metodológico e integración del ciclo de vida: La investigación demostró que la desactivación y la puesta en explotación de parques fotovoltaicos no pueden gestionarse como eventos empíricos o aislados, sino como fases normadas e interconectadas dentro del ciclo de vida útil de las instalaciones solares. El procedimiento científico diseñado

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

resolvió las inconsistencias teóricas y vacíos prácticos identificados en la gestión tradicional de activos fotovoltaicos, logrando articular con rigor sistémico las variables constructivas, tecnológicas y ambientales. Este marco integral proporciona a la gestión de proyectos energéticos un protocolo auditable y replicable que garantiza transiciones operativas seguras, minimizando el desgaste temprano de los activos y asegurando la estabilidad en la sincronización a la red eléctrica.

2. Validación de la eficiencia técnica y sostenibilidad económica: La aplicación práctica del procedimiento en el Parque Fotovoltaico *Corúa 5* validó empíricamente la hipótesis de que una rigurosa planificación de las fases críticas impacta de manera directa en los indicadores financieros del proyecto. La optimización de la puesta en marcha permitió maximizar el rendimiento energético, reducir sustancialmente los costos marginales de operación y mitigar las paradas no programadas por fallas de montaje o parametrización. Económicamente, la generación local optimizada fomenta la sustitución efectiva de combustibles fósiles, constituyendo una vía estratégica para la liberación de divisas y el fortalecimiento de la sostenibilidad financiera del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).
3. Gobernanza ambiental y economía circular en el sector energético: Desde la perspectiva de la sustentabilidad ecológica, el trabajo aportó evidencias científicas sobre la urgencia de integrar estrategias de economía circular en la fase de desactivación de los componentes solares. Al anticipar los escenarios de degradación fotovoltaica y establecer normas para la gestión de residuos, el procedimiento reduce significativamente la huella ecológica del proyecto y previene la acumulación de pasivos ambientales. Esta dimensión sitúa a la infraestructura fotovoltaica en consonancia con los objetivos internacionales de descarbonización, asegurando que la sustitución de la matriz termoeléctrica se ejecute bajo criterios de mitigación ambiental holística.
4. Consolidación de la competitividad organizacional y el capital humano: En el marco de la administración estratégica, la implementación del procedimiento fortalece la capacidad de adaptación e innovación institucional de las entidades del sector energético. La estandarización de estos pasos operativos aumenta la resiliencia de la organización ante un entorno de crisis e incertidumbre y convierte el conocimiento técnico en un activo intangible de alto valor. Asimismo, el procedimiento promueve la formación continuada de capital humano altamente especializado en la gestión de tecnologías renovables, consolidando una ventaja competitiva sostenible que proyecta a la institución como un referente de eficiencia técnica y responsabilidad socioambiental.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera-García, J., Martos, O., Castillo, E., & Fuentefría, A. (2023). Análisis de la influencia del azimut y ángulo de inclinación en centrales fotovoltaicas de Cuba. *Ingeniería Energética, 44*(1), 65–72. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329175192007

Álvarez-Lima, J., León-Martínez, J. A., Morejón-Mesa, Y., & Pelegrín-Rodríguez, R. (2022). Factibilidad de la introducción de un sistema solar fotovoltaico en un agroecosistema lechero. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 31*(4). Recuperado de https://cu-id.com/2177/v31n4e03

Álvarez-García, A. (2024). Propuesta de instalación de sistema fotovoltaico en la Empresa de Productos Lácteos Villa Clara. *Tecnología Química, 44*(1), 197–213. Recuperado de https://n9.cl/d96g2

Fernández, M., Morales, J., Román, C., Quinchimba, E., Sánchez, D., & Carrera, Á. (2024). Sistema fotovoltaico: alternativa de energía renovable para la iluminación en la ruralidad. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, 66*, 78–92. Recuperado de https://search.proquest.com/openview/982852d2d1aad71735c986134715fcc3

Antúnez, E., Díaz, O., Rozas, L., & Fuentefría, A. (2024). Análisis del costo/beneficio para prosumidores de energía solar. *Ingeniería Energética, 45*(1), 15–24. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329177474002

Sousa-Sant'Anna, V., Ferrarez, A., Moraes, M., & Solano-Jiménez, J. (2021). The resilience of the electric sector after COVID-19 and the impacts on the photovoltaic solar energy market. *CienciAmérica, 10*(2), 46–65. https://doi.org/10.33210/ca.v10i2.365 (doi.org in Bing)

Carmin, E., Tarma, Y., Larrea, C., & Neri, A. (2023). Energía fotovoltaica para el mejoramiento de la eficiencia energética en hogares y edificios: RSL. *LLamkasun, 4*(2), 37–47. https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.123 (doi.org in Bing)

Pazmiño, I., Moreira, A., Intriago, J., Ponce, M., & Moreano, M. (2024). Análisis comparativo del potencial energético extraíble entre paneles fotovoltaicos fijos y con sistema de seguimiento de un eje instalados en la ULEAM. *Revista Técnica Energía, 20*(2). https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024 (doi.org in Bing)

Yaulilahua-Huacho, R., Sumarriva-Bustinza, L. A., Ramirez-Rosales, F. G., Mariño-Arroyo, J. B., & Quispealaya-Armas, L. (2025). Sistemas de energía fotovoltaica: Una revisión sistemática. *Revista Alfa, 9*(27), 31–50. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.393

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0