



Análisis de las Energías Limpias como Alternativa de Sostenibilidad en el Ámbito Militar para la Seguridad y Defensa Nacional

My. (EJC) Germán Antonio Morales Martínez

Artículo para optar al título profesional:

Magister en Seguridad y Defensa Nacionales

Escuela Superior de Guerra
“General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia
2025

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: My. (EJC) Germán Antonio Morales Martínez
Identificación	: 12202713
Programa académico	: Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Tutor metodológico	: Do. Juan Camilo Urazan Chinchilla
Tutor temático	: Do. Juan Carlos Salcedo Castro
Fecha de entrega	: 27-10-2025
Extensión	: 10675

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que esta monografía fue escrita de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Esta monografía es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentada para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza que esta monografía sea publicada por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

Análisis de las Energías Limpias como Alternativa de Sostenibilidad en el Ámbito Militar para la Seguridad y Defensa Nacional

Analysis of Clean Energy as a Sustainable Alternative in the Military Sphere for National Security and Defense

Germán Antonio Morales Martínez*
Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: En este artículo se estudia la incorporación de fuentes de energías limpias como alternativa de sostenibilidad para la Seguridad y defensa. Se comienza definiendo el concepto de energías limpias y su relevancia actual frente al cambio climático y la necesidad de desarrollo sostenible. Se presenta una clasificación de las principales energías renovables solar, eólica, hidroeléctrica de pequeña escala, biomasa y biocombustibles y geotérmica describiendo sus características técnicas y ventajas. A continuación, se analizan los criterios clave para implementar estas tecnologías en las Fuerzas Militares de Colombia, considerando la disponibilidad de recursos en distintas regiones, costos, mantenimiento, seguridad operacional y alineación con políticas nacionales. Finalmente, se evalúa el impacto operacional y logístico de migrar hacia energías limpias, destacando la mejora de la autonomía energética en operaciones remotas, la reducción de la huella ambiental de las operaciones y la sostenibilidad de la cadena logística. Se incluyen comparaciones con iniciativas de la OTAN y Estados Unidos donde el uso de renovables ha aumentado la eficacia y reducidos riesgos así como ejemplos específicos en Colombia, como la instalación de sistemas solares en bases militares por ejemplo Fuerte de Tolemaida y propuestas para dotar de energía limpia a estaciones fluviales (EMAF). Este análisis integral evidencia que la transición energética en el ámbito militar puede aportar beneficios estratégicos, económicos y ambientales, reforzando la autonomía operativa y el compromiso con la sostenibilidad.

Palabras clave: Adaptabilidad; Digitalización; Eficiencia; Logística; Modernización; Transformación.

Abstract:

This article studies the incorporation of clean energy sources as a sustainable alternative for security and defense. It begins by defining the concept of clean energies and their current relevance in the face of climate change and the need for sustainable development. A classification of the main renewable energies - solar, wind, small-scale hydroelectric, biomass (and biofuels) and geothermal - is presented, describing their technical characteristics and advantages. Next, the key criteria for

* Mayor (EJC)Candidato a magíster en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Administración de Empresas, Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en Política y Estrategia Marítima, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” Colombia. <https://orcid.org/0009-0007-3663-555X> - Contacto: roman.hoyos@armada.mil.co.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

implementing these technologies in the Colombian Military Forces are analyzed, considering the availability of resources in different regions, costs, maintenance, operational security and alignment with national policies. Finally, the operational and logistical impact of migrating to clean energy is evaluated, highlighting the improvement of energy autonomy in remote operations, the reduction of the environmental footprint of operations and the sustainability of the logistics chain. It includes comparisons with NATO and U.S. initiatives - where the use of renewables has increased efficiency and reduced risks - as well as specific examples in Colombia, such as the installation of solar systems in military bases (e.g. Fort Tolomaida) and proposals to provide clean energy to river stations (EMAF). This comprehensive analysis shows that energy transition in the military can bring strategic benefits for the military.

Keywords: Adaptability; Digitalization; Efficiency; Logistics; Modernization; Transformation.

[T1] Introducción

El mundo enfrenta actualmente desafíos críticos en materia energética y ambiental. El cambio climático, impulsado en gran medida por las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de combustibles fósiles, ha motivado a los Estados a replantear sus modelos de desarrollo en función de la sostenibilidad(Consuelo, 2024). Se estima que cerca del 75% de las emisiones globales provienen del sector energético, lo que ha llevado a que gobiernos, organizaciones multilaterales y sectores estratégicos, como el de defensa, impulsen la transición hacia fuentes limpias como prioridad para garantizar un futuro sustentable(International Energy Agency, 2021).

En este contexto, las Fuerzas Militares también han comenzado a reconocer la importancia de reducir su huella de carbono, mejorar su eficiencia energética y fortalecer su autonomía operativa mediante la adopción de energías renovables. Organismos internacionales como la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) han subrayado que las capacidades militares más eficaces del futuro serán aquellas que

incorporen criterios “verdes” en sus operaciones. La Alianza Atlántica, por ejemplo, se ha propuesto reducir sus emisiones en un 45% para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono en 2050, integrando la sostenibilidad como un eje estratégico de la seguridad (EFEverde, 2022).

En paralelo, países como Estados Unidos han liderado iniciativas dentro del sector defensa para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. El Departamento de Defensa de EE. UU., considerado el mayor consumidor institucional de petróleo en el mundo, se trazó el objetivo de que al menos el 25% de su energía provenga de fuentes renovables para 2025 (EnPowered, 2025). Esta decisión no responde únicamente a criterios ambientales, sino también a factores estratégicos: durante los conflictos en Irak y Afganistán, miles de soldados murieron protegiendo convoyes de combustible, lo que evidenció los altos riesgos logísticos asociados al petróleo. Experiencias como la del uso de paneles solares por parte de unidades de la Infantería de Marina en Afganistán permitieron reducir el consumo diario de diésel de 20 a 2,5 galones, minimizando la necesidad de reabastecimiento y la exposición al enemigo (Hargreaves, 2011). Además, tecnologías limpias como la iluminación LED, micro-redes inteligentes y biocombustibles han demostrado ventajas tácticas y estratégicas al mejorar la eficiencia, reducir la firma térmica y aumentar la autonomía en campo.

De la misma manera, Colombia, por su parte, ha demostrado compromiso con la sostenibilidad energética a través de políticas públicas que promueven las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), como la Ley 1715 de 2014 y el CONPES 3918 de 2018 (Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), 2014). La matriz energética del país es predominantemente limpia en 2020, el 68% de la capacidad instalada

provenía de hidroeléctricas y busca diversificarse con proyectos solares y eólicos (Consuelo, 2024). Sin embargo, el sector defensa colombiano apenas comienza a explorar estas tecnologías como parte de su proceso de modernización. Para ello, se ha formulado la siguiente pregunta de investigación: **¿Cuáles han sido las implicaciones de las Energías Limpias como Alternativa de sostenibilidad en el Ámbito Militar para la Seguridad y Defensa Nacional?**

En efecto, al incorporar energías limpias en las Fuerzas Militares de Colombia no solo representa una respuesta coherente con los compromisos ambientales del país, sino también una estrategia clave para fortalecer su independencia y autonomía operativa. En regiones apartadas donde el acceso a combustibles es costoso, difícil o incluso inseguro, las fuentes renovables pueden garantizar la continuidad de las operaciones sin depender de extensas cadenas de suministro. Esto no solo reduce los riesgos logísticos, sino que otorga mayor libertad táctica a las unidades desplegadas, al mismo tiempo que disminuye los costos operativos y el impacto ambiental.

De esta manera, las energías limpias se presentan como una oportunidad para transformar el modelo energético del sector defensa colombiano, promoviendo una Fuerza Pública más eficiente, resiliente y comprometida con el desarrollo sostenible. Experiencias internacionales como las de la OTAN y el Pentágono ofrecen modelos replicables que pueden adaptarse a las condiciones nacionales. Asimismo, casos recientes como la instalación de parques solares en bases militares colombianas muestran avances significativos, aunque todavía insuficientes.

Este capítulo se enfoca en analizar las fuentes de energía limpia más viables para su aplicación en el ámbito militar colombiano, los criterios para su implementación efectiva y los impactos esperados en términos logísticos, operativos y estratégicos. Se busca demostrar cómo esta transición energética no solo es técnicamente factible, si no necesaria para garantizar la sostenibilidad, la seguridad y la soberanía energética del país en el largo plazo.

[T1] Metodología

El diseño metodológico se basa en un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Esta metodología permite obtener una visión integral del fenómeno, considerando tanto la experiencia de los miembros de las Fuerzas Armadas como los aspectos técnicos y estratégicos asociados a la implementación de energías renovables en el ámbito militar.

La investigación se estructura bajo un diseño descriptivo y exploratorio, con el objetivo de analizar las actitudes, conocimientos y percepciones sobre las energías limpias dentro del sector defensa. Asimismo, busca identificar retos y oportunidades que surgen de su adopción. Siguiendo a Hernández y Fernández (2014), este diseño resulta idóneo para abordar fenómenos en desarrollo o poco explorados, proporcionando un marco analítico sólido para comprender su impacto en la seguridad y sostenibilidad nacional.

La población objeto del estudio está compuesta por miembros activos de las Fuerzas Armadas de Colombia, incluyendo personal del Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea, así como expertos en sostenibilidad y energía en el contexto militar. Para garantizar la representatividad de los datos, la muestra será seleccionada mediante un muestreo no

probabilístico, estableciendo criterios de inclusión como la experiencia en operaciones militares y el conocimiento sobre energías limpias(Hernandez et al., 2010).

A continuación, se presenta la **Tabla 1**, que resume el enfoque metodológico de la investigación.

Tabla 1. Enfoque Metodológico

OBJETIVO	ACTIVIDAD	HERRAMIENTA
Identificar las fuentes de energías limpias más adecuadas para su implementación en el ámbito militar y su impacto en la sostenibilidad de las operaciones estratégicas.	Revisión documental sobre energías limpias aplicadas en el ámbito militar a nivel global.	Revisión de literatura académica.
Describir las ventajas y desafíos de integrar energías limpias en las políticas de seguridad y defensa nacional.	Análisis de percepciones y experiencias sobre el uso de energías limpias en el contexto militar. Evaluación de casos de éxito en otros países.	Análisis documental de políticas energéticas y ambientales en defensa.
Proponer estrategias para la adopción de energías limpias en instalaciones y equipos militares, promoviendo la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental.	Análisis de datos recopilados y documentos técnicos. Identificación de barreras y oportunidades para la implementación de energías limpias en el sector defensa.	Análisis de datos cuantitativos y cualitativos. Elaboración de recomendaciones estratégicas.

Fuente: edición propia

Por lo tanto, este enfoque metodológico permitirá desarrollar un análisis integral sobre la viabilidad de las energías renovables en el sector militar, abordando tanto los beneficios como los desafíos de su implementación. La investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo de tipo descriptivo-documental, basado en la revisión de literatura académica, normativa, doctrinal y de casos prácticos de aplicación de energías limpias en el sector militar a nivel internacional y nacional. Este enfoque permite identificar tendencias, oportunidades y desafíos de la transición energética en defensa, sin recurrir a datos empíricos de campo.

[T1] Marco teórico

La adopción de energías limpias dentro del sector defensa colombiano debe comprenderse no solo como una decisión tecnológica o ambiental, sino como un proceso estratégico que se sustenta en marcos teóricos vinculados a la economía de la defensa, la seguridad ampliada y el arte operacional. Estas teorías permiten interpretar cómo la transición energética en las Fuerzas Militares contribuye simultáneamente a la eficiencia de los recursos, la autonomía operativa y la consolidación de capacidades sostenibles para la defensa nacional.

Economía de la defensa (Benoit, 1978)

Benoit (1978) plantea que la economía de la defensa busca optimizar la asignación de recursos destinados al sector militar, equilibrando la inversión en seguridad con el desarrollo nacional. En este sentido, la incorporación de energías renovables puede analizarse como una estrategia de eficiencia intertemporal, al reducir costos operativos (OPEX) mediante una inversión inicial (CAPEX) que genera ahorros sostenidos a largo plazo. Los contratos de compra de energía a largo plazo (*Power Purchase Agreements*, PPA) como el implementado en el Fuerte Militar de Tolemaida constituyen un ejemplo de esta lógica, donde la alianza con empresas especializadas permite al Ejército Nacional acceder a energía limpia sin comprometer recursos presupuestales inmediatos.

Desde esta perspectiva, las energías limpias fortalecen la sostenibilidad financiera y la eficiencia logística de las Fuerzas, liberando fondos que pueden ser reorientados hacia capacidades misionales esenciales. Así, la transición energética en defensa se convierte en

un componente de la gestión racional de recursos estratégicos, alineado con los principios de la economía de la defensa moderna.

Seguridad ampliada (Buzan & Wæver, 2003)

El enfoque de seguridad ampliada, desarrollado por Buzan y Wæver (2003), amplía el concepto tradicional de seguridad más allá del ámbito militar, integrando dimensiones políticas, económicas, sociales, medioambientales y energéticas. Bajo esta óptica, la seguridad energética se configura como un elemento fundamental para la estabilidad y soberanía de los Estados, especialmente en contextos donde la dependencia de combustibles fósiles puede convertirse en vulnerabilidad estratégica.

Aplicado al caso colombiano, este enfoque explica cómo las energías renovables fortalecen la resiliencia de las Fuerzas Armadas al reducir su dependencia de cadenas logísticas vulnerables, garantizando el suministro energético en escenarios de conflicto o aislamiento territorial. De igual modo, vincula la defensa nacional con la protección ambiental y climática, reconociendo que la preservación de los ecosistemas como los amazónicos y fluviales también es una forma de garantizar seguridad humana y estabilidad territorial. En síntesis, la seguridad ampliada permite comprender que la energía, el ambiente y la defensa conforman un mismo sistema interdependiente (Sisco & Chacón, 2004).

Arte operacional: medios–métodos–fines (Navajas, 2006)

El arte operacional, entendido como la capacidad de vincular los medios disponibles con los fines estratégicos mediante métodos adecuados (Navajas, 2006), ofrece un marco de interpretación para planificar y ejecutar la transición energética dentro del ámbito militar. Este enfoque propone que toda acción operativa debe integrar la lógica de medios–métodos–fines, garantizando coherencia entre los recursos empleados, los procedimientos utilizados y los objetivos institucionales perseguidos.

En este contexto, las energías limpias constituyen nuevos medios tecnológicos al servicio de fines estratégicos como la autonomía operativa, la sostenibilidad logística y la reducción del riesgo. Los métodos, por su parte, corresponden a la planificación, instalación y gestión de sistemas energéticos híbridos (solar, hidrocínético, biomasa), así como a la cooperación interinstitucional con actores civiles y privados (Urbano, 2021a). Finalmente, los fines se traducen en una mayor capacidad de maniobra, reducción de costos operativos y fortalecimiento de la legitimidad ambiental de la Fuerza Pública. Por tanto, desde el arte operacional, la transición energética en las Fuerzas Militares no es solo un componente técnico, sino una decisión estratégica integrada al planeamiento y conducción de operaciones, donde la energía se convierte en un multiplicador de poder y sostenibilidad (Navajas, 2006).

Introducción al concepto de energías limpias

El término energías limpias se refiere a aquellas fuentes de energía que producen poca o ninguna contaminación y emisiones de gases efecto invernadero, contribuyendo mínimamente al calentamiento global. En la práctica, suele usarse como sinónimo de energías renovables, entendidas como fuentes que se reabastecen naturalmente en plazos humanos y cuyo uso no agota los recursos. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente de México (2022), las alternativas energéticas sostenibles provienen de fuentes prácticamente inagotables que pueden regenerarse de forma natural una y otra vez. Estas incluyen la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, la biomasa y otras emergentes, todas caracterizadas por no utilizar combustibles fósiles y, por tanto, no emitir contaminantes en su generación eléctrica. En contraste, las fuentes convencionales principalmente petróleo, gas y carbón liberan dióxido de carbono (CO₂), material particulado y otros contaminantes al ser quemadas, impactando negativamente en la calidad del aire y el clima.

Mejora de la autonomía energética en operaciones remotas

Uno de los beneficios más inmediatos de incorporar energías renovables es la mayor autonomía que otorgan a las unidades desplegadas lejos de fuentes tradicionales de suministro. Históricamente, las operaciones militares han estado encadenadas al “tether of fuel” la atadura del combustible que condiciona cuánto tiempo y hasta dónde pueden operar las tropas sin reabastecimiento. Con energías limpias, parte de este cordón umbilical logístico se debilita, permitiendo mayor independencia (Bueno, 2021).

Un claro ejemplo ocurrió con las fuerzas de EE.UU. en Afganistán. Como se mencionó, los Marines del 3er Batallón 5° de Marines lograron reducir dramáticamente su consumo de combustible usando sistemas solares portátiles: de 20 galones de diésel diarios para sus generadores, pasaron a solo 2,5 galones(Chappell, 2011). Esta disminución de casi 90% significó que se requirieran muchos menos convoyes de abastecimiento de combustible a sus puestos avanzados. Dado que un porcentaje altísimo (se ha estimado en 80%) de los transportes logísticos en zona de guerra eran para llevar combustible, cualquier reducción en esa demanda se traduce en menos caravanas expuestas a emboscadas o explosivos improvisados(Hargreaves, 2011). De hecho, entre 2003 y 2007 más de 3.000 estadounidenses (soldados y contratistas) perdieron la vida protegiendo convoyes de combustible en Irak y Afganistán. Al mejorar la autonomía energética de las bases con renovables, se salvan potencialmente vidas al disminuir la frecuencia de misiones de reabastecimiento en entornos hostiles.

Desde la perspectiva de la seguridad energética entendida como la capacidad de un Estado para garantizar un suministro estable y sostenible de energía a sus estructuras críticas, la autonomía operativa constituye un factor estratégico esencial en contextos militares. En este sentido, la teoría de la resiliencia de sistemas críticos (Holling, 1973) explica que los sistemas capaces de absorber perturbaciones y mantener sus funciones esenciales son más sostenibles frente a amenazas externas. Aplicado al ámbito castrense, la incorporación de energías renovables en unidades desplegadas permite reducir la dependencia del denominado tether of fuel o atadura del combustible, que históricamente ha limitado el alcance y la duración de las operaciones. Las experiencias del Cuerpo de Marines de los Estados Unidos en Afganistán ilustran empíricamente esta noción: mediante sistemas solares portátiles, los

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

contingentes lograron disminuir su consumo de diésel de 20 a 2,5 galones diarios, reduciendo en casi un 90 % la necesidad de convoyes de reabastecimiento (Chappell, 2011). Desde la óptica teórica, este caso demuestra que la resiliencia energética basada en generación local, redundancia y diversificación de fuentes incrementa la capacidad de adaptación del sistema militar y disminuye los riesgos logísticos y humanos asociados a las líneas de suministro tradicionales, confirmando la estrecha relación entre sostenibilidad energética y eficacia operativa en la defensa moderna (Bueno, 2021).

Criterios para su implementación en el contexto militar colombiano

La adopción efectiva de energías limpias en las Fuerzas Militares de Colombia requiere analizar diversos criterios y factores de viabilidad. Cada fuente renovable tiene zonas óptimas de uso. Es fundamental mapear los recursos: irradiación solar (muy alta en La Guajira, Orinoquía; moderada en Andes con alta nubosidad en algunas regiones), vientos (fuertes en la costa Caribe, partes de los llanos), hidráulicos (ríos caudalosos en selva, saltos de agua en montañas), biomasa (residuos agrícolas en zonas rurales, bosques) y gradiente geotérmico (cinturón volcánico andino).

Las Fuerzas Militares cuentan con presencia en todo el territorio nacional, desde la Alta Guajira hasta la Amazonía, por lo que se pueden aprovechar las fortalezas regionales: por ejemplo, en bases de la FAC en Guajira y Caribe insular priorizar solar y eólica; en batallones de alta montaña de Nariño/Cauca evaluar micro-hidro o geotermia superficial; en Amazonas y Orinoco combinar solar con biomasa local; etc. Es importante realizar estudios técnicos previos (mediciones de viento, evaluaciones solares in-situ, estimación de caudales) antes de invertir en un sistema, para asegurar que rendirá lo esperado.

Si bien muchas tecnologías limpias implican una inversión inicial alta, suelen redundar en ahorros operativos a mediano plazo al evitar gasto en combustibles. En el contexto militar colombiano, los presupuestos son limitados y compiten con otras prioridades; por tanto, modelos de financiamiento innovadores son cruciales. Un modelo exitoso ha sido el de contratos de compra de energía a largo plazo con empresas especializadas (PPAs). El caso del Fuerte Militar de Tolemaida es ilustrativo: bajo un contrato PPA a 20 años con EPM, la empresa instaló la planta solar de 6,1 MW asumiendo inversión y mantenimiento, mientras el Ejército se compromete a comprar la energía producida.

En efecto, facilitó que la base obtuviera un 34% de su energía de fuente solar sin desembolsar capital upfront, liberando presupuesto para otras necesidades misionales. Al cabo de dos décadas, se estima un ahorro de más de 65 mil millones de pesos en costos de energía para el Ejército, gracias al menor precio del kWh solar frente al convencional. Siguiendo esta línea, se pueden buscar alianzas con empresas públicas (EPM, CELSIA, etc.) o incluso privadas para replicar esquemas similares en otras guarniciones. También existen fuentes de cooperación internacional por ejemplo fondos verdes, programas de OTAN para eficiencia energética que podrían cofinanciar proyectos piloto (EPM, 2025).

Cualquier solución energética debe encajar con las operaciones militares sin entorpecerlas. Por ejemplo, la instalación de paneles solares en techos de cuarteles o terrenos baldíos dentro de bases es relativamente sencilla y no afecta la funcionalidad de la unidad; en cambio, instalar un gran aerogenerador requiere considerar distancias de seguridad, por si colapsa, proyecta sombra, entre otros. y posible interferencia con radares o comunicaciones (los rotores pueden causar eco en radares) (Naranjo et al., 2021). En entornos tácticos, los

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

equipos renovables deben ser portátiles y resistentes: paneles flexibles que puedan guardarse rápidamente, turbinas pequeñas desmontables para transporte, baterías robustas frente a vibración y temperaturas extremas. Un criterio importante es la fiabilidad: las fuerzas armadas suelen requerir estándares más altos de robustez que instalaciones civiles. Cualquier sistema implementado deberá tener redundancias o un respaldo, por ejemplo, si se apuesta por energía solar en un puesto avanzado, mantener un generador de emergencia por si acaso varios días de lluvia merman la producción.

En el campo de la transición sociotécnica y la economía de la defensa, la adopción de energías limpias en las Fuerzas Militares de Colombia puede entenderse como un proceso de reconfiguración gradual de un sistema complejo, en el cual interactúan dimensiones tecnológicas, institucionales y financieras. Según el enfoque Multi-Level Perspective (MLP) propuesto por Geels (2002), las innovaciones energéticas surgen primero en *nichos* experimentales como los proyectos piloto en bases específicas que, ante presiones externas crisis climática, costos del combustible, compromisos internacionales de sostenibilidad, logran transformar el régimen dominante basado en combustibles fósiles. En el ámbito militar, estas transformaciones deben evaluarse bajo criterios de eficiencia intertemporal y sostenibilidad logística, principios centrales de la economía de la defensa (Benoit, 1978), donde la optimización de recursos energéticos fortalece la capacidad estratégica y reduce vulnerabilidades operativas.

Por otro lado, el caso del Fuerte Militar de Tolemaida, financiado mediante un contrato Power Purchase Agreement (PPA) con EPM, constituye un ejemplo práctico de cómo la articulación público–privada permite introducir innovación tecnológica sin afectar la liquidez presupuestal, generando ahorros acumulativos y autonomía energética. Asimismo, desde la teoría de la resiliencia de sistemas críticos (Holling, 1973), la diversificación energética solar, eólica, hidro, biomasa o geotermia aumenta la capacidad del sistema militar para mantener su operatividad frente a perturbaciones logísticas o ambientales. En síntesis, la adopción de fuentes renovables, más que una decisión técnica, representa una estrategia adaptativa dentro de la transición energética militar, sustentada en teorías que combinan resiliencia, eficiencia económica y sostenibilidad estructural del poder de defensa.

Casos aplicados: EMAF y Fuerte de Tolemaida

Es ilustrativo examinar casos concretos donde las energías limpias se han aplicado – o podrían aplicarse en el entorno militar colombiano, evidenciando en la práctica los puntos antes discutidos. Dos casos emblemáticos son las Estaciones Móviles de Apoyo Fluvial (EMAF) en los ríos amazónicos y el proyecto solar del Fuerte Militar de Tolemaida en Cundinamarca. A partir de los criterios técnicos, económicos y operativos expuestos, resulta pertinente examinar experiencias concretas que evidencian cómo la adopción de energías renovables se está materializando o podría hacerlo en el contexto militar colombiano. Los casos del Fuerte Militar de Tolemaida y de las Estaciones Móviles de Apoyo Fluvial (EMAF) constituyen ejemplos ilustrativos de dos escalas y entornos distintos: una base terrestre fija de gran envergadura y una plataforma fluvial móvil en la Amazonía. Ambos reflejan cómo

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

los principios de resiliencia de sistemas críticos, transición sociotécnica y gobernanza policéntrica pueden aplicarse en la práctica para fortalecer la seguridad energética institucional. La Tabla 2 sintetiza los elementos técnicos, beneficios estratégicos y fundamentos teóricos de estos casos, destacando su relevancia en la consolidación de una política energética militar sostenible y autónoma.

Tabla 2. *Aplicación de energías limpias en el entorno militar colombiano: casos Tolemaida y EMAF*

Caso / Escenario	Descripción técnica y operativa	Beneficios observados o esperados	Fundamento teórico aplicable	Fuente
Fuerte Militar de Tolemaida (Cundinamarca)	Parque solar inaugurado en marzo de 2025. Instalación de 10.530 paneles (6,11 MWp) con generación anual estimada en 8.600 MWh. Suministra 32–34 % del consumo eléctrico de la base mediante un contrato PPA a 20 años con EPM.	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro proyectado superior a \$65 mil millones en 20 años. Reducción de 116 mil toneladas de CO₂. Menor dependencia de la red comercial y fortalecimiento de la autonomía energética institucional. Transferencia tecnológica y replicabilidad en otras guarniciones. 	<p>Transición sociotécnica (Geels, 2002): Tolemaida actúa como nicho de innovación que impulsa el cambio hacia un nuevo régimen energético militar.</p> <p>Economía de la defensa (Benoit, 1978): optimización de recursos mediante eficiencia intertemporal (CAPEX ↔ OPEX).</p> <p>Resiliencia de sistemas críticos (Holling, 1973): capacidad de mantener operaciones esenciales ante interrupciones.</p>	Elaboración propia con base en EPM (2025); El Colombiano (2024).

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

<p>Estaciones Móviles de Apoyo Fluvial – EMAF (Amazonía y Orinoquía)</p>	<p>Plataformas logísticas flotantes de la Armada Nacional utilizadas para presencia estatal en ríos amazónicos. Actualmente dependen de generadores diésel; propuesta de hibridación con paneles solares, turbinas hidro cinéticas y baterías para autonomía energética.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa del consumo de combustible y de la necesidad de reabastecimiento fluvial/aéreo. • Disminución del ruido y la firma térmica (mayor sigilo y seguridad operativa). • Mejor calidad de vida de la tripulación y menor impacto ambiental. • Potencial de apoyo energético a comunidades ribereñas. 	<p>Resiliencia de sistemas críticos (Holling, 1973): diversificación de fuentes y redundancia energética frente a vulnerabilidades logísticas.</p> <p>Gobernanza policéntrica (Ostrom, 2010): cooperación Armada-empresas-comunidades en gestión sostenible de recursos.</p> <p>Difusión de innovaciones (Rogers, 2003): proyecto piloto que puede escalar a toda la flota fluvial.</p>	<p>Elaboración propia con base en Mantilla (2024); Consuelo (2024); Armada Nacional de Colombia (2025).</p>
---	--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia con base en EPM (2025); El Colombiano (2024); Mantilla (2024); Consuelo (2024); Armada Nacional de Colombia (2025).

En marzo de 2025 se puso en funcionamiento el primer parque solar a gran escala del Ejército Nacional, ubicado en la base de Tolemaida. Este sistema fotovoltaico cuenta con 10.530 paneles solares que suman 6,11 MWp de capacidad. Generará alrededor de 8.600 MWh al año, permitiendo sustituir aproximadamente 32–34% del consumo eléctrico de la instalación. Tolemaida alberga a unas 22.000 personas entre militares y sus familias, siendo una de las guarniciones más grandes del país. Con el proyecto solar, se estima una reducción de 116 mil toneladas de CO₂ en 20 años y un ahorro económico significativo (más de \$65 mil millones) por la energía más barata provista por el sol (EPM, 2025).

Del mismo modo, el esquema operativo, como mencionado, es mediante un contrato de largo plazo con EPM, lo que facilitó la inversión y transferencia tecnológica. Este caso

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

demuestra que las energías renovables ya son viables técnicamente y rentables en instalaciones militares colombianas de gran tamaño. Además de los beneficios ambientales y económicos, el Ejército obtiene mayor independencia de la red comercial y adquiere experiencia para futuros proyectos. Tras Tolemaida, se espera replicar la fórmula en otras bases: se habla de posibles parques solares para escuelas de formación y brigadas logísticas, así como iniciativas en la Policía Nacional. La Fuerza Aérea, por su parte, fue pionera en este camino antes de Tolemaida ya había implementado 11 sistemas solares en distintas bases aéreas a lo largo del país (Amazonas, Guajira, Casanare, etc.), en colaboración también con EPM.

Estos proyectos de la FAC evitarán la emisión de 73.889 toneladas de CO₂ a lo largo de su vida útil, reflejando el compromiso de la institución con la transición energética. En suma, el caso Tolemaida y las bases aéreas demuestran que en bases fijas hay un amplio potencial para energías limpias, con retornos tangibles en reducción de costos operativos y mejora de la sostenibilidad. A su vez, posicionan a las Fuerzas como un actor ejemplar en la agenda de energía verde del gobierno nacional(El Colombiano, 2024).

La Autonomía energética en río en las estaciones Móviles de Apoyo Fluvial (EMAF) son plataformas flotantes que la Armada Nacional utiliza como bases logísticas móviles en ríos de la Amazonía y Orinoquía. Tienen alojamientos, áreas de comando y servicios para el personal, permitiendo presencia estatal en zonas remotas navegables(Mantilla, 2024). Actualmente, su talón de Aquiles es la dependencia absoluta de generadores a combustión para electricidad, lo que implica llevar consigo grandes cantidades de combustible y ruido constante de motores. Como se analizó, una sola EMAF puede consumir cientos de galones

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

de diesel por cada misión, lo que no solo es costoso y complejo de reabastecer (a menudo vía fluvial o aérea), sino que genera un ruido que podría alertar a grupos ilegales en la zona(Consuelo, 2024).

En efecto, si se equipa una EMAF con una combinación de paneles solares en su cubierta, turbinas hidro cinéticas sumergidas aprovechando la corriente del río, y un banco de baterías, podríamos cubrir buena parte de sus demandas energéticas diarias de forma silenciosa y continua(Armada Nacional de Colombia, 2025). Durante las horas de sol, los paneles cargarían las baterías y darían energía a radios, refrigeración, iluminación y demás sistemas. Al mismo tiempo, las turbinas en el agua producirían electricidad día y noche mientras haya corriente. El generador diesel quedaría relegado a respaldo en caso de varios días muy nublados o de pico de demanda. Este concepto fue estudiado por investigadores militares, concluyendo que es técnicamente factible y altamente beneficioso: reduciría el consumo de combustible y por ende la necesidad de abastecimiento, que en la selva es logísticamente engorroso eliminaría gran parte del ruido y calor emitido, y mejoraría la seguridad operativa de la EMAF al hacerla menos detectable(Consuelo, 2024).

En concordancia, la propia tripulación vería mejorada su calidad de vida a bordo: menos vibración y ruido de motores redundan en mejor descanso y concentración. Desde un punto de vista ambiental, una EMAF verde tendría impacto prácticamente nulo en el río sin escapes de combustible ni gases de escape alineándose con la misión de proteger esos ecosistemas(Consuelo, 2024). Incluso, en un futuro, estas estaciones podrían servir de ejemplo para llevar energía a comunidades rivereñas: del mismo modo que la base de La Flor en Guajira comparte su energía solar con la comunidad para extraer agua potable, una EMAF

con excedente de energía podría cargar baterías para aldeas cercanas o bombear agua para ellas, integrando la labor de sostenimiento militar con desarrollo regional.

Si bien aún no se ha implementado un sistema así en las EMAF operacionales, se podrían realizar proyectos piloto. Por ejemplo, dotar una EMAF en el río Putumayo con 5 kW de paneles solares y una turbina fluvial de 3 kW, junto con baterías de litio, para evaluar su desempeño durante 6 meses. Los resultados probablemente mostrarían reducción sustancial de combustible. El éxito de esto abriría camino a reequipar el resto de la flotilla fluvial, haciendo a la Armada de Colombia posiblemente la primera en América Latina en tener bases fluviales autosuficientes con renovables.

En resumen, los casos de Tolemaida y las EMAF evidencian dos escalas y entornos distintos una base terrestre fija de gran escala y una base móvil fluvial – donde las energías limpias pueden marcar la diferencia. En Tolemaida ya es una realidad palpable: la base militar más grande del país funciona ahora con un tercio de energía solar, algo que era inédito en la historia del Ejército. En las EMAF, existe una oportunidad de innovación para el futuro cercano, que podría resolver limitaciones críticas de operaciones en la selva. Ambos casos confirman que las Fuerzas Militares cuentan con el ingenio y el apoyo para emprender su propia revolución energética limpia, aportando simultáneamente a la defensa nacional y al cuidado del medio ambiente.

Ventajas y Desafíos de Integrar Energías Limpias en las Políticas de Seguridad y Defensa Nacional

La incorporación de energías limpias en las políticas de seguridad y defensa nacional representa un cambio estratégico en la forma en que las Fuerzas Militares conciben su operatividad y sostenibilidad. En un contexto marcado por el cambio climático y la creciente vulnerabilidad de las cadenas logísticas dependientes de combustibles fósiles, las fuentes renovables se convierten en un recurso crítico para fortalecer la autonomía energética, reducir riesgos y optimizar el uso de los recursos estatales. Experiencias internacionales, como las implementadas por la OTAN y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, han demostrado que la transición hacia tecnologías limpias no solo contribuye a disminuir las emisiones contaminantes, sino que también se traduce en ventajas tácticas y estratégicas que incrementan la resiliencia de las operaciones militares en entornos complejos.

No obstante, la integración de energías renovables en el sector defensa también enfrenta desafíos significativos de carácter técnico, institucional y cultural. Las limitaciones presupuestales, la falta de normativas específicas y la resistencia organizacional derivada de la ausencia de formación especializada en sostenibilidad constituyen barreras que ralentizan el proceso de transición. Estos obstáculos, evidenciados en Colombia y en otras regiones de América Latina, muestran que la transición energética requiere no solo de voluntad política y recursos financieros, sino también de un cambio doctrinal que reconozca la sostenibilidad como un componente esencial de la seguridad nacional. En este escenario, resulta indispensable analizar de manera conjunta las ventajas y los retos, con el fin de trazar

estrategias efectivas que permitan a las Fuerzas Armadas avanzar hacia un modelo energético más eficiente, seguro y ambientalmente responsable.

Ventajas estratégicas y operativas

La integración de energías limpias en el ámbito militar constituye una ventaja estratégica de primer orden, en tanto se conecta directamente con el principio de seguridad energética, entendido como la capacidad de un Estado para garantizar el suministro estable, accesible y sostenible de energía a sus estructuras críticas, incluidas las Fuerzas Armadas. Desde la perspectiva de la teoría realista de la seguridad, la independencia energética representa una forma de reducir vulnerabilidades frente a amenazas externas y asegurar la continuidad operativa incluso en escenarios de conflicto. En este sentido, las energías renovables permiten que las fuerzas militares minimicen su dependencia de cadenas logísticas largas y riesgosas, generando autonomía en la toma de decisiones tácticas y estratégicas.

Un caso paradigmático se presentó en 2011, cuando el Cuerpo de Marines de Estados Unidos desplegado en Afganistán incorporó paneles solares portátiles en sus bases avanzadas. Esta innovación redujo el consumo de diésel de 20 a 2,5 galones diarios, lo cual disminuyó de manera significativa la necesidad de convoyes de reabastecimiento. De acuerdo con reportes del Departamento de Defensa de ese mismo año, cerca del 80 % de los transportes logísticos en las zonas de guerra se destinaban al combustible, lo que hacía de estas misiones un blanco frecuente de ataques insurgentes. La aplicación de energías limpias, por tanto, no solo aportó eficiencia operativa, sino que también salvó vidas al reducir la

exposición de tropas a emboscadas, confirmando la tesis de que la seguridad energética es un multiplicador de la seguridad militar.

En el contexto colombiano, la inauguración del parque solar en el Fuerte Militar de Tolemaida en marzo de 2025 constituye un ejemplo concreto de cómo la adopción de energías limpias fortalece la resiliencia logística y la eficiencia operativa. Este proyecto, resultado de un contrato PPA con Empresas Públicas de Medellín (EPM), instaló más de 10.000 paneles solares con una capacidad de 6,1 MW, cubriendo aproximadamente el 34 % de las necesidades energéticas de la guarnición más grande del país. La relevancia estratégica de este caso radica en que no solo se asegura una fuente estable y autónoma de energía, sino que se proyecta un ahorro de más de 65.000 millones de pesos en dos décadas, liberando recursos para otras áreas críticas de defensa (EPM, 2025). Además, la reducción de emisiones contaminantes se alinea con las tendencias de seguridad ambiental como dimensión complementaria de la seguridad nacional, reconocida por la teoría de la seguridad ampliada de Barry Buzan.

Tabla 3. *Ventajas estratégicas y operativas de integrar energías limpias en el sector defensa*

Categoría de ventaja	Descripción	Ejemplos y evidencias	Fundamento teórico
Independencia energética y resiliencia logística	Disminuye la dependencia de combustibles fósiles y cadenas de suministro vulnerables; aumenta autonomía en zonas remotas.	Afganistán 2011: Marines redujeron consumo de diésel de 20 a 2,5 galones diarios con paneles solares portátiles, disminuyendo convoyes de reabastecimiento.	Seguridad energética como dimensión de la seguridad nacional (Buzan, 1991); autonomía táctica según la teoría realista de la seguridad.
Reducción de costos operativos a largo plazo	Aunque la inversión inicial es alta, los ahorros acumulados en consumo de combustible y mantenimiento son significativos.	Tolemaida 2025: Planta solar de 6,1 MW instalada bajo contrato PPA con EPM; proyección de ahorro superior a 65.000 millones de pesos en 20 años.	Economía de defensa: eficiencia en la asignación de recursos escasos (Benoit, 1978); resiliencia financiera como componente de la seguridad integral.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Contribución a la seguridad ambiental	Disminuye emisiones contaminantes y reduce la huella ecológica de operaciones militares, fortaleciendo legitimidad institucional.	OTAN 2022: fijó meta de reducir 45 % de emisiones para 2030; Colombia 2024: FAC implementó 11 sistemas solares en distintas bases, evitando 73.889 toneladas de CO ₂ .	Seguridad ambiental como dimensión ampliada de la seguridad (Escuela de Copenhague, Buzan & Wæver, 2003); defensa como garante de sostenibilidad.
--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia con base: (Pino et al., 2014)

De esta manera, la independencia energética y la resiliencia logística derivadas de las energías limpias deben ser comprendidas como una estrategia integral en la defensa contemporánea. Desde el punto de vista operativo, estas tecnologías reducen costos a largo plazo, disminuyen la exposición a riesgos logísticos y permiten mayor autonomía en teatros de operaciones remotos. Desde la perspectiva teórica, refuerzan la noción de que la seguridad no se limita a lo militar convencional, sino que incluye la capacidad de garantizar sostenibilidad, eficiencia y adaptación frente a las dinámicas del entorno geopolítico y climático. Así, las experiencias de Afganistán en 2011 y de Tolemaida en 2025 evidencian que las energías limpias, lejos de ser un accesorio ambiental, son ya un elemento central en la configuración de las políticas de seguridad y defensa del siglo XXI (Cerdá et al., 2012).

Desafíos técnicos, institucionales y culturales

La adopción de energías limpias en el ámbito militar enfrenta desafíos técnicos y de infraestructura que limitan su plena implementación (United Nations, 2023). En Colombia, hacia 2023 aún persistían grandes vacíos en la dotación tecnológica de bases militares ubicadas en zonas rurales o apartadas, donde el acceso a redes eléctricas convencionales es intermitente o inexistente (Rincón & Castiblanco, 2021). La carencia de sistemas de almacenamiento robusto baterías de litio de alta capacidad o micro redes inteligentes ha dificultado garantizar un suministro constante en unidades móviles y fijas, especialmente en

entornos de selva o alta montaña. Este déficit de infraestructura evidencia que, aunque la geografía nacional ofrece un potencial sobresaliente para el aprovechamiento solar e hídrico, la falta de adaptación tecnológica en instalaciones militares sigue siendo un obstáculo significativo (Amórtegui, 2022).

Tabla 1. *Desafíos para la adopción de energías limpias en el sector defensa colombiano*

Categoría de desafío	Descripción	Ejemplos y evidencias
Técnicos e infraestructura	Carencia de sistemas adecuados de generación, almacenamiento y distribución en zonas rurales o apartadas. La geografía nacional ofrece alto potencial, pero falta infraestructura adaptada.	Bases rurales sin sistemas de respaldo energético confiables hacia 2023; limitaciones de microredes y baterías en unidades de selva y alta montaña.
Presupuestales y normativos	Altos costos iniciales de instalación de sistemas híbridos (solar-diésel, hidrocinéticos, baterías). Ausencia de un marco regulatorio que priorice la transición energética en defensa.	Lineamientos preliminares del Ministerio de Defensa en 2020 sin obligatoriedad; dificultades presupuestales frente a otras prioridades misionales; excepción positiva: contrato PPA con EPM en Tolomai 2025.
Organizacionales y culturales	Resistencia institucional por falta de formación especializada en sostenibilidad y percepción de que estas tecnologías afectan la operatividad.	En 2022, propuestas de sistemas solares en batallones de alta montaña fueron descartadas por considerarse poco prácticas; carencia de capacitación en energías limpias para mandos medios y altos.

Fuente: Elaboración propia con base en

En segundo lugar, existen limitaciones presupuestales y normativas que frenan el avance de la transición energética en defensa. Si bien el Ministerio de Defensa Nacional incluyó en 2020 lineamientos preliminares para explorar fuentes no convencionales de energía renovable, no se consolidó un marco normativo específico que obligara a las Fuerzas Militares a priorizar estas inversiones dentro de su planeación estratégica. Esta ausencia de regulación ha generado que la implementación de proyectos dependa más de voluntades institucionales o acuerdos particulares con empresas de energía, como ocurrió en el caso del

contrato PPA de Tolemaida en 2025, que fue más una excepción que una política sistemática. Además, los altos costos iniciales de instalación de sistemas híbridos (paneles solares con almacenamiento y respaldo diésel) han competido directamente con otras prioridades misionales del presupuesto de defensa, lo que reduce la velocidad de adopción.

Al mismo tiempo, se identifican resistencias organizacionales y culturales dentro de las Fuerzas Militares. La falta de formación especializada en sostenibilidad energética ha generado que algunos mandos perciban estas tecnologías como complementarias y no como un componente estratégico de la seguridad nacional. Este fenómeno se evidenció en 2022, cuando varias propuestas de implementación de sistemas solares en batallones de alta montaña fueron descartadas por considerar que los equipos podrían “entorpecer la operatividad” en condiciones extremas. Sin embargo, esta percepción responde a un déficit en capacitación técnica y doctrinal, más que a una limitación real de las tecnologías limpias. La transformación cultural hacia un “Ejército verde” requiere no solo de inversiones en equipos, sino también de la creación de una cultura institucional de sostenibilidad, en la que los conceptos de eficiencia energética y seguridad ambiental se integren en la formación de oficiales y suboficiales (Arcos, 2024).

Comparaciones internacionales: lecciones aprendidas de EE.UU., OTAN y América

Latina

La OTAN incorporó el clima como eje estratégico en 2021 con su Climate Change and Security Action Plan, y en la Cumbre de Madrid (junio–julio de 2022) fijó metas cuantificables: reducir al menos 45 % las emisiones para 2030 y alcanzar cero netos en 2050. En paralelo, desarrolló una metodología común para medir emisiones en estructuras políticas y militares, requisito para orientar inversiones y auditorías energéticas en bases aliadas(Gverdtsiteli, 2023). Estas decisiones encajan con la agenda de “seguridad energética” de la Alianza, que subraya que la resiliencia energética es condición de la disuasión y la defensa en todos los dominios.(NATO, 2021).

En el terreno operativo, la OTAN ha madurado su programa de Smart Energy con ejercicios multinacionales que prueban soluciones reales de micro redes híbridas con solar y eólica. En Capable Logistian 2015 (Hungría) se integró una microred PFISTERER que conectó dos generadores diésel (2×10 kW), una turbina eólica (5 kWp) y un remolque solar (5 kWp) para abastecer campamentos y puestos médicos, validando control de carga, reducción de consumo de combustible y continuidad ante fallas(Cameron, 2002). En 2019, el Smart Energy Training and Assessment Camp (SETAC) volvió a ensayar redes híbridas, fotovoltaica portátil, bancos de baterías y medición avanzada, con la lógica de cortar convoyes de reabastecimiento y huellas térmica/acústica. Estas prácticas operativas alimentan guías de mejores prácticas y estandarización dentro de la Alianza(Sánchez, 2024).

Existen, además, proyectos en bases europeas (aliados OTAN) que muestran adopción en instalaciones permanentes. En Reino Unido, RAF Marham opera desde 2019 con >95 % de su electricidad de biogás, lo que el Ministerio de Defensa estima en $\approx 14\,000$ tCO₂ menos/año y ahorros recurrentes; y RAF Leeming desarrolla el ViTAL Living Lab con renovables (solar y viento) y micro-grids para probar integración y control en una base aérea activa (Royal Air Force, 2024). En Alemania, la US Army Garrison Wiesbaden (fuerza aliada en territorio europeo) instaló fotovoltaica en 2022 para reducir consumo y costos (Castaño & García, 2020). En Francia, el Ministerio de las Fuerzas Armadas impulsa grandes parques solares en antiguos sitios militares, demostrando cómo el ecosistema de defensa también puede repotenciar la huella inmobiliaria hacia generación limpia a escala (Dickey, 2022).

La lección operativa es consistente: microredes con solar+baterías y generación distribuida elevan la resiliencia (operación insular ante cortes o ciberataques), reducen riesgo logístico (menos combustible, menos convoyes), y bajan costos del ciclo de vida, a la vez que contribuyen a los objetivos climáticos de la Alianza. Por eso, documentos técnicos de la OTAN y de centros asociados recomiendan escalar microgrids como “capacidad energética de combate”, no solo como medida ambiental (NATO, 2021).

Estrategias para la Adopción de Energías Limpias en el Sector Defensa

Colombiano

Lineamientos para la transición energética en instalaciones militares

El diagnóstico energético constituye el primer peldaño hacia la transición de las Fuerzas Militares colombianas hacia un modelo más sostenible y autónomo. A través de auditorías sistemáticas, es posible identificar los patrones de consumo, las pérdidas de eficiencia y las dependencias críticas de las instalaciones militares respecto a los combustibles fósiles. Sin este ejercicio inicial, cualquier inversión en energías limpias corre el riesgo de ser parcial o ineficaz, pues no estaría basada en datos verificables ni en una planeación estratégica integral. En términos de seguridad y defensa, estas auditorías se vinculan directamente con la noción de seguridad energética, entendida como la capacidad de garantizar un suministro estable y confiable de energía en condiciones normales y de crisis.

En el contexto colombiano, hacia el año 2023, múltiples bases militares en zonas rurales continuaban dependiendo de plantas de diésel para cubrir su demanda eléctrica, muchas de ellas sin registros completos ni sistemas de medición que permitieran un control preciso del gasto. Este escenario no solo implicaba altos costos operativos, sino también una exposición logística considerable, dado que el transporte de combustible hacia regiones apartadas como la Amazonía o la Orinoquía es vulnerable a factores climáticos, amenazas de grupos armados y dificultades de movilidad. La ausencia de un diagnóstico detallado significaba, en la práctica, que el Ejército y la Armada mantenían un modelo energético reactivo y no planificado, contrario a los principios de eficiencia y sostenibilidad que hoy demanda la doctrina militar moderna.

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ha demostrado un ejemplo de buenas prácticas al emprender auditorías energéticas en varias de sus bases, particularmente en La Guajira y el Amazonas, regiones donde la alta irradiación solar y la falta de interconexión eléctrica nacional representan condiciones ideales para el aprovechamiento de energías renovables(Alcívar et al., 2023). A partir de estas auditorías, se instalaron sistemas fotovoltaicos en once bases aéreas, con un potencial de reducción de emisiones estimado en 73.889 toneladas de CO₂ durante su vida útil. Esta experiencia muestra cómo el levantamiento de información técnica sobre consumos y potenciales renovables permite orientar la inversión hacia proyectos que no solo garantizan autonomía energética, sino que además liberan recursos económicos para otras necesidades misionales de la institución.

Desde una perspectiva teórica, la relevancia del diagnóstico energético se comprende a la luz de los postulados de la eficiencia logística, que resaltan la necesidad de minimizar vulnerabilidades en las cadenas de suministro. Reducir la dependencia de convoyes de combustible significa disminuir riesgos operativos, tal como lo evidenció el caso de Afganistán entre 2003 y 2011, cuando los convoyes de reabastecimiento se convirtieron en uno de los objetivos más vulnerables para los grupos insurgentes. Asimismo, la teoría de la seguridad ambiental como parte de la seguridad ampliada propuesta por Barry Buzan sostiene que la protección del entorno y el uso racional de los recursos naturales son dimensiones inseparables de la seguridad nacional(Sisco & Chacón, 2004). Bajo esta óptica, las auditorías energéticas no solo son un requisito técnico, sino un componente estratégico para garantizar la sostenibilidad de la defensa en el largo plazo.

Integración de criterios de sostenibilidad en la doctrina operativa

La integración de criterios de sostenibilidad en la doctrina operativa de las Fuerzas Militares de Colombia supone un cambio de paradigma en la forma en que se conciben las operaciones, al reconocer que la defensa nacional no puede desligarse de la protección del entorno y de la reducción de los impactos ambientales derivados de la actividad militar. Tradicionalmente, la doctrina militar se ha centrado en la eficacia táctica y en el cumplimiento de los objetivos estratégicos, pero los desafíos del siglo XXI exigen ampliar la mirada para incorporar variables ambientales y climáticas como factores determinantes de la seguridad. Esta visión se sustenta en la teoría de la seguridad ampliada, que plantea que el medio ambiente es un componente inseparable de la seguridad nacional, ya que su deterioro puede desencadenar conflictos, desplazar poblaciones y debilitar la legitimidad del Estado.

Un referente importante proviene de la OTAN, que desde 2022 incluyó lineamientos ambientales en sus manuales de operaciones y adoptó compromisos concretos como la reducción del 45 % de emisiones para 2030. Estos lineamientos han orientado a las fuerzas aliadas hacia prácticas sostenibles en logística, infraestructura y despliegues, promoviendo el uso de microredes, energías renovables y tecnologías limpias en el campo de operaciones. La experiencia de la OTAN demuestra que la sostenibilidad no es un añadido opcional, sino un criterio transversal que fortalece la capacidad militar, al tiempo que reduce vulnerabilidades asociadas al suministro de combustibles fósiles. Incorporar estas prácticas en la doctrina colombiana permitiría replicar aprendizajes y adaptar la experiencia internacional a la realidad geográfica y estratégica del país.

En el caso colombiano, la inclusión de criterios de sostenibilidad en la doctrina operativa tendría un doble impacto: fortalecer la eficiencia táctica y reforzar la legitimidad institucional frente a las comunidades donde operan las Fuerzas Armadas. En regiones sensibles como la Amazonía o la Orinoquía, donde la población local valora profundamente la conservación ambiental, la adopción de prácticas militares sostenibles enviaría un mensaje claro de coherencia entre la misión de seguridad y el compromiso con la protección del territorio. De igual forma, iniciativas como el parque solar de Tolemaida o los proyectos de autogeneración en bases de la Fuerza Aérea son ejemplos incipientes que podrían consolidarse en una doctrina verde institucionalizada, capaz de posicionar al sector defensa como actor clave en la agenda de sostenibilidad del Estado.

Propuesta de un modelo de gobernanza energética para el sector defensa

La propuesta de un modelo de gobernanza energética para el sector defensa debe construirse bajo la lógica de los medios, métodos y fines, en consonancia con la doctrina militar colombiana y los principios del arte operacional. En primer lugar, los medios se centran en los recursos disponibles para implementar la transición energética: infraestructura renovable (paneles solares, microredes híbridas, sistemas hidrocinéticos), alianzas público–privadas (como los contratos PPA firmados en Tolemaida en 2025) y la cooperación internacional (fondos OTAN, BID y programas bilaterales). Estos medios deben complementarse con la formación de personal especializado y con la disponibilidad normativa que facilite la integración de criterios de sostenibilidad en las adquisiciones y proyectos de infraestructura militar.

Tabla 2. *Modelo de gobernanza energética para el sector defensa colombiano*

Eje	Descripción	Ejemplos / Aplicaciones	Relación doctrinal y arte operacional
Medios	Recursos materiales, financieros y humanos disponibles para implementar la transición energética en defensa.	Paneles solares y microredes en bases (Tolemaida, 2025); turbinas hidrocinéticas en ríos amazónicos; contratos PPA con EPM o Celsia; cooperación OTAN y BID; formación de personal especializado en sostenibilidad.	Corresponde a la fase de determinación de recursos en el procedimiento de comando.
Métodos	Procesos y procedimientos para ejecutar el modelo de gobernanza energética.	Diagnóstico energético en bases rurales (2023); planificación territorial de proyectos según potencial (solar en La Guajira, biomasa en Orinoquía); pilotos en EMAF con energías limpias; auditorías periódicas de consumo.	Equivale a la fase de planeamiento, ejecución y control; integra criterios de sostenibilidad en la doctrina logística y operativa.
Fines / Estado final deseado	Resultado estratégico a alcanzar con la gobernanza energética.	Autonomía energética militar; reducción de costos operativos (>65.000 millones en 20 años en Tolemaida); disminución de emisiones de CO ₂ ; legitimidad institucional frente a comunidades locales.	Representa el estado final deseado en el arte operacional: Fuerzas Militares resilientes, sostenibles y coherentes con la seguridad ambiental(Gniesko, 2017).
Arte operacional	Enfoque que articula medios, métodos y fines como parte de una maniobra estratégica en el dominio energético.	Integración de líneas de esfuerzo: infraestructura, financiamiento, doctrina y legitimidad social.	Permite visualizar la transición energética como una operación estratégica que fortalece la seguridad y defensa nacional(Martínez, 2023).

Fuente:(Urbano, 2021b)

En cuanto a los métodos, el modelo de gobernanza energética se articula con el procedimiento de comando militar, que establece fases claras: diagnóstico de situación energética en cada unidad, planificación de proyectos según potencial regional (solar en La Guajira, biomasa en la Orinoquía, microhidro en Nariño), ejecución escalonada mediante pilotos replicables (como una EMAF equipada con energías renovables en el río Putumayo) y evaluación continua con métricas de eficiencia y reducción de emisiones. Bajo esta lógica, los métodos adoptan el rigor de la doctrina de planeamiento militar, garantizando que las

decisiones no dependan de iniciativas aisladas, sino que formen parte de un proceso sistemático y verificable(Espinel, 2021).

El fin último o estado final deseado es consolidar un sector defensa con autonomía energética, resiliente frente a amenazas logísticas y coherente con los compromisos nacionales e internacionales de sostenibilidad. Este estado final no solo implica una reducción tangible de la dependencia de combustibles fósiles y de los costos operativos, sino también la integración plena de la sostenibilidad ambiental como dimensión de la seguridad nacional. Una Fuerza Pública que logre garantizar su operación con energías limpias proyectará capacidad estratégica, legitimidad ante la sociedad y coherencia con la protección del medio ambiente.

Desde el arte operacional, la gobernanza energética se interpreta como una forma de alinear medios, métodos y fines en una maniobra estratégica que trasciende lo técnico. Así como las operaciones militares combinan líneas de esfuerzo para alcanzar un objetivo común, el modelo de gobernanza energética articula esfuerzos logísticos, tecnológicos y doctrinales hacia la victoria en un nuevo dominio: el energético(Navajas, 2006). Este enfoque permite visualizar la transición energética no solo como un programa de infraestructura, sino como una operación de gran escala que redefine la manera en que las Fuerzas Militares protegen al país. En este sentido, el arte operacional otorga coherencia entre los recursos energéticos empleados, los procesos institucionales y la meta estratégica de asegurar un sector defensa sostenible y eficiente en el siglo XXI.

Recomendaciones

Del análisis de los pasos y problemáticas identificadas en la implementación de energías limpias en el sector defensa colombiano, se derivan una serie de recomendaciones estratégicas. En primer lugar, resulta indispensable estandarizar auditorías energéticas en todas las guarniciones mediante lineamientos claros emitidos por el Ministerio de Defensa. Esto permitiría un diagnóstico integral y confiable de los patrones de consumo y necesidades reales de las Fuerzas Militares, evitando la improvisación y orientando de manera más eficiente las inversiones en transición energética.

En segundo lugar, se sugiere crear un programa piloto de microrredes híbridas en una Estación Móvil de Apoyo Fluvial (EMAF) en la Amazonía y en una brigada logística terrestre. Estos pilotos servirían como laboratorios de prueba para evaluar el desempeño real de tecnologías como paneles solares, turbinas hidrocinéticas y sistemas de almacenamiento en entornos operacionales diversos, permitiendo replicar posteriormente los resultados exitosos a mayor escala.

Asimismo, es fundamental institucionalizar la sostenibilidad dentro de la doctrina militar, incorporando módulos de transición energética en las escuelas de formación de oficiales y suboficiales. Esta medida no solo garantizaría la apropiación cultural del concepto de sostenibilidad en el sector defensa, sino que contribuiría a superar la resistencia organizacional detectada en algunos mandos frente al uso de energías limpias (Van & Parra, 2020).

En paralelo, se requiere consolidar un marco normativo específico que obligue a incluir energías limpias en toda nueva infraestructura militar, de modo que la transición no dependa exclusivamente de voluntades particulares o proyectos aislados como el de Tolemaida, sino que se convierta en un mandato de carácter institucional y sistemático. Para garantizar la viabilidad de estos proyectos, resulta también prioritario asegurar un esquema de financiamiento mixto. En este sentido, la experiencia del contrato PPA de Tolemaida puede replicarse en otras bases, complementándose con fuentes de cooperación internacional, como fondos de la OTAN, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y programas de Naciones Unidas (Resolución 1283, 2016).

La presente investigación realiza aportes significativos en tres niveles complementarios: académico, doctrinal y práctico-estratégico. En el plano académico, contribuye a llenar un vacío en la literatura nacional al analizar de forma sistemática la viabilidad de incorporar energías limpias en el ámbito militar, conectando experiencias internacionales como las de la OTAN y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el contexto colombiano. Esta integración ofrece una visión comparativa que fortalece la discusión sobre seguridad energética en defensa.

En el plano doctrinal, el trabajo plantea que la transición energética no debe ser tratada como un aspecto accesorio o meramente ambiental, sino como un elemento transversal que debe incorporarse en la doctrina logística y operativa de las Fuerzas Militares. La propuesta de incluir criterios de sostenibilidad en manuales y programas de formación constituye un aporte innovador que busca transformar la cultura institucional hacia un “Ejército verde”, coherente con los retos del siglo XXI (Parra, 2022).

En el plano práctico y estratégico, la investigación ofrece un modelo aplicable de gobernanza energética, basado en medios, métodos y fines, acompañado de pasos concretos de implementación y problemáticas identificadas. Al proponer soluciones como auditorías energéticas estandarizadas, pilotos en EMAF y brigadas logísticas, esquemas de financiamiento mixto y marcos normativos específicos, el estudio brinda insumos útiles para el diseño de políticas del Ministerio de Defensa y para los procesos de modernización de la ESDEG(Consuelo, 2024). En conjunto, estos aportes fortalecen la capacidad operativa de las Fuerzas Militares, incrementan su resiliencia y posicionan al sector defensa como un actor clave en la agenda nacional de sostenibilidad.

[T1] Conclusiones

El análisis realizado demuestra que la incorporación de energías limpias en el ámbito militar colombiano constituye no solo una alternativa viable, sino una necesidad estratégica para fortalecer la seguridad y defensa nacional en el siglo XXI. La transición hacia fuentes renovables, como la solar, eólica o hidrocinética, permite reducir la dependencia de combustibles fósiles, garantizar autonomía energética en escenarios remotos y disminuir los riesgos logísticos asociados al transporte de combustible, un factor históricamente vulnerable en operaciones militares. Ejemplos como el parque solar de Tolemaida inaugurado en marzo de 2025 y los sistemas fotovoltaicos implementados por la Fuerza Aérea en once de sus bases evidencian que la transición energética en defensa ya es técnicamente posible y económicamente rentable.

Asimismo, el estudio evidencia que la adopción de estas tecnologías ofrece ventajas operativas y económicas de largo plazo, al proyectar ahorros significativos en costos energéticos (más de 65.000 millones de pesos en Tolemaida a lo largo de dos décadas) y liberar recursos para otras áreas críticas de defensa. Estas experiencias reafirman que la sostenibilidad energética se articula directamente con la eficiencia logística y la resiliencia operativa, constituyendo un multiplicador estratégico para las Fuerzas Militares. En línea con la teoría de la seguridad ampliada de Barry Buzan, la seguridad ambiental se convierte en un eje fundamental de la seguridad nacional, al vincular la protección del entorno con la capacidad del Estado para defender su soberanía y legitimidad institucional.

No obstante, persisten desafíos técnicos, institucionales y culturales que deben superarse para consolidar esta transformación. Entre ellos destacan la falta de infraestructura en bases rurales, los altos costos iniciales de instalación, la ausencia de una normativa específica que priorice la transición energética en el sector defensa y la resistencia organizacional derivada de la carencia de formación especializada en sostenibilidad. Estos factores ralentizan el proceso y evidencian que la transición energética no depende únicamente de inversiones en tecnología, sino también de un cambio cultural y doctrinal que incorpore la sostenibilidad como un componente estructural en la planeación y ejecución de operaciones militares.

Las comparaciones internacionales con la OTAN y Estados Unidos permiten concluir que la transición energética en defensa no es un proceso aislado, sino parte de una tendencia global. La OTAN, con su *Climate Change and Security Action Plan* de 2021 y el compromiso de reducir 45 % de emisiones para 2030, ha institucionalizado la sostenibilidad como un eje estratégico de su doctrina. Estados Unidos, por su parte, ha demostrado con experiencias en

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Afganistán desde 2011 que el uso de energías limpias reduce significativamente la vulnerabilidad logística y salva vidas al disminuir la exposición de convoyes de combustible. Estas lecciones internacionales reafirman que la transición energética debe ser entendida como una capacidad de combate, no como un accesorio ambiental.

En este sentido, la propuesta de un modelo de gobernanza energética para el sector defensa colombiano, basado en la lógica de medios, métodos y fines, ofrece una ruta clara para avanzar en la consolidación de un Ejército y unas Fuerzas Armadas más sostenibles y resilientes. Este modelo, articulado al arte operacional y al procedimiento de comando, plantea diagnósticos energéticos, pilotos replicables como las EMAF en el Amazonas y alianzas público-privadas como las de Tolemaida, todo con miras a un estado final deseado: Fuerzas Militares con autonomía energética, reducción de emisiones y legitimidad reforzada frente a la sociedad.

El análisis teórico permite comprender que la incorporación de energías limpias en el ámbito militar colombiano no solo responde a una necesidad técnica o ambiental, sino que se enmarca en una transformación estratégica sustentada en tres pilares conceptuales. Desde la economía de la defensa (Benoit, 1978), la transición energética se interpreta como un mecanismo de eficiencia intertemporal que optimiza la asignación de recursos públicos, reduce costos operativos y fortalece la sostenibilidad financiera de las Fuerzas Militares. Bajo la perspectiva de la seguridad ampliada (Buzan & Wæver, 2003), la energía se consolida como un componente esencial de la seguridad nacional, donde la autonomía energética y la reducción de vulnerabilidades logísticas constituyen factores determinantes para la defensa y la estabilidad institucional. Finalmente, el arte operacional (Navajas, 2006) brinda el marco

metodológico para integrar la sostenibilidad dentro de la lógica de medios, métodos y fines, articulando la dimensión energética con la planificación y ejecución de operaciones.

En conclusión, la transición hacia energías limpias en el sector defensa colombiano no es únicamente una oportunidad técnica o económica, sino una obligación estratégica frente a los retos climáticos y de seguridad contemporáneos. La adopción de estas tecnologías fortalece la capacidad operativa, incrementa la eficiencia en el uso de recursos y posiciona a las Fuerzas Militares como actores coherentes con la agenda de sostenibilidad nacional e internacional. En consecuencia, el futuro de la defensa colombiana debe estar íntimamente ligado a la sostenibilidad energética, entendida como un factor central de la seguridad nacional, la resiliencia institucional y la legitimidad frente a las comunidades y el entorno que protege.

[T1] Referencias

- Alcívar, C. J. R., Loor, C. W. R., Vargas, Q. H. J., Quiñónez, G. E. F., & Gresely, S. F. A. (2023). Análisis del sistema de alumbrado público de tipo sodio, mercurio y led con paneles fotovoltaicos. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 333–341. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.606>
- Amórtegui, R. L. R. (2022). La seguridad energética y los intereses nacionales en el marco de la transición hacia energías renovables. *Estudios En Seguridad y Defensa*, 17(34), 285–305. <https://doi.org/10.25062/1900-8325.346>
- Arcos, P. (2024). Transformación energética para la seguridad energética de Colombia. . *ESDEG Repositorio Institucional*. <https://esdegrepositorio.edu.co/handle/20.500.14205/10983>
- Armada Nacional de Colombia. (2025). *Datos técnicos y noticias de prensa: patrulleras de apoyo fluvial (nodrizas) construidas por COTECMAR, comunicados y entrevistas oficiales*. <https://www.armada.mil.co/es/content/la-patrullera-de-apoyo-fluvial>
- Bueno, F. (2021). El Targeting como capacitador de las operaciones militares en OTAN. . *Revista Del Instituto Español De Estudios Estratégicos*, (15), 13–41. . <https://revista.ieee.es/article/view/2102>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Cameron, T. (2002). 2002: The year of the “diversity - Ecosystem function” debate. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 17, Issue 11). [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02618-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02618-6)
- Castaño, G. M., & García, R. J. J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas de Economía*, 93. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727>
- Cerdá, E., André, F. J., & De Castro, L. M. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83. <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6031>
- Chappell, B. (2011). *Solar-powered Marines see gains in Afghanistan*. NPR. <https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2011/01/17/133006575/solar-powered-marines-see-gains-in-afghanistan#:~:text=By%20using%20solar%20power%20and,according%20to%20a%20Marine%20report>
- Consuelo, M. M. (2024). Transición Energética, una apuesta para el Fortalecimiento de la Seguridad y Capacidad Operativa de las EMAF. *Revista Científica Anfibios*, 7(2), 76–84. <https://doi.org/10.37979/afb.2024v7n2.163>
- Dickey. (2022). *Garrison solar panel infrastructure supports energy demands and saves money*. U.S. Army. https://www.army.mil/article/254587/garrison_solar_panel_infrastructure_supports_energy_demands_and_saves_mone
- El Colombiano. (2024). *informa que EPM instaló un sistema solar en la base militar de La Flor, en la Alta Guajira, permitiendo la autogeneración de energía y el suministro de agua para 1.800 personas en la zona*. <https://www.elcolombiano.com/informes-comerciales/las-marcas-hablan/epm-instala-sistemas-solares-en-bases-militares-colombianas-BL25952524>
- EnPowered. (2025). *Combating climate change: How the US military is going green*. <https://enpowered.com/combating-climate-change-how-the-us-military-is-going-green/#:~:text=TL%3BDR>
- EPM. (2025). Inauguran el primer proyecto de energía solar para el Ejército Nacional. . *El Espectador*. . <https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-sistema-solar-ejercito-tolemaida/#:~:text=Medell%C3%ADn%20lunes%2017%20de%20marzo,del%20ambiente%20en%20el%20pa%C3%ADs>
- Espinel, B. J. R. (2021). Prospectiva de las operaciones navales. In *Arte operacional marítimo: una aproximación desde la Escuela Superior de Guerra* (pp. 273–313). Escuela Superior de Guerra. <https://doi.org/10.25062/9789584288981.08>
- Gniesko, C. I. (2017). Arte operacional: determinación del centro de gravedad. *Revista Visión Conjunta*, año 9(Nº 17).
- Gverdsiteli, G. (2023). Authoritarian environmentalism in Vietnam: The construction of climate change as a security threat. *Environmental Science and Policy*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.12.004>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Hargreaves. (2011). The military’s war on oil: Ambushes prompt military to cut energy use. .
CNNMoney.
https://money.cnn.com/2011/06/14/news/economy/military_energy_strategy/index.htm?iid=EL#:~:text=Over%20%2C000%20American%20soldiers%20or,the%20region%20are%20carrying%20fuel
- Hernandez, S. R., Fernandez, C. C., & Baptista. (2010). Hernandez R, Fernández C, Baptista M. Metodología de la investigación. 5ta Ed. México: McGraw Hill; 2010. *Metodología de La Investigación*.
- International Energy Agency. (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. IEA. "The energy sector is the source of around three-quarters of greenhouse gas emissions today."
- Mantilla, R. (2024). Optimización con un modelo IRP multiobjetivo de la cadena de suministro de perecederos para los fast food restaurant, caso RANSA en Bogotá D.C. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. U.
<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/603059f5-ee06-49ce-b27d-429ce6cabdc7/content>
- Martínez, P. M. G. (2023). Arte operacional. *Revista de Las Fuerzas Armadas*, 184.
<https://doi.org/10.25062/0120-0631.1488>
- Naranjo, S. H. S., Punina, G. D. J., & Morales, M. J. J. (2021). Energía solar en paradas de bus una aplicación moderna y vanguardista. *Revista InGenio*, 4(1).
<https://doi.org/10.18779/ingenio.v4i1.368>
- NATO. (2021). *Climate Change and Security Action Plan*. NATO.
https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_185174.htm?
- Navajas, R. (2006). El Arte Operacional y la Estrategia Conjunta. *REVISMAR*.
- Parra, L. (2022). Fuerzas Militares en la protección del medioambiente y en apoyo a la gobernanza ambiental en el Caquetá: Sistematización de la experiencia de la Burbuja Ambiental (2016-2019) . [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Pontificia Universidad Javeriana. <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/e42f8251-a028-4ad0-8c1f-1e73eaaca658/content>
- Pino, J., Alberto, J., & Chacón Marchena, H. D. (2014). Tecnologías aplicadas a la logística: DRP y TMS. *Repositorio Institucional UNAD*.
- Resolución 1283. (2016). Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1283-de-2016.pdf>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Rincón, V. N. Y., & Castiblanco, R. C. (2021). Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión. *Gestión y Ambiente*, 24(1).
<https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.98868>

Royal Air Force. (2024). *RAF Marham*. Royal Air Force. <https://www.raf.mod.uk/our-organisation/stations/raf-marham/>

Sánchez, P. S. (2024). Diseño e instalación de un sistema de placas fotovoltaicas para la optimización de la energía consumida en una nave industrial. *UPC Universitat Politècnica de Catalunya*.

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/401838/Resumen_CU181261_Dise%C3%B1o%20e%20instalaci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20de%20placas%20fotovoltaicas%20para%20la%20optimizaci%C3%B3n%20de%20la%20energ%C3%ADa%20consumida%20en%20una%20nave%20industrial.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Sisco, C., & Chacón, O. (2004). Barry Buzan y la teoría de los complejos de seguridad. *Revista Venezolana de Ciencia Política*, 25.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2014). Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014. *Ministerio Minas y Energía*.

United Nations. (2023). ¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas. *United Nations*.

Urbano, M. (2021). *La conjuntes del mando conjunto y el arte operacional*. .
<https://revista.esup.edu.pe/RESUP/article/view/126>

Van, H. B., & Parra, E. M. A. (2020). Gestión ambiental en el Ejército Nacional de Colombia: oportunidades y perspectivas desde la economía circular. In *Miradas de innovación, sostenibilidad y desarrollo en torno a la gestión ambiental en el Ejército Nacional de Colombia* (pp. 119–148). Escuela Militar de Cadetes Jose Maria Cordova.
<https://doi.org/10.21830/9789585318342.06>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia