ISBN: 978-970-96909-7-2

TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

FRANCISCO PÉREZ SOTO
ESTHER FIGUEROA HERNÁNDEZ
REBECA ALEJANDRA PÉREZ FIGUEROA
RAQUEL SALAZAR MORENO
EFRAÍN GARCÍA PALACIOS
IMELDA VARGAS ABASOLO
PABLO EMILIO ESCAMILLA GARCÍA



TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

FRANCISCO PÉREZ SOTO
ESTHER FIGUEROA HERNÁNDEZ
REBECA ALEJANDRA PÉREZ FIGUEROA
RAQUEL SALAZAR MORENO
EFRAÍN GARCÍA PALACIOS
IMELDA VARGAS ABASOLO
PABLO EMILIO ESCAMILLA GARCÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Tecnologías limpias para el medio ambiente
D.R. ©Universidad Autónoma Chapingo
Carretera México - Texcoco, km 38.5
Texcoco, Edo. de México, C.P. 56230
Tel.: 595 9521500, Ext. 5142
publicaciones@chapingo.mx
Primera edición, septiembre 2026
ISBN: 978-970-96909-7-2

Todos los trabajos de esta obra han sido arbitrados mediante el sistema de dictaminación a doble ciego por especialistas en la materia, miembros del Consejo Arbitral del Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo. Los dictámenes fueron favorables. Cada trabajo es responsabilidad exclusiva de sus autores y no necesariamente expresan los puntos de vista del CIEMA.

ÍNDICE

Capítulo I

Situación y perspectivas de la certificación de implementos y maquinaria agrícola en México
Alma Velia Ayala Garay, Esmeralda Marín Vázquez,
Cástulo Sánchez Hernández y Diana Evelyn García Lemus 14

Capítulo II

Producción y comercialización de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.) en México
Alma Velia Ayala Garay, Diana Evelyn García Lemus,
Enrique González Pérez y Esmeralda Marín Vázquez 29

Capítulo III

La percepción de los trabajadores sobre condiciones laborales y RSE en el sector hortícola de Baja California
Arturo Julián Arroyo Cossío, Daniela Yanine Rangel Acosta y
Angélica Lidia Sauceda Parra 45

Capítulo IV

Indicadores de Vollrath y Lafay para medir la competitividad del aguacate de México
Diego Francisco Cruz López, Ignacio Caamal Cauich y
Verna Gricel Pat Fernández 60

Capítulo V

El papel crítico de la sostenibilidad en la agricultura y los sistemas agroalimentarios: una revisión exhaustiva y el caso de productores locales en Guerrero, México
Pablo Emilio Escamilla García, Horacio Eliseo Alvarado Raya,
Claudia Carolina Caire Alfaro y Julieta Cabrera Segura 74

Capítulo VI

Las remesas familiares de América Latina y el Caribe, 2010-2024
Esther Figueroa Hernández, Francisco Pérez Soto y
Rebeca Alejandra Pérez Figueroa 91

Capítulo VII

Análisis del mercado vinícola en Chillán, Chile: estudio de consumidores, distribuidores y observación en puntos de venta para la viña Riveras del Chillán
Jorge Miguel Flores Suárez, Diana América Reyna Izaguirre,
Eduardo Valdez Hernández y Octavio Santiago Velasco 105

Capítulo VIII

Análisis económico de la producción de tomate rojo bajo el sistema de agricultura protegida en Guanajuato, México
J. Martín González Elías, Orsohe Ramírez Abarca,
Esther Figueroa Hernández y Ma. de Lourdes Pérez Zavala 122

Capítulo IX

Un análisis comparativo del Valle de Mexicali frente a la citricultura nacional, 2004-2024
Jonathan Hernández Pérez, Blanca Margarita Montiel Batalla
y Jimena Achiquen Millán 139

Capítulo X

Microplásticos en diferentes ecosistemas en Brasil: una revisión crítica
John Jairo Arévalo Hernández, Alexandra Santos Gracia e Silva,
Angela Dayana Barra Barrera de Brito y Marx Leandro Naves Silva 149

Capítulo XI

Circular economy: the use of solar energy as an alternative to reduce heat energy consumption in an alcohol distillation process
Arturo Ernesto Mares Gardea, Jarniel García Morales,
Ivetteh Virginia Medina Medina y Marisol Cervantes Bobadilla 162

Capítulo XII

Seguridad en tractores agrícolas: evaluación y propuesta de criterios para México
Esmeralda Marín Vázquez, Alma Velia Ayala Garay,
Marco Antonio Audelo Benítez y Cástulo Sánchez Hernández
.....171

Capítulo XIII

Análisis cuantitativo de la pobreza en Yucatán con base en ingresos familiares
Sergio Ernesto Medina Cuéllar, Aimee Arredondo Quintanilla,
Poleth Magaly Vargas Almaguer y Edmundo Jesús Hernández Hernández 182

Capítulo XIV

Caracterización de la exportación y balanza comercial del chile verde en México
Verna Gricel Pat Fernández, Ignacio Caamal Cauich
y Diego Francisco Cruz López 190

Capítulo XV

Importancia de las tecnologías limpias para el medio ambiente y la economía
Rebeca Alejandra Pérez Figueroa, Esther Figueroa Hernández y
Francisco Pérez Soto 204

Capítulo XVI

Inmigración de origen centro y sudamericano en Querétaro
Francisco Pérez Soto, Esther Figueroa Hernández,
Emilio López Gámez y Zurisadai Jiménez Rojas 217

Presentación:

En el presente tomo se publican los siguientes capítulos:

Situación y perspectivas de la certificación de implementos y maquinaria agrícola en México. Analiza el estado actual y los retos de la certificación de maquinaria agrícola en México, destacando la necesidad de fortalecer el marco normativo y la seguridad del operador para mejorar la competitividad del sector.

Producción y comercialización de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.) en México. En este capítulo se explora el panorama productivo y comercial del jitomate mexicano, enfatizando su importancia internacional y los desafíos derivados de cambios regulatorios en mercados clave.

La percepción de los trabajadores sobre condiciones laborales y RSE en el sector hortícola de Baja California. Se examina la percepción de los empleados sobre condiciones laborales y responsabilidad social en el sector hortícola de Baja California, identificando avances y áreas de mejora en la protección de derechos laborales.

Indicadores de Vollrath y Lafay para medir la competitividad del aguacate de México. Este estudio presenta un análisis de competitividad del aguacate mexicano mediante indicadores internacionales, mostrando su liderazgo exportador y nula dependencia comercial.

El papel crítico de la sostenibilidad en la agricultura y los sistemas agroalimentarios: una revisión exhaustiva y el caso de productores locales en Guerrero, México. Se ofrece una revisión sobre prácticas agrícolas sostenibles en Guerrero, resaltando innovaciones, desafíos y el potencial de tecnologías adaptadas a contextos locales.

Las remesas familiares de América Latina y el Caribe, 2010-2024. Este capítulo analiza el comportamiento y destino de las remesas en América Latina y el Caribe, mostrando su impacto en el desarrollo, la inclusión financiera y los desafíos de costos de envío.

Análisis del mercado vinícola en Chillán, Chile: estudio de consumidores, distribuidores y observación en puntos de venta para la viña Riveras del Chillán.Esta investigación caracteriza el mercado vinícola de Chillán, Chile, identificando preferencias de consumidores y oportunidades para fortalecer la presencia de vinos locales mediante estrategias de promoción segmentada.

Análisis económico de la producción de tomate rojo bajo el sistema de agricultura protegida en Guanajuato, México. Se evalúa la rentabilidad del cultivo de tomate rojo en invernaderos de alta tecnología en Guanajuato, evidenciando la viabilidad económica y los beneficios para los productores.

Capítulo XV

Rebeca Alejandra Pérez Figueroa[1], Esther Figueroa Hernández[2] y Francisco Pérez Soto[3]

Importancia de las tecnologías limpias para el medio ambiente y la economía

RESUMEN

En medio de una crisis climática global, las tecnologías limpias surgen como una de las soluciones más prometedoras para reducir la huella ambiental, transformar industrias y fomentar un desarrollo sostenible. También conocidas como cleantech o greentech, estas innovaciones están redefiniendo la forma en que se produce, consume y se convive con los recursos naturales.

La necesidad de transformar los sistemas energéticos globales se ha vuelto cada vez más urgente ante el crecimiento sostenido de la demanda, el avance de la electrificación y los crecientes impactos del cambio climático. Las energías renovables terrestres (como la solar y la eólica) han desempeñado un papel fundamental en la transición energética, pero enfrentan limitaciones asociadas a su intermitencia, la disponibilidad de espacio y la variabilidad climática. En este contexto, la energía solar espacial surge como una alternativa innovadora y de gran potencial, capaz de suministrar electricidad limpia de manera continua y a gran escala mediante el uso de satélites en órbita que capturan luz solar ininterrumpida y la transmiten de forma inalámbrica hacia la Tierra.

Este concepto, impulsado inicialmente desde mediados del siglo XX, ha recobrado fuerza gracias a los avances tecnológicos en el lanzamiento reutilizable, la manufactura modular, la transmisión inalámbrica de energía y el ensamblaje autónomo en órbita. Paralelamente, el renovado interés de gobiernos, instituciones internacionales y empresas privadas ha instaurado una nueva carrera espacial orientada no solo a la exploración, sino a la consolidación de una infraestructura energética global más segura, sostenible y equitativa. Frente a los desafíos que presentan las crisis climáticas, la volatilidad de los combustibles fósiles y las desigualdades en el acceso a la energía, la energía solar espacial

[1] Dra., Profesora-investigadora de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. e-mail: gricelpat@hotmail.com

[2] Dr., Profesor-investigador de la División de Ciencias Económico-Administrativas (DICEA) de la UACh. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. e -mail: icaamal82@yahoo.com.mx

[3] Dr., de la DICEA de la UACh. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. e -mail: diegof_cruzl@hotmail.com

se perfila como una de las soluciones más prometedoras para impulsar el desarrollo económico, fortalecer la seguridad energética y avanzar hacia una transición energética verdaderamente global.

Palabras clave: Tecnologías limpias, electrificación, energía solar espacial.

ABSTRACT

In the midst of a global climate crisis, clean technologies are emerging as one of the most promising solutions for reducing our environmental footprint, transforming industries, and fostering sustainable development. Also known as cleantech or greentech, these innovations are redefining how we produce, consume, and live with natural resources.

The need to transform global energy systems has become increasingly urgent in the face of sustained demand growth, advancing electrification, and the growing impacts of climate change. Terrestrial renewable energies (such as solar and wind) have played a fundamental role in the energy transition, but they face limitations related to their intermittency, space availability, and climate variability. In this context, space-based solar energy is emerging as an innovative and high-potential alternative, capable of supplying clean electricity continuously and on a large scale through the use of orbiting satellites that capture uninterrupted sunlight and transmit it wirelessly to Earth.

This concept, initially promoted in the mid-20th century, has regained momentum thanks to technological advances in reusable launch vehicles, modular manufacturing, wireless power transmission, and autonomous in-orbit assembly. Simultaneously, renewed interest from governments, international institutions, and private companies has ushered in a new space race focused not only on exploration but also on building a more secure, sustainable, and equitable global energy infrastructure. Faced with the challenges of climate change, the volatility of fossil fuels, and inequalities in energy access, space-based solar power is emerging as one of the most promising solutions for driving economic development, strengthening energy security, and advancing a truly global energy transition.

Keywords: Clean technologies, electrification, space-based solar power.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, tanto los gobiernos como las empresas y la ciudadanía son conscientes de la necesidad urgente de implementar tecnologías que respeten el medio ambiente. Desde la producción de energías renovables hasta la gestión inteligente de los desechos, las tecnologías limpias están generando nuevas oportunidades para enfrentar el cambio climático, optimizar recursos y avanzar hacia un futuro más sostenible. La energía solar, en particular, ha progresado más allá de los paneles fotovoltaicos tradicionales. Hoy en día existen alternativas como los paneles bifaciales, capaces de captar luz por ambos lados, y las tejas solares inteligentes, que se integran directamente en el diseño arquitectónico de las edificaciones (EUDE, 2025).

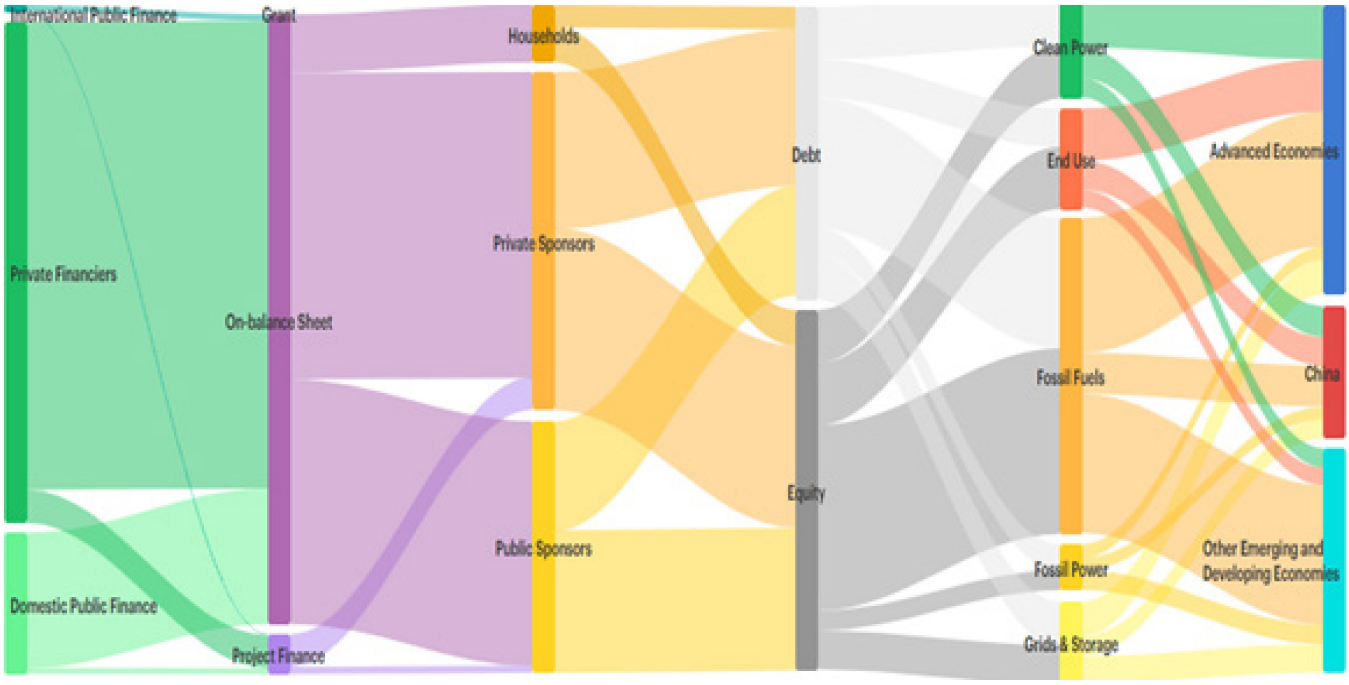
Las tecnologías limpias comprenden aquellos desarrollos e innovaciones que posibilitan la producción de bienes y servicios con un impacto ambiental menor, al reducir los niveles de contaminación y promover un uso más eficiente de los recursos naturales. En el escenario actual,

caracterizado por la crisis climática mundial y la necesidad urgente de mitigar los efectos del calentamiento global, estas soluciones tecnológicas adquieren un papel estratégico en la transformación de los sistemas productivos y energéticos (Cheng, Pérez & Cheng, 2025). Implementar tecnologías limpias se convierte así en un elemento fundamental para avanzar hacia modelos económicos más sostenibles y capaces de adaptarse a los desafíos ambientales (Holguín-Cedeño *et al*, 2025).

La inversión destinada a tecnologías limpias (incluyendo energías renovables, energía nuclear, redes eléctricas, sistemas de almacenamiento, combustibles de bajas emisiones, eficiencia energética y procesos de electrificación), se proyecta en alrededor de 2.2 billones de dólares durante este año. Esta cifra evidencia no solo los esfuerzos globales por disminuir las emisiones contaminantes, sino también la creciente influencia de las políticas industriales, las preocupaciones por la seguridad energética y la competitividad económica de las soluciones basadas en la electricidad. Asimismo, se estima que la inversión en petróleo, gas natural y carbón ascienda a 1.1 billones de dólares, según lo señalado por la Agencia Internacional de Energía [AIE], 2025).

El objetivo del trabajo consistió en analizar la importancia del uso tecnologías limpias para el cuidado del Medio ambiente y en la Economía.

Figura 1. Origen, flujos y destino del gasto mundial en inversión relacionada con la energía, en el Medio Ambiente, 2015-2024



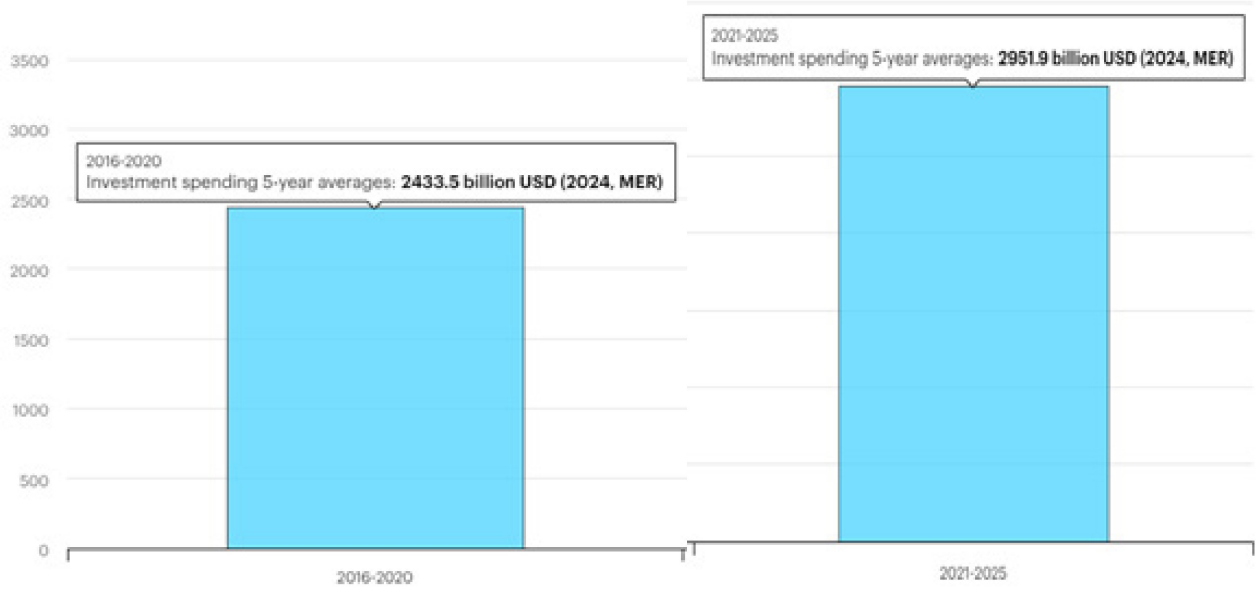
Fuente: Tomada de IEA, 2025.

La mayor parte de la inversión energética proviene de financiamiento comercial y es ejecutada por actores privados; sin embargo, las fuentes de recursos difieren significativamente según el tipo de tecnología y la región. En cuanto al consumo final, este contempla el gasto adicional destinado a la adquisición de equipos de alta eficiencia energética o de bajas emisiones en los

sectores de construcción, transporte e industria. Por su parte, la financiación pública nacional abarca la participación del Estado en empresas públicas y mixtas, así como subsidios, incentivos fiscales y recursos provenientes de bancos centrales. A nivel internacional, la financiación pública incluye el apoyo de instituciones financieras de desarrollo (IFD), fondos multilaterales para el clima (FMC), donantes gubernamentales, organizaciones filantrópicas y créditos oficiales a la exportación dirigidos a economías emergentes y en desarrollo, otorgados bajo los lineamientos del acuerdo de la OCDE (Figura 1).

En la actualidad, alrededor del 75% del financiamiento destinado a la inversión en el sector energético proviene de fuentes comerciales. No obstante, tanto los recursos públicos nacionales como los internacionales siguen desempeñando un papel relevante, cuya importancia varía significativamente entre regiones y distintos ámbitos del sector energético (AIE, 2025).

Figura 2. Inversión total en energía a nivel mundial, 2025



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE), 2025.

De la figura 2, se puede observar el comportamiento de la inversión total a nivel mundial del periodo de 2016-2020 a 2021-2025 aumento en alrededor de 518.4 billones de dólares.

Se estima que la inversión global en energía ascenderá a 3.3 billones de dólares para el año 2025. A pesar del contexto marcado por fuertes tensiones geopolíticas y un panorama económico incierto, las tecnologías de energía limpia se perfilan para captar el doble de recursos en comparación con los combustibles fósiles. En este escenario, China se posiciona como el principal inversor energético a nivel mundial, mientras que la energía solar fotovoltaica continúa destacándose como la tecnología que más capital atrae, según lo reportado por la AIE (2025).

Para avanzar hacia la sostenibilidad industrial, no basta con que cada actor actúe de manera aislada. La transición hacia fuentes de energía más limpias no depende únicamente de tecnologías maduras y ya disponibles en el mercado; implica, más bien, un cambio profundo en la manera de

concebir la colaboración. Esto requiere nuevos modelos de cooperación, alianzas estratégicas y visiones compartidas a lo largo de toda la cadena de valor vinculada a la electrificación. En este proceso, las industrias se ven obligadas a modernizar sus patrones de consumo energético mediante la electrificación, la cual demanda establecer vínculos con instituciones financieras para superar las barreras económicas, así como generar alianzas innovadoras con empresas de servicios públicos que trasciendan las funciones tradicionales de estas entidades (FEM, 2024).

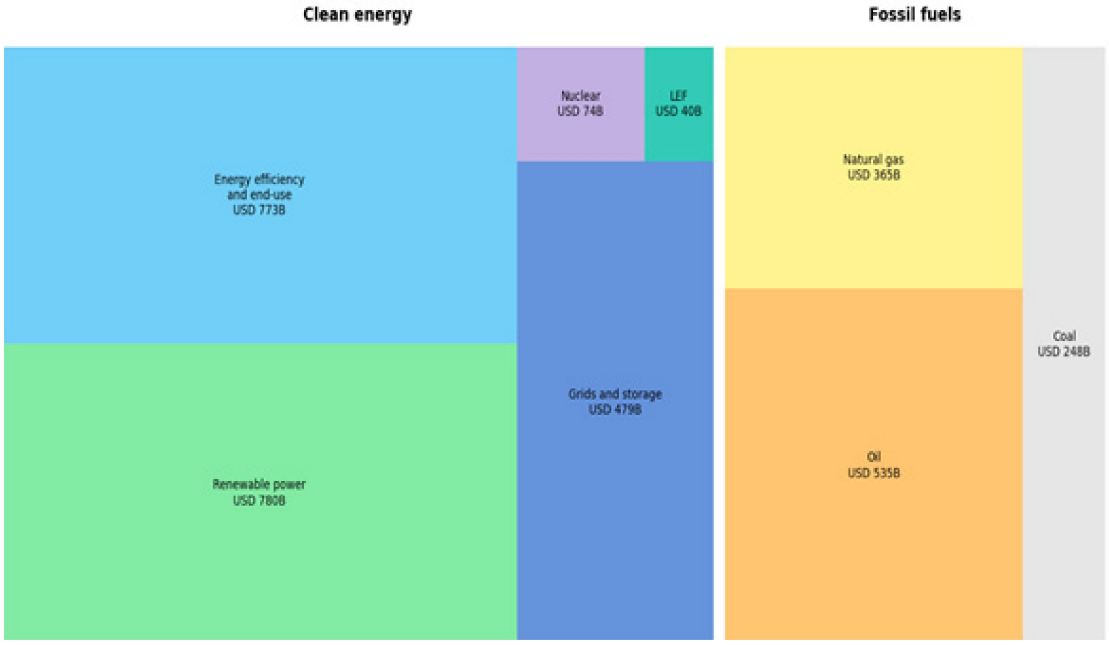
Pese a las tensiones geopolíticas y a la incertidumbre económica, se prevé que el sector energético recibirá 3.3 billones de dólares en inversión para el año 2025, lo que representa un aumento real del 2.0% respecto a 2024, según la AIE. De este monto, 2.2 billones de dólares se destinarán a energías renovables, energía nuclear, redes eléctricas, sistemas de almacenamiento, combustibles de bajas emisiones, eficiencia energética y procesos de electrificación. Esta cifra es el doble de los 1.1 billones de dólares asignados al petróleo, el gas natural y el carbón. Aun cuando persisten dudas en el ámbito económico y comercial (lo que ha llevado a algunos inversionistas a adoptar una postura más cautelosa frente a la aprobación de nuevos proyectos), hasta el momento no se han observado impactos relevantes en la inversión destinada a iniciativas ya en desarrollo. Durante los últimos cinco años, la inversión en la transición energética ha mostrado un crecimiento acelerado, inicialmente impulsado por los programas de recuperación tras la pandemia y posteriormente sostenido por factores económicos, tecnológicos, industriales y de seguridad energética. Este comportamiento, más allá de las políticas climáticas, destaca la fortaleza del avance global en la adopción de tecnologías limpias (*Energy Insights*, S.F).

Aproximadamente el 70.0% del incremento en la inversión provino de naciones que dependen de la importación de combustibles fósiles y que buscan diversificar sus fuentes energéticas. China lideró este aumento, impulsada por su intención de reducir la dependencia del petróleo y gas externos y fortalecer su posición en el desarrollo de tecnologías emergentes. Europa, por su parte, incrementó sus recursos destinados a energías renovables y eficiencia energética como respuesta directa a la invasión rusa de Ucrania y a la disminución en el suministro de gas. En India, también se registró un avance destacado en la inversión solar. Asimismo, Estados Unidos aportó cerca del 20.0% del crecimiento total, en un contexto donde sus políticas energéticas buscan contrarrestar el dominio chino en las cadenas globales de suministro de tecnologías limpias. Si bien la reducción de emisiones es un incentivo relevante para invertir, no siempre constituye el factor principal. La creciente madurez tecnológica y la competitividad en costos de estas soluciones evidencian la existencia de un fundamento estructural sólido que impulsa su adopción y acelera la transición global hacia energías más limpias (*Energy Insights*, S.F).

La transición hacia lo que la AIE denomina la “Era de la Electricidad” está generando un incremento notable en las inversiones, impulsado por el aumento de la demanda en sectores como la industria, la climatización, la movilidad eléctrica, los centros de datos y la inteligencia artificial. Una década atrás, el capital destinado a los combustibles fósiles superaba en un 30% a la inversión en generación eléctrica, redes y sistemas de almacenamiento. Hoy esta relación se ha invertido: para 2025, la inversión en el sector eléctrico alcanzará 1.5 billones de dólares, cifra que supera

en un 50% la destinada al petróleo, gas natural y carbón, marcando un cambio estructural en la configuración de la matriz energética mundial. Paralelamente, la electrificación de los usos finales continúa expandiéndose, apoyada por la reducción de los costos de los vehículos eléctricos. Este fenómeno es especialmente evidente en China, donde numerosos modelos ya compiten en precio con los automóviles de combustión interna, lo que refleja un avance significativo de la electromovilidad en apenas cinco años (*Energy Insights*, S.F).

Figura 3. Desglose de la inversión en energías limpias y combustibles fósiles por subsector, 2025

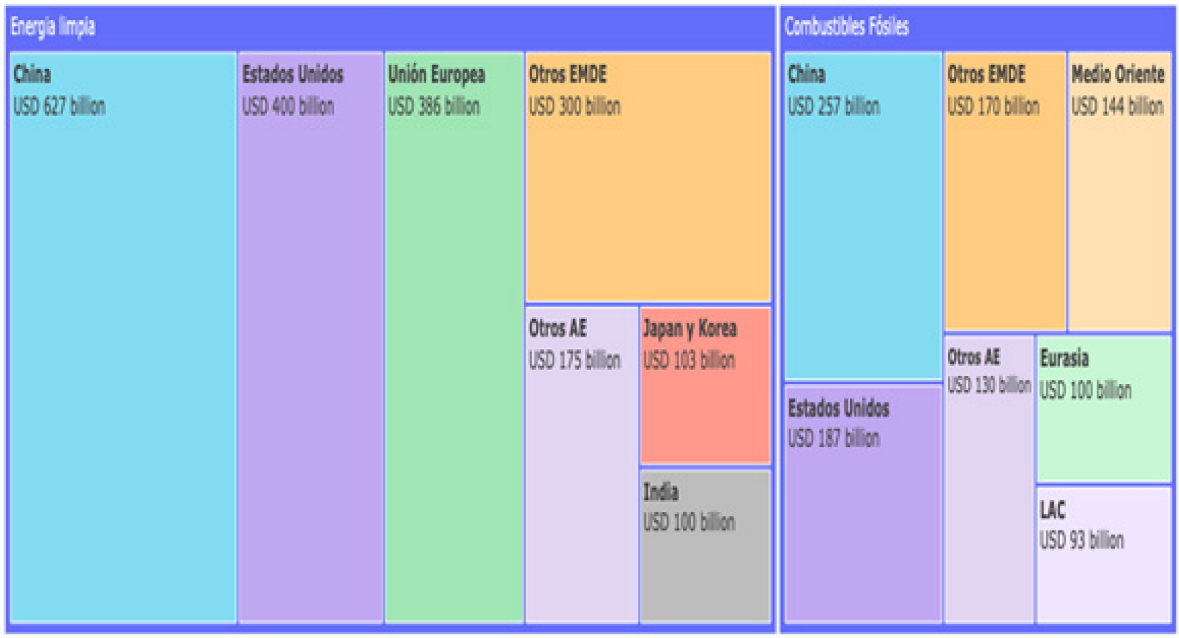


Fuente: Elaborada con información de IEA, 2025b.

De la figura 3, se puede observar que la inversión en energias limpias por subsector para 2025 ocupa la mayor proporcion que para el caso de los combustibles fosiles.

Las tendencias de inversión están siendo adaptadas por el inicio de la "Era de la Electricidad" y el rápido aumento de la demanda de electricidad para la industria, la refrigeración, la movilidad eléctrica, los centros de datos y la inteligencia artificial (IA). Hace diez años, las inversiones en el suministro de combustibles fósiles eran de 30.0% más altas que las de generación, redes y almacenamiento de electricidad. Hoy, estas posiciones se han invertido. Se espera que la inversión en el sector eléctrico alcance los 1.5 billones de dólares en 2025, aproximadamente el 50.0% más que la cantidad total que se gasta en llevar petróleo, gas natural y carbón al mercado. También hay un aumento del gasto en la electrificación de los usos finales, lo que refleja en gran medida el costo adicional de comprar un vehículo eléctrico (VE) frente a un modelo de motor de combustión interna, a pesar de que muchos modelos de VE que se venden en China, el mercado líder en ventas, ahora son competitivos desde el principio con sus equivalentes convencionales (Banca y Negocios, 2025).

Figura 4. Comparación de inversión en energía limpia e inversión en combustibles fósiles por región, 2025

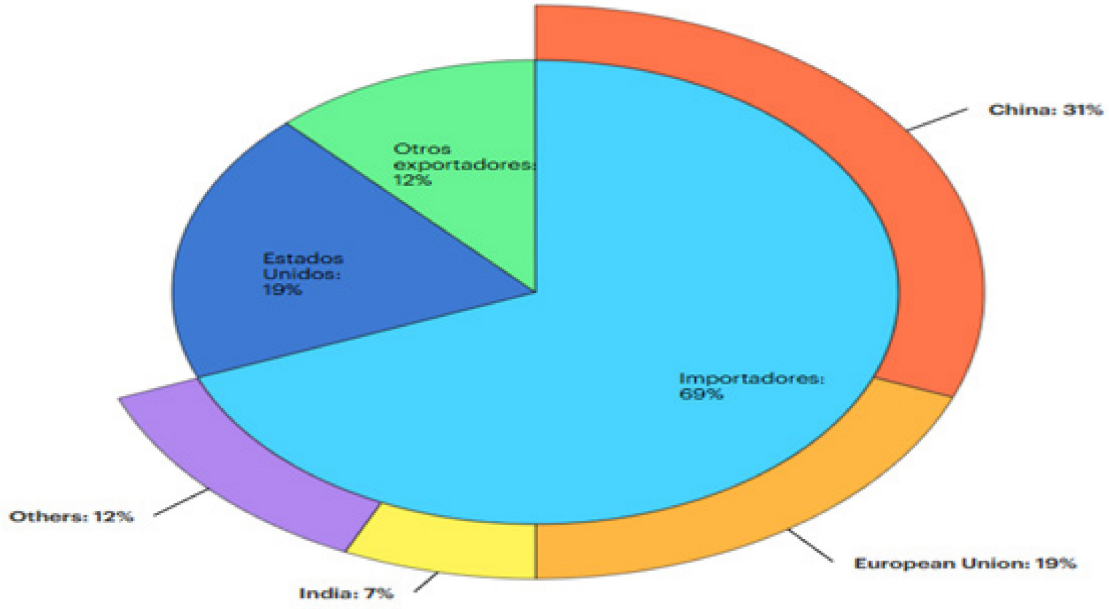


Fuente: Elaborada con información de IEA, 2025b.

Para el caso de la inversión en energía limpia e inversión en combustibles fósiles por región pasa lo mismo, donde China ocupa el primer lugar en inversión en energías limpias (627 billones de USD), el segundo sitio Estados Unidos (400 billones de USD), le sigue la Unión Europea (386 billones de USD), y la inversión en combustibles fósiles por países es menor (Figura 4).

La inversión destinada a la generación de energía con bajas emisiones casi se ha duplicado en los últimos cinco años, con la energía solar fotovoltaica posicionándose como el principal motor de este crecimiento. Se proyecta que en 2025 la inversión global en energía solar (tanto en instalaciones a gran escala como en sistemas residenciales) alcance los 450 mil millones de dólares, convirtiéndose en el componente individual más significativo del gasto energético mundial. La fuerte competencia entre fabricantes y la notable reducción de costos han permitido que los paneles solares importados, a menudo acompañados de sistemas de baterías, se consoliden como un factor clave para impulsar la inversión energética en numerosas economías emergentes y en desarrollo. Prueba de ello es que, a inicios de 2025, las exportaciones solares de China hacia países en desarrollo superaron por primera vez a las dirigidas a economías avanzadas. Un ejemplo destacado es Pakistán, que solo en 2024 importó alrededor de 19 GW, cifra equivalente a aproximadamente la mitad de su capacidad eléctrica instalada. Por otro lado, se prevé que el gasto mundial en baterías para almacenamiento en el sector eléctrico ascienda a 66 mil millones de dólares para 2025, reforzando la expansión de infraestructuras claves para la integración de energías renovables (IEA, 2025b).

Figura 5. Participación del gasto mundial en energía limpia según el estado de los exportadores/importadores de combustibles fósiles, 2020-2025



Fuente: Información de IEA, 2025b.

La participación del gasto mundial en energías limpias de acuerdo con la categoría de exportadores/importadores de combustibles fósiles, los importadores con 69.0%, otros exportadores con 12.0% del periodo de 2020-2025 (Figura 5).

La inversión en energía nuclear está experimentando un repunte significativo, con un crecimiento del 50.0% en los últimos cinco años, mientras que las aprobaciones para la construcción de nuevas plantas eléctricas a gas también muestran un aumento. Se estima que el gasto destinado a la construcción de nuevas centrales nucleares y a la modernización de las existentes superará los 70 mil millones de dólares, impulsado por el creciente interés en tecnologías avanzadas, como los reactores modulares pequeños (SMR). En este contexto, Estados Unidos y Oriente Medio concentraron cerca de la mitad del incremento observado en las Decisiones Finales de Inversión (DFI) para proyectos de generación eléctrica a partir de gas natural, lo que evidencia su papel relevante en la dinámica actual del sector energético. (IEA, 2025b).

En energía solar

El gasto en generación de bajas emisiones, liderado por la energía solar fotovoltaica, casi se duplicó en los últimos cinco años y alcanzará los 450 mil millones de dólares en 2025, convirtiéndose en el rubro más grande de inversión mundial en energía. La competencia entre proveedores y los costos cada vez más bajos ha impulsado la adopción de paneles solares (con frecuencia acompañados de sistemas de baterías) como un elemento central del crecimiento energético en economías emergentes y en desarrollo. En el caso de México, destaca el interés creciente por esquemas de autoconsumo que se alinean con esta tendencia global. China continúa encabezando las exportaciones solares hacia estos mercados, con países como Pakistán importando cerca de 19 GW solo en 2024. Además, se

estima que la inversión mundial en baterías para almacenamiento alcanzará los 66 mil millones de dólares en 2025, consolidando nuevamente a China como líder del sector (Sánchez Molina, 2025).

Según la AIE, la inversión global en el sector energético para 2025 habría superado los 3.3 billones de dólares, de los cuales aproximadamente 2.2 billones se dirigieron a tecnologías de energía limpia, que abarcan desde energías renovables y vehículos eléctricos hasta redes eléctricas, sistemas de almacenamiento, eficiencia energética y combustibles de bajas emisiones. Esto implica que dos tercios del gasto energético mundial ya se orientan hacia alternativas más limpias, aun cuando, en el debate público, las consideraciones climáticas suelen quedar en segundo plano frente a las preocupaciones sobre seguridad energética y asequibilidad (FEM, 2025a).

Transición energética

La energía solar espacial podría convertirse en una nueva fuente de energía sostenible y abundante (Imagen 1).



Fuente: Tomada de FEM, 2025b.

El mundo se encuentra en una encrucijada, enfrentándose al doble desafío de satisfacer las necesidades energéticas de una población global en crecimiento y combatir el cambio climático. La demanda energética sigue aumentando debido tanto al avance de la electrificación como al crecimiento acelerado del big data y la inteligencia artificial, lo que evidencia la insostenibilidad de los sistemas energéticos actuales. Aunque las energías renovables terrestres, como la eólica y la solar, son esenciales, su carácter intermitente y los amplios espacios que requieren limitan su capacidad para cubrir completamente la demanda futura. En este sentido, surge una alternativa prometedora: la energía solar espacial. Esta idea fue planteada por primera vez por Peter Glaser en 1968 y consiste en ubicar grandes satélites equipados con paneles solares en órbita geoestacionaria, a unos 36 000 kilómetros de la Tierra, donde pueden recibir luz solar continua sin interrupciones. La energía recolectada se transforma en microondas y se envía de forma segura a estaciones receptoras en la superficie terrestre, con una intensidad aproximada de 230 W/m², equivalente a cerca de una cuarta parte de la radiación solar al mediodía (IDES, 2024).

La energía es captada por una antena receptora, o rectena, que consiste en una malla de antenas montadas sobre postes. Este diseño hace que la infraestructura terrestre sea relativamente económica de construir y, además, permite el aprovechamiento dual del terreno, ya que la rectena es ligera y semitransparente, lo que posibilita destinar el suelo subyacente a actividades agrícolas o a la instalación de paneles solares convencionales. La rectena convierte la energía de microondas en electricidad y posteriormente la envía a la red eléctrica. Aunque la viabilidad técnica de este sistema ya se reconocía en la década de 1970, solo en los últimos años (impulsada por la reducción de los costos de lanzamiento y por los avances en la manufactura en serie), la energía solar espacial ha comenzado a perfilarse también como una alternativa económicamente factible. Los beneficios de este enfoque son claros: a diferencia de los parques solares terrestres, que dependen del clima y del ciclo día-noche, la energía solar espacial puede proporcionar un suministro eléctrico continuo y confiable, algo que en la Tierra solo es posible mediante combustibles fósiles o energía nuclear. Además, la intensidad lumínica en el espacio es notablemente mayor, lo que permite que los paneles solares orbitales generen mucha más energía por metro cuadrado que sus equivalentes terrestres, liberando así valiosas superficies de terreno (FEM, 2025b).

Esta mayor densidad energética se traduce también en una reducción significativa en el uso de materiales, ya que un sistema de energía solar espacial requiere muchos menos minerales críticos para generar la misma cantidad de energía continua que una instalación terrestre acompañada de almacenamiento a gran escala. Esto representa una alternativa más sostenible y disminuye la presión sobre los recursos, un problema que la Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha señalado como uno de los desafíos más importantes de la transición energética. Además, la energía solar espacial presenta una característica única: es altamente distribuible. Cada satélite puede abarcar visualmente hasta una cuarta parte del planeta, lo que permite redirigir energía entre distintos países casi de manera instantánea, convirtiéndose en una especie de interconector global ubicado en el espacio. Diversos estudios sugieren que esta tecnología podría cubrir una parte considerable de la demanda energética mundial a un costo notablemente competitivo (FEM, 2025b).

La carrera mundial por la energía espacial

Los avances recientes muestran que ya está en marcha una nueva carrera espacial orientada a la energía sostenible, donde tanto gobiernos como empresas privadas están destinando recursos significativos a la investigación en energía solar espacial. En Estados Unidos, el Instituto de Tecnología de California (Caltech) logró probar con éxito un prototipo capaz de demostrar, por primera vez, la transmisión inalámbrica de energía en el espacio. Por su parte, China ha anunciado planes para construir una matriz espacial de aproximadamente un kilómetro de longitud para 2028, mientras que Japón mantiene su posición como uno de los líderes históricos y más constantes en este ámbito. En Europa, la Agencia Espacial Europea (ESA) ha evaluado la viabilidad tecnológica y económica de esta solución mediante el programa SOLARIS. El Reino Unido también se ha consolidado como un actor fundamental, gracias al apoyo público para el desarrollo de la arquitectura CASSIOPeiA, considerada una referencia internacional en el campo de la transmisión inalámbrica de energía desde el espacio. Este esfuerzo se complementa con varios demostradores tecnológicos orientados a

reducir riesgos, cuyo objetivo es habilitar un sistema comercial en un plazo aproximado de seis años. Además, el Reino Unido ha impulsado la Space Energy Initiative, una coalición que agrupa a más de 90 organizaciones de sectores industriales, académicos y gubernamentales, con el propósito de acelerar el despliegue de esta tecnología emergente (Foro Económico Mundial, 2025b).

Cohetes y retornos: los obstáculos de la innovación

Aunque el potencial de la energía solar espacial es enorme, materializar esta visión exige avances específicos en varios frentes tecnológicos y económicos. Tradicionalmente, el principal obstáculo ha sido el alto costo de los lanzamientos espaciales; sin embargo, la llegada de cohetes reutilizables ha transformado rápidamente la economía del acceso al espacio, reduciendo barreras que durante décadas hicieron inviable este tipo de proyectos.

La transmisión inalámbrica de energía sigue siendo un área de investigación activa. Aun así, distintos países ya han logrado transmitir energía a lo largo de varios kilómetros, lo que demuestra su viabilidad técnica básica. Paralelamente, la construcción y mantenimiento de grandes infraestructuras en órbita (mediante ensamblaje autónomo o robótico) continúa evolucionando y será esencial para desplegar satélites de energía solar de gran escala. No obstante, el reto más grande podría no ser tecnológico, sino financiero. La estructura del financiamiento privado presenta importantes obstáculos: el capital de riesgo suele centrarse en retornos rápidos, mientras que los fondos institucionales (como los fondos de pensiones o soberanos) buscan inversiones con riesgos mínimos y ganancias previsibles. Esto deja a la energía solar espacial atrapada en un "valle de la muerte" financiero, común en tecnologías de capital intensivo cuyo retorno solo llega tras años de desarrollo. Para enfrentar este problema, las empresas del sector están desarrollando hojas de ruta con hitos de valor a corto plazo, diseñadas para atraer financiamiento y demostrar progresos graduales antes de la implementación completa de sistemas comerciales. Gracias a este enfoque, está aumentando el interés entre inversionistas que comprenden que la energía solar espacial podría convertirse en una de las pocas soluciones capaces de respaldar una transición energética global verdaderamente sostenible. Sin embargo, aún se requiere un esfuerzo considerable para que esta tecnología logre consolidarse (FEM, 2025b).

Beneficios económicos y sociales

Un desarrollo exitoso de la energía solar espacial podría generar beneficios que van mucho más allá de la provisión de energía limpia. Esta tecnología tiene el potencial de originar una nueva industria multimillonaria, impulsando el crecimiento económico global. El mercado potencial es enorme: la porción de electricidad que podría cubrirse mediante energía solar espacial dentro del mercado energético mundial supera un valor de 2.5 billones de dólares anuales, lo que refleja su capacidad transformadora. Asimismo, esta tecnología incrementaría la seguridad e independencia energéticas, disminuyendo la vulnerabilidad frente a mercados de combustibles fósiles caracterizados por su volatilidad. Su modelo económico ofrece además un enfoque innovador para el desarrollo internacional y la justicia climática. Dado que los sistemas más costosos se encuentran en órbita y que las rectenas terrestres son relativamente económicas, los países desarrollados podrían suministrar energía

directamente a naciones en desarrollo, permitiéndoles saltar la etapa de infraestructuras basadas en combustibles fósiles. Este cambio (de transferencias de ayuda económica hacia transferencias directas de energía) podría destrabar las negociaciones internacionales sobre el clima, como las que se dan en la COP, proporcionando una vía realista para una transición energética global y equitativa. Además, las tecnologías que hacen posible este sistema (tales como la transmisión inalámbrica de energía, el ensamblaje autónomo en órbita y otras innovaciones asociadas) tienen el potencial de dinamizar industrias paralelas, generando un ecosistema tecnológico de alto valor añadido que podría extenderse a múltiples sectores económicos (Foro Económico Mundial, 2025b).

La energía solar espacial podría desarrollarse y ponerse en operación a tiempo para influir de manera decisiva en la transición energética, impulsando el crecimiento económico, la creación de un nuevo mercado, empleos de calidad y una mayor equidad en el acceso a la energía. En el contexto actual, es necesario aprovechar todas las alternativas posibles; sin embargo, muchas tecnologías emergentes todavía enfrentan incertidumbres respecto a sus tiempos de comercialización, su capacidad para escalar y la viabilidad económica de infraestructuras de gran tamaño. A diferencia de estas, la energía solar espacial tiene el potencial de suministrar electricidad desde el espacio incluso antes de que se inicien las obras de nuevas plantas terrestres. Al incorporar principios de producción en masa similares a los utilizados en la industria electrónica para generar energía limpia, esta tecnología ofrece un camino claro hacia una expansión eficiente y sostenible (FEM, 2025b).

CONCLUSIONES

Las tecnologías limpias (cleantech) ofrecen una clara ventaja competitiva para las empresas, más allá de la sostenibilidad ambiental. Su implementación no solo reduce los costos operativos y mejora la importancia corporativa, sino que también asegura el cumplimiento de regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

En conjunto, la energía solar espacial representa una de las propuestas más disruptivas y prometedoras dentro del panorama energético global. Su capacidad para generar electricidad limpia de manera continua, junto con su potencial para reducir la presión sobre los recursos materiales y superar las limitaciones físicas de las tecnologías terrestres, la posiciona como una alternativa estratégica frente a los desafíos crecientes de la seguridad y la transición energética. Además de sus ventajas técnicas, esta tecnología podría transformarse en un motor económico de gran escala, capaz de dinamizar nuevas industrias, favorecer la independencia energética y promover un modelo más justo de desarrollo internacional.

No obstante, su consolidación requiere superar importantes retos financieros, tecnológicos y de gobernanza global. La coordinación entre gobiernos, empresas, organismos internacionales e inversionistas resultará fundamental para avanzar desde los demostradores actuales hacia sistemas comerciales plenamente operativos. Si estos obstáculos logran mitigarse, la energía solar espacial no solo podría complementar las soluciones renovables terrestres, sino también convertirse en una pieza clave para garantizar un futuro energético sostenible, equitativo y resiliente a nivel mundial.

LITERATURA CITADA

Agencia de Inversión Energética (AIEa). (2025a), *Inversión energética mundial 2025.* AIE, París. Disponible en: https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025.

Agencia de Inversión Energética (IEA). (2025b). Global investment in clean energy and fossil fuels, 2015-2025, IEA, Paris https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-investment-in-clean-energy-and-fossil-fuels-2015-2025.

Banca y Negocios. (10 de junio de 2025). Inversión global en energía aumenta a niveles récord en 2025, pero bajará en petróleo y gas. Disponible en: https://www.bancaynegocios.com/inversion-global-en-energia-aumenta-a-niveles-record-en-2025-pero-bajara-en-petroleo-y-gas/

Escuela Europea de Dirección y Empresa (EUDE). (25 de marzo de 2025). Tecnologías limpias que están cambiando el juego: cleantech y greentech. Disponible en: https://www.eude.es/blog/tecnologias-limpias-que-estan-cambiando-el-juego-cleantech-y-greentech/#:~:text=4.,de%20sostenibilidad%20y%20responsabilidad%20social.

Energy Insights (S.F). Inversión Global en Energía 2025. Disponible en: https://energyinsights.mx/inversion-global-en-energia-2025/

Foro Económico Mundial (FEM). (31 de diciembre de 2025a). El crecimiento, la resiliencia y la competencia definirán la energía mundial en 2026. Disponible en: https://es.weforum.org/stories/2025/12/el-crecimiento-la-resiliencia-y-la-competencia-definiran-la-energia-mundial-en-2026/

Foro Económico Mundial (FEM). (23 de octubre de 2025b). Energía 24/7 desde la órbita: Por qué necesitamos energía solar espacial. https://es.weforum.org/stories/2025/10/energia-24-7-desde-la-orbita-por-que-necesitamos-energia-solar-espacial/

Foro Económico Mundial (FEM). (27 de marzo de 2024). La electrificación industrial es una labor conjunta: por qué es clave la colaboración entre sectores. https://es.weforum.org/stories/2024/03/la-electrificacion-industrial-es-una-labor-conjunta-por-que-es-clave-la-colaboracion-entre-sectores/

Holguín-Cedeño, C. A.; Rojas-Prado, M.J.; Reinel-Valencia, P.J. & Gutiérrez-Ruano, A. N. (2025). Tecnologías limpias y su rol en el desarrollo económico sostenible: análisis crítico. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, Vol. 11, núm. 2. abril-junio, 2025, pp. 1396-1407. https://doi.org/10.23857/dc.v11i2.4391

Instituto de Desarrollo Económico y Social (IDES). (2024). Energía solar en el espacio. Disponible en: https://ingenieriasolar.es/energia-solar-en-el-espacio/

Sánchez Molina, P. (10 de junio de 2025). En 2025 se invertirán 450.000 millones de dólares en fotovoltaica en todo el mundo. pv magazine España. https://www.pv-magazine.es/2025/06/10/en-2025-se-invertiran-450-000-millones-de-dolares-en-fotovoltaica-en-todo-el-mundo/

Tecnologías limpias para el medio ambiente
Se editó en el Departamento de la División de Ciencias Económico Administrativas de la UACh, carretera México-Texcoco, km. 38.5, Texcoco Edo. de México C. P. 56230
Octubre 2026
https://dicea.chapingo.mx/investigacion/ciema/publicaciones/

En medio de una crisis climática global, las tecnologías limpias surgen como una de las soluciones más prometedoras para reducir la huella ambiental, transformar industrias y fomentar un desarrollo sostenible. También conocidas como cleantech o greentech, estas innovaciones están redefiniendo la forma en que se produce, consume y se convive con los recursos naturales.

La necesidad de transformar los sistemas energéticos globales se ha vuelto cada vez más urgente ante el crecimiento sostenido de la demanda, el avance de la electrificación y los crecientes impactos del cambio climático. Las energías renovables terrestres (como la solar y la eólica) han desempeñado un papel fundamental en la transición energética, pero enfrentan limitaciones asociadas a su intermitencia, la disponibilidad de espacio y la viabilidad climática y económica. En este contexto, la energía solar espacial surge como una alternativa innovadora y de gran potencial, capaz de suministrar electricidad limpia de manera continua y a gran escala mediante el uso de satélites en órbita que capturan luz solar ininterrumpida y la transmiten de forma inalámbrica hacia la Tierra.

Este concepto, impulsado inicialmente desde mediados del siglo XX, ha recobrado fuerza gracias a los avances tecnológicos en el lanzamiento reutilizable, la manufactura modular, la transmisión inalámbrica de energía y el ensamblaje autónomo en órbita. Paralelamente, el renovado interés de gobiernos, instituciones internacionales y empresas privadas ha instaurado una nueva carrera espacial orientada no solo a la exploración, sino a la consolidación de una infraestructura energética global más segura, sostenible y equitativa. Frente a los desafíos que presentan las crisis climáticas, la volatilidad de los combustibles fósiles y las desigualdades en el acceso a la energía, la energía solar espacial se perfila como una de las soluciones más prometedoras para impulsar el desarrollo económico, fortalecer la seguridad energética y avanzar hacia una transición energética verdaderamente global.