



GENERATOR STATUS : Good

RESUMEN EJECUTIVO

ESTUDIO DE MERCADO SOBRE ENERGÍA INTELIGENTE E INNOVACIÓN EN
LA DESCARBONIZACIÓN INDUSTRIAL EN PAÍSES EN DESARROLLO



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

© 2024 Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - Todos los derechos reservados

El presente documento es traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición de las Naciones Unidas. Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que se presentan los datos no implican, de parte de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), juicio alguno sobre la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o zona, o de sus autoridades, ni sobre el trazado de sus fronteras o límites, ni tampoco acerca de su sistema económico o su grado de desarrollo. Las calificaciones de “desarrollados”, “industrializados” o “en desarrollo” se utilizan únicamente para facilitar la presentación de datos estadísticos y no entrañan necesariamente un juicio sobre la etapa a la que pueda haber llegado determinado país o zona en el proceso de desarrollo. El hecho de que se haga referencia a una empresa o un producto comercial no significa que la ONUDI respalde esa empresa o ese producto.

Derechos de autor © 2024 - Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial -
www.unido.org

Reconocimiento

Este estudio de mercado fue realizado por KPMG Austria bajo la dirección general del Sr. Peter Warren, A2D Facility Manager, y la Sra. Yi Zhang, A2D Facility Smart Energy and Industrial Decarbonization Project Coordinator, dentro de la División de Innovación Climática y el Protocolo de Montreal de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI). Este esfuerzo fue posible gracias al apoyo del Departamento de Seguridad Energética y Net Zero (DESNZ) del Reino Unido.

Autores de KPMG Austria: Wolfgang Ritzberger, Adela Roszkowski, Markus Schiffer

Autores de KPMG US: Ruba Amarin

Autores de KPMG Global Services: Ambareesh Soman, Nikhil Kaushik

El equipo del proyecto expresa su agradecimiento a los encuestados y a los expertos entrevistados (Apéndice, página 83 del informe principal, Expertos entrevistados) por su valioso tiempo y sus conocimientos.



Acerca de la ONUUDI

La ONUUDI es un organismo especializado de las Naciones Unidas cuya competencia singular es promover, dinamizar y acelerar el desarrollo industrial. Esta competencia se ve reflejada específicamente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 9, «Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación»; no obstante, las actividades de la ONUUDI contribuyen a todos los ODS. La visión de la ONUUDI es un mundo sin pobreza ni hambre, en el que la industria sirva como impulso de las economías con bajas emisiones, mejore el nivel de vida y permita conservar un entorno habitable para las generaciones presentes y futuras, sin dejar atrás a nadie.

La visión de la ONUUDI es un mundo sin pobreza ni hambre, en el que la industria sirva como impulso de las economías con bajas emisiones, mejore el nivel de vida y permita conservar un entorno habitable para las generaciones presentes y futuras, sin dejar atrás a nadie.





Tabla de contenido

1. Antecedentes	5
2. Selección de países	6
3. Conclusiones principales de los estudios de mercado	7
3.1 Partes interesadas	7
3.2 Mercados	9
3.3 Proyectos e iniciativas	10
3.4 Panorama tecnológico	12
3.5 Impactos y ODS	14
4. Conclusión y perspectivas futuras	16

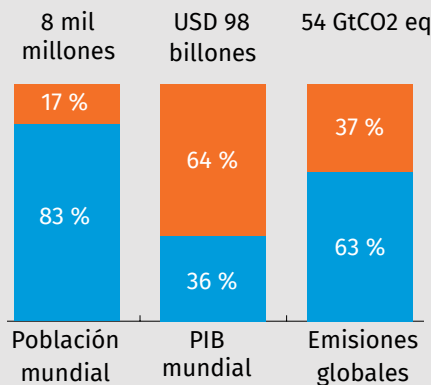
Resumen Ejecutivo

1. Antecedentes

El A2D Facility financiado por el Departamento de Seguridad Energética y Net Zero - Department of Energy Security & Net Zero (DESNZ) - del Gobierno del Reino Unido, tiene como objetivo acelerar la comercialización de tecnologías innovadoras de energía limpia en los países en desarrollo. Se centra en cuatro áreas temáticas: hidrógeno limpio, minerales críticos, energía inteligente y descarbonización industrial. Estas áreas son cruciales para facilitar la transición a una energía limpia y abordar los riesgos climáticos en los países en desarrollo, que actualmente representan el 83% de la población mundial y el 63% de las emisiones globales.

CUADRO 1: Receptores de AOD: población, emisiones y contribuciones al producto interno bruto (PIB)

Mientras que los 141 países de la lista de beneficiarios de la Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) representan el 83% de la población mundial, son responsables del 63% de las emisiones mundiales y el 36% del PIB mundial.



■ Lista de beneficiarios de AOD del del Comité de Ayuda al Desarrollo (CAD)
■ El resto del mundo

Se estima que la demanda de electricidad se duplicará en los países en desarrollo. Sus sistemas energéticos presentan una oportunidad para una transformación radical.

El A2D Facility cierra una brecha importante en el panorama de los fondos de innovación climática que apoyan a los países en desarrollo a través de la financiación climática internacional y la Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD). Se centra en la fase piloto de demostración de la cadena de innovación climática, enfocándose en proyectos con un efecto de 'faro' (lighthouse project en inglés) que tienen el potencial de generar un impacto transformador en los países apoyados.

Este documento resume los resultados de un análisis exhaustivo de dos de las áreas temáticas, a saber, la energía inteligente y la descarbonización industrial. La energía inteligente se refiere a los sistemas que utilizan tecnologías digitales, que permiten una entrega de energía de red más eficiente. Dichas tecnologías y soluciones pueden incluir, entre otras, redes y dispositivos inteligentes, sistemas de almacenamiento de energía, software o soluciones de inteligencia artificial, herramientas de gestión y acceso a datos como blockchain, contadores inteligentes, monitoreo y controles remotos, respuesta del lado de la demanda y la integración de enfoques dentro y fuera de la red (por ejemplo, redes de enjambre, minirredes, etc.).

La descarbonización industrial es el proceso de reducción o eliminación estratégica de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) del sector industrial. Esto se puede lograr cambiando a fuentes de energía bajas en carbono, adoptando métodos de producción más limpios y mejorando la eficiencia energética. La descarbonización se puede materializar a nivel de fuente, proceso y ciclo de vida. En el contexto de las soluciones tecnológicas, la evaluación se concentró en varios aspectos clave: la captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés), los combustibles alternativos como los biocombustibles y el hidrógeno para aplicaciones industriales, la optimización de procesos para mejorar la eficiencia energética y la electrificación de los procesos industriales.

Las tecnologías innovadoras en estas áreas temáticas brindan acceso asequible a la energía, aceleran las transiciones a la energía limpia e impulsan el crecimiento económico mientras que abordan los desafíos ambientales.

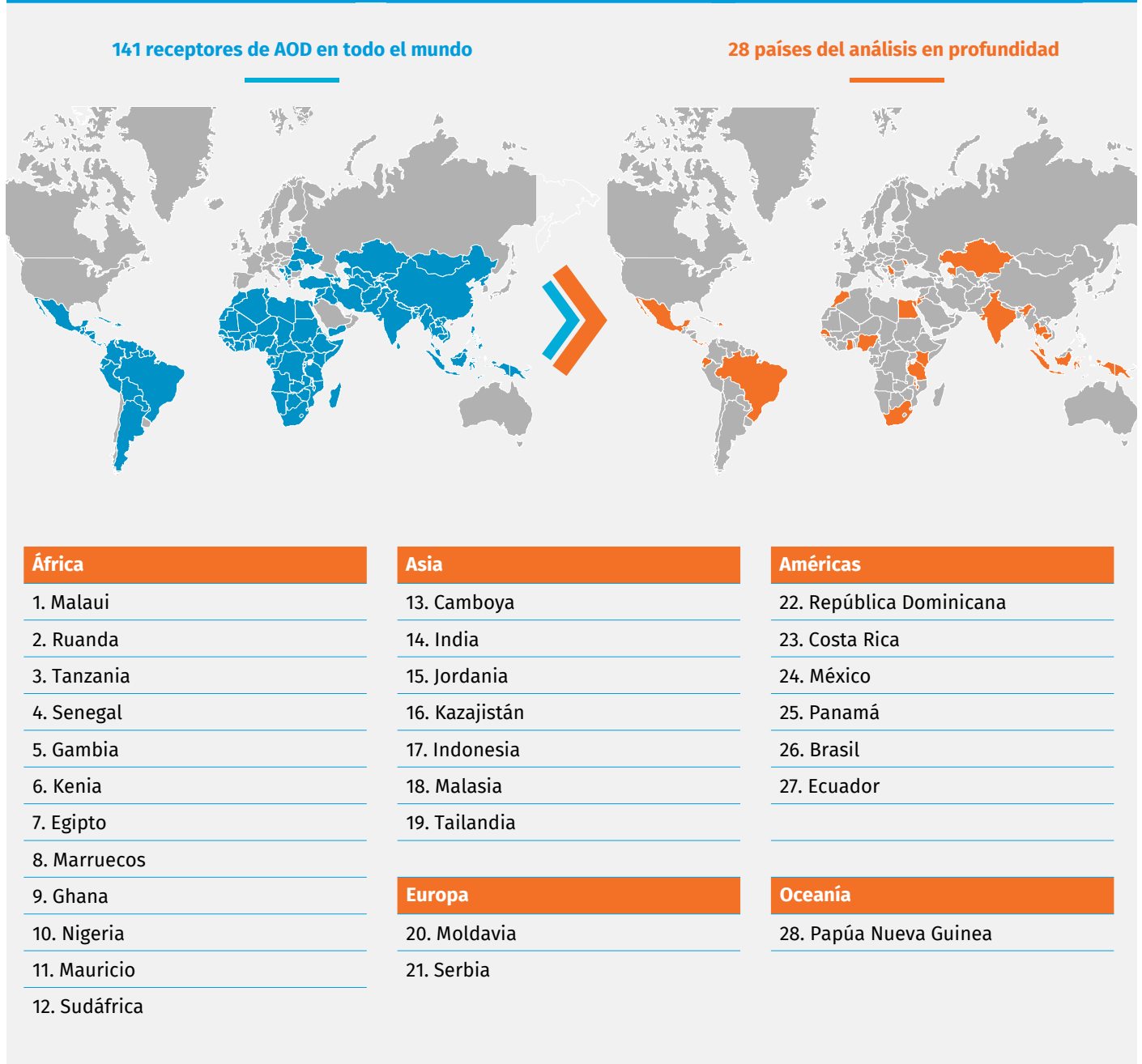
El estudio de mercado (una para cada área temática) sirvieron para identificar mercados, tecnologías y proyectos de alto potencial, con el objetivo de acelerar la comercialización de tecnologías innovadoras de energía limpia en los países en desarrollo.

2. Selección de países

Si bien el estudio ofrece una visión global que abarca los 141 países receptores de AOD, se ha seleccionado un conjunto representativo de 28 países para realizar un análisis en profundidad. Los criterios para seleccionar esos países se basaron en varios factores clave, entre ellos la presencia de marcos normativos progresistas y entornos normativos que apoyen la innovación tecnológica en energía inteligente

y descarbonización industrial. Además, se priorizaron los países con un potencial importante de crecimiento económico, alta demanda de energía y vulnerabilidad al cambio climático. Una selección equilibrada en África, Asia y América Latina garantizó un contexto geográfico y económico diverso. Los 28 países seleccionados son:

CUADRO 2: Panorama general de los países de interés



3. Conclusiones principales de los estudios de mercado

Ambos estudios de mercado cubren cinco áreas centrales de análisis que son críticas para el avance y la ampliación de las respectivas tecnologías innovadoras: partes interesadas, mercados, proyectos e iniciativas, panorama tecnológico, así como impactos y ODS.

Aunque algunos descubrimientos dentro de estas áreas analíticas básicas, como el panorama tecnológico, son distintivos para cada área temática, otros se destacan

claramente en ambas. Por ejemplo, los resultados transversales abarcan entornos propicios, interacciones con las partes interesadas y marcos de políticas que son cruciales para promover la innovación tecnológica en ambas áreas. Posteriormente, hemos identificado resultados distintivos y transversales con los símbolo respectivos:



3.1 Partes interesadas

EI DI Se han identificado seis grupos de partes interesadas críticas, incluidos innovadores, adoptantes, controladores, financiadores, asesores y personas influyentes. Los cuales desempeñan un papel esencial en el avance de la innovación tecnológica en las dos áreas temáticas de energía inteligente y descarbonización industrial.

Cada grupo de partes interesadas contribuye de diferentes maneras al proceso de innovación y está compuesto por diferentes subgrupos. Por ejemplo, los innovadores, como los think tanks, el mundo académico, las organizaciones de investigación, las empresas emergentes y las empresas tecnológicas, son fundamentales en el desarrollo de nuevas tecnologías, la realización de análisis de datos y la aportación de conocimientos técnicos. Los adoptantes, incluidos los usuarios finales, las pymes, los grandes usuarios, las empresas de servicios y el sector privado, son responsables de llevar las innovaciones al mercado, invertir en el desarrollo tecnológico y ampliar las soluciones.

Los controladores, como los organismos gubernamentales, los organismos reguladores y los organismos de certificación, establecen políticas y marcos regulatorios, proporcionan financiación inicial y facilitan proyectos de demostración. Los financiadores, incluidos los bancos, los donantes, los organismos financieros y los fondos de inversión, proporcionan capital para la investigación, el desarrollo y el despliegue de tecnología, y mitigan los riesgos. Los asesores, como las ONG, las asociaciones energéticas, las asociaciones industriales y las empresas consultoras, involucran a las comunidades, brindan apoyo sobre el terreno y comparten las mejores prácticas. Las influencias, incluidos los medios de comunicación, los influencers de las redes sociales y las asociaciones, crean conciencia, facilitan la colaboración e impulsan la participación a través de sus plataformas.

En ambas áreas temáticas, la relación entre innovadores y adoptantes está marcada por un enfoque colaborativo. En particular, existe una colaboración significativa entre los controladores (gobierno), los adoptantes (sector privado) y los asesores (ONG) para implementar y ampliar las soluciones finales de energía limpia a través de asociaciones público-privadas (APP).

CUADRO 3: Grupos de partes interesadas

Grupos de partes interesadas	Innovadores	Adoptantes	Controladores	Financiadores	Asesores	Agentes influyentes
Rol	Desarrollan nuevas tecnologías, realizan análisis de datos y proporcionan experiencia técnica	Llevar innovaciones al mercado, invierten en el desarrollo de tecnología y amplían soluciones	Establecen políticas y marcos regulatorios, proporcionan financiamiento inicial y facilitan proyectos de demostración	Proporcionan capital para la investigación y el desarrollo y la implementación de tecnología, y mitigan los riesgos.	Involucran a las comunidades, proporcionan apoyo sobre el terreno y comparten las mejores prácticas	Aumentan la conciencia, facilitan la colaboración e impulsan la participación a través de sus plataformas
TRL 3-4	Alto	Limitado	Alto	Alto	Alto	Alto
TRL 5-6	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
TRL 7-8	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Alto Limitado Bajo

En general, la relevancia de cada parte interesada interés varía a lo largo del proceso de desarrollo de la innovación tecnológica. En los niveles de madurez tecnológica (Technology Readiness Level, TRL) 3-4, los innovadores y asesores están muy comprometidos con el desarrollo y el perfeccionamiento de la tecnología, mientras que los financiadores proporcionan el apoyo financiero inicial necesario. En TRL 5-6, los adoptantes y controladores se involucran más, con una mayor financiación y participación en la implementación. Para TRL 7, todas las partes interesadas están significativamente comprometidas: los adoptantes integran la tecnología en las operaciones, los controladores garantizan el cumplimiento y los financiadores proporcionan inversiones sustanciales para demostraciones a gran escala.

Si bien los principales beneficiarios tienden a ser adoptantes y controladores tanto en la energía inteligente como en la descarbonización industrial, los beneficios varían entre las dos áreas temáticas, por lo que sirven a diferentes subcategorías de beneficiarios.

EI **Las soluciones energéticas inteligentes** desempeñan un papel especialmente importante para las comunidades locales y los usuarios finales que viven en regiones con escaso acceso a la energía. Las mujeres, especialmente en las zonas rurales, tienden a ser las más afectadas por la escasez de energía. El acceso a soluciones energéticas inteligentes puede reducir su carga de trabajo y empoderarlos económicamente.

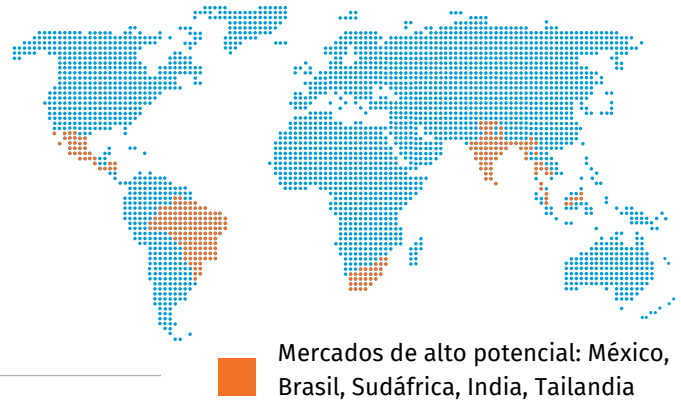
DI **La descarbonización industrial** es especialmente relevante para las empresas grandes de sectores intensivos en emisiones. Las nuevas tecnologías pueden dar lugar a reducciones significativas de emisiones, lo que ayuda a cumplir los objetivos regulatorios y de sostenibilidad corporativa. Además, las tecnologías avanzadas pueden mejorar la eficiencia operativa, lo que permite ahorrar costes y aumentar la productividad. También ayudan a los gobiernos a cumplir sus objetivos climáticos.



3.2 Mercados

Países receptores de Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) varían significativamente en una amplia gama de dimensiones, incluidos los niveles de renta, el desempeño económico, la estabilidad política, la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las ambiciones de reducción de emisiones, el acceso a energías limpias y la madurez de los marcos políticos. El desempeño en estas dimensiones determina el grado en que estos países proporcionan entornos propicios para la innovación tecnológica.

CUADRO 4: Los mercados de alto potencial



EI DI Ambas estudios de mercado muestran un rico panorama de políticas existentes en los países en desarrollo en relación con la reducción de emisiones, la eficiencia energética y la sostenibilidad. Entre los mercados de alto potencial se encuentran la India, el Brasil, Tailandia, Sudáfrica y México, ya que proporcionan entornos propicios sólidos y marcos normativos que promueven la reducción continua de los costos de las tecnologías de energía renovable, haciéndolas más accesibles. Existe un compromiso para alinear los avances tecnológicos con los objetivos globales de sostenibilidad y clima, sin embargo, pocas políticas abordan específicamente soluciones tecnológicas innovadoras. Esto, destaca la necesidad de políticas más específicas que apoyen el desarrollo y la implementación de tecnologías de vanguardia tanto en SE como en ID. En general, las intervenciones en estos países, que han establecido objetivos ambiciosos y marcos de políticas sólidos, es probable que tengan los impactos más transformadores.

En general, el potencial de impacto transformador es mayor cuando convergen los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Países africanos como Ruanda, Gambia, Kenia y Sudáfrica destacan por sus altas tasas de población rural y sus marcos políticos relativamente maduros. Estos países presentan oportunidades únicas para intervenciones de impacto debido a sus características demográficas y políticas. En Asia, países poblados como India y China dependen en gran medida de industrias difíciles de reducir, lo cual presenta importantes oportunidades para intervenciones impactantes. La mayoría de los países de las Américas están económicamente más desarrollados (categoría de países de ingreso mediano alto), pero sus políticas se centran en gran medida en tecnologías que no apoyan la innovación. Por lo tanto, las intervenciones estratégicas en estas regiones deben tener como objetivo cerrar la brecha entre los marcos de políticas existentes y la necesidad de soluciones tecnológicas innovadoras para maximizar el impacto transformador.

EI DI Las limitaciones críticas del mercado que obstaculizan la adopción de tecnologías innovadoras tanto en la energía inteligente como en la descarbonización industrial se dividen en cuatro categorías principales: 1) políticas y legales, 2) económicas, 3) tecnológicas y ambientales, y 4) sociales. Si bien la innovación tecnológica en ambas áreas temáticas se ve afectada esencialmente por los mismos tipos de restricciones del mercado, la pertinencia de estas limitaciones puede diferir según los países, las industrias y las tecnologías.

3.3 Proyectos e iniciativas

Los estudios de mercado para ambas áreas temáticas revelaron un panorama integral de iniciativas y proyectos que se alinean con los objetivos de sostenibilidad nacionales e internacionales. Los países desarrollados, como los Estados miembros de la Unión Europea, Canadá y los Emiratos Árabes Unidos, junto con organismos mundiales de la industria como la Asociación Mundial del Cemento y el Hormigón (Global Cement and Concrete Association - GCCA), están liderando el camino a través de iniciativas regionales y mundiales a gran escala. Sin embargo, el éxito de estas iniciativas patrocinadas externamente en los países en desarrollo depende de la presencia de políticas e incentivos de apoyo.

EI DI La base de datos de proyectos establecida a través de los estudios destaca un amplio espectro de proyectos en diversas tecnologías, incluidas las smart grids, la captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) y la producción de combustibles alternativos. Esta diversidad demuestra las amplias oportunidades de inversión en proyectos innovadores en toda la lista de beneficiarios de la AOD del CAD. Muchos de estos proyectos son pioneros en sus respectivos campos, empleando tecnologías de vanguardia como el desarrollo de tecnologías de captura de carbono acuoso, que podrían servir de referencia para futuras iniciativas a nivel mundial. Son evidentes las sólidas colaboraciones entre las partes interesadas públicas, privadas e internacionales, incluidos los ministerios, los bancos multilaterales de desarrollo (BMD) y las organizaciones

intergubernamentales (OIG) como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Además, la presencia de múltiples mecanismos financieros, incluido el crowdsourcing y diversas combinaciones, refleja un panorama abierto para formas nuevas e innovadoras de apoyo financiero.

EI En el ámbito de la energía inteligente, las empresas de servicios públicos emergen como actores fundamentales, actuando como adoptantes e implementadores clave de tecnologías como las redes inteligentes y las centrales eléctricas virtuales. La naturaleza altamente innovadora de estas tecnologías ha introducido importantes limitaciones tecnológicas, políticas y legales, impulsadas principalmente por preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad. A pesar de estos desafíos, la mayoría de los proyectos de energía inteligente se ven impulsados por subvenciones gubernamentales, ya que los gobiernos tienen como objetivo fomentar proyectos que catalicen un mayor interés e inversión de diversas partes interesadas. Entre las tecnologías de redes inteligentes, los mecanismos habilitadores del mercado, como las centrales eléctricas virtuales (VPP), son los que están experimentando la mayor actividad debido a su rentabilidad y características de apoyo para las tecnologías renovables y distribuidas. Además, existe un impulso sustancial hacia la actualización a redes inteligentes, motivado por la creciente necesidad de flexibilidad y la integración de fuentes de energías renovables en la red.

CUADRO 5: La base de datos de proyectos comprende actualmente 24 proyectos de energía inteligente en los 28 países seleccionados

EI

Parte interesada principal	Limitaciones del mercado primario	Mecanismo de financiación	Categoría de tecnología
Organización Internacional Gubernamental (OIG) 4%	Limitaciones sociales 0%	Múltiple 4%	Tecnologías Digitales 8%
Gobierno extranjero 4%	Limitaciones económicas 17%	Subsidios 4%	Tecnologías de automatización 8%
Instituciones de investigación 8%	Limitaciones políticas y legales 29%	Crowdfunding 4%	Habilitadores de Smart Grids - Infratech 13%
Empresas públicas 8%	Limitaciones tecnológicas y medioambientales 54%	Incentivos 8%	Redes de Smart Grids 25%
Gobierno 13%		Préstamos 13%	Habilitadores de Smart Grids - mecanismos de mercado 46%
Organización privada 29%		Equidad 25%	
Servicios públicos de energía 34%		Subvenciones 42%	

En cuanto a la descarbonización industrial, tanto los gobiernos como las instituciones gubernamentales están profundamente involucrados, alineándose con las ambiciones nacionales. Los actores privados, impulsados por la necesidad de descarbonización en sus respectivas industrias y el creciente escrutinio regulatorio, como la fijación de precios del carbono, lideran la mayoría de los proyectos en curso. Sin embargo, estos proyectos se enfrentan a importantes limitaciones económicas y tecnológicas debido a la naturaleza disruptiva y costosa de las tecnologías implicadas, especialmente en la captura, utilización y almacenamiento de carbono de las

tecnologías. En consecuencia, estos proyectos cuentan con el apoyo principal de subvenciones gubernamentales o multilaterales que ayudan a cerrar las brechas financieras asociadas con estas tecnologías avanzadas. Dentro de esta área, se observa una adopción significativa en dos categorías tecnológicas principales: tecnologías agnósticas de la industria como CCUS y combustibles alternativos, así como tecnologías específicas de la industria centradas en el cambio a combustibles más limpios o procesos alternativos.

CUADRO 6: La base de datos de proyectos consiste actualmente de 32 proyectos de descarbonización industrial en los 28 países seleccionados

DI

Parte interesada principal	Limitaciones del mercado primario	Mecanismo de financiación	Categoría de tecnología
Servicios públicos de energía 3%	Limitaciones sociales 3%	Múltiple 3%	Tecnología de pila de combustible 3%
Gobierno 9%	Limitaciones políticas y jurídicas 19%	Colaboración Público-Privada 3%	Sustitución química 6%
Institución de investigación / universidad 13%	Limitaciones económicas 28%	Subsidios 6%	Calefacción y refrigeración 9%
Empresas públicas 22%	Limitaciones tecnológicas y medioambientales 50%	Incentivos 16%	Producción de combustibles alternativos 13%
Organización privada 50%		Equidad 28%	Proceso de sustitución 25%
		Subvenciones 44%	CCUS 44%

Además, se identificaron proyectos de faro que son reconocidos no solo por sus impactos inmediatos, sino también por su potencial de escalabilidad y replicabilidad. Estos proyectos demuestran una tecnología de vanguardia, mejores prácticas o enfoques novedosos en energía inteligente y descarbonización industrial, mostrando el potencial y los beneficios de soluciones nuevas e innovadoras.

EI En el campo de las energías inteligentes, destacan proyectos como la central eléctrica virtual "Evolve" en Sudáfrica y las redes de redes inteligentes en India e Indonesia. El sistema de gestión de energía inteligente habilitado para IA DDL de Tata Power en la India ejemplifica cómo la inteligencia artificial y el aprendizaje automático pueden optimizar la distribución y el consumo de energía. El modelo escalable de este proyecto se puede replicar en otras regiones, promoviendo la eficiencia energética a una escala más amplia.

Los fuertes esfuerzos de colaboración entre las principales partes interesadas, incluidos los organismos gubernamentales, los inversores privados y los organismos multilaterales, han sido un factor crítico de éxito. Por ejemplo, el proyecto piloto de redes inteligentes de

Mae Hong Son en Tailandia sirve como centro de conocimientos sobre tecnologías de smart grids en entornos rurales, mejorando las capacidades locales y ofreciendo ideas sobre la gestión sostenible de la energía que pueden compartirse a nivel mundial.

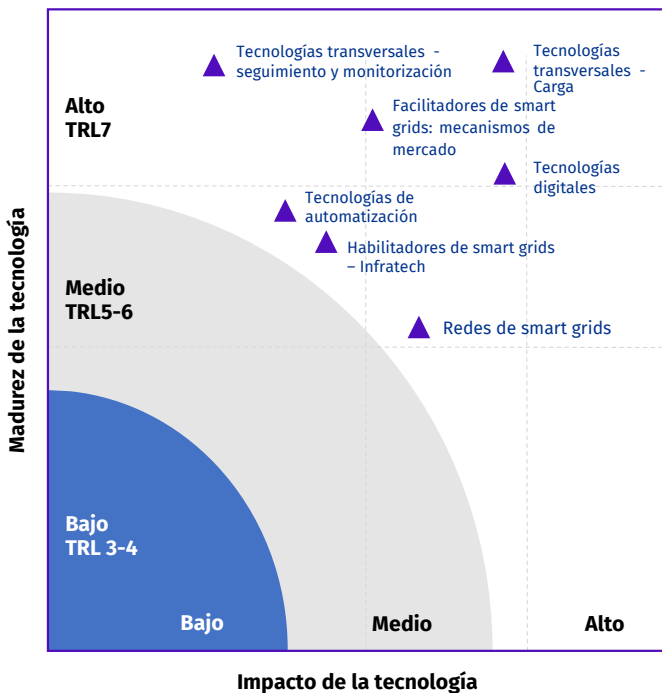
DI En el ámbito de la descarbonización industrial, destacan el proyecto "Indian Oil Corporation Koyali Refinery" y el proyecto "NoNSToP" ubicado en Egipto. El proyecto de la refinería de Koyali en la India se centra en la captura de las emisiones de dióxido de carbono de las unidades de generación de hidrógeno, con el objetivo de reducir significativamente la huella de carbono de la refinería y servir de modelo para iniciativas similares a nivel mundial, lo que ilustra los beneficios de integrar las tecnologías de captura de carbono en los procesos industriales. El proyecto "NoNSToP" se dedica al desarrollo de un sistema fotovoltaico de concentración solar rentable, cuyo objetivo es aumentar la producción de energía y hacer que la energía solar sea más accesible y asequible. El enfoque innovador del proyecto podría tener un impacto significativo en la adopción de energías renovables, especialmente en regiones con alta radiación solar.

3.4 Panorama tecnológico

Ambos estudios de mercado revelan un panorama dinámico de innovaciones tecnológicas que son fundamentales para avanzar en los objetivos de sostenibilidad.

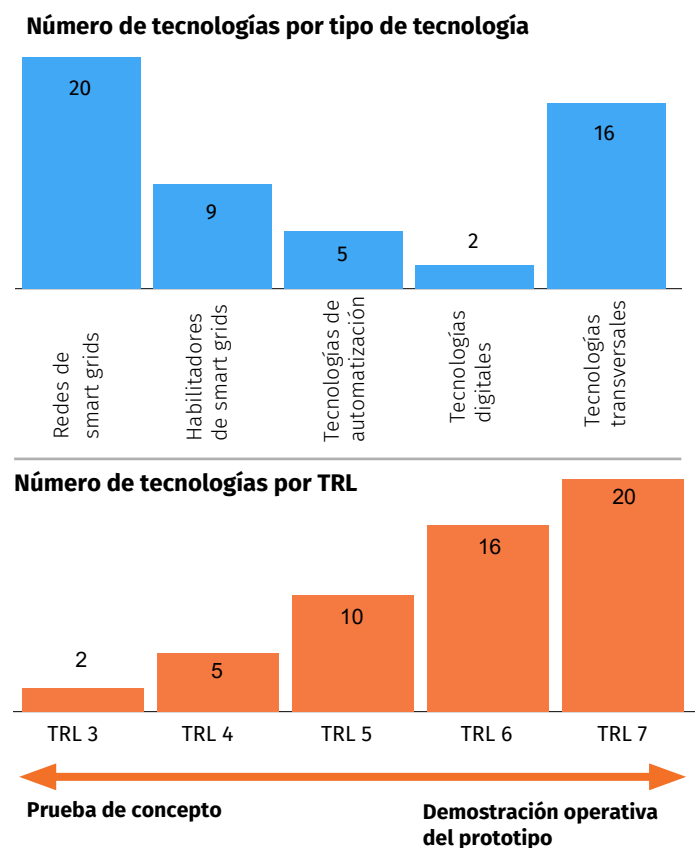
EI En el ámbito de la energía inteligente, la innovación se centra en mejorar la robustez, la eficiencia y la flexibilidad de la red eléctrica. Esto es crucial para la integración sin fisuras de las fuentes de energía renovables variables y las soluciones de almacenamiento de energía. Las tecnologías clave en este área incluyen tecnologías habilitadoras de smart grids y mecanismos de mercado como la respuesta a la demanda y las centrales eléctricas virtuales. La llegada de tecnologías digitales como la Inteligencia Artificial, el aprendizaje automático, el blockchain y el Internet de las cosas están revolucionando la infraestructura energética, haciéndola más inteligente y más conectada. Estas tecnologías se integran cada vez más en los sistemas energéticos y las industrias para mejorar productividad y mejorar la eficiencia energética. Se ha observado en países de renta media, como India e Indonesia, que están haciendo la transición hacia redes eléctricas mejoradas y conectadas para satisfacer una demanda creciente y variable. Por el contrario, los países menos adelantados (PMA) se centran principalmente en tecnologías de redes y almacenamiento más maduras.

CUADRO 7: Mapa de madurez de la tecnología EI



Se identificaron y evaluaron aproximadamente 50 tecnologías de energía inteligente relevantes dentro del rango de la escala de madurez tecnológica (TRL) de 3 a 7. La mayoría de estas tecnologías se encuentran actualmente en la fase posterior a la concepción, con casi el 50% en las etapas de prototipo o prueba piloto.

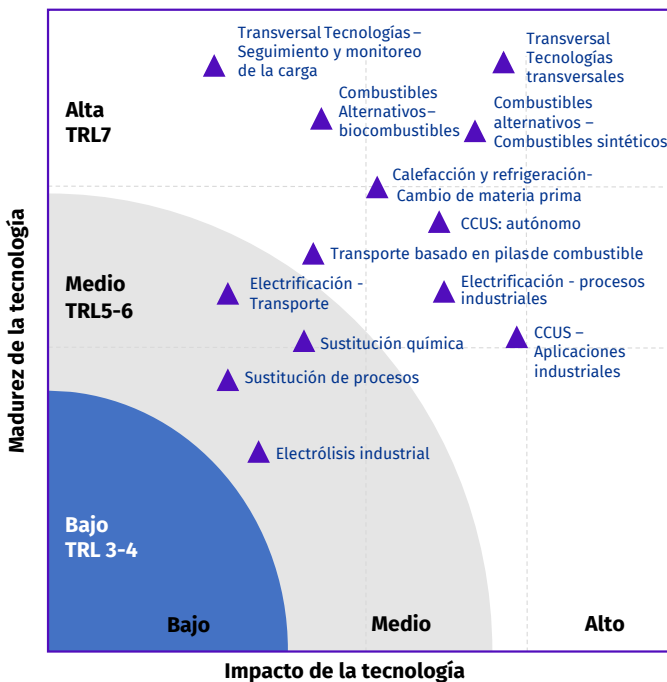
CUADRO 8: Tipos de tecnología y distribución entre los TRL - EI



Las tecnologías en el rango TRL de 6 a 7 pueden ofrecer beneficios debido a su avanzado grado de madurez. Dado que han demostrado su viabilidad y eficacia en proyectos piloto, los resultados ya existentes refuerzan la confianza en su potencial, limitando así los riesgos técnicos y financieros. Esta reducción de riesgos puede ser especialmente pertinente en los contextos de los países en desarrollo, donde es probable que diversos riesgos sean más elevados que en las regiones más desarrolladas, superando así el apetito de riesgo de los inversores y las partes interesadas y desalentando su participación. Además, los gobiernos y los organismos reguladores suelen estar más inclinados a apoyar el despliegue de tecnologías bien validadas, que pueden ayudar a crear marcos de políticas e incentivos de apoyo, como subsidios y beneficios fiscales. Las tecnologías más maduras también pueden permitir una implementación en comparación con las innovaciones en etapas anteriores, lo cual lleva a una obtención más rápida de los beneficios.

DI En el ámbito de la descarbonización industrial, la innovación se centra en la sustitución de las tecnologías actuales intensivas en emisiones por alternativas bajas en carbono. Las áreas de objetivo clave incluyen la sustitución de combustibles, materiales y procesos industriales por tecnologías más eficientes y limpias. En sectores difíciles de reducir, como los metales y la minería, los productos químicos y los petroquímicos, existe una tracción significativa en el desarrollo y la creación de prototipos de varios tipos de tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono, con un enfoque en mejorar la eficacia y hacer que estas tecnologías sean más viables. Los PMA principalmente confían en tecnologías relativamente maduras y rentables. Sin embargo, a medida que aumentan los niveles de ingreso, los países tienden a invertir en tecnologías de descarbonización más innovadoras y escalables CCUS, la producción de combustibles alternativos y el uso de el hidrógeno en los procesos industriales.

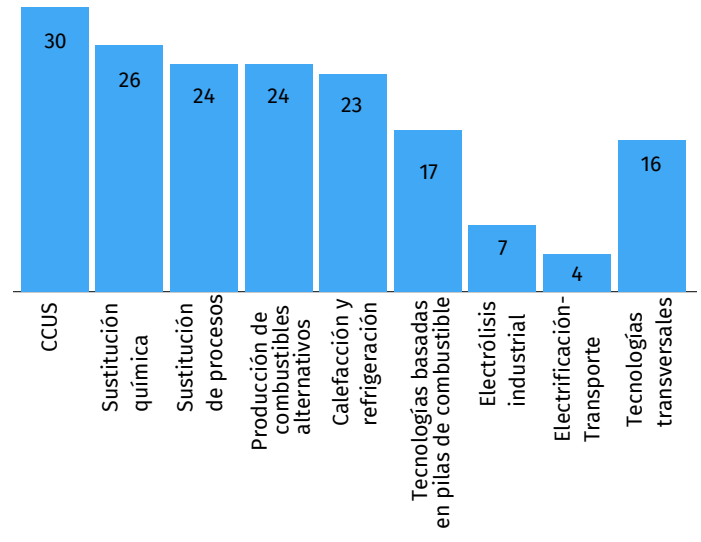
CUADRO 9: Mapa de madurez de la tecnología - DI



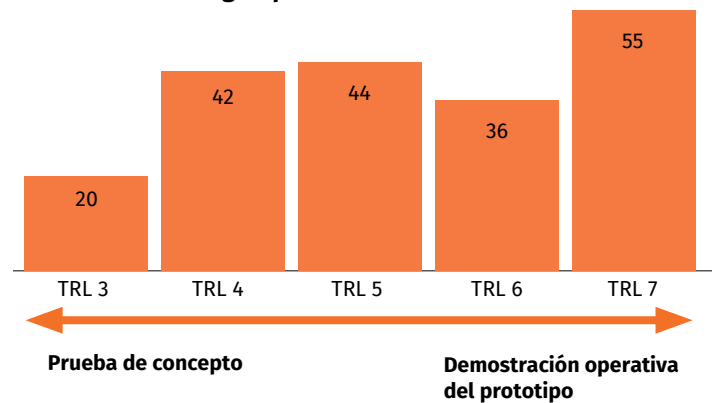
En el ámbito de la descarbonización industrial, se identificaron y evaluaron aproximadamente 200 tecnologías en los TRL 3-7. La mayoría de estas tecnologías se encuentran en la fase posterior a la concepción, con casi el 50% en las etapas de prototipo o prueba piloto. Las tecnologías se pueden clasificar en seis grupos principales, siendo la Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS) la más investigada a nivel mundial.

CUADRO 10: Tipos de tecnología y distribución entre los TRL - DI

Número de tecnologías por tipo de tecnología



Número de tecnologías por TRL



EI DI Ciertas tecnologías crean un impacto transversal al mejorar la eficiencia energética y de los procesos en general, además de ayudar a la descarbonización. Entre ellos incluyen tecnologías avanzadas de carga, como la carga ultrarrápida y la carga inductiva, tecnologías de monitorización y tecnologías relacionadas con el reciclaje de baterías. Estas tecnologías tienen un importante componente de digitalización y contribuyen a la descarbonización de industrias específicas al mejorar la eficiencia de los materiales y la energía. La integración de estas tecnologías transversales es esencial para alcanzar objetivos de sostenibilidad más amplios y garantizar que tanto la energía inteligente como los esfuerzos de descarbonización industrial sean eficaces y escalables.

3.5 Impactos y ODS

La promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se produce al menos en dos niveles: a nivel de país y a nivel tecnológico.

En consecuencia, las teorías subyacentes del cambio serán diferentes. El grado en que cada país proporciona un entorno propicio para la innovación tecnológica y la adopción de tecnologías de energía limpia y descarbonización, a su vez, repercute en la promoción de los ODS 1 a nivel nacional, creando una interacción dinámica entre las políticas nacionales y los avances tecnológicos. En la actualidad, los 28 países de interés impulsan la innovación en EI e DI con un conjunto comparable de iniciativas importantes, con algunas iniciativas regionales que abarcan varios países.

CUADRO 11: Panorama de las iniciativas nacionales en las Américas

País	Número de iniciativas
Brasil	7
México	2
Costa Rica	1
Panamá	1
República Dominicana	1
Ecuador	1

Enfoque tecnológico

Energía inteligente	Descarbonización industrial
Redes inteligentes	Combustibles sostenibles
Sistemas de almacenamiento de energía	Economía circular
Integración de fuentes de energía renovable (ER)	

EI "REnovables in Latin America and the Caribbean" (RELAC) es una notable iniciativa de energía inteligente en las Américas. Esta iniciativa incluye a 16 países miembros y es impulsada por actores como el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), el Global para la Acción Climática (GCAP) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). RELAC se enfoca en el desarrollo de planes de acción de almacenamiento de energía específicos para cada país, proporcionando desarrollo de capacidades, apoyo a la planificación estratégica y asistencia técnica. Además, tiene como objetivo crear una red de partes interesadas para el intercambio de conocimientos y la difusión regional de contenidos. El proyecto es financiado por el BID y el NREL, mostrando el papel central de la colaboración internacional en el avance de las soluciones de almacenamiento de energía.

CUADRO 12: Panorama de las iniciativas nacionales en África y Europa

País	Número de iniciativas
Moldavia	4
Serbia	1
Sudáfrica	6
Ghana	6
Nigeria	6
Kenia	4
Ruanda	3
Mauricio	1
Egipto	1

Enfoque tecnológico

Energía inteligente	Descarbonización industrial
Smart grids	Combustibles sostenibles
Sistemas de almacenamiento de energía	Economía circular
Rendimiento energético	Rendimiento energético

EI La evaluación identificó varias iniciativas regionales clave en el ámbito de la energía inteligente en toda África. Entre las acciones destacadas se encuentra "Smart Energy Solutions for Africa", que opera en muchos de los países seleccionados, como Ghana, Kenia, Malawi, Marruecos, Nigeria, Ruanda, Sudáfrica y Tanzania. Otra iniciativa importante es la "Energizing Development", que se centra en Kenia, Nigeria, Ghana, Ruanda, Malawi, Senegal y Tanzania. Estos proyectos reciben financiamiento de una combinación de fuentes públicas y privadas, respaldados por agencias internacionales de desarrollo.

DI En el ámbito de la descarbonización industrial, la evaluación destaca el "Programa de Desarrollo de Proyectos" y la "African Circular Economy Alliance (ACEA)". ACEA opera en 13 países africanos, promoviendo la eficiencia de los materiales y las prácticas de economía circular. La alianza respalda el desarrollo de políticas y la promoción, así como la ampliación de proyectos de economía circular, con el apoyo financiero de un fondo fiduciario de múltiples donantes. Las actividades incluyen el desarrollo de políticas, la participación de las partes interesadas y el apoyo a las microempresas y las pequeñas y medianas empresas innovadoras, incluido el apoyo financiero, el acceso a los mercados y la creación de redes.

¹ En concreto, el ODS 1 (fin de la pobreza), el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (acción por el clima)

CUADRO 13: Panorama de las iniciativas nacionales en Asia y Oceanía

País	Número de iniciativas
India	9
Camboya	6
Indonesia	4
Papúa Nueva Guinea	3
Kazajstán	2
Tailandia	2
Jordania	1

Enfoque tecnológico

Energía inteligente	Descarbonización industrial
Smart Grids	CCUS
Grandes volúmenes de datos	Combustibles sostenibles
Sistemas de almacenamiento de energía	Economía circular
Rendimiento energético	Rendimiento energético

EI En Asia y Oceanía se hace hincapié en la mejora de la eficiencia energética, las smart grids y los sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS). Los esfuerzos apuntan a mejorar la infraestructura técnica y la eficiencia operativa. Por ejemplo, la "Asia Pacific Economic Cooperation (APEC)" promueve las tecnologías de redes inteligentes en toda la región con el fin de abordar desafíos energéticos como la seguridad, la resiliencia, la eficiencia y la sostenibilidad.

EI **Las tecnologías energéticas inteligentes** tienen un potencial sustancial para promover el ODS 1 (Fin de la pobreza). Los redes inteligentes y los sistemas energéticos descentralizados ejemplifican cómo se pueden articular las teorías del cambio para apoyar la innovación tecnológica en energía inteligente en los contextos de los países en desarrollo, abordando los ODS más relevantes. Al mejorar el acceso y la confiabilidad de la energía, estas tecnologías pueden impulsar el crecimiento económico, mejorar los niveles de vida y reducir la pobreza. La integración de tecnologías digitales como la IA, el aprendizaje automático y el internet de las cosas en los sistemas energéticos amplifica aún más estos impactos al optimizar la distribución y el consumo de energía, fomentando así el desarrollo sostenible.

DI **Las tecnologías de descarbonización industrial** tienen un impacto particular en la promoción del ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 13 (Acción por el clima). Las innovaciones en este ámbito se centran en la sustitución de las tecnologías intensivas en emisiones por alternativas bajas en carbono, impulsando así la eficiencia industrial y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Las tecnologías CCUS proporcionan un ejemplo convincente de cómo se pueden formular teorías de cambio para apoyar la innovación tecnológica en la descarbonización industrial en los contextos de los países en desarrollo. Al capturar y reutilizar las emisiones de carbono, estas tecnologías contribuyen a la acción climática al tiempo que fomentan la innovación industrial y el desarrollo de infraestructuras. A medida que los países avanzan económicamente, la adopción de tecnologías avanzadas de descarbonización, como la captura y el almacenamiento de carbono, la producción de combustibles alternativos y la utilización de hidrógeno en los procesos industriales, se vuelve cada vez más viable, promoviendo aún más el crecimiento industrial sostenible.

4. Conclusión y perspectivas futuras

La heterogeneidad entre las partes interesadas críticas identificadas, sus diferentes roles y el diverso grado de participación a lo largo del proceso de desarrollo de la innovación tecnológica muestran que existe un ecosistema multifacético y complejo que impulsa y da forma a la innovación tecnológica en ambas áreas temáticas. Comprender el panorama de los actores clave y facilitar las interacciones entre las partes interesadas relevantes es clave para avanzar y acelerar las tecnologías limpias, especialmente aquellas que requieren una combinación de experiencia especializada e inversiones financieras significativas. Esto incluye:

- Facilitar la transferencia de conocimientos para las partes interesadas locales, incluidos los funcionarios gubernamentales, los líderes de la industria y los miembros de la comunidad, podría apoyar el establecimiento de experiencia crítica para la implementación y el mantenimiento de nuevas tecnologías, mejorando así la sostenibilidad y la escalabilidad de los proyectos.
- La colaboración con empresas del sector privado, asociaciones industriales y ONG puede mejorar aún más la escalabilidad, la replicabilidad y la implementación general de soluciones innovadoras.
- Las asociaciones público-privadas pueden proporcionar acceso a recursos, experiencia y financiación adicionales. Por ejemplo, las empresas de tecnología pueden ofrecer capacitación especializada sobre sus productos, mientras que las asociaciones de la industria pueden ayudar a identificar las brechas de habilidades y las necesidades de capacitación.

Además, es fundamental garantizar que las intervenciones sean inclusivas y equitativas, especialmente en las zonas rurales, donde las mujeres y las minorías se ven afectadas de manera desproporcionada por la escasez de energía. Empoderar a las mujeres a través del acceso a soluciones energéticas inteligentes puede generar importantes beneficios socioeconómicos.

Garantizar el acceso a la energía y la formación en el mantenimiento y la operación de estos sistemas puede empoderar a las mujeres económica y socialmente y permitirles convertirse en participantes activas en la transición energética.

Aunque todos los países en desarrollo pueden aprovechar en gran medida de los avances en soluciones de tecnologías limpias, algunos países se destacan por el potencial que tienen dado su desarrollo económico, el tamaño de la población y la madurez de los marcos de política pertinentes. Entre esos países se encuentran India, Brasil, México, Sudáfrica y Tailandia.

La evaluación reveló que hasta hoy existe una amplia gama de tecnologías en el rango TRL 3 a 7, con algunos proyectos de vanguardia que brindan orientación sobre cómo las soluciones tecnológicas innovadoras en EI e DI pueden escalarse con éxito y aplicarse como una nueva solución en diferentes contextos. Si bien las tecnologías que se encuentran en una etapa de desarrollo más temprana pueden resultar cruciales para los esfuerzos futuros de lucha contra el cambio climático, las tecnologías con un grado de desarrollo más alto ya han demostrado su viabilidad y eficacia. Esto implica una reducción significativa de los riesgos técnicos y financieros asociados a su implementación, haciéndolos más atractivos para los inversores y grupos de interés con un menor apetito por el riesgo. Los gobiernos y los organismos reguladores, por ejemplo, tienden a ser más propensos a apoyar el despliegue de tecnologías que han sido validadas en condiciones del mundo real. La mayor madurez de las tecnologías permite un despliegue más rápido en comparación con las tecnologías en etapas anteriores, lo que genera impactos más inmediatos en la eficiencia energética, la reducción de emisiones y el desarrollo económico, lo que hace que la contribución a la lucha contra el cambio climático y al logro de los ODS sea más fácilmente tangible.





Vienna International Centre
Wagramerstr. 5, P.O. Box
300, A-1400 Viena, Austria



+43 1 26026-0



<https://a2dfacility.unido.org>



A2DFacility@unido.org



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL