

Zumma Learning, Consulting & Sustainability.

Diciembre 2024



DESEMPEÑO DE LA ENERGÍA RENOVABLE A NIVEL GLOBAL (2010 - 2023).



PRÓLOGO.

En el contexto de una región como Centroamérica, donde la transición energética representa una oportunidad crucial para fomentar el desarrollo sostenible y rentable de los proyectos de generación de energía, este análisis sobre las energías renovables surge como una herramienta esencial. Las dinámicas energéticas globales y locales demandan un enfoque estratégico, que combine eficiencia económica, viabilidad tecnológica y compromiso ambiental.

El presente artículo ofrece un panorama integral de la evolución, competitividad y beneficios económicos de las energías renovables en la última década, con especial énfasis en tecnologías clave como la energía solar fotovoltaica, la eólica terrestre y la hidroeléctrica. A través de datos concretos y análisis didácticos, exploramos cómo estas tecnologías han transformado el sector eléctrico y generado ahorros significativos, a la vez que enfrentan desafíos particulares según su contexto regional.

Para Centroamérica, un territorio con abundantes recursos naturales y un potencial renovable extraordinario, la adopción de estas tecnologías no es solo una necesidad, sino una oportunidad para liderar el cambio hacia una matriz energética más limpia y eficiente. Con este artículo, buscamos inspirar a tomadores de decisiones, expertos en energía y lectores interesados a considerar el papel transformador de las energías renovables en la construcción de un futuro sostenible para nuestra región.

Carlos Pastor
Zumma LC&S
Diciembre 2024.

Definición de fuentes de energía renovable.

A continuación se menciona las principales fuentes de energía renovable, cada una de las cuales desempeña un papel importante en la transición energética global.

Bioenergía (Bioenergy)

La bioenergía es una fuente renovable que se genera a partir de materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales, industriales y municipales, así como cultivos energéticos dedicados. Esta tecnología utiliza procesos como la combustión, digestión anaerobia, fermentación o gasificación para producir electricidad, calor o biocombustibles. La bioenergía es altamente eficiente y tiene la ventaja de ser una fuente constante de energía, a diferencia de las intermitentes como la solar o la eólica. Sin embargo, su expansión está limitada por la disponibilidad de recursos y preocupaciones sobre el impacto ambiental y la competencia con el uso de la tierra para la producción de alimentos.

Energía Solar Concentrada (CSP, Concentrated Solar Power)

La CSP utiliza espejos o lentes para concentrar la radiación solar en un punto o línea, generando altas temperaturas que se usan para producir vapor y, posteriormente, electricidad a través de una turbina. Una característica destacada de esta tecnología es su capacidad de almacenamiento térmico, que permite generar electricidad incluso cuando no hay luz solar. Aunque prometedora, la CSP enfrenta desafíos relacionados con sus altos costos de instalación y operación, así como su competencia directa con la energía solar fotovoltaica, que es más económica y fácil de implementar.

Geotermia (Geothermal)

La energía geotérmica se obtiene del calor almacenado en el interior de la Tierra, que se aprovecha mediante sistemas que extraen agua caliente o vapor de yacimientos subterráneos. Esta energía se utiliza principalmente para generar electricidad o para aplicaciones de calefacción directa. Es una fuente renovable constante y de alta eficiencia,

con factores de capacidad superiores al 80%. Sin embargo, está limitada a regiones con recursos geotérmicos accesibles, como áreas volcánicas o de actividad tectónica.

Hidroeléctrica (Hydropower)

La energía hidroeléctrica aprovecha la fuerza del agua en movimiento, como ríos o corrientes, para generar electricidad mediante turbinas. Es una de las fuentes renovables más antiguas y maduras, y su capacidad de almacenamiento a través de embalses la convierte en una tecnología confiable para satisfacer la demanda base y equilibrar redes eléctricas. No obstante, enfrenta críticas por su impacto ambiental y social, incluyendo la alteración de ecosistemas, desplazamiento de comunidades y restricciones en la construcción de nuevos proyectos debido a limitaciones geográficas.

Eólica Marina (Offshore Wind)

La energía eólica marina utiliza turbinas instaladas en el mar para capturar la energía del viento, que es más fuerte y constante que en tierra. Esto permite que los proyectos eólicos marinos alcancen factores de capacidad más altos en comparación con la eólica terrestre. Sin embargo, esta tecnología enfrenta desafíos significativos en términos de costos iniciales, instalación y mantenimiento debido a las condiciones marítimas. A pesar de esto, se está convirtiendo en una opción popular en países con recursos eólicos marinos significativos.

Eólica Terrestre (Onshore Wind)

La energía eólica terrestre es una de las fuentes renovables más maduras y utilizadas. Aprovecha el viento en tierra para generar electricidad mediante turbinas instaladas en áreas estratégicas. Es una de las tecnologías más rentables y tiene un LCOE competitivo en comparación con los combustibles fósiles. Su crecimiento está impulsado por su fácil implementación y costos de instalación más bajos en comparación con la eólica marina. Sin embargo, enfrenta limitaciones relacionadas con la intermitencia del viento y la aceptación social en ciertas regiones debido al impacto visual y acústico.

Energía Solar Fotovoltaica (Solar Photovoltaic, Solar PV)

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad utilizando células fotovoltaicas fabricadas con materiales semiconductores, como el silicio. Es la tecnología renovable de mayor crecimiento debido a su modularidad, rápida instalación y disminución significativa en los costos de producción e instalación. Aunque es una fuente intermitente, su accesibilidad y adaptabilidad la han consolidado como una de las principales opciones para la transición energética, tanto en aplicaciones residenciales como en proyectos a gran escala.

Estas fuentes representan la diversidad de soluciones renovables disponibles para reducir las emisiones de carbono y diversificar la matriz energética global. Cada tecnología tiene sus propias ventajas, desafíos y aplicaciones específicas, lo que subraya la importancia de una combinación equilibrada para satisfacer las necesidades energéticas de manera sostenible y eficiente.

Evolución de Costos, Factores de Capacidad y Competitividad de las Tecnologías Renovables: 2010-2023.

El sector de generación de energía ha experimentado una evolución significativa durante las últimas décadas, diversificándose y adoptando tecnologías más sostenibles. La tabla adjunta presenta un análisis detallado de los costos totales de instalación, factores de capacidad y **costos nivelados de electricidad (LCOE)** para diversas tecnologías en los años 2010 y 2023, proporcionando una visión integral de su evolución.

La bioenergía muestra una ligera reducción en los costos de instalación, pasando de 3,010 USD/kW en 2010 a 2,730 USD/kW en 2023, lo que representa una disminución del 9%. Sin embargo, su factor de capacidad se mantuvo estable en el 72%, lo que indica que no ha habido mejoras significativas en la eficiencia de generación. En cuanto al LCOE, se redujo de 0.084 USD/kWh a 0.072 USD/kWh, una disminución del 14%, lo que

evidencia un avance moderado en términos de competitividad económica. A pesar de estos cambios, la bioenergía no destaca como una de las tecnologías más dinámicas en el panorama actual.

La energía geotérmica presenta un comportamiento opuesto. Sus costos de instalación aumentaron considerablemente, de 3,011 USD/kW en 2010 a 4,589 USD/kW en 2023, lo que equivale a un incremento del 52%. Este aumento se debe, probablemente, a la complejidad inherente de los proyectos geotérmicos y los mayores costos de exploración. Su factor de capacidad disminuyó de 87% a 82%, reflejando una caída del 6% en la eficiencia operativa. El LCOE también aumentó de 0.054 USD/kWh a 0.071 USD/kWh, un incremento del 31% que reduce su competitividad en el contexto global.

La hidroelectricidad, tradicionalmente una de las fuentes más establecidas, ha registrado un aumento significativo en los costos de instalación, pasando de 1,459 USD/kW en 2010 a 2,806 USD/kW en 2023, lo que equivale a un aumento del 92%. A pesar de este aumento, el factor de capacidad mejoró de 44% a 53%, reflejando un incremento del 20% en su eficiencia operativa. No obstante, el LCOE creció de 0.043 USD/kWh a 0.057 USD/kWh, un incremento del 33% que podría limitar su competitividad futura, especialmente frente a tecnologías renovables emergentes.

La energía solar fotovoltaica es, sin duda, la protagonista de esta transformación. Ha registrado la mayor reducción en costos de instalación, pasando de 5,310 USD/kW en 2010 a solo 758 USD/kW en 2023, lo que representa una disminución del 86%. Aunque su factor de capacidad aumentó modestamente de 14% a 16%, con un incremento del 14%, sigue siendo inferior al de otras tecnologías. Sin embargo, su LCOE experimentó una caída espectacular, de 0.46 USD/kWh en 2010 a 0.044 USD/kWh en 2023, lo que equivale a una reducción del 90%. Este logro refleja los avances tecnológicos y las economías de escala alcanzadas, consolidándola como una de las tecnologías más competitivas y de mayor crecimiento a nivel global.

La energía solar concentrada, por su parte, ha mostrado avances significativos aunque a un ritmo más lento. Sus costos de instalación disminuyeron de 10,453 USD/kW en 2010 a 6,589 USD/kW en 2023, lo que representa una reducción del 37%. Su factor de capacidad mejoró notablemente de 30% a 55%, un incremento del 83% que refleja avances en la eficiencia tecnológica. En términos de LCOE, se redujo de 0.393 USD/kWh a 0.117 USD/kWh, una disminución del 70%, lo que demuestra su potencial para aplicaciones específicas como el almacenamiento térmico.

La energía eólica terrestre también ha mostrado avances importantes. Sus costos de instalación disminuyeron de 2,272 USD/kW a 1,160 USD/kW entre 2010 y 2023, lo que equivale a una reducción del 49%. Su factor de capacidad aumentó de 27% a 36%, un incremento del 33% que refleja mejoras en el diseño y la ubicación de las turbinas. El LCOE también experimentó una notable reducción, de 0.111 USD/kWh a 0.033 USD/kWh, lo que equivale a una disminución del 70%. Esto consolida a la energía eólica terrestre como una de las tecnologías más rentables y ampliamente adoptadas.

Por último, **la energía eólica marina** ha mejorado significativamente, aunque sigue siendo menos competitiva que su contraparte terrestre. Sus costos de instalación disminuyeron de 5,409 USD/kW a 2,800 USD/kW, una reducción del 48%. Su factor de capacidad aumentó de 38% a 41%, un modesto incremento del 8%, mientras que el LCOE se redujo de 0.203 USD/kWh a 0.075 USD/kWh, lo que representa una disminución del 63%. Aunque estas cifras son prometedoras, su adopción sigue siendo limitada debido a los altos costos iniciales.

En conclusión, **la energía solar fotovoltaica y la eólica terrestre** han liderado la transformación del sector energético gracias a sus significativas reducciones de costos y avances tecnológicos. Sin embargo, otras tecnologías como **la solar concentrada y la eólica marina** están mostrando un potencial creciente, mientras que **la hidroelectricidad y la geotermia** enfrentan retos relacionados con los costos. Este panorama subraya la importancia de seguir invirtiendo en investigación e innovación

para mantener la transición energética hacia fuentes más limpias y sostenibles.

Impacto Global de las Energías Renovables en la Reducción de Costos del Sector Eléctrico en 2023.

El análisis de los ahorros generados por las energías renovables en el sector eléctrico global en 2023 destaca su impacto económico significativo, derivado de la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía limpia. Desde el año 2000, las tecnologías renovables han ido ganando terreno en la matriz energética mundial, lo que ha resultado en un ahorro total de costos equivalente a cientos de miles de millones de dólares, beneficiando tanto a regiones como a sectores tecnológicos clave.

En términos regionales, Asia lidera el ahorro con un total de 212 mil millones de dólares en 2023. Este liderazgo refleja la masiva adopción de energías renovables, particularmente solar fotovoltaica y eólica terrestre, en países como China e India, que han apostado por estas tecnologías como pilares de su transición energética. Europa ocupa el segundo lugar, con 88 mil millones de dólares ahorrados, gracias a su compromiso histórico con la descarbonización y su adopción de tecnologías como la eólica marina y terrestre, además de la energía solar. Sudamérica, impulsada principalmente por la hidroeléctrica, aportó 53 mil millones de dólares en ahorros, lo que subraya el papel crucial de esta fuente en una región con vastos recursos hídricos. Norteamérica también mostró un impacto considerable, con 19 mil millones de dólares en ahorros, gracias a su fuerte inversión en eólica terrestre y solar fotovoltaica, especialmente en Estados Unidos. África, aunque con menores niveles de inversión en renovables, logró generar 11 mil millones de dólares en ahorros, reflejando el creciente interés por estas tecnologías en el continente. Oceanía, con 5 mil millones de dólares, y Centroamérica y el Caribe, con 3 mil millones, evidencian un impacto económico menor debido a una adopción más limitada de tecnologías renovables.

Por tecnología, **la eólica** terrestre es la fuente de energía renovable con el mayor impacto económico, generando 149 mil millones de dólares en ahorros en 2023. Su alta competitividad económica, combinada con su penetración global, la ha consolidado como la opción preferida en muchas regiones. **La hidroeléctrica**, con un ahorro de 117 mil millones de dólares, sigue siendo una de las tecnologías más confiables y maduras, especialmente en países con recursos hídricos abundantes. **La energía solar fotovoltaica**, que ha experimentado un crecimiento explosivo en los últimos años, contribuyó con 78 mil millones de dólares en ahorros, gracias a su rápida reducción de costos y su flexibilidad para adaptarse a diferentes entornos. **La biomasa** también jugó un papel relevante, generando 40 mil millones de dólares en ahorros, especialmente en regiones donde los recursos orgánicos están ampliamente disponibles. **La eólica marina**, aunque menos adoptada globalmente, aportó 21 mil millones de dólares, destacándose en mercados específicos como Europa y China. **La geotermia**, una tecnología altamente eficiente pero restringida geográficamente, tuvo un impacto más limitado, generando solo 4 mil millones de dólares.

Estos datos evidencian el impacto transformador de las energías renovables en la reducción de costos en el sector eléctrico global. Mientras que regiones como Asia y Europa lideran la transición gracias a sus altos niveles de adopción, otras como África y América Latina muestran un creciente interés por estas tecnologías. En términos tecnológicos, **la eólica terrestre, la hidroeléctrica y la solar fotovoltaica** son las principales fuentes de ahorro, mientras que tecnologías como la **geotermia y la eólica marina**, aunque menos generalizadas, también aportan beneficios significativos. Este análisis pone de manifiesto no solo el impacto ambiental positivo de las energías renovables, sino también su capacidad para generar importantes beneficios económicos, marcando el camino hacia un sistema energético más sostenible y eficiente a nivel global.

Tipo de fuente renovable que resulta más rentable de instalar en términos de inyección de energía por KWH.

El análisis de la relación costo/eficiencia entre las tecnologías de generación de energía muestra que, para determinar cuál resulta más rentable en términos de energía inyectada por cada kWh generado, es esencial evaluar la capacidad de conversión de la inversión inicial en generación eléctrica efectiva. Para esto, se utiliza una métrica conocida como “eficiencia relativa”, que combina el factor de capacidad (que mide qué tan eficiente es la tecnología para convertir su capacidad instalada en generación real) con el costo total de instalación por kilovatio instalado. La fórmula utilizada es:

Eficiencia relativa = Factor de capacidad (%) \ Costo de instalación (USD/kW)

Esta métrica permite comparar directamente cuánto rendimiento energético se obtiene por cada dólar invertido en la instalación de una tecnología específica.

Al aplicar esta fórmula a los datos del año 2023, se obtienen resultados que reflejan diferencias notables entre las tecnologías analizadas. **La energía eólica** terrestre se posiciona como la opción más rentable, con una eficiencia relativa de 0.0310, derivada de su factor de capacidad del 36% y un costo de instalación relativamente bajo de 1,160 USD/kW. Esto demuestra que esta tecnología logra un balance óptimo entre su capacidad de generación y los recursos económicos requeridos para su implementación.

La bioenergía ocupa el segundo lugar en eficiencia relativa con un valor de 0.0264, lo que refleja una combinación favorable entre su factor de capacidad del 72% y un costo de instalación de 2,730 USD/kW. Aunque menos competitiva que la eólica terrestre, la bioenergía presenta la ventaja de ser una tecnología de generación constante, lo que la hace

atractiva en ciertos contextos donde se busca estabilidad en el suministro eléctrico.

La energía solar fotovoltaica se encuentra en el tercer lugar con una eficiencia relativa de 0.0211, derivada de su factor de capacidad del 16% y un costo de instalación notablemente reducido de 758 USD/kW. Si bien su eficiencia relativa es menor debido a la baja capacidad operativa de los paneles solares en comparación con otras tecnologías, la significativa disminución en sus costos de instalación y su competitividad en términos de costo nivelado de electricidad (LCOE) la han consolidado como una de las tecnologías más adoptadas a nivel global.

Otras tecnologías, como **la hidroelectricidad y la geotermia**, muestran eficiencias relativas más bajas, de 0.0189 y 0.0179 respectivamente. En el caso de la hidroelectricidad, el aumento en los costos de instalación hasta 2,806 USD/kW ha limitado su competitividad, a pesar de un factor de capacidad respetable del 53%. Por otro lado, la geotermia enfrenta desafíos similares debido a sus altos costos de instalación, que ascienden a 4,589 USD/kW, y una ligera disminución en su factor de capacidad al 82%.

Las tecnologías más costosas en términos de eficiencia relativa son **la eólica marina y la energía solar concentrada**, con valores de 0.0146 y 0.0084 respectivamente. En el caso de la eólica marina, aunque su factor de capacidad es del 41%, el costo de instalación de 2,800 USD/kW la hace menos competitiva que su contraparte terrestre. Por su parte, la energía solar concentrada, aunque ha logrado importantes avances en su factor de capacidad, alcanzando el 55%, todavía enfrenta costos de instalación elevados de 6,589 USD/kW, lo que la sitúa como una opción menos rentable para proyectos de inyección energética a gran escala.

En resumen, el análisis muestra que **la energía eólica terrestre** es la tecnología más rentable en términos de relación costo/eficiencia, seguida por **la bioenergía y la solar fotovoltaica**. Este resultado refleja la importancia de considerar no solo el costo inicial de instalación, sino también la eficiencia operativa de cada tecnología para maximizar el

retorno energético por dólar invertido. Aunque tecnologías como la eólica marina y la solar concentrada tienen un menor rendimiento relativo, su desarrollo futuro y las mejoras tecnológicas podrían cambiar esta dinámica a medida que se logren reducciones en costos y aumentos en eficiencia.

Reducción del Costo Nivelado de Energía (LCOE) para Tecnologías Solares y Eólicas en Comparación con Combustibles Fósiles: 2010-2023.

El análisis de los datos presentados pone de manifiesto la relevancia del "costo nivelado de electricidad (LCOE)" como una métrica clave para evaluar la competitividad de las tecnologías de generación de energía, especialmente frente a los combustibles fósiles. El LCOE representa el costo promedio por kilovatio-hora (kWh) producido a lo largo de la vida útil de una instalación, considerando aspectos como los costos de instalación, operación, mantenimiento, financiamiento y desmantelamiento. Este indicador permite comparar tecnologías muy diferentes bajo un mismo marco económico, lo que lo convierte en una herramienta crucial para la toma de decisiones en el sector energético.

El análisis del LCOE en la tabla utiliza diferentes percentiles para ofrecer una perspectiva más amplia sobre los costos en diversas condiciones. Cada percentil representa un rango específico dentro del espectro de costos observados globalmente, desde los proyectos más eficientes hasta los menos competitivos. El percentil 5 se refiere al rango de los proyectos más eficientes y de menor costo, típicamente aquellos que operan en condiciones ideales o que se benefician de incentivos específicos. Por otro lado, el percentil 95 refleja los proyectos con mayores costos, lo que puede deberse a factores como ubicación subóptima, tecnología menos avanzada o condiciones económicas desfavorables. El promedio ponderado representa un panorama general que combina ambos extremos y mide la realidad global promedio de cada tecnología.

El LCOE de **la energía solar fotovoltaica** ha experimentado una disminución del 56% en su promedio ponderado entre 2010 y 2023, consolidándose como una de las tecnologías más competitivas a nivel mundial. Este avance refleja la masificación de su adopción, las economías de escala y los avances tecnológicos en la fabricación de paneles. En el percentil 5, los costos cayeron un 65%, lo que indica que los mejores proyectos se han vuelto significativamente más económicos. Sin embargo, en el percentil 95, se observa un ligero aumento del 5%, lo que evidencia que algunos proyectos aún enfrentan barreras económicas o técnicas que limitan su competitividad.

La energía eólica terrestre muestra una reducción aún más notable en el promedio ponderado del LCOE, con una caída del 67%. En el percentil 5, los proyectos más competitivos han logrado una impresionante disminución del 81%, mientras que el percentil 95 refleja una mejora del 28%. Esto posiciona a la eólica terrestre como una de las tecnologías más rentables, especialmente en lugares con recursos eólicos consistentes y bien aprovechados.

Por su parte, **la eólica marina muestra** avances más limitados, con una reducción del 25% en el promedio ponderado. Aunque el percentil 5 muestra una caída del 47%, el percentil 95 registra un aumento significativo del 72%. Esto sugiere que, mientras algunos proyectos marinos han logrado mejorar su eficiencia y costos, otros aún enfrentan desafíos importantes debido a los altos costos de infraestructura y operación en ambientes marítimos.

La energía solar concentrada presenta un panorama mixto. Aunque su promedio ponderado del LCOE se ha reducido un 17%, esta tecnología sigue siendo menos competitiva en comparación con la fotovoltaica. En el percentil 5, los costos se han mantenido estables, lo que indica que los proyectos más avanzados no han logrado reducir significativamente sus costos. Esto puede deberse a la complejidad técnica de las plantas solares concentradas y a sus altos costos iniciales, aunque siguen ofreciendo ventajas en aplicaciones específicas como el almacenamiento térmico.

La inclusión de diferentes percentiles en el análisis del LCOE es esencial para comprender cómo las tecnologías se comportan en distintas condiciones y contextos. Permite identificar no solo las medias globales, sino también los extremos del espectro de costos, destacando tanto las oportunidades como los desafíos específicos de cada tecnología. Esto es especialmente relevante en un mundo donde las condiciones locales, las políticas de incentivo y los avances tecnológicos pueden variar drásticamente entre regiones y proyectos.

En conclusión, el LCOE es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad económica de las tecnologías de generación de energía. Su análisis a través de percentiles proporciona una visión integral que abarca desde los proyectos más eficientes hasta los menos competitivos, permitiendo tomar decisiones más informadas y estratégicas. **La energía solar fotovoltaica y la eólica terrestre** lideran la transición hacia una generación más económica y sostenible, mientras que tecnologías como la eólica marina y la solar concentrada todavía enfrentan desafíos significativos que limitan su competitividad. Sin embargo, el panorama general muestra un progreso alentador hacia la reducción de costos en la generación de energía renovable, fortaleciendo su papel en la descarbonización del sector energético global.

Costo Nivelado de Energía (LCOE) y Factores de Capacidad Globales para Tecnologías Renovables a Gran Escala en 2023.

El análisis proporciona un análisis detallado sobre el "Costo Nivelado de Electricidad (LCOE)" y los factores de capacidad promedio ponderados globalmente para diversas tecnologías de generación de energía renovable a gran escala comisionadas en 2023. Este acápite permite entender las tendencias recientes en costos y eficiencia operativa, lo que resulta crucial para evaluar la competitividad y viabilidad de cada tecnología en el contexto global de transición energética.

El LCOE es un indicador clave que mide el costo promedio de generar electricidad a lo largo de la vida útil de una planta. Se expresa en términos de dólares por kilovatio-hora (USD/kWh) e incluye costos de instalación, operación y mantenimiento. Este indicador permite comparar tecnologías muy diferentes bajo un marco común, proporcionando una base sólida para decisiones estratégicas. Además, el análisis incluye los factores de capacidad, que reflejan la eficiencia con la que una planta utiliza su capacidad instalada para generar electricidad. Este dato, expresado como un porcentaje, muestra qué tanto se aprovechan los recursos energéticos disponibles.

En 2023, **la energía solar fotovoltaica** experimentó una disminución del 12% en su LCOE en comparación con 2022. Este avance refuerza su posición como una de las tecnologías más accesibles y competitivas. Sin embargo, su factor de capacidad promedio fue del 16.2%, lo que refleja una eficiencia operativa baja en comparación con otras tecnologías. Esto se debe principalmente a la dependencia de la energía solar de las condiciones climáticas y la intermitencia en la disponibilidad del recurso.

La energía eólica marina presentó una reducción del 7% en su LCOE, con un factor de capacidad promedio del 41%. Este valor es significativamente más alto que el de la energía solar fotovoltaica, lo que se explica por la consistencia de los recursos eólicos en entornos marítimos. Sin embargo, la disminución más modesta en el LCOE sugiere que esta tecnología aún enfrenta desafíos en la reducción de costos iniciales y operativos asociados con la instalación en alta mar.

La energía eólica terrestre, por otro lado, tuvo un comportamiento más conservador con una reducción del 3% en su LCOE y un factor de capacidad promedio del 35.9%. Aunque su eficiencia es ligeramente menor que la de la eólica marina, sus menores costos de instalación y operación la convierten en una opción muy competitiva en regiones con abundantes recursos eólicos terrestres.

La energía solar concentrada, conocida por su capacidad para almacenar calor y generar electricidad incluso en ausencia de radiación solar, redujo su LCOE en un 4% en 2023. Su factor de capacidad promedio fue del 54.5%, uno de los más altos entre las tecnologías analizadas, lo que refleja una utilización eficiente del recurso solar. A pesar de esto, su adopción sigue siendo limitada debido a los altos costos iniciales y la complejidad de los proyectos.

La bioenergía registró un incremento significativo en su LCOE, con un aumento del 149% en comparación con 2022. Este aumento refleja posiblemente mayores costos de insumos o cambios en la dinámica del mercado. Sin embargo, su factor de capacidad promedio de 71.9% la posiciona como una tecnología altamente eficiente y confiable para la generación constante de energía.

La geotermia mostró un incremento del 23% en su LCOE, a pesar de tener el factor de capacidad promedio más alto entre todas las tecnologías, con un 82.1%. Esto indica que, aunque es una fuente de energía altamente eficiente y confiable, los costos iniciales y de operación siguen siendo una barrera para su expansión más amplia.

Por último, **la hidroelectricidad** presentó una reducción del 7% en su LCOE, con un factor de capacidad promedio del 53.5%. Este equilibrio entre costos y eficiencia resalta su papel como una tecnología madura y confiable, especialmente en regiones con recursos hídricos adecuados.

El análisis de estos datos destaca cómo las tecnologías renovables continúan evolucionando en términos de costos y eficiencia. Las disminuciones en el LCOE para **la energía solar fotovoltaica, la eólica marina y la hidroelectricidad** refuerzan su competitividad frente a los combustibles fósiles. Sin embargo, los aumentos observados en **la bioenergía y la geotermia** subrayan los desafíos únicos que enfrentan estas tecnologías, a pesar de su alta eficiencia operativa. La combinación de estos factores es esencial para identificar oportunidades de inversión y priorizar tecnologías en la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible. Este tipo de análisis proporciona una perspectiva

integral, permitiendo a los lectores comprender las complejidades y avances en el sector de las energías renovables.

Comparación Global del Costo Nivelado de Energía (LCOE) para Tecnologías Renovables a Gran Escala, 2010 y 2023.

El presente análisis se basa en la data conocida como "Global LCOE from newly commissioned utility-scale renewable power technologies, 2010 and 2023", la cual explica los costos nivelados de electricidad (LCOE)** de distintas tecnologías de generación renovable, comisionadas a gran escala, en dos periodos: 2010 y 2023. Los datos incluyen valores en diferentes percentiles (5°, promedio ponderado y 95°) y se comparan con un rango de costos de generación a partir de combustibles fósiles en 2023. La intención de la tabla es demostrar la evolución en los costos de generación renovable y su competitividad frente a las tecnologías tradicionales basadas en combustibles fósiles.

El LCOE se presenta en dólares de 2023 por kilovatio-hora (USD/kWh) y evalúa cuánto cuesta generar electricidad considerando todos los costos asociados (instalación, operación, mantenimiento, etc.) durante la vida útil de una instalación. La inclusión de los percentiles (5°, promedio ponderado y 95°) permite observar el rango de costos, desde los proyectos más eficientes y económicos hasta los más caros o menos competitivos.

En el caso de **la energía solar fotovoltaica**, el promedio ponderado del LCOE pasó de 0.460 USD/kWh en 2010 a 0.044 USD/kWh en 2023, mostrando una reducción significativa de costos. En el percentil 5 (los proyectos más eficientes), el LCOE disminuyó de 0.230 USD/kWh a 0.031 USD/kWh, lo que demuestra que los mejores proyectos han alcanzado una competitividad notable frente a los combustibles fósiles. Sin embargo, incluso en el percentil 95, donde se encuentran los proyectos

más costosos, el LCOE cayó de 0.576 USD/kWh a 0.110 USD/kWh, destacando mejoras en toda la gama de proyectos.

La eólica terrestre experimentó una reducción similar. El LCOE promedio ponderado bajó de 0.111 USD/kWh en 2010 a 0.033 USD/kWh en 2023. En el percentil 5, el costo disminuyó de 0.073 USD/kWh a 0.019 USD/kWh, mostrando un impresionante progreso en eficiencia y competitividad. Incluso en el percentil 95, el LCOE se redujo de 0.152 USD/kWh a 0.072 USD/kWh, lo que evidencia que la eólica terrestre es ahora una de las tecnologías más rentables.

La eólica marina también registró avances notables. El LCOE promedio ponderado pasó de 0.203 USD/kWh en 2010 a 0.075 USD/kWh en 2023. Aunque los costos en el percentil 95 son más altos (0.171 USD/kWh en 2023), su reducción desde 0.298 USD/kWh en 2010 muestra avances consistentes en esta tecnología.

En el caso de **la energía solar concentrada (CSP)**, aunque los costos promedio ponderados disminuyeron de 0.396 USD/kWh a 0.117 USD/kWh, siguen siendo más altos en comparación con las tecnologías solares fotovoltaicas. Los costos en el percentil 5 pasaron de 0.336 USD/kWh a 0.107 USD/kWh, mostrando mejoras significativas, pero aún insuficientes para competir en muchos mercados sin incentivos.

Por otro lado, las tecnologías basadas en **biomasa y geotermia** mostraron menos cambios. Para la biomasa, el LCOE promedio ponderado bajó ligeramente de 0.084 USD/kWh en 2010 a 0.072 USD/kWh en 2023, mientras que en geotermia aumentó de 0.054 USD/kWh a 0.071 USD/kWh, indicando que estas tecnologías enfrentan mayores desafíos para reducir costos. En ambos casos, los valores del percentil 5 y 95 muestran fluctuaciones menores, lo que sugiere estabilidad en estas tecnologías, aunque con menos mejoras en competitividad.

Finalmente, la **hidroelectricidad** mostró una ligera mejora en el percentil 5, con una reducción de 0.028 USD/kWh a 0.027 USD/kWh, pero el promedio ponderado aumentó de 0.043 USD/kWh a 0.057 USD/kWh, lo

que indica que ciertos proyectos hidroeléctricos enfrentan costos crecientes, posiblemente debido a mayores requerimientos regulatorios o costos de construcción en ubicaciones más desafiantes.

El análisis también incluye un rango de costos de generación de electricidad a partir de “combustibles fósiles” en 2023, que va de 0.070 USD/kWh en su banda baja a 0.176 USD/kWh en su banda alta. Esto proporciona un contexto para comparar la competitividad de las tecnologías renovables. Tanto la **solar fotovoltaica como la eólica terrestre y marina** se encuentran claramente dentro del rango de costos de los combustibles fósiles e incluso por debajo en los proyectos más eficientes.

En resumen, los datos destacan una mejora notable en la competitividad de las energías renovables, particularmente la solar fotovoltaica y la eólica terrestre, que han alcanzado costos significativamente más bajos que los combustibles fósiles en muchos casos. Aunque tecnologías como la CSP, biomasa y geotermia han progresado, enfrentan mayores retos para igualar el nivel de competitividad de las tecnologías líderes. Este análisis demuestra que la transición energética hacia fuentes más limpias es no solo ambientalmente necesaria, sino también económicamente viable en un número creciente de mercados globales.

Distribución Regional de las Adiciones de Capacidad de Energía Renovable por Tecnología en 2023.

El análisis global y regional de las adiciones de capacidad de energía renovable en 2023 proporciona una visión integral sobre cómo las tecnologías renovables están moldeando la transición energética. Empezaremos evaluando las tendencias globales, para luego profundizar en las características específicas de cada región, relacionando estas dinámicas con la eficiencia económica medida en dólares por megavatio-hora (MWh) generado.

A nivel global, **la energía solar fotovoltaica** domina con un impresionante 73% de las adiciones de capacidad renovable en 2023. Esto refleja su rápida adopción, impulsada por la caída drástica en los costos nivelados de electricidad (LCOE), que disminuyeron un 90% entre 2010 y 2023. La solar fotovoltaica se ha consolidado como la tecnología más accesible debido a su modularidad, rapidez de instalación y aplicabilidad en una variedad de contextos geográficos. Sin embargo, en términos de eficiencia económica, la eólica terrestre, que ocupa el segundo lugar con el 22% de las adiciones globales, supera a la solar fotovoltaica. La eólica terrestre combina un LCOE más competitivo y factores de capacidad superiores, lo que indica que, aunque la fotovoltaica lidera en expansión, no necesariamente es la tecnología más eficiente por dólar invertido.

En África, las adiciones de capacidad están distribuidas equitativamente entre **la energía solar fotovoltaica** (31%), **la eólica terrestre** (34%) y **la hidroeléctrica** (34%). Esto refleja un enfoque diversificado en la región, aprovechando los abundantes recursos solares, **eólicos e hídricos**. Sin embargo, la eficiencia económica difiere entre estas tecnologías. **La eólica terrestre**, con un LCOE promedio de 0.033 USD/kWh en 2023, es más competitiva que **la solar fotovoltaica**, cuyo LCOE promedio es de 0.044 USD/kWh. **La hidroeléctrica**, aunque eficiente en términos de factor de capacidad, enfrenta mayores costos iniciales en proyectos nuevos, lo que limita su competitividad en comparación con la eólica terrestre.

En Asia, **la energía solar fotovoltaica** domina las adiciones de capacidad con un 73%, mientras que **la eólica terrestre** representa el 23%. Este liderazgo de **la solar fotovoltaica** está impulsado por la capacidad de países como China e India para implementar grandes proyectos solares de manera rápida y económica. Sin embargo, al igual que en el ámbito global, **la eólica terrestre** sigue siendo más eficiente en términos de costos por MWh generado, lo que sugiere que la preferencia por la solar fotovoltaica está impulsada más por su flexibilidad y caída de costos de instalación que por su eficiencia operativa.

En América Central y el Caribe, **la energía solar fotovoltaica** constituye el 90% de las adiciones de capacidad, un porcentaje extremadamente alto que destaca su accesibilidad y modularidad. En contraste, **la hidroeléctrica y la geotermia**, que representan el 5% y 3% respectivamente, muestran una adopción más limitada debido a sus altos costos iniciales y requisitos específicos de recursos naturales. Aunque la solar fotovoltaica domina, no es la tecnología más eficiente en dólares por MWh, siendo superada por la eólica terrestre, que apenas registra adiciones en esta región.

En Eurasia, Europa y el Medio Oriente, **la energía solar fotovoltaica** también lidera con porcentajes del 68%, 75% y 84% respectivamente. En Europa, la eólica terrestre representa el 19%, un porcentaje significativo que refleja el compromiso de la región con tecnologías maduras y altamente eficientes. En el Medio Oriente, la dominancia de la solar fotovoltaica está estrechamente relacionada con la abundancia de recursos solares y la falta de infraestructura para tecnologías como la eólica terrestre.

En América del Norte y Oceanía, **la energía solar fotovoltaica** ocupa el 77% y 70% respectivamente, mientras que la eólica terrestre sigue con el 23% y 15%. Este patrón destaca cómo **la solar fotovoltaica** continúa liderando en términos de expansión, pero la eólica terrestre mantiene una participación significativa debido a su mayor eficiencia económica en proyectos a gran escala. En América del Sur, la solar fotovoltaica domina con un 64%, seguida de la eólica terrestre con un 28%. Este balance refleja el potencial de ambas tecnologías en una región con recursos diversos y creciente demanda energética.

En conclusión, **la energía solar fotovoltaica** lidera en la mayoría de las regiones debido a su flexibilidad, modularidad y disminución en los costos de instalación. Sin embargo, no es necesariamente la más eficiente en términos económicos por MWh generado. La eólica terrestre, con costos más bajos y mayores factores de capacidad, sigue siendo la tecnología más eficiente globalmente en muchos contextos. Este análisis

subraya la importancia de considerar no solo la expansión de una tecnología, sino también su eficiencia económica y operativa para lograr una transición energética efectiva y sostenible.

Adiciones Anuales de Capacidad de Energía Renovable a Nivel Global por Tecnología, 2010-2023 (Giga Watts_GW).

El análisis de las adiciones anuales de capacidad renovable entre 2010 y 2023 refleja la evolución de las tecnologías renovables a nivel global, destacando cambios significativos en el liderazgo tecnológico y las tendencias del sector energético.

A lo largo de este período, **la energía solar fotovoltaica** se ha consolidado como la tecnología de mayor crecimiento. En 2010, se añadieron solo 17 GW, mientras que en 2023 esta cifra alcanzó 346 GW, mostrando un crecimiento exponencial. Este aumento se debe principalmente a la drástica reducción en los costos nivelados de electricidad (LCOE), que ha hecho que la tecnología sea más accesible, junto con su flexibilidad para ser implementada en una amplia gama de entornos. Este crecimiento masivo también refleja el apoyo de políticas gubernamentales y la creciente inversión en proyectos de gran escala.

La **energía eólica terrestre** ha mantenido un ritmo de crecimiento más constante, comenzando con 30 GW en 2010 y alcanzando 105 GW en 2023. Aunque no ha crecido tan rápido como la solar fotovoltaica, la eólica terrestre sigue siendo una tecnología madura y eficiente, especialmente en regiones con recursos eólicos consistentes. Su LCOE competitivo y su factor de capacidad más alto la posicionan como una alternativa sólida a la energía solar fotovoltaica en términos de eficiencia económica.

La **energía eólica marina**, aunque muestra un crecimiento más limitado, ha ido ganando importancia con el tiempo. En 2010, solo se añadieron 1

GW, mientras que en 2023 las adiciones alcanzaron 7 GW. Esta tecnología enfrenta desafíos significativos debido a sus altos costos iniciales y la complejidad de las instalaciones, pero su factor de capacidad elevado en comparación con otras tecnologías sigue siendo un atractivo clave en mercados específicos.

La **hidroeléctrica**, una tecnología tradicionalmente importante, ha mostrado una tendencia decreciente en términos de adiciones anuales. En 2010, se añadieron 5 GW, mientras que en 2023 esta cifra cayó a 4 GW. Esto refleja limitaciones geográficas, regulatorias y ambientales, que dificultan la expansión de esta tecnología. A pesar de ello, la hidroeléctrica sigue siendo una fuente confiable de energía renovable, especialmente en regiones con abundantes recursos hídricos.

Otras tecnologías, como la **bioenergía**, la **energía solar concentrada** y la **geotermia**, han mostrado un crecimiento limitado durante este período. **La bioenergía y la geotermia** se han mantenido estables con adiciones anuales modestas, mientras que **la energía solar concentrada** alcanzó un pico alrededor de 2013 pero no ha crecido significativamente desde entonces. Estas tecnologías enfrentan desafíos relacionados con costos iniciales elevados, complejidad técnica y limitaciones geográficas.

Finalmente, **la energía oceánica, mareomotriz y de olas** no ha registrado adiciones significativas de capacidad durante el período analizado, permaneciendo en una etapa experimental. Aunque tiene potencial a largo plazo, aún no se ha comercializado de manera competitiva.

En resumen, los datos reflejan un claro liderazgo de **la energía solar fotovoltaica** en términos de expansión, seguida por la eólica terrestre. Aunque la solar fotovoltaica domina en términos de capacidad instalada, la eólica terrestre sigue siendo más eficiente en términos de costos por megavatio-hora generado, lo que subraya la importancia de considerar tanto la escala de implementación como la eficiencia económica. Las demás tecnologías, aunque importantes en ciertos contextos, han quedado rezagadas en comparación con estas dos líderes. Este análisis demuestra cómo la combinación de políticas, reducción de costos y

avances tecnológicos ha moldeado la transición energética global durante la última década.

Competitividad de las Adiciones Anuales de Capacidad de Generación de Energía Renovable a Gran Escala, 2010-2023 (Giga Watts_GW).

El análisis de las adiciones anuales de capacidad de generación de energía renovable a gran escala entre 2010 y 2023 revela cómo las diferentes tecnologías han contribuido al crecimiento del sector renovable y cómo su participación ha evolucionado a lo largo del tiempo. Este período ha sido testigo de transformaciones importantes en la competitividad de las fuentes renovables, marcadas por avances tecnológicos, economías de escala y políticas de apoyo en distintos mercados globales.

En 2010, la capacidad instalada adicional total de fuentes renovables fue de 35.8 GW. En ese año, **la energía hidroeléctrica** lideraba con 28.4 GW, lo que representaba el 79% del total de las adiciones. Este liderazgo reflejaba el rol histórico de **la hidroeléctrica** como la principal fuente renovable, especialmente en países con abundantes recursos hídricos. Sin embargo, la tecnología dependía de condiciones geográficas favorables y enfrentaba desafíos crecientes relacionados con el impacto ambiental y la complejidad de los proyectos a gran escala.

La energía solar fotovoltaica, que en 2010 aportó solo 0.3 GW, comenzó a emerger como una tecnología clave en la transición energética. Durante la década siguiente, **la solar fotovoltaica** experimentó un crecimiento explosivo. Para 2023, esta tecnología alcanzó un impresionante aporte anual de 247.8 GW, lo que equivale a casi el 66% de las adiciones renovables totales de ese año, que fueron de 373.5 GW. Este crecimiento fue impulsado por la drástica reducción en los costos de instalación, que cayó más del 80% entre 2010 y 2023, así como por su modularidad,

rapidez de instalación y versatilidad para ser implementada en diferentes contextos geográficos.

La energía eólica terrestre también mostró un crecimiento sostenido durante el período. En 2010, esta tecnología aportó 2.3 GW, pero para 2023, su contribución aumentó a 105.2 GW. Aunque no creció tan rápido como **la solar fotovoltaica**, **la eólica terrestre** consolidó su posición como una tecnología madura y competitiva, especialmente en regiones con recursos eólicos consistentes. Su factor de capacidad más alto y su LCOE competitivo la han convertido en una opción eficiente para proyectos a gran escala.

Por otro lado, **la energía eólica marina** ha registrado un crecimiento más modesto pero constante. En 2010, su aporte fue de apenas 0.2 GW, pero para 2023 alcanzó 9.9 GW. Este crecimiento refleja el desarrollo de proyectos en alta mar, impulsados principalmente por países con recursos eólicos marítimos significativos como el Reino Unido, China y Dinamarca. Aunque sus costos iniciales son altos, su factor de capacidad elevado la convierte en una tecnología atractiva en mercados específicos.

La energía hidroeléctrica, aunque históricamente dominante, mostró una tendencia decreciente en su participación. Después de alcanzar un pico de 53.1 GW en 2012, las adiciones anuales se redujeron significativamente, cayendo a 6.3 GW en 2023. Esto se debe en gran parte a las limitaciones geográficas y regulatorias, así como a la preferencia por tecnologías más flexibles como la solar fotovoltaica y la eólica terrestre.

Otras tecnologías como **la bioenergía**, **la geotermia** y **la energía solar concentrada** han tenido una participación menor en las adiciones globales. **La bioenergía** ha mostrado adiciones anuales modestas, alcanzando su punto más alto en 2021 con 8.4 GW. La geotermia, con un crecimiento estable pero limitado, aportó menos de 1 GW anual en la mayoría de los años. Por su parte, **la energía solar concentrada**, que parecía prometedora a principios de la década, no logró expandirse

debido a sus altos costos y su competencia directa con la solar fotovoltaica, que es más económica y versátil.

En términos generales, la transición energética global ha sido liderada por **la energía solar fotovoltaica y la eólica terrestre**, que juntas representan la mayor parte de las adiciones de capacidad desde 2018. Estas tecnologías han cambiado la dinámica del sector renovable, desplazando a **la hidroeléctrica** como la principal fuente renovable y estableciendo nuevos estándares de competitividad. Su crecimiento refleja la importancia de las innovaciones tecnológicas, la caída de costos y las políticas de apoyo para acelerar la adopción de fuentes renovables en todo el mundo.

Este análisis destaca cómo la energía renovable ha evolucionado para convertirse en un pilar central del sistema energético global, con la solar fotovoltaica marcando el ritmo de esta transición gracias a su rápida adopción y su capacidad de adaptarse a diversas necesidades y mercados.

Impacto Económico de las Energías Renovables Competitivas: Análisis de los Ahorros Netos en Países no OCDE (2010-2023).

El análisis de los ahorros netos generados por las fuentes de energía renovable en países no pertenecientes a la OCDE entre 2010 y 2023 muestra cómo estas tecnologías han contribuido significativamente a reducir los costos energéticos. Estos ahorros son el resultado de la sustitución de fuentes de energía más costosas, como los combustibles fósiles, por tecnologías renovables competitivas. Durante este período, el ahorro total generado ascendió a 131.95 mil millones de dólares de 2023, destacándose ciertas tecnologías como las principales impulsoras de este impacto económico.

La hidroeléctrica se posiciona como la tecnología de mayor impacto económico, acumulando un ahorro total de 58.04 mil millones de dólares durante estos trece años. Esto refleja su rol histórico como una fuente confiable y madura en muchos países en desarrollo con abundantes recursos hídricos. Aunque en los primeros años, como 2012, generó ahorros considerables de 7.63 mil millones de dólares, los ahorros anuales han disminuido paulatinamente, alcanzando solo 1.25 mil millones en 2023. Este descenso se debe a la menor expansión de proyectos hidroeléctricos debido a limitaciones geográficas, ambientales y regulatorias, a pesar de que la tecnología sigue siendo un pilar en ciertas regiones.

La energía eólica terrestre ocupa el segundo lugar, con un ahorro acumulado de 47.38 mil millones de dólares. Esta tecnología ha mostrado un crecimiento constante en su capacidad instalada, lo que se traduce en un aumento sostenido de ahorros anuales. En 2023, registró su valor más alto, con 14.06 mil millones de dólares, lo que refleja tanto su competitividad económica como su adopción masiva en mercados emergentes. Su capacidad para generar electricidad a costos nivelados bajos la convierte en una opción cada vez más preferida en regiones con recursos eólicos consistentes.

La energía solar fotovoltaica, aunque en un inicio tuvo un impacto marginal, ha crecido exponencialmente en la última década, generando un ahorro acumulado de 16.89 mil millones de dólares. En los primeros años del análisis, su contribución fue insignificante, pero para 2023, los ahorros alcanzaron 4.08 mil millones de dólares, reflejando la drástica reducción de costos de instalación y la rápida expansión de esta tecnología en países no OCDE. Este crecimiento destaca cómo la solar fotovoltaica ha evolucionado de ser una opción incipiente a convertirse en una de las principales impulsoras de la transición energética global.

La bioenergía, aunque con menor impacto económico, ha generado un ahorro acumulado de 7.79 mil millones de dólares. Su contribución ha sido constante, alcanzando picos en años como 2022, donde los ahorros llegaron a 1.90 mil millones de dólares. La bioenergía, al depender de

recursos como residuos agrícolas o forestales, es especialmente relevante en regiones con acceso a estas materias primas, pero su expansión global ha sido más limitada en comparación con tecnologías como la eólica terrestre y la solar fotovoltaica.

La energía geotérmica ha tenido una contribución más modesta, con un ahorro acumulado de 0.67 mil millones de dólares. Esto refleja las limitaciones geográficas de esta tecnología, que depende de la disponibilidad de recursos geotérmicos accesibles, como aguas termales o actividad volcánica. Aunque altamente eficiente en su operación, su alto costo inicial y la complejidad técnica han restringido su adopción masiva en países no OCDE.

La energía eólica marina, aunque con un potencial significativo en términos de generación, ha generado un ahorro acumulado de solo 1.15 mil millones de dólares. Esto se debe a su alto costo inicial y a los desafíos asociados con la instalación y el mantenimiento en ambientes marítimos. A pesar de estos desafíos, en años recientes, como 2023, la tecnología mostró una ligera mejora con ahorros de 0.37 mil millones de dólares, lo que podría indicar un crecimiento futuro moderado en mercados específicos.

Por último, **la energía solar concentrada**, a pesar de su potencial para el almacenamiento térmico, prácticamente no generó ahorros significativos durante este período, con un total acumulado de apenas 0.02 mil millones de dólares. Esto evidencia las dificultades de esta tecnología para competir con la solar fotovoltaica, que ha demostrado ser más económica y versátil.

El análisis muestra que las tecnologías renovables están transformando el panorama energético en países no OCDE, lideradas por **la hidroeléctrica, la eólica terrestre y la solar fotovoltaica**. Estas tecnologías no solo están ayudando a reducir costos, sino que también están desempeñando un papel crucial en la descarbonización de los sistemas energéticos. Sin embargo, otras tecnologías como **la geotérmica, la eólica marina y la solar concentrada** enfrentan barreras

significativas para expandir su contribución, destacando la necesidad de innovación, inversión y políticas de apoyo para desbloquear su potencial. Este período marca un progreso notable en la transición hacia fuentes renovables, con importantes implicaciones económicas y ambientales para el futuro.

CONCLUSIÓN.

El artículo destaca el papel transformador que las energías renovables han desempeñado en la configuración del sector energético global durante la última década. Tecnologías como la solar fotovoltaica, la eólica terrestre y la hidroeléctrica han demostrado su capacidad para reducir costos, incrementar la competitividad energética y promover un modelo de generación más sostenible. Estas fuentes han liderado la transición energética gracias a la disminución de sus costos nivelados de energía (LCOE), lo que las ha posicionado como opciones viables para sustituir los combustibles fósiles.

El análisis muestra cómo las diferentes tecnologías han evolucionado en términos de costos de instalación, factores de capacidad y aportes netos a la reducción de gastos en energía, destacando el crecimiento exponencial de la energía solar fotovoltaica y el rol consolidado de la eólica terrestre. Sin embargo, también evidencia las limitaciones de ciertas tecnologías, como la geotermia y la energía solar concentrada, que aunque eficientes en contextos específicos, enfrentan barreras para su expansión a gran escala por costos incrementales.

Para regiones como Centroamérica, donde el potencial renovable es significativo, estas tendencias ofrecen una oportunidad para acelerar la transición hacia una matriz energética más limpia. El aprovechamiento estratégico de recursos solares, eólicos, hídricos y geotérmicos no solo permitiría disminuir la dependencia de combustibles fósiles, sino también generar ahorros económicos sustanciales y fomentar el desarrollo sostenible.

Atentamente,
Carlos Pastor.
Zumma LC&S

Datos tomados de International Renewable Energy Agency.
(<https://www.irena.org/>)

Texto desarrollado con IA(*) y revisado por Zumma LC&S.

Somos Zumma LC&S y ESAN Perú para Centroamérica.

carlos.pastor@zummalcs.com

jandres@zummalcs.com

jackiedechacon@zummalcs.com

www.zummalcs.com

(*) Inteligencia Artificial.



ACERCA DE ZUMMA LC&S

Somos una firma centroamericana dedicada a brindar servicios con valor agregado en la región a través de dos columnas: Formación Ejecutiva (Learning) - Consulting & Sustainability.

Zumma LC&S se formó el 3 de octubre de 2022 en El Salvador, sin embargo sus accionistas tienen más de 25 años de experiencia en el sector de clasificación de riesgo para empresas de diferentes sectores que participan o no en el mercado de capitales. Formación Ejecutiva en Alianza con ESAN Graduate School of Business (ESAN).- ZUMMA LC&S junto con ESAN de Perú firmaron un acuerdo de cooperación a través del cual ZUMMA LC&S promoverá la Formación Ejecutiva para profesionales que deseen ampliar su conocimiento en diversas áreas de Educación Ejecutiva. ESAN se ubica dentro del TOP 7 para América Latina en el Ranking de la Revista América Economía. Igualmente ESAN ocupa el 1er puesto en el ranking para Perú en el prestigioso QS World University Rankings.

