



informesa

www.informesa.es

contactoinformesa@gmail.com

Informe Estratégico: Análisis del Mercado y Sector Global de la Energía Eólica para HeliosVenture

1. Panorama del Mercado Eólico Global: Crecimiento, Tendencias y Proyecciones

Esta sección establece el contexto fundamental del mercado, cuantificando su tamaño, analizando la dinámica competitiva y delineando las fuerzas que impulsarán su futuro. Proporciona una visión macro para que HeliosVenture pueda calibrar su posición y estrategia dentro de un sector en profunda transformación.

1.1 Dimensionamiento del Mercado Actual: Valor y Volumen (2020-2024)

El mercado global de la energía eólica ha experimentado un período de crecimiento volátil pero decididamente ascendente, marcado por la resiliencia ante crisis globales y una aceleración sin precedentes impulsada por la urgencia de la transición energética. El análisis del volumen de capacidad instalada anualmente revela una narrativa de superación de récords, interrumpida por breves contracciones que subrayan la sensibilidad del sector a los ciclos políticos y económicos.

Evolución del Volumen (Capacidad Instalada Anual Global):

El análisis de las adiciones de capacidad anual (GW) muestra una industria que, a pesar de los obstáculos, ha demostrado una capacidad robusta para escalar su despliegue:

- **2020:** El sector demostró una notable resiliencia frente a la pandemia global, instalando un récord de 93 GW. Este hito, alcanzado en un entorno de disrupción económica, subrayó la madurez y la importancia estratégica de la energía eólica en los planes de recuperación verde.¹
- **2021:** La tendencia de crecimiento se mantuvo, igualando prácticamente el récord del año anterior con la adición de otros 93 GW. Este período consolidó la capacidad de la industria para mantener un alto ritmo de despliegue, a pesar de las crecientes tensiones en la cadena de suministro global.²
- **2022:** El mercado experimentó una contracción del 15%, cayendo a 86 GW de nueva capacidad. Esta desaceleración fue un reflejo directo de la incertidumbre regulatoria en mercados clave, particularmente la expiración de incentivos en China y la lentitud en la implementación de nuevas políticas en Estados Unidos, exacerbada por las persistentes restricciones en la cadena de suministro.³
- **2023:** El sector se recuperó de forma espectacular, estableciendo un nuevo récord histórico con la instalación de entre 117 GW y 118 GW, lo que representa un aumento de más del 36% con respecto a 2022. Este crecimiento fue impulsado de manera abrumadora por el mercado chino, que duplicó sus instalaciones anuales tras la clarificación de sus políticas internas.⁴

- **2024:** La trayectoria ascendente continuó, marcando otro año récord con 121.6 GW de nueva capacidad instalada. Una vez más, China fue el principal catalizador, consolidando su posición como el epicentro del crecimiento de la industria eólica mundial.⁷

Segmentación Onshore vs. Offshore:

La composición del mercado sigue dominada por la energía eólica terrestre (onshore), que representa aproximadamente el 90% de las nuevas instalaciones anuales.⁵ Sin embargo, el sector marino (offshore) emerge como el segmento de mayor crecimiento estratégico. En 2024, se añadieron 8 GW de capacidad offshore, elevando el total global a 83 GW.⁸ Aunque su contribución actual al volumen total es modesta, su tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) proyectada a cinco años es del 28%, en comparación con el 6.6% para el sector onshore.⁹ Esta dinámica posiciona al mercado offshore como un pilar fundamental para alcanzar los objetivos de descarbonización a largo plazo y una frontera de innovación tecnológica y de inversión.

Valoración del Mercado (USD):

La cuantificación del valor económico del mercado presenta una mayor dispersión, reflejando diferencias metodológicas en los análisis. Las estimaciones varían significativamente, lo que requiere un análisis crítico por parte de HeliosVenture para comprender qué componentes del ecosistema eólico (venta de turbinas, desarrollo de proyectos, servicios, etc.) se incluyen en cada valoración.

- Custom Market Insights valoró el mercado en 80.1 mil millones de USD en 2023.¹⁰
- Grand View Research lo situó en 97.05 mil millones de USD en 2024.¹¹
- Global Market Insights ofrece la estimación más alta, con 174.5 mil millones de USD en 2024.¹²

Esta disparidad sugiere que el mercado de venta de turbinas, el negocio principal de HeliosVenture, es un subconjunto de estas cifras más amplias. Para contextualizar, la inversión total en la transición energética alcanzó un récord de 2.1 billones de USD en 2024, con la energía eólica capturando el 35% de la inversión en el subsector de las energías renovables.¹³ Esto indica que, si bien la venta de aerogeneradores es un componente multimillonario, opera dentro de un ecosistema de capital mucho más vasto que incluye desarrollo de proyectos, infraestructura de red y financiación.

1.2 Cuota de Mercado y Paisaje Competitivo

El panorama competitivo de la fabricación de aerogeneradores ha sufrido una reconfiguración drástica en los últimos años, caracterizada por un desplazamiento del poder de mercado desde los fabricantes occidentales tradicionales hacia sus homólogos chinos. Esta transformación no solo altera las clasificaciones de cuota de mercado, sino que redefine fundamentalmente la dinámica de precios y la estrategia competitiva a nivel global.

El análisis de la capacidad instalada por fabricante revela una tendencia inequívoca:

- **2022:** El mercado mostraba un equilibrio relativo. El fabricante chino Goldwind (12.7 GW) y el danés Vestas (12.3 GW) competían por el liderazgo, seguidos de cerca por la estadounidense GE. El top 5 incluía una mezcla de empresas de China, Europa y Estados Unidos, lo que indicaba una competencia multipolar.³
- **2023:** El dominio chino comenzó a consolidarse. Goldwind (16.4 GW) y Envision (15.4 GW) ocuparon los dos primeros puestos, relegando a Vestas (13.4 GW) a la tercera posición como único representante europeo en el top 5. La caída de GE al sexto lugar fue un claro indicador del cambio de guardia.⁵
- **2024:** La hegemonía china se hizo absoluta. Por primera vez en la historia del sector, los cuatro principales fabricantes de aerogeneradores del mundo fueron chinos: Goldwind (19.3 GW), Envision (14.5 GW), Windey (12.5 GW) y Mingyang (12.2 GW). Vestas, el histórico líder del mercado, se vio desplazado a la quinta posición.⁷

Esta reconfiguración está intrínsecamente ligada a la dinámica del mercado interno chino. Los fabricantes de este país dependen masivamente de su mercado local, que absorbe la gran mayoría de su producción.⁷ Sin embargo, están utilizando esta escala como plataforma para una expansión internacional agresiva, ofreciendo precios de turbinas hasta un 20% más bajos que los de sus competidores occidentales en los mercados de exportación.⁵ Esta estrategia de precios está ejerciendo una presión inmensa sobre los márgenes de beneficio de empresas como HeliosVenture, obligándolas a competir en frentes que van más allá del coste, como la tecnología, la fiabilidad y los servicios.

La situación presenta una paradoja fundamental para la industria: el mercado está experimentando un crecimiento récord en volumen (GW instalados), pero esto no se traduce necesariamente en una mayor rentabilidad para los fabricantes. La intensa competencia de precios, liderada por los actores chinos, está erosionando los márgenes en toda la industria. Incluso los propios fabricantes chinos han visto sus beneficios afectados, como lo demuestra la caída del 98% en los beneficios de Goldwind durante los primeros nueve meses de 2023.⁶ Para HeliosVenture, esto significa que una estrategia basada únicamente en el aumento del volumen de ventas es insostenible. La supervivencia y el éxito dependerán de la capacidad para crear y capturar valor a través de la diferenciación tecnológica, la excelencia en servicios y la optimización de la eficiencia operativa para proteger los márgenes de beneficio.

Además, la centralidad de China como motor del mercado global introduce un riesgo sistémico. El mercado eólico mundial no es un sistema diversificado, sino uno fuertemente dependiente de la dinámica interna de un solo país. Los ciclos de subsidios, los objetivos del plan quinquenal y las políticas industriales de China tienen un efecto dominó inmediato y profundo en la demanda global, los precios de los componentes y la estrategia de los competidores. Por lo tanto, una función de inteligencia de mercado robusta y un "observatorio de China" son herramientas estratégicas indispensables para que Helios Venture pueda anticipar y reaccionar a los cambios en el mercado.

Fabricante	País de Origen	GW Instalados 2022	GW Instalados 2023	GW Instalados 2024	Cuota de Mercado Estimada 2024 (%)
Goldwind	China	12.7	16.4	19.3	15.9%
Envision	China	N/A	15.4	14.5	11.9%
Windey	China	N/A	N/A	12.5	10.3%
Mingyang	China	N/A	N/A	12.2	10.0%
Vestas	Dinamarca	12.3	13.4	>10.0	~8.2%
GE	EE.UU.	9.3	N/A (6º)	N/A	N/A
Siemens Gamesa	España/Alemania	N/A	N/A	N/A	N/A
Total Global		86.0	118.0	121.6	

Nota: Los datos para 2022 y 2023 se basan en los rankings de BNEF, que pueden no sumar el total exacto del mercado. La cuota de mercado de 2024 se calcula sobre el total de 121.6 GW. Los datos no disponibles se indican con "N/A".

1.3 Tendencias Clave y Tecnologías Emergentes

El sector eólico es un campo de batalla de innovación constante, donde las mejoras tecnológicas se traducen directamente en una mayor competitividad de costes y la apertura de nuevos mercados. Las tendencias actuales están redefiniendo los límites de lo que es técnica y económicamente viable.

- **Escalamiento de Aerogeneradores:** La tendencia más visible es el aumento continuo del tamaño de las turbinas. Los fabricantes están desarrollando aerogeneradores con torres más altas y rotores de diámetros cada vez mayores. Esta evolución permite capturar vientos más fuertes y constantes a mayores altitudes, aumentando el factor de capacidad (la producción real de energía en comparación con su potencial máximo) y haciendo viables emplazamientos que antes se consideraban marginales por sus recursos eólicos más bajos.¹⁵
- **Innovación en Eólica Marina (Offshore):** El sector offshore es un semillero de innovación. El desarrollo de turbinas flotantes es la frontera tecnológica más prometedora, diseñada para operar en aguas con profundidades superiores a los 50-60 metros, donde las cimentaciones fijas son inviables. Esta tecnología tiene el potencial de desbloquear el 80% de los recursos eólicos marinos del mundo, abriendo vastas nuevas áreas para el desarrollo.⁸
- **Digitalización e Inteligencia Artificial:** La integración de la IA y el análisis de datos está transformando la operación y el mantenimiento de los parques eólicos. Los algoritmos de mantenimiento predictivo pueden anticipar fallos en los componentes, reduciendo el tiempo de inactividad y los costes. A nivel de sistema, las turbinas conectadas a redes inteligentes (smart grids) pueden optimizar su producción en tiempo real, respondiendo a las señales del mercado y a las necesidades de la red, mejorando así la eficiencia y la rentabilidad general del sistema energético.⁹
- **Desafíos en la Cadena de Suministro:** A pesar de la innovación, la cadena de suministro global enfrenta desafíos estructurales. La rentabilidad sigue siendo un problema en toda la cadena, desde los proveedores de componentes hasta los fabricantes de turbinas.⁹ La logística para transportar componentes de dimensiones colosales, como palas de más de 100 metros, es cada vez más compleja y costosa. Además, la dependencia de materias primas críticas, como las tierras raras para los imanes permanentes, crea vulnerabilidades geopolíticas y de precios.¹⁸

1.4 Proyecciones de Crecimiento a Futuro (2025-2034)

Las perspectivas a largo plazo para la energía eólica son extremadamente positivas, ancladas en un consenso político global sobre la necesidad de acelerar la transición energética para combatir el cambio climático.

- **Impulso de los Objetivos Globales:** El acuerdo alcanzado en la COP28 para triplicar la capacidad mundial de energía renovable para 2030 es el principal motor político que impulsa las proyecciones de crecimiento.⁹ Para cumplir este objetivo, la industria eólica necesita pasar de instalar aproximadamente 115-120 GW al año a un ritmo de al menos 320-340 GW para finales de la década.⁹ Este objetivo ambicioso crea una visibilidad de la demanda a largo plazo que es crucial para estimular la inversión en nuevas capacidades de fabricación y en la cadena de suministro.
- **Proyecciones de Crecimiento (CAGR):** Las previsiones de mercado apuntan a un crecimiento sostenido. Las estimaciones del CAGR para el mercado global se sitúan en un rango del 7.6% al 9%.⁹ Como se mencionó anteriormente, el sector offshore está preparado para un crecimiento mucho más rápido, con un CAGR proyectado del 28% en los próximos cinco años, lo que indica un cambio estructural en la composición del mercado a largo plazo.⁹
- **Desglose Geográfico de las Proyecciones:**
 - **Asia-Pacífico (APAC):** Esta región seguirá siendo el motor de crecimiento dominante, liderada por China, que ya representa casi el 70% de las nuevas instalaciones mundiales.⁶ Además de China, mercados emergentes como India, Filipinas, Vietnam y Corea del Sur están estableciendo marcos políticos para acelerar el desarrollo de la energía eólica, especialmente la offshore, creando nuevas oportunidades de mercado significativas.⁸
 - **Europa:** Como mercado maduro, Europa se centrará en dos áreas clave: la repotenciación de su flota de turbinas más antigua para aumentar la eficiencia de los emplazamientos existentes y una expansión masiva de la energía eólica offshore. Países como Alemania y España están mostrando una recuperación en la concesión de permisos, lo que es un indicador adelantado de un aumento en las instalaciones futuras.²¹ La Unión Europea ha establecido un objetivo ambicioso de alcanzar 120 GW de capacidad offshore para 2030, lo que requerirá una aceleración masiva del ritmo de construcción.¹⁵
 - **Américas:** El mercado estadounidense está fuertemente influenciado por la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), que proporciona incentivos fiscales a largo plazo para proyectos de energía renovable.¹⁵ Sin embargo, el mercado ha experimentado una desaceleración reciente debido a la incertidumbre política, los desafíos en la obtención de permisos y los cuellos de botella en la cadena de suministro.⁷ En América Latina, Brasil se ha consolidado como el mercado líder, con un crecimiento constante en la capacidad instalada.⁵

2. Perfil del Comprador B2B: Motivaciones y Criterios de Decisión

Comprender en profundidad al cliente B2B es fundamental para que HeliosVenture pueda alinear su propuesta de valor con las necesidades y los puntos de dolor del mercado. La decisión de compra de un aerogenerador o de un parque eólico completo es un proceso multifacético que va mucho más allá de las especificaciones técnicas, abarcando consideraciones financieras, estratégicas y de reputación. Los clientes no adquieren simplemente un equipo; invierten en un activo de generación de energía a largo plazo que debe ser rentable, fiable y financiable.

2.1 Identificación de los Compradores Clave

El mercado de aerogeneradores a gran escala está dominado por tres arquetipos de clientes principales, cada uno con sus propias motivaciones y criterios de decisión:

- **Empresas de Servicios Públicos (Utilities):** Son los compradores tradicionales y, a menudo, los más grandes. Como operadores de la red eléctrica, su principal objetivo es garantizar un suministro de energía fiable y asequible a sus clientes. Su inversión en energía eólica está impulsada por la necesidad de diversificar su cartera de generación, cumplir con los mandatos regulatorios de energía renovable (Renewable Portfolio Standards) y reducir su exposición a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. Tienen un horizonte de inversión a muy largo plazo y valoran la fiabilidad, la longevidad de los activos y la capacidad de las nuevas tecnologías para integrarse sin problemas en la red existente.²³
- **Desarrolladores de Proyectos Independientes (IPP - Independent Power Producers):** Estos actores son los emprendedores del sector energético. Su modelo de negocio consiste en desarrollar proyectos eólicos desde cero (greenfield) o adquirir proyectos en etapas tempranas para llevarlos hasta la operación comercial, con el objetivo final de vender la energía generada a través de contratos a largo plazo o directamente en el mercado mayorista. Para los IPP, el concepto de "bancabilidad" es el criterio de decisión supremo. Un proyecto es "bancable" si puede atraer financiación de deuda a un coste razonable. Por lo tanto, al seleccionar un proveedor de turbinas como HeliosVenture, los IPP priorizan la tecnología probada, las garantías de rendimiento sólidas, un historial de fiabilidad y, crucialmente, la solidez financiera y la reputación del fabricante.²⁴

- **Grandes Corporaciones (Compradores de PPA):** Este es el segmento de clientes de más rápido crecimiento. Empresas líderes, especialmente en el sector tecnológico (como Amazon, Meta, Google y Microsoft) y en otros sectores de alto consumo energético, están firmando Acuerdos de Compra de Energía (Power Purchase Agreements o PPA) a largo plazo directamente con proyectos de energía renovable.²⁷ Sus motivaciones son una combinación estratégica de factores económicos y de sostenibilidad. Un PPA les permite fijar el coste de la electricidad durante 10-20 años, protegiéndose de la volatilidad del mercado. Al mismo tiempo, les permite cumplir con sus ambiciosos objetivos de sostenibilidad y ESG (Ambiental, Social y de Gobernanza), reduciendo su huella de carbono (emisiones de Alcance 2) y mejorando su reputación de marca ante inversores, clientes y empleados.²⁸

2.2 Necesidades y Puntos de Dolor (Drivers de Decisión)

Los criterios que impulsan la decisión de compra son una mezcla compleja de factores económicos, técnicos y estratégicos:

- **Coste Nivelado de la Energía (LCOE):** Este sigue siendo el indicador económico fundamental. El LCOE representa el coste total de un proyecto a lo largo de su vida útil, dividido por la energía total que se espera que produzca. Es la métrica clave para comparar la competitividad de diferentes tecnologías de generación. La energía eólica compite ferozmente con la energía solar fotovoltaica, que ha experimentado una curva de reducción de costes aún más agresiva en la última década.²⁵ Los compradores buscan la tecnología y el proveedor que ofrezcan el LCOE más bajo posible para su emplazamiento específico.
- **Bancabilidad y Mitigación de Riesgos:** Como se ha mencionado, la capacidad de un proyecto para atraer financiación es un punto de dolor crítico. Los financieros (bancos e inversores de capital) examinan cada aspecto del proyecto en busca de riesgos: riesgo tecnológico (¿la turbina funcionará según lo prometido?), riesgo de construcción (¿se completará a tiempo y dentro del presupuesto?), riesgo operativo (¿los costes de mantenimiento serán los previstos?) y riesgo de contraparte (¿el fabricante de la turbina seguirá operativo para honrar sus garantías?). La elección de un proveedor de turbinas de renombre como HeliosVenture, con una tecnología robusta y un balance sólido, es una de las principales formas en que los desarrolladores mitigan estos riesgos para hacer sus proyectos "bancables".²⁴

- **Estabilidad de la Red y Servicios Auxiliares:** A medida que la proporción de energías renovables intermitentes en la red aumenta, la estabilidad del sistema se convierte en una preocupación primordial para las utilities y los operadores de red. Las centrales eléctricas convencionales (carbón, gas) proporcionan inercia al sistema, ayudando a mantener estables la frecuencia y el voltaje. A medida que estas plantas se retiran, se crea un "déficit de estabilidad". Los aerogeneradores modernos, equipados con inversores avanzados con capacidades de "formación de red" (grid-forming), pueden emular esta función y proporcionar servicios auxiliares valiosos a la red. Esta capacidad está pasando de ser una característica deseable a un requisito en muchos mercados, y representa un punto de dolor creciente para los operadores de red.³³
- **Cumplimiento de Objetivos ESG y Reputación:** Para el segmento corporativo, la compra de energía eólica es una herramienta estratégica para cumplir con los objetivos de sostenibilidad. Los PPA permiten a las empresas no solo reducir sus emisiones, sino también reclamar los Certificados de Energía Renovable (REC) asociados, que son cruciales para la presentación de informes de sostenibilidad. La capacidad de asociarse con un proyecto eólico de alta calidad y un proveedor de turbinas de buena reputación refuerza la narrativa de sostenibilidad de la corporación.²⁸
- **Predictibilidad de Costes y Cobertura (Hedging):** En un mundo de precios energéticos volátiles, la capacidad de fijar el coste de la electricidad durante una o dos décadas es un beneficio económico inmenso. Los PPA actúan como una cobertura financiera (hedge) contra la volatilidad del mercado, proporcionando a las empresas la certeza presupuestaria necesaria para la planificación a largo plazo. Este es un punto de dolor fundamental para las empresas con un alto consumo de energía.²⁸

2.3 Comportamiento de Compra y Factores de Influencia

El proceso de adquisición de aerogeneradores es largo, técnico y altamente relacional. La decisión final rara vez se basa en un solo factor, sino en una evaluación holística del valor a largo plazo.

El proceso de toma de decisiones involucra a múltiples partes interesadas dentro de la organización del comprador, incluyendo equipos de ingeniería, finanzas, legales y de desarrollo de negocio.²⁴ La elección del proveedor de turbinas es una de las decisiones más críticas en el ciclo de vida de un proyecto. Un error en esta elección puede comprometer la rentabilidad del proyecto durante los próximos 20-25 años. Por ello, los compradores realizan una diligencia debida exhaustiva sobre los posibles proveedores.

La fiabilidad a largo plazo y los costes de operación y mantenimiento (O&M) están ganando un peso cada vez mayor en la ecuación de compra. Los recientes y publicitados problemas de ingeniería y fallos de componentes en la industria han sensibilizado al mercado sobre la importancia de la calidad y la durabilidad.³⁶ Un LCOE bajo en el papel es inútil si la turbina sufre paradas frecuentes o requiere un mantenimiento costoso. Por lo tanto, los compradores están analizando cada vez más el "coste total de propiedad" en lugar de solo el precio de compra inicial.

Desde esta perspectiva, se desprende que los clientes no solo están comprando un aerogenerador; están invirtiendo en un flujo de ingresos a 20 años que debe ser financiable. La propuesta de valor de un fabricante como HeliosVenture debe trascender las especificaciones técnicas del producto. La empresa no vende simplemente acero, cobre y materiales compuestos; vende "certeza financiera". Su estrategia de marketing, ventas y desarrollo de productos debe articularse en torno a cómo su oferta integral (tecnología, garantías, servicios, solidez financiera) hace que un proyecto sea más "bancable" y menos arriesgado que el de la competencia. Este enfoque es un diferenciador clave, especialmente frente a alternativas de menor coste inicial pero con un perfil de riesgo percibido más alto.

Asimismo, el valor de un aerogenerador está evolucionando. Ya no es simplemente un generador pasivo de energía, sino que se está convirtiendo en un componente activo y estabilizador de la red eléctrica. Las turbinas equipadas con tecnología de "formación de red" pueden ofrecer servicios de regulación de frecuencia y voltaje, creando un flujo de ingresos adicional para el propietario del parque eólico y abordando un punto de dolor crítico para las utilities. HeliosVenture debe, por tanto, posicionar sus productos no solo en función de su LCOE, sino de su "Coste Nivelado Ajustado por Valor" (Value-Adjusted LCOE o VALCOE), que internaliza el valor económico de estos servicios de red. Este posicionamiento representa un diferenciador tecnológico sofisticado y una respuesta directa a las necesidades cambiantes de un sistema eléctrico con alta penetración de renovables.

3. Identificación de Oportunidades en Nichos de Mercado

Más allá del mercado principal de nuevos parques eólicos a gran escala, existen segmentos de nicho con un alto potencial de crecimiento y rentabilidad. Estas áreas, a menudo desatendidas por los competidores centrados en el volumen, ofrecen a HeliosVenture la oportunidad de establecer una ventaja competitiva a través de la especialización tecnológica y la oferta de soluciones de mayor valor añadido. Estos nichos no solo representan nuevas fuentes de ingresos, sino que también ofrecen soluciones a algunos de los problemas más acuciantes del mercado principal, como las restricciones de permisos y la congestión de la red.

3.1 Repotenciación (Repowering) de Parques Eólicos Antiguos

La primera ola de desarrollo eólico, especialmente en mercados maduros como Europa y Norteamérica, ha dejado un legado de parques eólicos que se acercan al final de su vida útil operativa de 20-25 años. Estas instalaciones, equipadas con tecnología de generaciones anteriores, operan con una eficiencia significativamente menor que los aerogeneradores modernos. La repotenciación surge como una solución estratégica para revitalizar estos activos.

- **Potencial de Mercado:** El mercado global de repotenciación se valoró en 16.2 mil millones de USD en 2024 y se proyecta que crezca a una sólida tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 8.4% hasta 2033.³⁷ La principal ventaja de la repotenciación es que permite un aumento sustancial en la producción de energía (a menudo duplicándola o triplicándola con menos turbinas pero más potentes) en emplazamientos que ya cuentan con permisos, acceso a la red y un historial probado de recursos eólicos. Esto evita los largos, costosos e inciertos procesos de obtención de permisos para nuevos emplazamientos (greenfield), que se han convertido en uno de los mayores cuellos de botella para el crecimiento del sector.
- **Viabilidad y Tipos:** Existen dos enfoques principales: la repotenciación parcial, que implica la sustitución de componentes clave como las palas y la góndola manteniendo la torre y los cimientos; y la repotenciación completa, que implica el desmantelamiento total y la instalación de turbinas completamente nuevas. La elección depende de las condiciones del emplazamiento, la regulación local y el análisis coste-beneficio. La repotenciación completa ofrece las mayores ganancias en rendimiento y fiabilidad, pero requiere una mayor inversión de capital.³⁷ Para HeliosVenture, este nicho representa una oportunidad para ofrecer soluciones personalizadas y servicios de ingeniería de alto valor, estableciendo relaciones a largo plazo con los propietarios de los parques.

3.2 Eólica Flotante Offshore

La eólica marina fija está limitada a profundidades de agua de hasta aproximadamente 50-60 metros. La tecnología flotante rompe esta barrera, abriendo el acceso a vastas áreas oceánicas que antes eran inaccesibles.

- **Potencial de Mercado:** Se estima que el 80% del potencial eólico marino del mundo se encuentra en aguas con profundidades superiores a 60 metros, lo que hace que la eólica flotante sea una tecnología disruptiva y esencial para la expansión a largo plazo de la energía eólica.¹⁶ A finales de 2024, la capacidad global instalada era todavía incipiente, con solo 278 MW en operación, principalmente en proyectos piloto y de demostración en países como Noruega y el Reino Unido.⁸ Sin embargo, se espera un crecimiento exponencial a medida que la tecnología madure y se industrialice.
- **Viabilidad:** Actualmente, los costes de la eólica flotante son significativamente más altos que los de la eólica fija. Los desafíos técnicos se centran en el diseño de plataformas estables y sistemas de anclaje y amarre robustos, así como en el desarrollo de una cadena de suministro y una infraestructura portuaria adecuadas. No obstante, a medida que aumente la escala de los proyectos y se optimicen los diseños, se espera una rápida curva de reducción de costes. Para HeliosVenture, invertir en el desarrollo de turbinas optimizadas para plataformas flotantes podría posicionar a la empresa como líder en el que se prevé que sea uno de los segmentos de mayor crecimiento del sector energético en la próxima década.

3.3 Producción de Hidrógeno Verde

La integración de la generación de energía eólica con la producción de hidrógeno verde a través de la electrólisis es una de las sinergias más prometedoras de la transición energética.

- **Potencial de Mercado:** El hidrógeno verde es un vector energético clave para descarbonizar sectores "difíciles de abatir" como la industria pesada (acero, amoníaco), el transporte de larga distancia y el almacenamiento de energía estacional. La energía eólica, especialmente la offshore debido a sus altos y constantes factores de capacidad, es una fuente de electricidad ideal para alimentar electrolizadores a gran escala.³⁸ Este mercado crea una nueva fuente de demanda para los aerogeneradores, desacoplada de la necesidad de conexión directa a la red eléctrica tradicional.

- **Viabilidad:** El principal obstáculo actual es el coste de producción del hidrógeno verde, que se sitúa entre 2.50 y 7.00 USD por kilogramo en Estados Unidos.³⁹ Sin embargo, los generosos subsidios, como los créditos fiscales a la producción de la Ley de Reducción de la Inflación (IRA) de EE.UU., junto con la continua reducción de los costes de la energía eólica, están mejorando rápidamente la viabilidad económica del modelo.³⁹ Además, la producción de hidrógeno ofrece una solución elegante al problema del "curtailment" (la reducción forzada de la producción eólica cuando la oferta supera la demanda de la red). En lugar de desperdiciar esa energía, se puede utilizar para producir hidrógeno, convirtiendo un problema de congestión de la red en un producto de valor.

3.4 El Mercado de la Mini-Eólica (Small Wind)

En el otro extremo del espectro de escala, el mercado de turbinas eólicas de pequeña capacidad (<100 kW) presenta una oportunidad de mercado con una dinámica y una base de clientes completamente diferentes.

- **Potencial de Mercado:** Este segmento se dirige a la generación de energía distribuida para aplicaciones residenciales, comerciales, agrícolas y de electrificación rural. A menudo, estas turbinas se integran en sistemas híbridos que combinan energía solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías para proporcionar un suministro de energía fiable y autónomo.⁴¹
- **Viabilidad:** Las proyecciones de crecimiento para este mercado son muy variables, con estimaciones de CAGR que van desde un modesto 4.3% hasta un agresivo 14.9%.⁴¹ El éxito en este nicho no depende de la escala de las turbinas, sino de la eficiencia, la fiabilidad, la facilidad de instalación y un modelo de negocio orientado a la distribución masiva y al servicio al cliente final. Para HeliosVenture, entrar en este mercado podría requerir un modelo de negocio diferente, posiblemente a través de una filial o una adquisición, pero ofrece una diversificación hacia un segmento menos expuesto a la competencia de los proyectos a gran escala.

Estos nichos de mercado no deben ser vistos como oportunidades aisladas, sino como soluciones estratégicas a los problemas fundamentales del mercado principal. La repotenciación aborda directamente el cuello de botella de los permisos. La eólica flotante abre nuevos territorios geográficos. La producción de hidrógeno verde ofrece una solución a la congestión de la red y a la intermitencia. Y la mini-eólica responde a la creciente demanda de energía descentralizada. Al enmarcar su estrategia de nicho de esta manera, HeliosVenture puede pasar de ser un simple vendedor de turbinas a un socio estratégico que ofrece soluciones avanzadas para superar las barreras de crecimiento de sus clientes.

Además, estas oportunidades señalan una convergencia de modelos de negocio. El futuro puede no residir únicamente en la venta de equipos, sino en la provisión de "soluciones energéticas integradas". HeliosVenture podría evolucionar de ser un fabricante de equipos originales (OEM) a un integrador de sistemas, ofreciendo paquetes de "eólica + almacenamiento", "eólica + hidrógeno" o soluciones híbridas de mini-generación. Este movimiento hacia arriba en la cadena de valor crearía barreras de entrada más altas para los competidores de bajo coste y aumentaría la dependencia del cliente en el ecosistema tecnológico y de servicios de HeliosVenture.

4. Análisis del Macroentorno (PESTEL)

El éxito y la rentabilidad de HeliosVenture están intrínsecamente ligados a un complejo conjunto de factores macroambientales que van más allá de la dinámica del mercado. Un análisis PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal) proporciona un marco estructurado para identificar y evaluar los riesgos y oportunidades externas que darán forma al futuro del sector eólico.

4.1 Factores Políticos

El sector de la energía eólica es excepcionalmente dependiente del apoyo y la dirección política. Los gobiernos actúan como los principales catalizadores (o inhibidores) de la demanda a través de sus políticas energéticas, marcos regulatorios y objetivos climáticos.

- **Marcos de Apoyo y Subsidios:** Políticas como la Ley de Reducción de la Inflación (IRA) en Estados Unidos y el plan REPowerEU en la Unión Europea son ejemplos paradigmáticos de cómo el apoyo gubernamental puede transformar el mercado. La IRA, por ejemplo, proporciona créditos fiscales a largo plazo (10 años) para la producción y la inversión en energía renovable, creando una certidumbre sin precedentes para los inversores.¹⁵ De manera similar, los objetivos vinculantes de la UE y los mecanismos de subasta como los Contratos por Diferencia (CfD) en el Reino Unido han sido fundamentales para impulsar la inversión, especialmente en el costoso sector offshore.⁴⁵
- **Objetivos de Energía Renovable:** El compromiso global, refrendado en la COP28, de triplicar la capacidad de energía renovable para 2030, establece una clara dirección política a nivel mundial.⁹ A nivel nacional, países como China, con su 14º Plan Quinquenal, e India, con sus objetivos para 2030, han establecido metas ambiciosas que garantizan una demanda sostenida de aerogeneradores.¹⁵
- **Estabilidad Geopolítica y Guerras Comerciales:** La estabilidad política es crucial. La reciente inestabilidad y las tensiones comerciales, como las "guerras de aranceles", introducen una incertidumbre significativa en las decisiones de inversión y amenazan con perturbar las cadenas de suministro globales de las que depende la industria.⁴ La dependencia de China para ciertos componentes críticos, como las tierras raras, es una vulnerabilidad geopolítica notable.⁴⁶

4.2 Factores Económicos

Las condiciones macroeconómicas globales tienen un impacto directo y profundo en la viabilidad de los proyectos eólicos, que son altamente intensivos en capital.

- **Inflación y Tipos de Interés:** El reciente entorno de alta inflación y el consiguiente aumento de los tipos de interés han supuesto un desafío significativo para el sector. Al ser proyectos con altos costes iniciales (CapEx), el coste de capital es un factor determinante en el LCOE. El aumento de los tipos de interés eleva el coste de la deuda, lo que puede hacer que algunos proyectos dejen de ser económicamente viables o requieran precios de la energía más altos para ser rentables.¹⁵ Esto ha llevado a la renegociación e incluso a la cancelación de varios proyectos eólicos offshore a gran escala en 2023.⁹
- **Coste de Capital:** El coste de capital (WACC) para los proyectos eólicos es un factor crítico. Aunque ha disminuido en la última década, la reciente volatilidad económica y los problemas de ingeniería en la industria han aumentado la percepción de riesgo de los inversores, lo que podría elevar la prima de riesgo exigida y, por tanto, el coste de capital.³⁶
- **Volatilidad de los Precios de las Materias Primas:** El coste de los aerogeneradores está directamente ligado a los precios de materias primas como el acero, el cobre y la fibra de vidrio. Las fluctuaciones en estos mercados, a menudo impulsadas por la dinámica de la oferta y la demanda global y los costes de transporte, pueden impactar significativamente en los márgenes de beneficio de los fabricantes.³⁶
- **Rentabilidad de la Cadena de Suministro:** La cadena de suministro global de la energía eólica ha luchado por mantener la rentabilidad. La intensa presión a la baja sobre los precios de las turbinas, combinada con el aumento de los costes de los materiales y la logística, ha comprimido los márgenes de todos los actores, desde los proveedores de componentes hasta los fabricantes de equipos originales (OEM).⁹

4.3 Factores Sociales

La aceptación pública y el desarrollo de una fuerza laboral cualificada son pilares fundamentales para el crecimiento sostenible de la energía eólica.

- **Aceptación Social y el Fenómeno NIMBY:** A pesar del amplio apoyo público a la energía eólica, los proyectos específicos a menudo se enfrentan a una fuerte oposición local, un fenómeno conocido como "Not In My Backyard" (NIMBY). Las preocupaciones suelen centrarse en el impacto visual, el ruido, el parpadeo de las sombras (shadow flicker) y los efectos sobre la fauna local.⁴⁹ La falta de aceptación social puede provocar largos retrasos en los procesos de obtención de permisos e incluso la cancelación de proyectos. Para superar esto, son cruciales la participación temprana de la comunidad, la comunicación transparente y la creación de beneficios locales tangibles, como la participación financiera en los proyectos o los ingresos fiscales para los municipios.⁴⁹

- **Creación de Empleo y Desarrollo de la Fuerza Laboral:** La industria eólica es un importante generador de empleo, con más de 1.4 millones de personas empleadas en todo el mundo.⁹ Se estima que se necesitarán 532,000 nuevos técnicos eólicos para 2028 solo para la construcción, instalación, operación y mantenimiento de la flota mundial.¹⁷ Sin embargo, existe una creciente brecha de habilidades. Es fundamental que los gobiernos y la industria colaboren en la creación de programas de formación y capacitación (especialmente en áreas STEM) para desarrollar la fuerza laboral cualificada necesaria para sostener el crecimiento del sector.¹⁷
- **Licencia Social para Operar:** Más allá de los permisos legales, los proyectos eólicos necesitan una "licencia social para operar". Esto implica garantizar una distribución justa de los beneficios, respetar los derechos de las comunidades locales e indígenas y contribuir positivamente al desarrollo económico local a través de la creación de empleos, el pago de impuestos y los arrendamientos de tierras a los agricultores.²⁰

4.4 Factores Tecnológicos

La innovación tecnológica es el motor que impulsa la reducción de costes y la expansión del mercado de la energía eólica.

- **Innovación Disruptiva y Escalamiento:** Como se detalló en la Sección 1.3, la carrera por desarrollar turbinas cada vez más grandes y eficientes es la principal tendencia tecnológica. Los avances en aerodinámica, materiales compuestos y sistemas de control están permitiendo factores de capacidad más altos y un menor LCOE.¹⁵ La eólica flotante representa una innovación disruptiva que podría redefinir el mercado offshore.¹⁶
- **Digitalización y Redes Inteligentes:** La integración de la IA, el IoT y el análisis de big data está optimizando todas las fases del ciclo de vida de un proyecto eólico. Desde la selección de emplazamientos y el diseño del parque hasta la operación y el mantenimiento predictivo, la digitalización está aumentando la eficiencia y reduciendo los costes.⁹
- **Integración en el Sistema Energético:** La tecnología también es clave para abordar el desafío de la intermitencia. El desarrollo de soluciones de almacenamiento de energía (baterías), la producción de hidrógeno verde y las capacidades de "formación de red" de los inversores son cruciales para garantizar que la energía eólica pueda integrarse de forma fiable en el sistema eléctrico a gran escala.³³

4.5 Factores Ecológicos (Ambientales)

Como tecnología de energía limpia, el sector eólico está bajo un escrutinio cada vez mayor en cuanto a su propio impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

- **Reciclaje de Palas de Aerogeneradores:** Uno de los mayores desafíos ambientales es la gestión del fin de vida útil de las palas de los aerogeneradores. Fabricadas con materiales compuestos (fibra de vidrio, fibra de carbono, resinas), son extremadamente duraderas y difíciles de reciclar.⁵⁵ Aunque la mayor parte de una turbina (hasta el 90%) es reciclabla, las palas a menudo terminan en vertederos. La industria está desarrollando activamente nuevas soluciones, como el reciclaje mecánico (trituración para su uso en cemento o asfalto), la pirólisis y el reciclaje químico. La industria europea se ha comprometido a reutilizar, recuperar o reciclar el 100% de las palas fuera de servicio, y se están construyendo nuevas plantas de reciclaje.⁵⁶
- **Impacto en la Vida Silvestre:** Las colisiones de aves y murciélagos con las turbinas en funcionamiento son una preocupación ambiental significativa.⁵⁸ La investigación se centra en comprender mejor los riesgos para especies específicas y en desarrollar estrategias de mitigación. Estas incluyen una cuidadosa selección de emplazamientos para evitar rutas migratorias y hábitats críticos, así como tecnologías operativas como la reducción de la actividad de las turbinas (curtailment) durante los períodos de alto riesgo (por ejemplo, durante la migración de murciélagos en noches de poco viento) y el uso de sistemas de disuasión visual o acústica.⁵⁸
- **Uso del Suelo y del Mar:** Los parques eólicos, especialmente los terrestres, requieren grandes extensiones de terreno. La planificación espacial cuidadosa es esencial para minimizar el impacto en los ecosistemas y competir con otros usos del suelo como la agricultura o la conservación. En el mar, la planificación espacial marina es crucial para gestionar los conflictos con la pesca, las rutas de navegación y los ecosistemas marinos.¹⁵

4.6 Factores Legales

El marco legal y regulatorio, en particular los procesos de obtención de permisos, es a menudo el mayor cuello de botella para el despliegue de la energía eólica.

- **Procesos de Obtención de Permisos (Permitting):** Los procesos para obtener los permisos necesarios para construir un parque eólico son notoriamente largos, complejos y fragmentados, implicando a múltiples agencias a nivel local, estatal y federal.⁶² En Europa, aunque las nuevas normas de la UE están empezando a acelerar los procesos, la obtención de permisos sigue siendo un obstáculo importante.²¹ En Estados Unidos, la mayoría de los proyectos en desarrollo están atascados en la fase de permisos.⁶²

- **Litigios y Desafíos Legales:** Los proyectos aprobados a menudo se enfrentan a desafíos legales por parte de grupos de oposición locales, lo que puede añadir años de retraso y costes significativos. La introducción del concepto de "Interés Público Superior" (Overriding Public Interest) en la legislación de la UE es un intento de dar más peso a los proyectos de energías renovables en los litigios judiciales.²¹
- **Regulaciones de Conexión a la Red:** Los aerogeneradores deben cumplir con códigos de red técnicos cada vez más estrictos que dictan cómo deben comportarse cuando están conectados al sistema eléctrico. Estas regulaciones (detalladas en la Sección 6) varían según la jurisdicción y tienen un impacto directo en el diseño y la certificación de las turbinas.⁶³

5. Análisis de la Estructura Competitiva (Cinco Fuerzas de Porter)

El modelo de las Cinco Fuerzas de Porter ofrece un marco riguroso para evaluar la intensidad competitiva y, por tanto, el atractivo y la rentabilidad potencial del sector de la fabricación de aerogeneradores. El análisis revela un entorno desafiante, donde la rentabilidad está bajo una presión constante desde múltiples frentes.

5.1 Intensidad de la Rivalidad entre Competidores Existentes: Alta

La rivalidad en el sector de la fabricación de aerogeneradores es extremadamente intensa. Varios factores contribuyen a esta dinámica:

- **Competencia de Precios Agresiva:** Como se ha detallado en la Sección 1.2, la ascensión de los fabricantes chinos ha desencadenado una competencia de precios global. Con una estructura de costes más baja, derivada de las economías de escala en su vasto mercado interno y del apoyo estatal, empresas como Goldwind y Envision pueden ofrecer turbinas a precios hasta un 20% inferiores a los de sus competidores occidentales en los mercados internacionales.⁵ Esta presión obliga a todos los actores, incluido HeliosVenture, a reducir sus márgenes para asegurar contratos.
- **Competidores Numerosos y Equilibrados:** Aunque el mercado se está consolidando, todavía cuenta con varios actores globales de gran tamaño (Vestas, Siemens Gamesa, GE, Goldwind, Envision, Mingyang) que compiten ferozmente por los mismos grandes proyectos a nivel mundial.
- **Altos Costes Fijos:** La fabricación de aerogeneradores requiere una inversión masiva en instalaciones de producción y en I+D. Estos altos costes fijos incentivan a los fabricantes a mantener altos volúmenes de producción para diluir los costes, lo que puede llevar a un exceso de oferta y a una mayor presión sobre los precios.
- **Baja Diferenciación del Producto (Percibida):** Aunque existen diferencias tecnológicas significativas entre las turbinas, para muchos compradores, especialmente aquellos centrados exclusivamente en el LCOE, los aerogeneradores pueden ser percibidos como un producto relativamente estandarizado. Esto intensifica la competencia basada en el precio.

5.2 Amenaza de Nuevos Entrantes: Baja

A pesar de ser un mercado en crecimiento, las barreras de entrada para nuevos fabricantes de aerogeneradores a gran escala son formidablemente altas, lo que limita la amenaza de nuevos competidores.

- **Elevada Inversión de Capital (CapEx):** Establecer una planta de fabricación de aerogeneradores, desarrollar una cadena de suministro robusta y financiar la I+D necesaria para competir tecnológicamente requiere una inversión de capital de miles de millones de dólares. Este es el principal impedimento para la entrada.⁴⁸
- **Complejidad Tecnológica y Propiedad Intelectual:** El diseño y la fabricación de aerogeneradores modernos y eficientes son procesos de alta tecnología que requieren una profunda experiencia en aerodinámica, ciencia de materiales, ingeniería eléctrica y software de control. Los fabricantes establecidos poseen carteras de patentes y un conocimiento acumulado que son difíciles de replicar.
- **Economías de Escala y Curva de Experiencia:** Los fabricantes existentes se benefician de las economías de escala en la producción y las compras, así como de los efectos de la curva de experiencia, que reduce los costes a medida que se acumula la producción. Un nuevo entrante tendría que soportar costes más altos durante un período prolongado antes de poder competir en precio.⁶⁶
- **Acceso a Canales de Distribución y Relaciones con Clientes:** Los fabricantes establecidos tienen relaciones a largo plazo con las principales utilities y desarrolladores de proyectos. Un nuevo actor tendría que construir esta red de confianza desde cero, un proceso lento y costoso.
- **Falta de Historial (Track Record):** La "bancabilidad" es crucial. Los financieros son reacios a respaldar proyectos que utilizan turbinas de un fabricante nuevo sin un historial probado de fiabilidad y rendimiento a largo plazo. La falta de referencias es una barrera casi insuperable.⁶⁶

5.3 Poder de Negociación de los Clientes (Compradores): Alto

Los compradores de aerogeneradores a gran escala ejercen un poder de negociación considerable, lo que les permite presionar los precios a la baja y exigir condiciones contractuales más favorables.

- **Concentración de Compradores:** Los clientes son grandes entidades, como empresas de servicios públicos, desarrolladores de proyectos a gran escala y corporaciones multinacionales. A menudo, realizan pedidos de gran volumen para múltiples proyectos, lo que les da un poder de negociación significativo.
- **Sensibilidad al Precio:** Dado que el coste de las turbinas representa una parte sustancial del coste total del proyecto, los compradores son extremadamente sensibles al precio y lo utilizan como una palanca clave en las negociaciones.

- **Disponibilidad de Alternativas:** Los compradores pueden elegir entre varios proveedores globales de primer nivel. La intensa rivalidad entre los fabricantes les permite enfrentar a un proveedor contra otro para obtener mejores precios y condiciones.
- **Bajos Costes de Cambio (Switching Costs):** Aunque cambiar de proveedor dentro de un proyecto ya iniciado es difícil, en la fase de licitación de un nuevo proyecto, los costes de cambiar de un proveedor a otro son relativamente bajos.
- **Amenaza de Integración Hacia Atrás:** Aunque es poco común, algunos grandes desarrolladores o utilities podrían teóricamente considerar la posibilidad de fabricar sus propios componentes o turbinas, lo que les da una palanca adicional en las negociaciones.

5.4 Poder de Negociación de los Proveedores: Moderado a Alto

El poder de los proveedores varía significativamente dependiendo del componente. Para componentes estandarizados, el poder es bajo. Sin embargo, para componentes críticos y especializados, el poder de los proveedores puede ser muy alto.

- **Componentes Críticos y Especializados:** Ciertos componentes, como los rodamientos de gran tamaño, las cajas de engranajes y, sobre todo, los imanes permanentes que contienen tierras raras, son suministrados por un número limitado de empresas especializadas. Esta concentración de proveedores les otorga un poder de negociación considerable.
- **Dependencia de las Tierras Raras:** El caso de las tierras raras (neodimio, praseodimio, dispropio, terbio) es el ejemplo más extremo. China domina abrumadoramente la minería (70%) y, de forma casi monopolística, el procesamiento (90%) de estos elementos, que son cruciales para los imanes de alta eficiencia utilizados en muchas turbinas, especialmente las offshore.⁴⁶ Esta dependencia otorga a China un inmenso poder de negociación y la capacidad de utilizar el suministro de tierras raras como una herramienta geopolítica, lo que representa un riesgo significativo para la cadena de suministro de fabricantes como HeliosVenture.⁴⁷
- **Costes de Cambio para el Fabricante:** Cambiar de un proveedor de un componente crítico puede ser costoso y llevar mucho tiempo, ya que requiere una recalificación del nuevo componente y una posible reingeniería de partes de la turbina.

5.5 Amenaza de Productos o Servicios Sustitutivos: Alta

La principal amenaza de sustitución para la energía eólica no proviene de otras formas de generación convencionales, sino de otra tecnología de energía renovable: la energía solar fotovoltaica (FV).

- **Rápida Caída de Costes de la Energía Solar FV:** La energía solar FV ha experimentado una curva de reducción de costes aún más pronunciada que la eólica. El coste de los módulos fotovoltaicos ha caído drásticamente, haciendo de la solar a escala de servicio público la fuente de electricidad más barata en muchas partes del mundo.³¹
- **Velocidad y Simplicidad de Despliegue:** Los proyectos solares FV a gran escala son generalmente más rápidos y sencillos de construir que los parques eólicos, con procesos de obtención de permisos a menudo menos contenciosos y tiempos de construcción más cortos.
- **Complementariedad y Competencia:** Aunque la eólica y la solar son a menudo complementarias (la eólica suele producir más por la noche y en invierno, mientras que la solar produce durante el día), compiten directamente por la misma inversión de capital y por la capacidad de conexión a la red. En las subastas de energía renovable, a menudo compiten cara a cara por los contratos.
- **Almacenamiento en Baterías:** El rápido descenso de los costes del almacenamiento en baterías (BESS) está cambiando la ecuación. Las baterías pueden mitigar la intermitencia tanto de la solar como de la eólica. Un sistema de "solar + almacenamiento" se está convirtiendo en un competidor formidable para la energía eólica, ya que puede ofrecer energía despachable (disponible cuando se necesita).⁷¹

Tecnología	LCOE Medio Global (No Subsidiado) - USD/MWh	Tendencia de Coste
Eólica Onshore	\$29 - \$70	Decreciente
Eólica Offshore	\$70 - \$130	Decreciente (más rápido)
Solar FV (Utility-Scale)	\$25 - \$60	Decreciente (muy rápido)
Gas Natural (Ciclo Combinado)	\$45 - \$90	Creciente (volatilidad del combustible)
Nuclear	\$150 - \$250	Estable / Creciente

Fuente: Datos compilados y promediados de análisis como el de Lazard³² y otras fuentes del sector. Los rangos reflejan variaciones geográficas y de recursos.

Este análisis de las cinco fuerzas revela que HeliosVenture opera en un sector estructuralmente difícil, caracterizado por una intensa rivalidad, compradores poderosos, proveedores críticos con poder de negociación y una fuerte amenaza de sustitución. La rentabilidad sostenida en este entorno exige una estrategia que no se base en el liderazgo en costes, sino en la diferenciación tecnológica, la excelencia operativa, la gestión de la cadena de suministro y la construcción de relaciones sólidas con los clientes.

6. Análisis Regulatorio y de Cumplimiento Normativo

El despliegue de la energía eólica está profundamente influenciado por un entramado de regulaciones, normativas y estándares que varían significativamente entre países y regiones. Para HeliosVenture, una comprensión detallada de este panorama no es solo una cuestión de cumplimiento, sino un factor estratégico crítico que impacta el diseño del producto, el acceso al mercado y el cronograma de los proyectos. Esta sección analiza tres pilares fundamentales del entorno regulatorio: los procesos de obtención de permisos, los códigos de conexión a la red y los estándares de certificación internacional.

6.1 Marco Regulatorio para la Obtención de Permisos (Permitting)

La obtención de permisos es, de manera casi unánime, identificada como el principal cuello de botella para la expansión de la energía eólica a nivel mundial. Los procesos son largos, complejos y a menudo impredecibles, lo que añade costes y riesgos significativos a los proyectos.

- **Unión Europea:** La UE ha reconocido el problema de los permisos como un obstáculo clave para alcanzar sus objetivos del Green Deal y REPowerEU. En respuesta, ha introducido nueva legislación, como la Directiva de Energías Renovables revisada (RED III), que busca simplificar y acelerar los procesos.²¹ Las medidas clave incluyen la designación de "Zonas de Aceleración de Renovables", la introducción del principio de "Interés Público Superior" para dar más peso a los proyectos eólicos en litigios, y la obligación de digitalizar los procedimientos. A pesar de estas mejoras, la implementación a nivel nacional es desigual. Alemania y España han mostrado un progreso notable, con un aumento del 70% en los permisos concedidos en 2023 en comparación con 2022. Sin embargo, en muchos otros estados miembros, los procesos siguen siendo lentos y engorrosos, con la necesidad de presentar documentación física a múltiples autoridades.²¹
- **Estados Unidos:** El sistema de permisos en EE.UU. es particularmente fragmentado, con una superposición de jurisdicciones a nivel local, estatal y federal.⁶² Un proyecto puede requerir permisos de uso del suelo del condado, aprobaciones de la comisión de servicios públicos estatal y revisiones ambientales federales bajo la Ley de Política Ambiental Nacional (NEPA), especialmente si el proyecto se encuentra en terrenos federales o tiene un impacto en especies protegidas o vías navegables.⁷² La oposición local (NIMBY) a menudo se canaliza a través de estos procesos de permisos locales, creando retrasos significativos. Para la eólica offshore, el proceso es gestionado principalmente por la Oficina de Gestión de la Energía Oceánica (BOEM) y es un proceso de varios años que implica extensas consultas y evaluaciones ambientales.⁷⁴ Se estima que la mayoría de los proyectos eólicos en la cartera de desarrollo de EE.UU. están actualmente atascados en esta fase de permisos.⁶²

- **China:** China se beneficia de un sistema de gobierno más centralizado que puede agilizar la aprobación de proyectos de infraestructura de importancia estratégica. La Ley de Energías Renovables de 2005 establece el marco general, dando prioridad al desarrollo de las renovables y garantizando el acceso a la red.⁷⁷ Aunque los proyectos todavía requieren permisos administrativos, el proceso tiende a ser más rápido y predecible que en Occidente, especialmente para los proyectos incluidos en los planes quinquenales nacionales y provinciales. Esto ha sido un factor clave en la capacidad de China para escalar su capacidad eólica a un ritmo sin precedentes.⁷⁹

6.2 Normativas de Conexión a la Red (Grid Codes)

Los códigos de red son conjuntos de reglas técnicas que especifican los requisitos que un generador de energía (como un parque eólico) debe cumplir para conectarse y operar de manera segura y fiable dentro del sistema eléctrico. A medida que aumenta la penetración de la energía eólica, estos códigos se han vuelto más estrictos para garantizar la estabilidad de la red. Para HeliosVenture, estos códigos son un factor de diseño fundamental para sus aerogeneradores.

- **Unión Europea:** La UE ha trabajado para armonizar los códigos de red a través de reglamentos vinculantes para todos los estados miembros. Regulaciones clave como "Requisitos para Generadores" (RfG - Regulation (EU) 2016/631) establecen requisitos detallados sobre el comportamiento de los parques eólicos durante fallos de la red (capacidad de soportar caídas de tensión o "Low Voltage Ride-Through" - LVRT), control de frecuencia, control de potencia reactiva y control de tensión.⁶³ El cumplimiento de estos códigos es obligatorio para la conexión a la red.
- **India:** La Autoridad Central de Electricidad (CEA) de la India establece los estándares técnicos para la conectividad a la red. Las regulaciones, actualizadas recientemente en 2023, son cada vez más sofisticadas y exigen que los proyectos de energías renovables realicen estudios de simulación detallados (utilizando software como PSSE y PSCAD) para demostrar el cumplimiento antes de la conexión.⁸¹ Los requisitos cubren áreas como la capacidad de soportar fallos de tensión y frecuencia (LVRT/HVRT y FRT), el control de la rampa de potencia activa, el soporte de potencia reactiva dinámica y los límites de inyección de armónicos (según el estándar IEEE 519).⁸² El Código de la Red Eléctrica de la India (IEGC) rige la operación en tiempo real y el despacho de electricidad.⁸⁶
- **Brasil:** El Operador Nacional del Sistema Eléctrico (ONS) es el responsable de coordinar y controlar la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN).⁸⁷ Los códigos de red brasileños establecen los requisitos para la conexión, incluyendo el control de tensión y potencia reactiva. Recientemente, los cuellos de botella en la transmisión, especialmente en la región noreste (rica en recursos eólicos y solares), han llevado al ONS a imponer restricciones ("curtailment") a la generación renovable para garantizar la seguridad de la red. Esto ha creado incertidumbre para los inversores y subraya la necesidad crítica de expandir la infraestructura de la red para acomodar el crecimiento de las renovables.⁸⁸ Las regulaciones para la conexión de la generación distribuida

también están evolucionando.⁹⁰ El marco regulatorio para la eólica offshore todavía está en desarrollo.⁹¹

- **China:** Los operadores de la red en China han revisado sus códigos de red varias veces para hacer frente a la masiva integración de la energía eólica, a menudo ubicada en regiones remotas y conectada a través de largas líneas de transmisión. Los requisitos son estrictos en cuanto a la capacidad de LVRT, el control de tensión y el suministro de potencia reactiva para compensar las pérdidas en las largas líneas de transmisión.⁶⁴

6.3 Estándares y Certificaciones Internacionales

El cumplimiento de los estándares internacionales es esencial para garantizar la seguridad, la fiabilidad y la interoperabilidad de los aerogeneradores, y es un requisito previo para la bancabilidad y el acceso a los mercados globales.

- **Serie IEC 61400:** Este es el conjunto de estándares internacionales más importante para la industria eólica, desarrollado por el Comité Técnico 88 (TC 88) de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Cubre todos los aspectos del ciclo de vida de un aerogenerador, incluyendo los requisitos de diseño, las pruebas de tipo, la medición de la calidad de la energía, la medición del ruido acústico y los requisitos para las cajas de engranajes, entre otros.⁹³ La certificación de tipo de una turbina según la norma IEC 61400 es un requisito fundamental para la mayoría de los proyectos en todo el mundo.
- **IECRE (IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications):** Este es el sistema de certificación global de la IEC para el sector de las energías renovables. Proporciona un marco para que los organismos de certificación (como TÜV SÜD) evalúen y certifiquen que los aerogeneradores, los componentes y los proyectos cumplen con los estándares IEC relevantes.⁹³ La certificación IECRE facilita el comercio internacional al proporcionar una marca de conformidad reconocida mundialmente.⁹⁶
- **Otras Certificaciones y Aprobaciones:** Además de los estándares IEC, los aerogeneradores pueden necesitar cumplir con otras regulaciones y certificaciones específicas de cada país o región, como el marcado CE en Europa (que indica la conformidad con las directivas de salud, seguridad y protección del medio ambiente) o las certificaciones UL/CSA en Norteamérica.⁹⁶

Para HeliosVenture, la estrategia regulatoria debe ser proactiva. Esto implica no solo diseñar turbinas que cumplan con los códigos de red más estrictos, sino también participar activamente en los procesos de elaboración de normas y colaborar con los reguladores para anticipar los requisitos futuros. Una sólida cartera de certificaciones internacionales no es un mero requisito técnico, sino un activo comercial que demuestra calidad, fiabilidad y reduce el riesgo percibido por clientes y financiadores.

Obras citadas

1. IEA Wind TCP Annual Report 2020, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2021/12/IEA-WIND-AR2020.pdf>
2. Annual Report 2021 - IEA Wind TCP, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/12/IEA_Wind_TCP_Annual_Report_2021.pdf
3. Goldwind and Vestas in Photo Finish for Top Spot as Global Wind Power Additions Fall, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://about.bnef.com/insights/clean-energy/goldwind-and-vestas-in-photo-finish-for-top-spot-as-global-wind-power-additions-fall/>
4. Wind industry installs record capacity in 2024 despite policy instability, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.gwec.net/gwec-news/wind-industry-installs-record-capacity-in-2024-despite-policy-instability>
5. China's Goldwind Retains Turbine Supplier Lead, as Global Wind Additions Hit New High, According to BloombergNEF, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://about.bnef.com/insights/clean-energy/chinas-goldwind-retains-turbine-supplier-lead-as-global-wind-additions-hit-new-high-according-to-bloombergnef/>
6. Market and Industry Trends | Wind Power - REN21, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_supply/02_market_and_industry_trends/09_windpower/
7. Chinese Manufacturers Lead Global Wind Turbine Installations, BloombergNEF Report Shows, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://about.bnef.com/insights/clean-energy/chinese-manufacturers-lead-global-wind-turbine-installations-bloombergnef-report-shows/>
8. Offshore wind installed capacity reaches 83 GW as new report finds 2024 a record year for construction and auctions, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions>
9. The winds of progress: Key takeaways from the Global Wind Report 2024 - Cotes, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.cotes.com/blog/gwec-global-wind-report-2024>
10. Global Wind Energy Market Size, Trends, Share, Forecast 2032, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.custommarketinsights.com/report/wind-energy-market/>
11. Wind Power Market Size And Share | Industry Report, 2030 - Grand View Research, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wind-power-industry>
12. Wind Energy Market Size, Growth Outlook 2025-2034, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/wind-energy-market>
13. Renewable Energy Investment Reaches Record High as China Operates World's Biggest Solar Farm - CarbonCredits.com, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://carboncredits.com/renewable-energy-reaches-record-high-as-china-operates-worlds-biggest-solar-farm/>
14. Energy Transition Investment Trends 2025 - BloombergNEF, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://about.bnef.com/energy-transition-investment/>

15. Wind - IEA, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.iea.org/energy-system/renewables/wind>
16. Offshore Wind Technical Potential | Analysis and Maps - ESMAP, fecha de acceso: agosto 31, 2025, https://esmap.org/esmap_offshorewind_techpotential_analysis_maps
17. Global Wind Workforce Outlook 2024 - 2028 Report Released, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.gwec.net/gwec-news/global-wind-workforce-outlook-2024-2028-report-released>
18. Wind Energy - Supply Chain Deep Dive Assessment US Department of Energy Response to Executive Order 14017, “America's Supply Chains”, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/Wind%2520Supply%2520Chain%2520Report%2520-%2520Final%25202.25.22%5B1%5D.pdf>
19. renewable capacity statistics 2024 statistiques de capacité renouvelable 2024 estadísticas de capacidad renovable 2024 - IRENA, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2024.pdf
20. Reports and resources - Global Wind Energy Council, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.gwec.net/reports>
21. Wind energy permitting is improving but Governments still have work to do - WindEurope, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://windeurope.org/news/wind-energy-permitting-is-improving-but-governments-still-have-work-to-do/>
22. Global Renewable Energy Investment Still Reaches New Record as Investors Reassess Risks | BloombergNEF, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-renewable-energy-investment-reaches-new-record-as-investors-reassess-risks/>
23. PERSPECTIVES Special – Energy Transition: Utilities and electricity grids, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.deutschewealth.com/en/insights/investing-insights/investing-themes/energy-transition-utilities-and-electricity-grids.html>
24. Wind Project Bankability | TÜV SÜD PSB, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.tuvsud.com/en-sg/services/technical-advisory/wind-project-bankability>
25. Five Key Factors That Affect Wind Farm Bankability - North American Windpower, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://nawindpower.com/five-key-factors-that-affect-wind-farm-bankability>
26. Key bankability issues for renewable energy projects - PwC Australia, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.pwc.com.au/energy-transition/papers/11-bankability-issues-renewable-energy-projects.pdf>
27. Corporate PPAs, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://www.twobirds.com/-/media/new-website-content/pdfs/capabilities/energy-and-utilties/energy_intcorpppareport_2023_digitalbrochure_v03.pdf
28. What is a Corporate PPA? (6 Benefits for Business) - Redcliffe Training, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://redcliffetraining.com/blog/what-is-a-corporate-ppa>
29. Corporate Power Purchase Agreements - DLA Piper, fecha de acceso: agosto 31, 2025,

https://www.dlapiper.com/-/media/project/dlapiper-tenant/dlapiper/pdf/dla-piper-netherlands_cppa-february-2024.pdf?rev=-1

30. Rethinking PPAs: Strategic Tools for Energy Buyers in Uncertain Markets, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.go2-markets.com/insights/rethinking-ppas-in-an-uncertain-energy-market>
31. Cost Dynamics of Clean Energy Technologies - PMC - PubMed Central, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8422065/>
32. Levelized Cost of Energy+ (LCOE+) - Lazard, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus-lcoeplus/>
33. Wind Turbines Can Stabilize the Grid - Department of Energy, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/wind-turbines-can-stabilize-grid>
34. Renewable energy and grid stability: modern infrastructure challenges and solutions - PVcase, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://pvcase.com/blog/renewable-energy-and-grid-stability-modern-infrastructure-challenges-and-solutions>
35. Corporate PPAs & Their Role In The Global Renewable Energy Transition | PF Nexus, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.pfnexus.com/blog/corporate-ppa>
36. 5 challenges facing wind - Timera Energy, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://timera-energy.com/blog/5-challenges-facing-wind/>
37. Wind Repowering Market Research Report 2033, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://growthmarketreports.com/report/wind-repowering-market>
38. Offshore wind-to-green hydrogen: A comprehensive review on current challenges, techno-economic analyses, environmental implications, and potential risks - ResearchGate, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/393914300_Offshore_wind-to-green_hydrogen_A_comprehensive_review_on_current_challenges_techno-economic_analyses_environmental_implications_and_potential_risks
39. Green hydrogen study highlights strategies for offshore production | Cornell Chronicle, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://news.cornell.edu/stories/2024/08/green-hydrogen-study-highlights-strategies-offshore-production>
40. Wind energy as a source of green hydrogen production in the USA - Oxford Academic, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://academic.oup.com/ce/article/7/1/8/7030582>
41. Small Wind Market - Forecast(2025 - 2031) - IndustryARC, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.industryarc.com/PressRelease/3976/small-wind-market>
42. Small Wind Power Market To Surpass USD 37.6 Bn by 2034 - Market.us News, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.news.market.us/small-wind-power-market-news/>
43. Small Wind Turbine Market Size, Trend & Manufacturer, 2031 - Kings Research, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.kingsresearch.com/small-wind-turbine-market-1628>
44. Small Wind Market Size, Share, Statistics & Analysis, 2030 - Grand View Research, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/small-wind-market>
45. Maximising the Corporate Power Purchase Agreement market - Energy UK, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.energy-uk.org.uk/publications/maximising-the-corporate-power-purchase-agr>

eement-market/

46. The Supply Chain and Industrial Organization of Rare Earth Materials: Implications for the U.S. Wind Energy Sector - Resources for the Future, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.rff.org/publications/reports/the-supply-chain-and-industrial-organization-of-rare-earth-materials-implications-for-the-us-wind-energy-sector/>
47. Why China's rare earth exports are a key issue in trade tensions with US - Al Jazeera, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.aljazeera.com/economy/2025/6/12/why-chinas-rare-earth-exports-are-a-key-issue-in-trade-tensions-with-us>
48. Five grand challenges of offshore wind financing in the United States - DTU Orbit, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://orbit.dtu.dk/files/341485362/1-s2.0-S2214629623003894-main.pdf>
49. Wind Energy and Local Acceptance: How to Get Beyond the Nimby Effect - ResearchGate, fecha de acceso: agosto 31, 2025, https://www.researchgate.net/publication/49129007_Wind_Energy_and_Local_Acceptance_How_to_Get_Beyond_the_Nimby_Effect
50. Beyond NIMBYism: towards an Integrated Framework for Understanding Public Perceptions of Wind Energy - EFSEC, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://efsec.wa.gov/sites/default/files/2025-05/EXH-1018.pdf>
51. Wind power expansion and social acceptance - DiVA portal, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1802724/FULLTEXT01.pdf>
52. Supporting and hindering factors that influence social acceptance and commitment to wind energy project, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://wendy-project.eu/2024/01/15/supporting-and-hindering-factors-that-influence-social-acceptance-and-commitment-to-wind-energy-project/>
53. Renewable energy and jobs: Annual review 2024 - International Labour Organization, fecha de acceso: agosto 31, 2025, https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-10/IRENA-ILO%20Renewable%20energy%20and%20jobs_2024.pdf
54. Wind Energy's Economic Impacts to Communities - WINDEXchange, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://windexchange.energy.gov/projects/economic-impacts>
55. Discover the Challenges of Wind Turbine Blade Recycling in the US, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.okonrecycling.com/renewables-recycling/solar-panel-recycling/wind-turbine-blade-recycling/>
56. No blade left behind: the wind sector's commitment to sustainable blade solutions - WindEurope, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://windeurope.org/news/no-blade-left-behind-the-wind-sectors-commitment-to-sustainable-blade-solutions/>
57. Wind Turbine Recycling and Disposal - Clean Grid Alliance, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://cleangridalliance.org/blog/137/wind-turbine-recycling-and-disposal>
58. Minimizing Collision Risk to Wildlife During Operations, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://rewi.org/guide/chapters/04-minimizing-collision-risk-to-wildlife-during-operations/>
59. IMPACTS TO WILDLIFE OF WIND ENERGY SITING AND OPERATION IN THE

- UNITED STATES, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://southcentralclimate.org/wp-content/uploads/2020/02/2019-Wind-turbines-and-wildlife-Issues-in-Ecol.pdf>
60. Mitigating wind energy impacts on wildlife: approaches for multiple taxa - DigitalCommons@USU, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1069&context=hwi>
61. Wind Energy's Potential Effects on Wildlife and the Environment - WINDExchange, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://windexchange.energy.gov/projects/wildlife>
62. How does permitting for clean energy infrastructure work? - Brookings Institution, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.brookings.edu/articles/how-does-permitting-for-clean-energy-infrastructure-work/>
63. Electricity network codes and guidelines - Energy - European Commission, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/wholesale-energy-market/electricity-network-codes-and-guidelines_en
64. A Review of Grid Requirements for Wind Farm in Denmark and China - DTU Research Database, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://orbit.dtu.dk/files/51144424/A_Review_of_Grid_Requirements
65. Barriers to Renewable Energy Technologies | Union of Concerned Scientists, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.ucs.org/resources/barriers-renewable-energy-technologies>
66. Competitive Strategy for Entering Wind Turbine Manufacturing Industry - DiVA portal, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:945035/FULLTEXT01.pdf>
67. Just and Sustainable Solutions for the Mining and Recycling of Rare Earth Elements in Wind Turbines - The Equation, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://blog.ucs.org/charlie-hoffs/just-and-sustainable-solutions-for-the-mining-and-recycling-of-rare-earth-elements-in-wind-turbines/>
68. Rare earths are the new battlefield in the US-China trade war. But what are they?, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.weforum.org/stories/2019/06/rare-earths-are-the-new-battlefront-in-the-us-china-trade-war-but-what-precisely-are-they/>
69. Solar PV - IEA, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>
70. Global Market Outlook For Solar Power 2023 - 2027, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/detail>
71. 2025 Renewable Energy Industry Outlook | Deloitte Insights, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/renewable-energy/renewable-energy-industry-outlook.html>
72. Permitting and Zoning - WINDExchange - Department of Energy, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://windexchange.energy.gov/projects/permitting>
73. Siting and Permitting Wind Projects - Stoel Rives LLP, fecha de acceso: agosto 31, 2025,

[https://www.stoel.com/insights/reports/the-law-of-wind/siting-and-permitting-wind-project s](https://www.stoel.com/insights/reports/the-law-of-wind/siting-and-permitting-wind-project-s)

74. Regulatory Framework and Guidelines - Bureau of Ocean Energy Management, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.boem.gov/renewable-energy/regulatory-framework-and-guidelines>
75. Siting of Large-Scale Renewable Energy Projects, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.energy.gov/eere/siting-large-scale-renewable-energy-projects>
76. State Approaches to Wind Facility Siting - National Conference of State Legislatures, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.ncsl.org/energy/state-approaches-to-wind-facility-siting>
77. Renewable Energy Law of the People's Republic of China – Policies - IEA, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.iea.org/policies/3080-renewable-energy-law-of-the-peoples-republic-of-china>
78. China's renewable energy policy Commitments and challenges - OurEnergyPolicy, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/07/China.pdf>
79. Renewable Energy in China - Grid Connected Wind Power in China - NREL, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://docs.nrel.gov/docs/fy04osti/35789.pdf>
80. European Grid Code Developments, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.nationalgrid.com/sites/default/files/documents/15326-European%20Grid%20Code%20Developments.pdf>
81. Compendium of Regulations by Central Electricity Authority - S3waas, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://cdnbbsr.s3waas.gov.in/s303412aef4dcdee4f934f7bf599f89783/uploads/2025/07/202507181967025239.pdf>
82. Grid Compliance Studies for Renewable Energy Projects - Power System Studies, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://powerprojectsindia.com/grid-compliance-studies-for-renewable-energy-projects/>
83. MINISTRY OF POWER (Central Electricity Authority), fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.cbip.org/cearegulations/CEA%20DATA/Connectivity/Connectivity%20Regulation/Summary%20Connectivity%20Regulation.pdf>
84. Central Electricity Authority (Technical Standards for Connectivity to Grid) (Amendment) Regulations, 2019 | NFS - NITI for States, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.nitiforstates.gov.in/policy-viewer?id=RNCNAD000220>
85. Central Electricity Authority (Technical Standards for Connectivity of Distributed Generation Resources) Amendment Regulations, 2019 - NITI for States, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://nitiforstates.gov.in/policy-viewer?id=RNCNAD000219>
86. Draft Indian Electricity Grid Code 2022, fecha de acceso: agosto 31, 2025, https://www.cercind.gov.in/2022/draft_reg/Draft-IEGC-07062022.pdf
87. MME NATIONAL ELECTRIC SYSTEM OPERATOR - ONS META PROJECT Technical Assistance Project for the E, fecha de acceso: agosto 31, 2025, [https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Term%20of%20reference%20for%20Subproject%202023-2%20%E2%80%93%20Consulting%20202%20\(1\)%20\(2\).pdf](https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Term%20of%20reference%20for%20Subproject%202023-2%20%E2%80%93%20Consulting%20202%20(1)%20(2).pdf)
88. Brazil's grid caps power from wind and solar, threatening renewable projects, fecha de acceso: agosto 31, 2025,

<https://brazilenergyinsight.com/2024/08/22/brazils-grid-caps-power-from-wind-and-solar-threatening-renewable-projects/>

89. Northeast Brazil Boosts Renewable Energy Transmission - Brazilian NR, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://braziliannr.com/2024/10/27/northeast-brazil-boosts-renewable-energy-transmission/>
90. Brazil's ANEEL Eases Grid Connection for Small Distributed Generation Systems, fecha de acceso: agosto 31, 2025, <https://www.energytrend.com/news/20240725-48019.html>
91. Offshore wind development and regulation in Brazil | DLA Piper, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.dlapiper.com/insights/publications/navigating-new-horizons-offshore-wind-markets-in-emerging-jurisdictions/2024/brazil-offshore-wind-status>
92. Comparison of Standards and Technical Requirements of Grid-Connected Wind Power Plants in China and the United States - Publications, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://docs.nrel.gov/docs/fy16osti/64225.pdf>
93. wind energy - IEC, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.iec.ch/taxonomy/term/803>
94. Renewable energies - IEC (International Electrotechnical Commission), fecha de acceso: agosto 31, 2025,
https://iec.ch/system/files/2023-07/iec_2023_renewable_energies_a4_en_lr_0.pdf
95. World Grid Codes | IEA Wind TCP, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2021/01/World-Grid-Codes-as-of-3Mar20.pdf>
96. Wind turbine and component certification | TÜV SÜD in India, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.tuvsud.com/en-in/industries/energy/wind-power/wind-turbine-and-component-certification>
97. Wind farm project certification | TÜV SÜD in India, fecha de acceso: agosto 31, 2025,
<https://www.tuvsud.com/en-in/industries/energy/wind-power/wind-farm-project-certification>