Technology innovation for sustainability, wind energy capture in Honduran road infrastructure: results of a Delphi study

Alejandra Irías-Sabillón[1], Héctor Gutierrez-Godoy[1], María Fernanda Martínez-Valladares[1,2]

[1]Facultad de Postgrado, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras

[2]Facultad de Responsabilidad Social, Universidad Anáhuac, México

Abstract: ***this study analyzes the viability of wind energy capture in road infrastructure in the Honduran context, considering as reference the principles of Project management stablish on the PMBOK 7. A literature review was conducted, and a contextual framework of global and local energy were explored as well. followed by a Delphi method to capture the perspective of experts about technical, environmental and management aspects of the implementation of vertical axis microturbines in roads. The findings show that there is a consensus of experts on that at this stage this type of energy should be used as pilot cases considering early involvement of stakeholders and limitations such as the lack of regulatory framework in the country. This article provides a conceptual and methodological frame for further exploration of wind energy on roads.***

Keywords: energy, win energy, innovation, sustainable development

Innovación Tecnológica en la captación eólica en infraestructura vial hondureña: resultados de un estudio Delphi

Alejandra Irías-Sabillón[1], Héctor Gutierrez-Godoy[1], María Fernanda Martínez-Valladares[1,2]

[1]Facultad de Postgrado, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras

[2]Facultad de Responsabilidad Social, Universidad Anáhuac, México

Resumen: Se analiza la viabilidad de los proyectos de energía eólica en carreteras en el contexto hondureño, tomando como referencia los principios de gestión de proyectos establecidos en el PMBOK Séptima Edición. El estudio se desarrolla mediante revisión de literatura y construcción de un marco contextual de la energía a nivel global y local, seguido de la aplicación del método Delphi, incorporando la percepción de expertos sobre los factores técnicos, ambientales y de gestión que influyen en la implementación de microturbinas de eje vertical en carreteras. Los hallazgos evidencian consenso en la viabilidad condicionada a estudios piloto, participación temprana de interesados y alineación con marcos regulatorios. El artículo aporta una base conceptual y metodológica para futuros proyectos de energía renovable en infraestructura vial.

Palabras clave: desarrollo Sostenible, energía, energía eólica, innovación

I. INTRODUCCIÓN

La transición hacia sistemas energéticos sostenibles constituye una necesidad prioritaria en el contexto global debido al cambio climático, el crecimiento de la demanda energética y la presión por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. La energía eólica ha mostrado un crecimiento acelerado, alcanzando más de 1,136 Giga vatios de capacidad instalada en 2024, aunque aún insuficiente para cumplir las metas globales hacia 2030 [2].

Nuevas formas de micro generación incluyendo turbinas instaladas en carreteras han surgido como alternativas prometedoras para entornos específicos donde el viento inducido por el tráfico puede ser aprovechado para generar electricidad.

Referencia [3], manifiesta que la energía eólica aplicada a carreteras ha emergido como una alternativa prometedora que permite transformar la energía cinética del viento generado por el flujo vehicular en electricidad útil para el alumbrado vial, señalización, estaciones de carga o sistemas inteligentes de transporte.

La problemática global en cuanto a energía va desde el incremento del consumo de energía de manera constante hasta la escasez de fuente de energía. Según información de Referencia [4], durante 2024 se confirmó el retorno a tendencias históricas de crecimiento de consumo energético de alrededor del 3 % anual. El consumo energético global crece de forma acelerada, a pesar de la expansión constante de energías renovables, este no logra alcanzar esa deficiencia que se presenta, al adoptar tecnologías limpias en los usos finales avanza de forma limitada, lo que impide lograr una reducción sustancial en la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye a que su consumo continúe en aumento

Honduras no es la excepción en cuanto al incremento del consumo y vive una crisis energética marcada por apagones nacionales, pérdidas en la red superiores al 30% y una dependencia significativa de combustibles fósiles, evidencia la urgencia de diversificar la matriz energética [5].

Referencia [6], revela que el país enfrenta serios desafíos energéticos, principalmente relacionados con la dependencia de fuentes no renovables, la vulnerabilidad climática y el acceso desigual a la electricidad, sobre todo en zonas rurales.

Aunque el país ha avanzado en la incorporación de energías renovables como la solar e hidroeléctrica, la energía eólica aún se encuentra subutilizada, ya que no se está utilizando al máximo, a pesar del alto potencial identificado en varias regiones del país, especialmente en zonas elevadas con vientos constantes y fuertes como el Arenal, Nacaome, Choluteca en la zona sur del país y ciertos tramos carreteros estratégicos en la carretera que conduce a la costa norte. [7]

Honduras posee un potencial eólico comprobado, pero su aplicación en entornos viales continúa siendo inexplorada. Tecnologías como las turbinas de eje vertical diseñadas para captar turbulencias vehiculares representan una oportunidad para abastecer alumbrado público, señalización, estaciones de emergencia y otros consumos cercanos.

Este artículo es relevante porque introduce un enfoque estructurado para analizar la viabilidad de proyectos de energía eólica en carreteras, integrando principios del PMBOK Séptima Edición, que prioriza la entrega de valor, la gestión integral de los interesados y la adaptabilidad a

entornos cambiantes [8]. Esta perspectiva resulta clave para países como Honduras, donde las limitaciones financieras, sociales y regulatorias exigen proyectos resilientes y de bajo impacto.

Por tanto, se plantea una pregunta que guía la construcción de esta investigación:

¿Cuál es la viabilidad de los proyectos de energía eólica en carreteras, de acuerdo con los principios de entrega de valor, gestión de interesados, gestión del cambio, adaptabilidad y resiliencia establecidos por el PMBOK Séptima Edición?

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Se reviso literatura especializada para comprender las bases conceptuales, regulatorias y tecnológicas que fundamentan la energía eólica aplicada a carreteras. Por lo que en esta sección se desarrolla: la energía eólica en carretera, gestión de proyectos, contexto hondureño.

a. Energía eólica en carreteras

La energía eólica se define como una fuente renovable basada en la conversión de energía cinética del viento a energía mecánica y posteriormente eléctrica [9]. Su aplicación tradicional ha sido a gran escala, pero avances tecnológicos han permitido explorar configuraciones de pequeña escala como las turbinas de eje vertical (VAWT), que operan eficientemente en entornos urbanos y viales debido a su tolerancia a vientos turbulentos [10]. Investigaciones recientes han demostrado que el flujo vehicular genera corrientes aprovechables para micro generación, especialmente en autopistas con alto volumen de tránsito [11].

La competitividad de la energía eólica frente a los combustibles fósiles es innegable, pero el sector enfrenta retos económicos ligados a los altos costos de materiales, los retrasos en la cadena de suministro y las tasas de interés más elevadas en muchos países. Estas condiciones han encarecido proyectos de gran escala y, en algunos casos, ralentizado su despliegue.

Las tecnologías de micro generación como la eólica en carreteras se presentan como alternativas complementarias para entornos específicos, donde su valor se mide no solo en kilovatios-hora producidos, sino en costos evitados en infraestructura eléctrica y resiliencia energética. [12].

El impulso mundial hacia las energías limpias responde a una presión social cada vez más fuerte por la sostenibilidad. Sin embargo, grandes parques eólicos suelen enfrentar oposición comunitaria debido a su impacto visual, acústico y ambiental. En este sentido, los proyectos de pequeña escala, como las microturbinas en carreteras o áreas urbanas, suelen ser más aceptados socialmente, aunque persisten inquietudes sobre su seguridad y beneficios reales. De ahí la importancia de orientar estas iniciativas a usos concretos y visibles, como la iluminación vial o estaciones de emergencia, que aportan valor directo a las comunidades. [13]

Las investigaciones en energía eólica en carreteras se encuentran aún en una fase temprana. Se han probado tecnologías como turbinas de eje vertical (VAWT) y dispositivos sin aspas que aprovechan turbulencias y desprendimientos de vórtices generados por el tránsito vehicular. Aunque los resultados muestran viabilidad técnica, la densidad energética sigue siendo baja y persisten retos de durabilidad, mantenimiento y estabilidad estructural. En consecuencia, la mayoría de los proyectos permanecen en etapa experimental o piloto, recomendándose su implementación modular y en combinación con almacenamiento o energía solar para aumentar la confiabilidad, así como lo manifiesta [12, 14].

Desde la perspectiva ambiental, la energía eólica incluyendo su aplicación en carreteras contribuye directamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Su huella territorial es reducida en comparación con infraestructuras de gran escala, pero aún es necesario evaluar impactos locales como ruido, seguridad vial, alteración del paisaje o posibles interferencias en ecosistemas cercanos.

Existe una regulación difusa para estas tecnologías, las normativas generales no incluyen disposiciones específicas para dispositivos instalados en carreteras. Esto plantea la necesidad de desarrollar protocolos legales sobre seguridad, derecho de vía y operación en espacios públicos, antes de considerar su despliegue masivo. [13]

b. Gestión de proyectos

El PMBOK Séptima Edición establece principios enfocados en la entrega de valor, la participación de los interesados, la adaptabilidad y la resiliencia como fundamentos para proyectos innovadores [8]. Su aplicación resulta esencial para iniciativas energéticas emergentes, donde la aceptación social, los marcos regulatorios y los riesgos tecnológicos desempeñan un papel determinante en el éxito.

Referencia [15] entiende los proyectos como un plan o diseño por ejecutar, con el propósito de hacer constar lo que costara una obra, por su parte Referencia [16], desde la gestión de proyectos los define como un esfuerzo momentáneo en cual se lleva a cabo y crea un producto, servicio o resultado único,

el cual tiene un inicio y un final, siendo así temporales formando parte de un programa o portafolio.

Referencia [8], reconoce distintos enfoques y ámbitos de acción de la gestión de proyectos, sin embargo, para efectos de esta investigación se acotan a los siguientes:

- Grupos de interés: permite analizar el rol de actores clave como gobierno, comunidades, empresas e instituciones. Referencia [17], subraya la importancia que tiene identificar como también gestionar esas expectativas esperada por los interesados, esto con la finalidad de minimizar cualquier conflicto que pueda influir en la aceptación de las iniciativas propuestas, teniendo en equilibrio esta parte juega un papel importante para el éxito.

- Entrega de valor: sostiene que el propósito fundamental de los proyectos es generar beneficios sostenibles para los interesados más allá de cumplir con plazos, costos y alcance, lo que implica concebir los proyectos como vehículos que transforman recursos en productos, servicios o resultados que aporten valor económico, ambiental, social o estratégico. [18],

- Gestión del cambio: plantea que los proyectos deben ser capaces de ajustarse a un entorno dinámico, caracterizado por la incertidumbre, la innovación constante y la evolución de los marcos normativos y sociales. El éxito de los proyectos no depende únicamente de la planificación inicial, sino también de la resiliencia organizacional, la flexibilidad metodológica y la capacidad de aprender y responder ante nuevas condiciones. [8]

c. Situación energética Honduras

Actualmente Honduras enfrenta desafíos energéticos significativos derivados de la dependencia de combustibles fósiles, pérdidas eléctricas elevadas y apagones frecuentes. La oportunidad de implementar micro generación en carreteras representa un mecanismo para reducir cargas en la red, mejorar condiciones de infraestructura vial y diversificar la matriz energética.

El Plan Expansión de la Generación 2024 – 2033 advierte que, sin nuevas inversiones, la capacidad actual no cubrirá la demanda futura. La incorporación de micro generación de energía en carreteras podría contribuir a diversificar el sistema y reducir la presión sobre plantas térmicas contaminantes. El objetivo es mitigar el cambio climático y lograr sostenibilidad ambiental en el país. Además, la huella ambiental de estas instalaciones sería mínima, lo que las convierte en una alternativa adecuada para avanzar hacia una red más resiliente y sostenible. [19,20]

El marco normativo hondureño regula ya la interconexión de nuevas plantas y ha comenzado a normar el almacenamiento, lo que facilita esquemas híbridos (eólico-solar-batería). Sin embargo, aún no existen lineamientos específicos para turbinas en carreteras, lo que obliga a coordinar estrechamente con las autoridades de transporte y obras públicas para garantizar permisos de derecho de vía y seguridad vial en su implementación. [21]

Para aglutinar estos tres subtemas, se considera la teoría de la resiliencia ecológica teoría de Referencia [22], que facilita evaluar la capacidad de adaptación del sistema ante disturbios.

Según referencia [22], la resiliencia ecológica se entiende como: “la magnitud de la perturbación que puede ser absorbida antes de que el sistema redefina su estructura funcional cambiando las variables y procesos que controlan el comportamiento” haciendo énfasis en la persistencia y capacidad de amortiguar las perturbaciones manteniendo las funciones

Esta teoría permite comprender cómo los sistemas pueden adaptarse a perturbaciones, cómo se articulan las relaciones entre actores relevantes y cómo nuevas tecnologías se adoptan en entornos sociales.

d. Marco Legal Honduras

La Ley de Promoción para la Generación de Energía de Honduras, enfatiza la relevancia de la producción de electricidad a través de fuentes renovables y en el marco de esta normativa, se otorgan incentivos tales como la exoneración de impuestos de importación, impuestos sobre ventas y el impuesto a la renta durante un tiempo definido; al mismo tiempo, se acelera la obtención de permisos y licencias, factores esenciales que impulsan la inversión, tanto nacional como internacional, en energías renovables. Por su parte la ley general del ambiente (1993) establece en el artículo 102 y 103, el rol de las comunidades locales y civiles en la conservación y uso de los recursos naturales. Ambos se sustentan en lo declarado en el artículo 340 de la Constitución de la República de Honduras (1982) los recursos naturales, son patrimonio del estado en el cual se puede llegar a utilizar para su aprovechamiento para el interés de la población. Este articulo respalda la gestión y regulación de proyectos de explotación de recursos naturales renovables dentro de ellas se incluye la eólica, siempre y cuando la explotación se haga bajo el marco

de la legalidad del Estado y beneficio de interés social [23,24,25]

III. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un alcance exploratorio y un diseño no experimental, orientado a analizar la viabilidad de los proyectos de energía eólica en carreteras desde la visión de expertos, tomando como marco de referencia los principios de entrega de valor, gestión de interesados, adaptabilidad, gestión del cambio y resiliencia establecidos por el PMBOK Séptima Edición.

La elección de este enfoque responde a la necesidad de profundizar en las percepciones especializadas frente a un fenómeno reciente, con escasa evidencia empírica en la región centroamericana. La metodología se estructuró siguiendo una lógica de congruencia metodológica, asegurando consistencia entre el planteamiento del problema, los objetivos del estudio, los constructos analizados y las técnicas de recolección de información utilizadas.

Se empleó la técnica Delphi, posibilitando que un conjunto de personas, en su conjunto, aborde un problema complejo. Referencia [26,27] indica que es un procedimiento sistemático para obtener opiniones de expertos sobre un tema específico, procesar la información y, mediante herramientas estadísticas, formar un consenso grupal, de esta forma se crea juicio colectivo más robusto. Referencia [24], menciona que esta técnica permite abordar problemáticas complejas a través de rondas sucesivas que depuran las ideas individuales hasta alcanzar convergencias colectivas.

Su uso ha sido ampliamente documentado en áreas como la salud, la gestión de proyectos y las ciencias sociales, demostrando ser eficaz para estudios prospectivos, de valoración experta y de identificación de criterios de evaluación.

El proceso metodológico inició con la definición del problema, objetivos y constructos relacionados con los principios del PMBOK 7. Los constructos del estudio permiten analizar la viabilidad de este, el constructo sistemas de energía eólica describe su base tecnológica y factibilidad, la gestión de proyectos orienta su implementación bajo los principios del PMBOK 7, la energía eólica en carreteras aborda su aplicación en la infraestructura vial y la situación actual contextualiza las condiciones del país para su adopción.

Posteriormente, se realizó la selección del panel de expertos, aplicando un muestreo no probabilístico intencional con criterios de inclusión como: mínimo cinco años de experiencia en energías renovables, participación en proyectos energéticos en Honduras o Centroamérica, conocimientos de temas ambientales y dominio de metodologías de gestión de proyectos. Se recurrió al coeficiente de competencia experta como respaldo de la idoneidad de los participantes.

En la figura 1 se presenta el detalle de los pasos seguidos durante el desarrollo de la investigación.

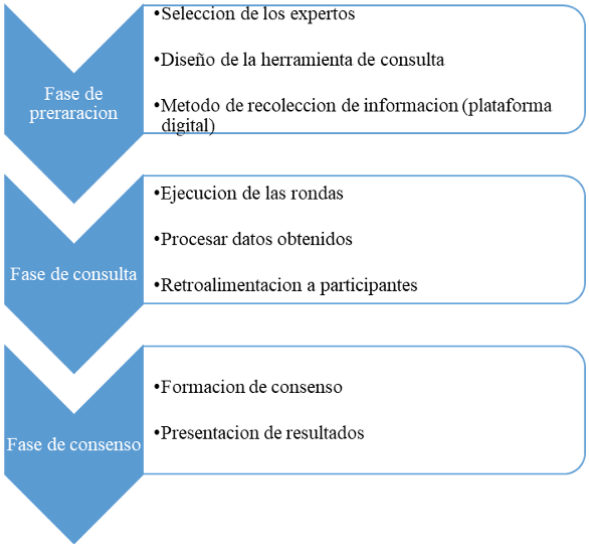


Fig. 1 Esquema de procedimiento del método Delphi

La primera corresponde a la fase de preparación, en la cual se diseñó el instrumento inicial, consistente en un cuestionario abierto orientado a captar opiniones libres sobre barreras, beneficios, riesgos, stakeholders y condiciones para implementar energía eólica en carreteras. La segunda fue la fase de consulta, donde se procesaron las respuestas cualitativas mediante codificación temática, se identificaron categorías y se generó un cuestionario semiestructurado para la segunda ronda.

Durante esta fase, los expertos evaluaron cada ítem utilizando escalas tipo Likert, y recibieron retroalimentación controlada para reflexionar sobre sus respuestas. Finalmente, la fase de consenso consistió en analizar la estabilidad de las respuestas aplicando criterios estadísticos como mediana, rango intercuartílico y porcentaje de coincidencia en rangos altos, lo cual permitió determinar si existía suficiente acuerdo colectivo.

Los instrumentos utilizados incluyeron cuestionarios abiertos y semiestructurados, matrices de análisis de consenso y protocolos de retroalimentación. Asimismo, se complementó con una revisión documental de literatura científica, marcos

regulatorios, informes técnicos y estudios de caso relacionados con energía eólica, gestión de proyectos e innovación.

Como parte de la rigurosidad metodológica, se aplicó el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC). Esto permitirá evaluar los indicadores mediante una rúbrica que asigna una valoración cuantitativa. Se medirá el grado de acuerdo en función de la claridad, relevancia y coherencia de los ítems, determinando su aceptabilidad y nivel de validez [28], antes de aplicar el instrumento en la técnica Delphi.

Esta técnica considera contar con un mínimo de tres evaluadores expertos en las temáticas para llevar a cabo la evaluación, en la tabla I se presenta la cantidad de elementos considerados para el cálculo.

TABLA I
VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO (CVC)

Elemento	Resultado
N.º de ítems evaluados	13
Numero de Jueces que evaluaron el ítem	5
Sumatoria de los puntajes asignados por cada juez a cada uno de los ítems	63
Puntuación máxima que el ítem podría alcanzar.	4.2
Coeficiente de validez de contenido de cada ítem del instrumento	0.84
Probabilidad de error por cada Ítem	0.00032
Coeficiente de validez de contenido total	0.83968

Los resultados de la tabla I mostraron valores de CVCt superiores a 0.71 en todos los ítems obteniendo una concordancia aceptable, en promedio se obtuvo 0.84 indicando un nivel de concordancia buena, así evidenciando que los elementos del instrumento son coherentes, claros y relevantes para los objetivos del estudio.

También se calculó para el instrumento de la ronda dos al ser una herramienta con preguntas tipo Likert el Alpha de Cronbach para medir la consistencia y interna y el resultado se presenta en la tabla II.

TABLA II
CÁLCULO DEL ALPHA DE CRONBACH

Elemento	Resultado
Número de ítems	28
Suma de varianza de ítems	26.51
Varianza del puntaje total	362.44
Factor de corrección por número de ítems	1.0370
Alpha de Cronbach	0.9612

El resultado muestra una consistencia interna excelente, por lo que no se requirió pasar a una ronda tres de validación con expertos

IV. RESULTADOS

Los resultados del estudio se estructuraron según las dos rondas del método Delphi y la comparación final entre constructos. La aplicación del instrumento permitió recopilar percepciones técnicas, ambientales, sociales y regulatorias sobre la viabilidad de implementar sistemas de energía eólica en carreteras, analizando cuatro dimensiones principales: sistemas de energía eólica, gestión de proyectos, energía eólica en carreteras y situación actual.

RONDA I

En la primera ronda, los expertos proporcionaron opiniones cualitativas sobre la factibilidad técnica y ambiental del sistema. Se identificó una viabilidad técnica moderada, señalando que la estabilidad y velocidad del viento representan condiciones críticas para el éxito del proyecto. Asimismo, se destacó la necesidad de realizar estudios previos de viento, topografía y geología, lo cual fue repetidamente mencionado como un requisito indispensable para garantizar instalaciones seguras y eficientes.

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran:

-la inversión inicial elevada,

- la complejidad de los permisos gubernamentales,

-los requerimientos de mantenimiento especializado, todos factores que podrían retrasar la ejecución.

Sin embargo, también se observó una valoración considerablemente positiva respecto al potencial innovador de las microturbinas viales, donde el 69% de los expertos calificó el modelo con niveles de innovación altos o muy altos (4 o 5 en la escala Likert), reflejando la percepción de que se trata de una propuesta novedosa y tecnológicamente relevante para la transición energética del país.

En la figura 2 se muestra como los expertos identificaron los impactos ambientales positivos y negativos.

Si bien reconocen la contribución potencial a la reducción de emisiones y la sostenibilidad, también señalaron la necesidad de evaluar riesgos como afectaciones al paisaje,

ruido y fauna, destacando la importancia de un diseño ambientalmente responsable, así como manifestaron una preocupación por los altos costos que desarrollos de este tipo podrían tener en este momento en el país por las limitaciones presentadas anteriormente.

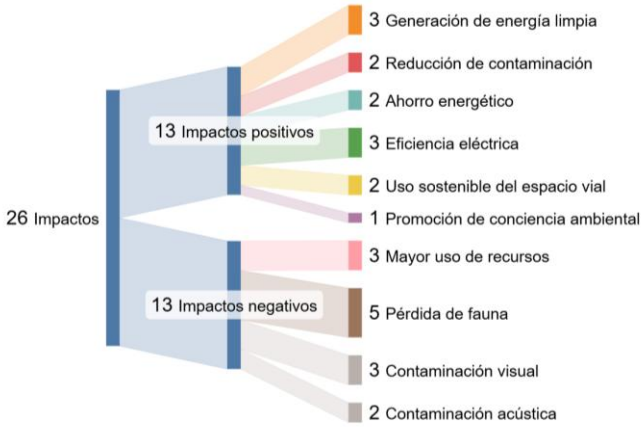


Fig. 2 Impactos ambientales negativos y positivos

RONDA II

La segunda ronda buscó validar y cuantificar los hallazgos iniciales. Los expertos evaluaron cada dimensión utilizando una escala Likert de 1 a 5. Los resultados mostraron promedios elevados en casi todos los constructos, con especial fortaleza en aspectos ambientales, sociales y de gestión, lo cual evidenció una percepción positiva generalizada sobre la viabilidad del proyecto.

Los expertos coincidieron en que la integración de microturbinas en carreteras es viable, especialmente en tramos con condiciones adecuadas de infraestructura y viento. Se identificó confianza en la reducción de huella de carbono y en la capacidad del sistema para integrarse con otras energías renovables. No obstante, persistieron reservas sobre desarrollos tecnológicos costo-efectivos, evidenciando que la tecnología requiere mayor investigación.

Se obtuvo puntuaciones altas, destacando la entrega de valor, el impacto social, la eficiencia energética y la participación de actores clave. La integración multisectorial (gobierno, inversionistas, comunidades, ONGs) fue considerada esencial y factible, con consenso sobre que el proyecto tiene potencial para atraer inversión privada y entregar beneficios tangibles e intangibles relevantes.

El panel identificó el marco regulatorio y la infraestructura vial como los elementos más críticos. Se evidenció una valoración intermedia que indica la necesidad de actualizar las normativas vigentes y desarrollar políticas específicas que permitan la expansión de modelos híbridos y tecnologías emergentes en carreteras hondureñas. La viabilidad física del sistema fue evaluada con énfasis en la importancia de reforzar capacidades institucionales para facilitar su adopción.

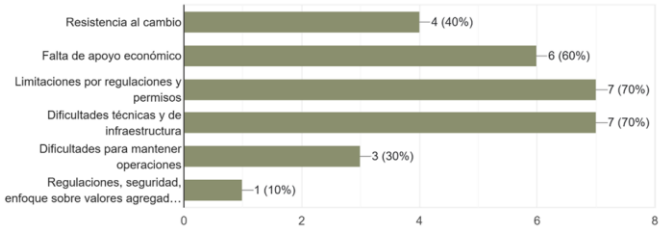


Fig. 3 Barreras de implementación

En la figura 3 se evidencia que las principales barreras percibidas para la implementación del proyecto se relacionan con factores técnicos, regulatorios y de infraestructura, ya que las limitaciones por permisos y regulaciones, junto con las dificultades técnicas e infraestructurales, reciben la mayor cantidad de menciones (70%). También destacan la falta de apoyo económico (60%) y la resistencia al cambio (40%), lo que indica la presencia de desafíos tanto estructurales como sociales.

Otras barreras, como los problemas para mantener operaciones o requisitos específicos de seguridad y valores agregados, aparecen con menor frecuencia, pero aun así forman parte del panorama general. En conjunto, los resultados reflejan que el proyecto enfrenta obstáculos diversos, principalmente vinculados al cumplimiento normativo y las capacidades técnicas necesarias para su ejecución.

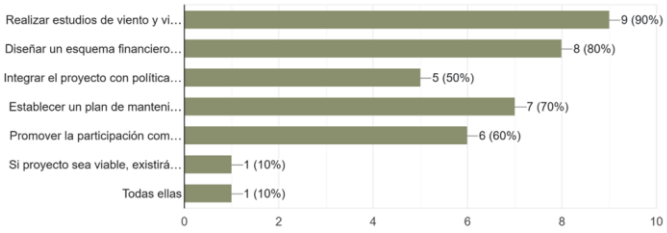


Fig. 4 Estrategias para aumentar viabilidad

En la figura 4 se muestra que los encuestados consideran prioritarias varias estrategias para fortalecer la viabilidad del proyecto, destacando la necesidad de realizar estudios de viento y viabilidad técnica, que obtiene el mayor nivel de apoyo (90%). También se valora altamente el diseño de un esquema financiero sostenible (80%) y el establecimiento de un plan de mantenimiento (70%), lo que refleja la importancia de garantizar estabilidad técnica y económica a largo plazo. Asimismo, promover la participación comunitaria (60%) y alinear el proyecto con políticas locales (50%).

Estas son vistas como acciones clave para asegurar aceptación social y coherencia institucional. Finalmente, aunque en menor proporción, algunos participantes mencionan que si el proyecto es viable surgirán inversionistas, o bien que todas las estrategias son necesarias, lo cual evidencia una percepción integral de los elementos que pueden influir en el éxito del proyecto.

Los expertos resaltaron que el contexto energético y vial del país ofrece condiciones favorables en términos de resiliencia climática y técnica, aunque enfrenta limitaciones en adaptabilidad institucional y regulatoria. Además, la aceptación social fue considerada sólida, señalando que la población percibe positivamente soluciones sostenibles siempre que se gestionen apropiadamente los riesgos, la comunicación pública y los beneficios esperados.

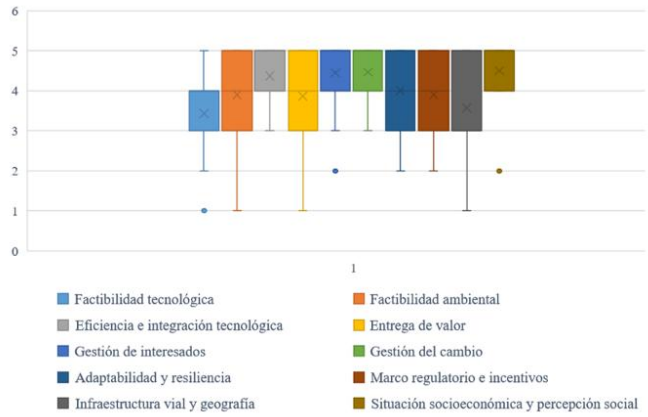


Fig. 5 Constructos según calificación de expertos

En la figura 5 se muestra el análisis comparativo de los constructos, evidenciando un alto nivel de consenso entre los expertos, especialmente en los aspectos relacionados con la factibilidad ambiental, la eficiencia e integración tecnológica, la gestión del cambio y situación socioeconómica y la percepción social, los cuales presentan valoraciones concentradas entre los niveles altos de la escala. Estos resultados reflejan una percepción positiva sobre la viabilidad y el impacto del proyecto de energía eólica en carreteras.

En contraste, los constructos vinculados con la factibilidad tecnológica, la gestión de interesados y el marco regulatorio muestran mayor dispersión en las respuestas, lo que sugiere la existencia de opiniones diversas y áreas que requieren mayor análisis o fortalecimiento institucional. En conjunto, el gráfico confirma que las dimensiones sociales, ambientales y de gestión son las más consolidadas, mientras que los componentes tecnológicos y normativos representan los principales retos para la consolidación del proyecto.

En resumen, el gráfico demuestra que los expertos consideran altamente viable la implementación del sistema de energía eólica en carreteras, destacando la sostenibilidad ambiental y el impacto social como fortalezas principales, mientras que la tecnología y el marco regulatorio surgen como desafíos a abordar en futuras fases.

V. Conclusiones

La investigación permitió analizar de manera integral la visión de los expertos sobre la implementación de esta innovación tecnológica (los proyectos de energía eólica en carreteras) bajo los principios de entrega de valor, gestión de interesados, adaptabilidad, resiliencia y gestión del cambio establecidos por el PMBOK Séptima Edición.

Los resultados del método Delphi evidencian que esta tecnología representa una alternativa viable según los expertos en el tema y pertinente para el contexto hondureño, especialmente para diversificar la matriz energética y mejorar la sostenibilidad de la infraestructura vial.

Los expertos coincidieron en que el sistema posee un alto potencial ambiental y social, al contribuir a la reducción de emisiones, fortalecer la iluminación vial y generar servicios energéticos descentralizados. Asimismo, identificaron que la viabilidad técnica depende de estudios previos sobre viento inducido, topografía y condiciones estructurales, lo cual es indispensable para garantizar seguridad y eficiencia.

La gestión de proyectos se posicionó como el constructo más sólido, destacando la necesidad de involucrar a actores públicos, privados y comunitarios para asegurar una implementación sostenible. Por otro lado, el marco regulatorio actual fue identificado como la principal limitación, demostrando la urgencia de desarrollar normativas e incentivos específicos para proyectos de micro generación en carreteras.

Finalmente, el consenso global alcanzado confirma que la energía eólica en carreteras es una innovación estratégica y prometedora, siempre que se impulsen proyectos piloto, se fortalezca la regulación y se continúe promoviendo la participación de los interesados.

Es importante resaltar la limitante que esta investigación tiene al ser un estudio Delphi se requiere investigación empírica posterior.

Referencias

[1] International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2023. Paris, France: IEA Publications, 2023.

[2] Reuters, *"Nueva capacidad eólica queda corta a pesar de alcanzar récord, dice el organismo de la industria,"* Reuters, 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.reuters.com/business/energy/new-wind-capacity-falls-short-despite-reaching-record-industry-body-says-2025-04-23/

[3] M. Sánchez-Aparicio, J. Martín-Jiménez, S. Del Pozo, S. González-González, y S. Lagüela, "3D Map-SolarWeb roofs: A geospatial web-based platform to compute photovoltaic potential," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 155, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110203.
[4] Enerdata, World energy trends, Enerdata, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/world-energy-trends.html
[5] J. Rodríguez and M. Rivera, Evaluación del Potencial Eólico y Desarrollo Energético en Centroamérica. Tegucigalpa, Honduras: Editorial Universitaria, 2024.
[6] International Energy Agency, *Global Energy Transitions Stocktake*, IEA, 2023. [En línea]. Disponible: https://www.iea.org/topics/global-energy-transitions-stocktake
[7] E. Tejada, *Informe anual del subsector eléctrico nacional*, Secretaría de Energía, Tegucigalpa, Honduras, 2023.
[8] Project Management Institute (PMI), A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. Newtown Square, PA, USA: PMI, 2021.
[9] Biomass Users Network, Regional Wind and Renewable Energy Assessment Report. Washington, D.C.: BUN Secretariat, 2002.
[10] J. Kang, L. Zhou, and P. Wang, "Vertical-axis wind turbine performance in turbulent vehicular corridors," International Journal of Renewable Energy Research, vol. 14, no. 2, pp. 215–230, 2024.
[11] K. Sriman, S. Rao, and H. Gupta, "Micro-wind energy harvesting from roadway-induced turbulence: A feasibility study," Energy Conversion and Management, vol. 312, pp. 1–12, 2024.
[12] R. De Fazio, M. De Giorgi, D. Cafagna, C. Del-Valle-Soto, y P. Visconti, "Energy Harvesting Technologies and Devices from Vehicular Transit and Natural Sources on Roads for a Sustainable Transport: State-of-the-Art Analysis and Commercial Solutions," *Energies*, vol. 16, no. 7, p. 3016, 2023, doi: 10.3390/en16073016.
[13] M. Gholikhani, S. Roshani, S. Dessouky, y A. T. Papagiannakis, "A critical review of roadway energy harvesting technologies," *Applied Energy*, vol. 261, pp. 114388, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114388.
[14] H. Kang, J. Kook, J. Lee, and Y.-K. Kim, "A novel small-scale bladeless wind turbine using vortex-induced vibration and a discrete resonance-shifting module," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 18, p. 8217, 2024, doi: 10.3390/app14188217.
[15] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, Madrid, España, 2014.
[16] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* – Seventh Edition, Newtown Square, PA, USA: PMI, 2021.
[17] R. E. Freeman, Strategic Management: A Stakeholder Approach. Boston, MA, USA: Pitman, 1984.
[18] S. Moghaddasi, K. Kordani, H. Sarvari, and A. Rashidi, "Redefining project management: Implementing value delivery offices for improved organizational performance," *Buildings*, vol. 15, no. 7, p. 1176, 2025, doi: 10.3390/buildings15071176
[19] Centro Nacional de Despacho (CND), *Plan Indicativo de Expansión de la Generación 2024–2033*, Tegucigalpa, Honduras, 2024.
[20] Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), *Estrategia Nacional de Cambio Climático de la República de Honduras (ENCC)*, Tegucigalpa, Honduras, 2010. [En línea]. Disponible en: https://faolex.fao.org/docs/pdf/hon148589.pdf
[21] Comisión Reguladora de Energía Eléctrica, *Ley General de la Industria Eléctrica*, Tegucigalpa, Honduras, 2022.
[22] E. M. Rogers, Diffusion of Innovations, 5th ed. New York, NY, USA: Free Press, 2003.
[23] Congreso Nacional de Honduras, Constitución de la República de Honduras, 1982.
[24] Congreso Nacional de Honduras, Ley General del Ambiente, Decreto No. 104-93, 1993.
[25] Congreso Nacional de Honduras, Ley de Promoción para la Generación de Energía Renovable, Decreto No. 70-2007, 2007.
[26] M. Varela-Ruiz, L. Díaz-Bravo, and R. García-Durán, "Descripción y usos del método Delphi en investigaciones del área de la salud," *Investigación en Educación Médica*, vol. 2, pp. 90–95, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349736303007
[27] M. García-Valdés and M. Suárez-Marín, "El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica," *Revista Cubana de Salud Pública*, vol. 39, no. 2, pp. 253–267, 2013. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu
[28] R. Hernández-Nieto, Contributions to Statistical Analysis. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2002.