

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Modelado de la cadena de suministro para mini eólica en zonas urbanas”

Tesis para obtener el grado de:

Doctora en Ciencias

Presenta

M.C. Isvia Danitza Zazueta Hernández

Director:

Dr. Edgar Eduardo Valenzuela Mondaca

Codirector:

Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista

Mexicali, Baja California, enero de 2023

Índice

Dedicatoria	1
Agradecimientos	1
Índice de ilustraciones	2
Índice de tablas	3
Índice de ecuaciones	4
Índice de anexos	4
Abreviaturas y siglas	5
Resumen	6
Capítulo I. Introducción	8
Planteamiento del problema	8
Evolución histórica de la energía eólica en México	15
Justificación	20
Hipótesis	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Capítulo II. Marco teórico	22
Energías renovables	22
Definición de energía eólica de baja potencia	22
Cadena de suministro	22
Logística	24
Definiciones de logística (Coyle et al., 2013)	24
Administración de la cadena de suministro	25
Revisión de la literatura	27
Capítulo III. Metodología	30
Modelo general de la cadena de suministro	30

Asignación de puntaje por rubro	31
→ Calidad	31
→ Disponibilidad	32
→ Costo	32
Evaluación por rubro	33
Criterios de decisión para la evaluación de los rubros de la cadena de suministro	35
Diseño del modelo	36
Descripción de eslabones para el modelo propuesto	38
→ Evaluación de potencial eólico	38
→ Suministro de proveedores	44
→ Evaluación técnica del proyecto	48
→ Distribución hacia los clientes	51
→ Disposición final	55
Capítulo IV. Resultados y discusión	61
Aplicación del modelo	61
→ Evaluación de potencial eólico	61
→ Suministro de proveedores	66
→ Evaluación técnica del proyecto	69
→ Distribución hacia los clientes	74
→ Disposición final	76
Resultados de la asignación de puntajes por rubro para el modelo propuesto	80
Capítulo V. Conclusiones y trabajos futuros	82
Limitaciones de la investigación	86

Anexos	87
Referencias	90

Dedicatoria

Este trabajo de investigación va dedicado a todas las mujeres que desean desempeñarse en el área de la ingeniería, seguimos en la lucha por la equidad de género. También a las madres solteras, hemos sido señaladas de diversas formas por la sociedad, quiero decirles que ¡sí se puede! con mucho esfuerzo, dedicación y constancia. Sororidad.

Agradecimientos

Difícil es nombrar a todas las personas que de una u otra manera han aportado su granito de arena en la realización de esta tesis, pero me gustaría iniciar dando las gracias a mis directores de tesis, al Dr. Edgar Eduardo Valenzuela Mondaca y al Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista, por su disposición en todo momento para atender mis dudas, por compartir su conocimiento y experiencia, por su paciencia y por mostrarme mis áreas de oportunidad fortaleciendo mi formación académica y personal estos cuatro años, han pasado a ser parte de mi historia.

Gracias también a la tía Cony (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT) quién estuvo siempre fiel con su aportación económica para poder lograr este sueño de lograr mi grado, sin su apoyo no hubiera sido posible.

A todos los maestros a los que les consulté alguna duda, a todos los proveedores que respondieron mis encuestas, al personal del Instituto de Ingeniería por su soporte, a mis compañeros del área de energía, gracias totales.

Gracias a mi familia, a mi esposo quien es pieza clave en el logro de este proyecto, su experiencia práctica ha sido muy enriquecedora “somos un gran equipo”, gracias, mi amor. A mi hija quien me renueva y me llena de vida con su amor, me comprende a la perfección y tiene el poder de inspirarme a ser mejor cada día, te amo pequitas.

Y por último pero no menos importante ¡Gracias Dios! me cuidaste en todo momento y permitiste que no me rindiera.

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Capacidad instalada de energía eólica en el mundo	9
Ilustración 2: Capacidad instalada de energía eólica por país (2019)	10
Ilustración 3: Capacidad instalada de energía eólica en México	10
Ilustración 4: Meta de participación mínima de energías limpias en México	14
Ilustración 5: Generación neta eólica (GWh) y porcentaje (%) respecto a la generación total de energías renovables en México	15
Ilustración 6: Eslabones principales de la cadena de suministro	30
Ilustración 7: Descripción de la escala de valores para los rubros calidad, disponibilidad y costo	34
Ilustración 8: Diseño del modelo	37
Ilustración 9: Curva de potencia típica de un aerogenerador	40
Ilustración 10: Escala Likert para valoración de criterios del eslabón de suministro de proveedores	47
Ilustración 11: Porcentaje de cumplimiento para el eslabón suministro de proveedores	47
Ilustración 12: Procesos de logística y logística inversa para recuperación de aerogeneradores	57
Ilustración 13: Evaluación de suministro de proveedores X, Y, Z	67
Ilustración 14: Resultados de la aplicación de la encuesta para la evaluación técnica	68
Ilustración 15: Respuestas a la evaluación técnica de X	70
Ilustración 16: Respuestas a la evaluación técnica de Y	71
Ilustración 17: Respuestas a la evaluación técnica de Z	72
Ilustración 18: Evaluación técnica del proyecto para los proveedores X, Y y Z	73
Ilustración 19: Consumo anual de la tarifa 1F por usuario para la ciudad de Mexicali (kWh/a)	75
Ilustración 20: Energía generada por el aerogenerador versus su porcentaje de aportación de energía por categoría	75
Ilustración 21: Formato para evaluación de disposición final	77
Ilustración 22: Desglose de resultados de la evaluación de disposición final por proveedor	78
Ilustración 23: Resultados de las empresas para la evaluación de disposición final	79

Ilustración 24: Evaluación por rubro para el Modelo Zeta ® 80

Ilustración 25: Resultados de la asignación de puntajes por rubro para el Modelo Zeta ® 81

Índice de tablas

Tabla 1: Descripción de la escala de valores para el rubro calidad 31

Tabla 2: Descripción de la escala de valores para el rubro disponibilidad 32

Tabla 3: Descripción de la escala de valores para el rubro costo 33

Tabla 4: Criterios de decisión para la evaluación de la cadena de suministro 36

Tabla 5: Criterio para indicadores de eslabón de evaluación de potencial eólico 39

Tabla 6: Criterios para eslabón de suministro de proveedores 45

Tabla 7: Lista de verificación para la evaluación técnica del proyecto 48

Tabla 8: Clasificación de tarifas para el sector doméstico (bajo consumo) 52

Tabla 9: Límite de servicio doméstico de alto consumo (DAC) 53

Tabla 10: Consumo eléctrico mensual para la temporada de verano (ejemplo: Mexicali) 54

Tabla 11: Consumo eléctrico mensual para la temporada de invierno (ejemplo: Mexicali) 54

Tabla 12: Criterios de evaluación para el elemento *distribución hacia los clientes* 55

Tabla 13: Componentes principales de aerogeneradores de baja potencia 55

Tabla 14: Asignación de puntaje para el proceso de logística inversa 58

Tabla 15: Tabla de componentes aptos para el proceso de remanufactura 58

Tabla 16: Aerogeneradores de baja potencia seleccionados 62

Tabla 17: Velocidad media, varianza y desviación estándar de los datos de viento 2017 62

Tabla 18: Energía generada estimada para AEOLOS 200W 64

Tabla 19: Resumen de datos para los seis aerogeneradores en estudio 64

Tabla 20: Criterios de evaluación para los indicadores del eslabón de potencial eólico 65

Tabla 21: Resultados del primer eslabón de la cadena de suministro evaluación de potencial eólico 66

Tabla 22: Resultados del segundo eslabón <i>suministro de proveedores</i>	69
Tabla 23: Resultados del tercer eslabón <i>evaluación técnica del proyecto</i>	73
Tabla 24: Consumo de la tarifa 1F para la ciudad de Mexicali.	74
Tabla 25: Resultados de la evaluación para el elemento <i>distribución hacia los clientes</i>	76
Tabla 26: Resultados del quinto eslabón <i>disposición final</i>	79

Índice de ecuaciones

Ecuación A: Potencia disponible del viento	41
Ecuación B: Función de densidad de probabilidad de Weibull	42
Ecuación C: Función de distribución acumulada	42
Ecuación D: Parámetro k (Factor de forma)	42
Ecuación E: Parámetro c (Factor de escala)	42
Ecuación F: Probabilidad intercalar	42
Ecuación G: Energía total (anual)	43
Ecuación H: Potencia real	44
Ecuación I: Factor de planta	44

Índice de anexos

Anexo 1: Energía generada estimada para AEOLOS 400W	87
Anexo 2: Energía generada estimada para ENAIR 3000W	87
Anexo 3: Energía generada estimada para ENAIR 5000W	88
Anexo 4: Energía generada estimada para COLIBRÍ 5000W.....	88
Anexo 5: Energía generada estimada para COLIBRÍ 10,000W	89

Abreviaturas y siglas

Aerogeneradores de Baja Potencia	ABP
Asociación Mexicana de Energía Eólica	AMDEE
Cadena de Suministro	CS
Centro Nacional de Control de Energía	CENACE
Certificado de Energía Limpia	CEL
Comisión Federal de Electricidad	CFE
Comisión Reguladora de Energía	CRE
Diario Oficial de la Federación	DOF
Ley de la Industria Eléctrica	LIE
Ley General de Cambio Climático	LGCC
Ley de Transición Energética	LTE
Mercado Eléctrico Mayorista	MEM
Megawatt	MW
Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional	PRODESEN
Sustentable de la Energía	PRONASE
Reporte de Avance de Energías Limpias	RAEL
Secretaría de Energía	SENER
Sistema Eléctrico Nacional	SEN

Resumen

En todo el mundo hay un ambiente de volatilidad en los energéticos y, ante esto, las energías renovables se han convertido en una opción favorable; aprovechando la creciente demanda por energéticos más limpios y confiables se han posicionado estratégicamente en el panorama del futuro de la energía. Sin embargo la viabilidad de proyectos energéticos, en particular aquellos que se refieren a mini eólica, se ha limitado a la evaluación del potencial eólico o a los factores económicos, como consecuencia en ocasiones no se ha logrado el impacto esperado; en este sentido la implementación de la cadena de suministro ofrece una metodología integral que permite conectar de forma simultánea y cuantitativa el desempeño de los aspectos determinantes ante la toma de decisiones de proyectos de toda índole.

Se ha prestado una atención limitada a las cadenas de suministro de energía eólica de baja potencia en la literatura académica. En las últimas décadas se han propuesto adaptaciones de la cadena de suministro en diversas áreas, algunos análisis se han enfocado a la reducción de las emisiones de carbono CO₂, otros a la optimización de procesos productivos en lo referente a la extracción de materias primas; y algunas otras adaptaciones en proyectos de generación de energía eólica de gran potencia comparando su adaptabilidad en distintos países y condiciones. Pese a esas adaptaciones, aun se tiene un área de oportunidad que reside en el proponer una metodología estandarizada que permita la evaluación de la cadena de suministro en zonas urbanas, específicamente la eólica de baja potencia, en la que de forma transparente y medible, permita de manera objetiva la utilización de criterios claramente comparables con los cuales se pueda facilitar la toma de decisiones y con ello tomar acción en las áreas de oportunidad encontradas. Por lo que se desarrolló un modelo innovador para la evaluación de proyectos de generación de energía eólica de baja potencia, diseñado bajo los criterios de la cadena de suministro existentes y considerando nuevos elementos al modelo tradicional de cadena de suministro. El modelo consta de cinco eslabones: 1) Evaluación de potencial eólico, 2) Suministro de proveedores, 3) Evaluación técnica del proyecto, 4) Distribución hacia los clientes y 5) Disposición final, los cuales fueron evaluados en tres rubros: a) Calidad, b) Disponibilidad y c)

Costo. Se califica a cada elemento de la cadena de suministro con una escala de cero a tres apoyado de un código de colores que incluye rojo, amarillo y verde simulando un semáforo.

En este proyecto de investigación se aplicó la metodología antes descrita para determinar la viabilidad de un proyecto de mini eólica en la ciudad de Mexicali Baja California, México, para el sector doméstico. La aplicación del modelo proporcionó resultados cuantitativos que permiten determinar la viabilidad de los proyectos con una calificación estandarizada y comparable bajo un procedimiento objetivo para la toma de decisiones en el área de proyectos de generación de energía. El modelo desarrollado se registró bajo el nombre de Modelo Zeta ®.

Capítulo I. Introducción

Planteamiento del problema

Desde hace más de dos décadas, la respuesta al desafío del cambio climático se presenta de manera compartida en la arena de la negociación mundial. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), creada en 1992, es el organismo de la ONU encargado de establecer las bases para la acción internacional conjunta en cuanto a mitigación y adaptación al cambio climático. Los países que integran la Convención (también llamados “Estados parte”), se obligan a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la instrumentación de políticas y medidas de mitigación y la aplicación de nuevas tecnologías económica y socialmente beneficiosas, entre otros factores.

Las Partes firmantes de la Convención están sujetas a los compromisos generales de responder al cambio climático y, por ello, han acordado formular, aplicar y actualizar periódicamente programas nacionales de cambio climático; cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos al cambio climático; compilar inventarios nacionales de las emisiones de gases de efecto invernadero y presentar informes periódicos sobre las medidas que están adoptando para aplicar la CMNUCC.

A nivel mundial existe un acuerdo generalizado de que la implementación y desarrollo de las energías renovables, son una estrategia determinante en la mitigación del cambio climático. Países como China, Alemania y Estados Unidos de América han triplicado su generación basada en energías renovables, en particular energía eólica y solar; durante los últimos 10 años la energía eólica ha crecido exponencialmente y es sin duda una opción favorable para los países que apuestan por la diversificación de la generación de energía basada en fuentes renovables ya que el recurso del viento es sustancial y permite una pronta recuperación de la inversión en dicha tecnología.

De acuerdo con datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (International Renewable Energy Agency, IRENA) la capacidad instalada de energía eólica en el mundo ha mantenido su tendencia positiva los últimos diez años como se aprecia en la ilustración 1. (IRENA, 2022b)

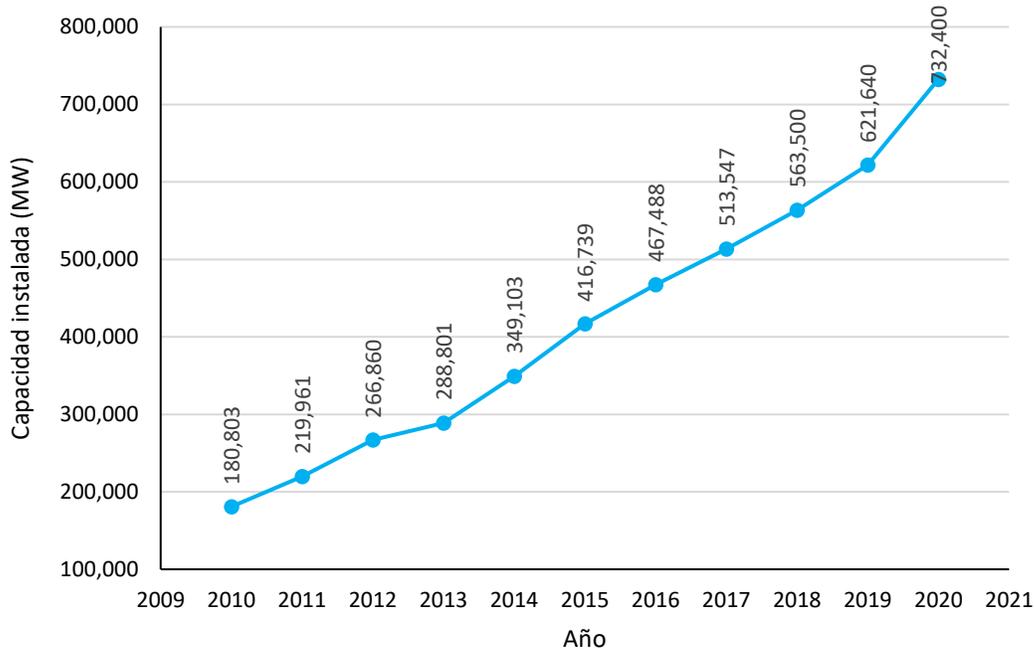


Ilustración 1: Capacidad instalada de energía eólica en el mundo

De acuerdo con la Asociación Mundial de Energía Eólica (World Wind Energy Association) en los últimos años México ha avanzado en la transición del uso de combustibles fósiles hacia el uso de las energías renovables, logrando posicionarse en el lugar número trece a nivel mundial como uno de los países con mayor captación y crecimiento en este rubro, específicamente en generación basada en energía eólica, por encima de Australia y Dinamarca (ilustración 2). En lo que respecta específicamente a México, de 2012 a 2021 la capacidad instalada proveniente de energía eólica presenta un crecimiento muy significativo, pasando de 1,815 MW hasta 7,692 MW en nueve años (ilustración 3). (IRENA, 2022a)

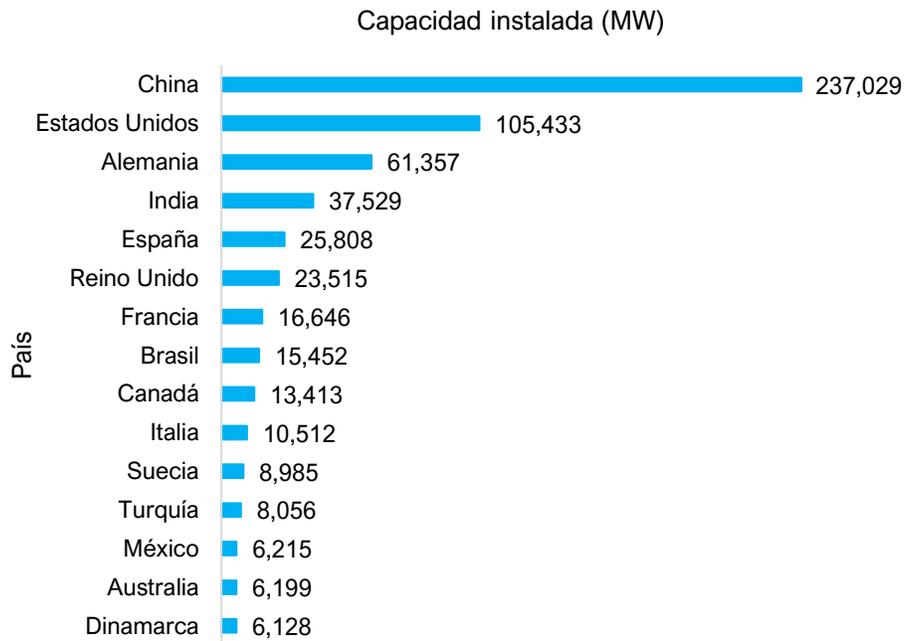


Ilustración 2: Capacidad instalada de energía eólica por país (2019)

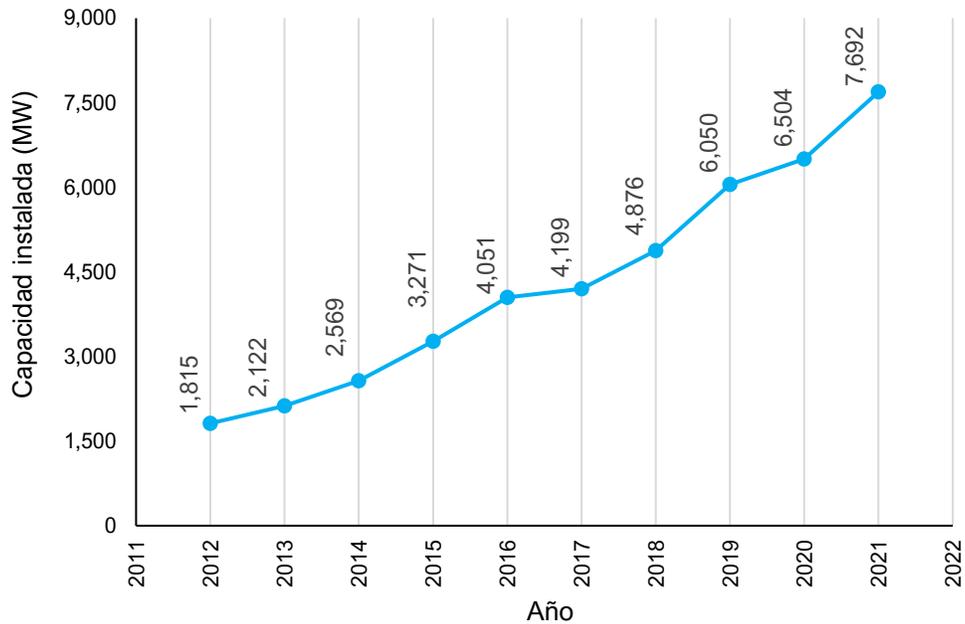


Ilustración 3: Capacidad instalada de energía eólica en México

El Gobierno de México creó el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) a partir de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) como un organismo de investigación para generar e integrar conocimiento técnico y científico e incrementar el capital humano calificado para la formulación, conducción y evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica, crecimiento verde, así como la mitigación y adaptación al cambio climático. (*Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – México ante el cambio climático, s/f*)

Las emisiones totales del país, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (Datos abiertos Gobierno de México, 2017), se situaron en 734 millones de toneladas de CO₂e, lo que representa un aumento del 65 por ciento con respecto a 1990. El principal motor del crecimiento de las emisiones es el consumo de combustibles fósiles para transporte y la generación de electricidad, seguido de actividades como la ganadería y la industria del petróleo y el gas. (Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024, 2021)

Como parte de los compromisos asumidos por México ante la comunidad internacional y la sociedad en materia de cambio climático, se presentó la Sexta Comunicación Nacional, que permite conocer y evaluar las acciones, medidas y políticas realizadas en el país. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, el gas que más se emite en nuestro país es el dióxido de carbono 73 por ciento del total, seguido del metano con 20 por ciento. Otros gases con alto potencial de calentamiento usados en la industria como refrigerantes y aislantes, entre otros, son el óxido nitroso, los perfluorocarbonos, los hidrofluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre, que emiten en su conjunto el 7 por ciento restante. Finalmente, destaca el rol de los sumideros de carbono del país, que se estima capturan cerca de 148 millones de toneladas de CO₂, es decir, alrededor de una quinta parte del total nacional. Si bien las emisiones siguen creciendo, resaltan dos tendencias importantes: la tasa de crecimiento se ha desacelerado en la última década y la intensidad de carbono de la economía mexicana presenta una

tendencia hacia la baja. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018)

México tiene un gran potencial de generación de energía mediante fuentes renovables y, si bien se han abierto posibilidades de aprovechamiento para la participación del sector privado, los mecanismos no han sido suficientes. En la Estrategia Nacional de Cambio Climático se proponen ejes estratégicos y líneas de acción para acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia, entre las que destacan (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013):

1. Fortalecer el esquema regulatorio, institucional y el uso de instrumentos económicos para aprovechar fuentes de energía limpia y tecnologías más eficientes.
2. Fomentar la generación de energía mediante el uso de fuentes limpias y tecnologías más eficientes en sustitución de combustibles fósiles, minimizando su impacto ambiental y social.
3. Aumentar la penetración de energías renovables y reducir pérdidas energéticas mediante el uso de redes inteligentes y generación distribuida en el sistema eléctrico nacional.
4. Fomentar la participación del sector privado y paraestatal en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía y la cogeneración eficiente.
5. Facilitar la interconexión de centrales de generación eléctrica con energías renovables en las regiones del país con mayor potencial y viabilidad económica.
6. Fomentar la generación de energía eoloelectrica y aprovechar su potencial terrestre y marino para asegurar la compatibilidad tecnológica, social y ambiental.

Dando continuidad a la Reforma Energética, se expide la Ley de Transición Energética en diciembre de 2015, la cual tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos. En su artículo 29 se señalan que las metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética deben estar contenidas en La Estrategia como instrumento rector

de la política nacional en el mediano y largo plazo, así como su grado de cumplimiento. (*Ley de Transición Energética*, 2015)

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), mandata al Gobierno Federal la elaboración de estrategias para cumplir con los objetivos de mitigación de reducir un 30% de emisiones respecto a la línea base en 2020 y 50% en 2050 en relación con las emisiones del año 2000, requiere transformaciones estructurales en el modelo de desarrollo del país.

(Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013)

Corresponde a la Secretaría de Energía establecer propuestas para reducir la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía en el mediano plazo, promover el cumplimiento de las Metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética, y promover el desarrollo futuro de las Energías Limpias como un elemento que contribuye al desarrollo y bienestar socioeconómico del país. (*Ley de Transición Energética*, 2015)

De acuerdo con el Reporte de Avance de Energías Limpias (RAEL) del primer semestre de 2018 la Secretaría de Energía fijó como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el 2018, del 30% para 2021 y del 35% para 2024. Acorde con la Ley de Transición Energética (2018), la meta establecida para energías limpias en el año 2030 es de 38%, mientras que para el año 2050 es de 50% como se muestra en la ilustración 4. (Coldwell et al., 2018)

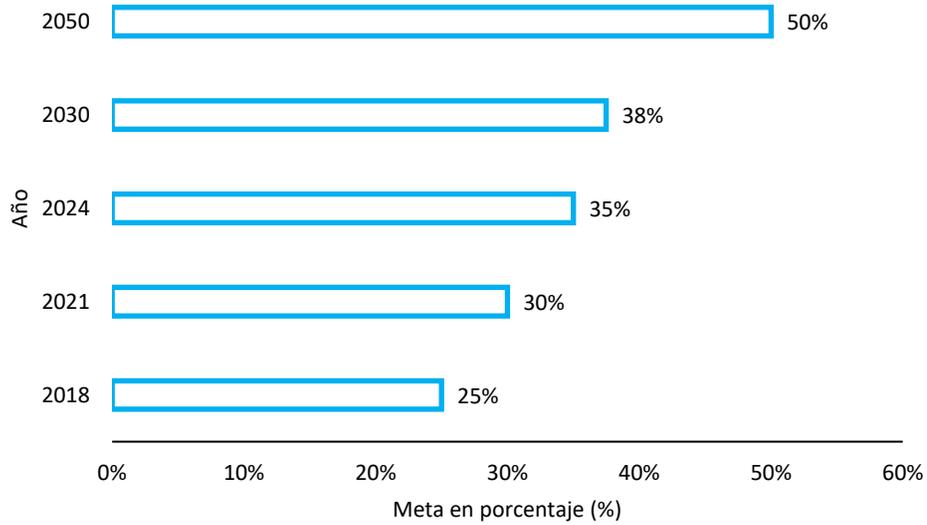


Ilustración 4: Meta de participación mínima de energías limpias en México

El artículo 27 de la LTE establece que la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, establecerá las políticas y las acciones que deberán ser ejecutadas mediante el Programa Especial de la Transición Energética (PETE). Sus objetivos son (Secretaría de Energía, 2017):

1. Aumentar la capacidad instalada y la generación de energías limpias.
2. Expandir y modernizar la infraestructura de transmisión e incrementar la generación distribuida y almacenamiento.
3. Impulsar el desarrollo tecnológico, de talento y cadenas de valor de energías limpias.
4. Democratizar el acceso a las energías limpias.

Evolución histórica de la energía eólica en México

Al cierre del primer semestre de 2018 la capacidad instalada en parques eólicos alcanzó los 4,367.34 MW, 10.78 % más que al cierre del primer semestre de 2017, mostrando un crecimiento menor a la tendencia observada de 2011 a 2016. En los últimos seis años se construyó el 98 % de la capacidad instalada del país, representando ya el 5.74 % de la capacidad total de México y posicionándose como la segunda tecnología limpia más importante. (Coldwell et al., 2018)

La generación hidroeléctrica en el 2020 continúa representando el mayor porcentaje de las energías renovables con el 42.4%, seguida de la energía eoloeleétrica con 28.4%, la fotovoltaica con 20.77%, la geotérmica con 7.1% y, finalmente, la generación a partir de bioenergía, la cual representó el 1.3% de la generación renovable. Respecto a la generación eoloeleétrica en 2020 representó el 5.88% de la generación total de energía con 15,549.27 GWh; en 2019, 5.23% con 16,726.91 GWh y finalmente en 2018 representaba el 3.89% con 12,435.25 GWh, se aprecia en la ilustración 5 (Secretaría de Energía, 2022).

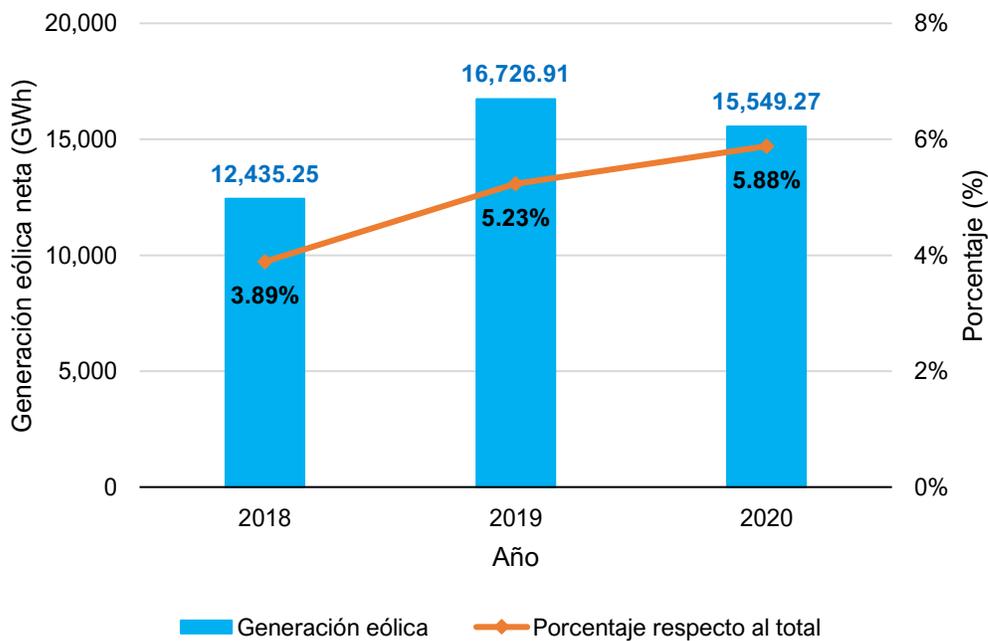


Ilustración 5: Generación neta eólica (GWh) y porcentaje (%) respecto a la generación total de energías renovables en México

Los gobiernos de los Estados fronterizos del norte de México como lo son Baja California, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, comenzaron a desarrollar una conciencia del potencial para el desarrollo de la energía eólica en la región y se dieron cuenta de la ventaja que ofrece su proximidad geográfica a Estados Unidos de América. Baja California tiene un potencial eólico importante, por lo que interesa a sectores privados para la exportación de energía a Estados Unidos de América. La Sierra de Juárez donde se localiza el poblado de La Rumorosa posee una ubicación geográfica que la hace idónea para la exportación de energía al vecino país por la cercanía al Estado de California. Actualmente, el gobierno del Estado de Baja California cuenta con el primer parque en operación en la región de la Rumorosa denominado "La Rumorosa I" con una capacidad instalada de 10 MW. La operación de este parque eólico surgió por el estudio realizado por Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), denominado "Zonas potencialmente productoras de energía eléctrica eólica, en Baja California" (CICESE, 2003), en el cual se sugiere la existencia de gran potencial en la zona. El Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos de América (NREL) realizó mapas de la franja fronteriza del recurso eólico e identificó las áreas prospectivas para aplicaciones eólicas, aunque la información contenida en los mapas es muy valiosa la institución siempre recomienda (Elliot, 2004) que se lleven a cabo mediciones del viento en una zona para validar el recurso estimado y refinar los mapas que se elaboraron. (Zamora Machado et al., 2015)

De acuerdo con el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (2018) en Baja California se tiene un proyecto en construcción "MPG Rumorosa" en el municipio de Tecate con una capacidad instalada de 72 MW. Además, se prevé la construcción de tres proyectos más, "Fuerza Eólica de San Matías" en el municipio de Ensenada; "Viga Solar Baja, S. A. P. I. de C. V. (Central La Rumorosa I)" y "Viga Solar Baja, S. A. P. I. de C. V. (Central La Salada I)" en el municipio de Tecate. Éstos tres últimos proyectos sumarán 133.5 MW de capacidad instalada al estado. (Secretaría de Energía, 2018)

Si bien se cuenta con recurso eólico disponible es importante también mencionar cómo está conformado el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Consta de nueve regiones de control, y un pequeño sistema eléctrico

aislado. La operación de estas regiones está bajo la responsabilidad de nueve Centros de Control Regional ubicados en las ciudades de México, Puebla, Guadalajara, Mérida, Hermosillo, Gómez Palacio, Monterrey, Mexicali, La Paz y un pequeño centro de control en Santa Rosalía Baja California Sur, para el Sistema Mulegé.

El Sistema Eléctrico de Baja California, opera interconectado a la red eléctrica de la región Oeste de EUA Western Electricity Coordinating Council (WECC, por sus siglas en inglés) por medio de dos líneas de transmisión conectadas a un nivel de tensión de 230 kV en corriente alterna, pero a su vez el sistema eléctrico se encuentra desconectado del resto de México.

En Baja California se tienen dos Centrales Eléctricas de ciclo combinado y una eólica que operan con permiso como exportador, están ubicadas en territorio nacional, y conectadas directamente a la WECC.

De acuerdo con el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033 (PRODESEN), en 2020, el consumo bruto nacional del SEN fue de 315,968 GWh, lo que significa un decremento de 2.76% respecto al consumo de 2019. Esta disminución fue ocasionada por la contingencia sanitaria originada por el COVID-19, la cual provocó la suspensión de actividades productivas en todo el país. Sin embargo Baja California y Mulegé presentaron tasas positivas (2.2% y 2.6%, respectivamente) a pesar de la contingencia sanitaria. (PRODESEN, 2022)

La Comisión Estatal de Energía de Baja California, nació en julio de 2008, con el objetivo de aprovechar sustentablemente los energéticos locales, impactando positivamente en la calidad de vida de los Bajacalifornianos y la Competitividad del Estado. (Gobierno del Estado de Baja California, 2017)

El 2 de febrero de 2018, la SENER, por conducto de la Unidad del Sistema Eléctrico Nacional y Política Nuclear, publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Convocatoria correspondiente a la Licitación Pública Internacional LT/SENER-01-2018 para el otorgamiento del Contrato de Gestión y Operación de la

Infraestructura de Transmisión Eléctrica para la interconexión entre el Sistema Eléctrico Baja California (BC) y el Sistema Interconectado Nacional (SIN). (Secretaría de Energía, 2017)

Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados para subsanar el déficit energético, se cancela el proyecto de interconexión con la entrada del nuevo gobierno federal en 2018. (*0716 Interconexión del Sistema Eléctrico de Baja California con el Sistema Interconectado Nacional – Proyectos México, s/f*)

Las iniciativas para integrar el uso de energías renovables están enfocadas en su mayoría a proyectos de gran escala y con alcances ambiciosos los cuales por lo general son localizados en zonas retiradas de las comunidades; la energía solar tiene aplicación tanto en gran escala como en baja escala de generación de energía, es decir, su uso es tanto en grandes granjas solares como en el sector residencial; sin embargo, el recurso eólico en zonas urbanas y de baja escala se encuentra desperdiciado, también se puede aprovechar mediante la adaptación de las metodologías existentes tales como la cadena de suministro

La cadena de suministro es una metodología que disgrega un proceso en cada una de sus etapas y permite obtener una valoración cuantitativa de cada una de ellas así como evaluar su interrelación para ayudar en la toma de decisiones. Es otras palabras es una función estratégica que involucra todas las operaciones indispensables para que un proyecto se concrete en óptimas condiciones. A través de la cadena de suministro se ponen en evidencia las actividades que realmente agregan valor a la operación y las que no agregan valor, logrando con ello cuantificar las probabilidades de éxito del proyecto en estudio.

Existen propuestas de modelos que analizan la cadena de suministro desde diferentes perspectivas y con distintos alcances. Irfan (2020) presenta un modelo que evalúa la industria de la energía en el sur de Asia combinando un modelo de análisis FODA y la cadena de valor; los resultados de la aplicación del modelo son cualitativos, proporcionando la descripción de fortalezas y debilidades así como amenazas y oportunidades. (Irfan et al., 2020)

De acuerdo con los resultados de la investigación de Arzu y Erman (2010) la medición del desempeño de la cadena de suministro es un área de oportunidad para futuras investigaciones. Sugieren adaptar la cadena de suministro a los modelos de negocio del siglo XXI para tener una medición precisa que permita validar mediante métricos el desempeño de la cadena. Los autores creen que las ideas de "calidad total", "proceso comercial", "ajuste" y "excelencia" siguen siendo la clave para los sistemas de medición del rendimiento del futuro. (Arzu Akyuz y Erman Erkan, 2010)

Para lograr una penetración de las Energías Renovables en México, específicamente la energía eólica, se debe ofrecer a la sociedad una cultura que gire en torno a la autogeneración y a la cogeneración de energía eléctrica; lo cual puede lograrse al ofrecer a los ciudadanos una metodología que les permita evaluar integralmente la factibilidad del uso de energía eólica en sus hogares y/o negocios de acuerdo con las condiciones específicas del entorno apoyados de la cadena de suministro.

Justificación

La ausencia de un modelo de cadena de suministro integral que incluya factores técnicos, económicos y legislativos que permita asegurar y optimizar los recursos involucrados en la evaluación de proyectos de mini eólica en zonas urbanas para proponer estrategias de generación distribuida con base en fuentes de energías renovables.

México cuenta con metas claramente definidas para la mitigación del cambio climático las cuales adquirió por medio de compromisos internacionales en los que se mandata a establecer estrategias que coadyuven al impulso de la penetración de las energías renovables en México, sobre todo la eólica. Entre los compromisos adquiridos se encuentran los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el número 7 “Energía asequible y no contaminante” en el que se propone aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas para el año 2030.

Además, con dichas estrategias se pretende aliviar la carga del Sistema Eléctrico Nacional promoviendo la generación distribuida y en algunos casos, como en Baja California, el contribuir al déficit energético que se tiene actualmente.

Hipótesis

El modelado de la cadena de suministro permite determinar la viabilidad de proyectos mini eólicos mediante una metodología integral que incluye factores técnicos, económicos y legislativos, para favorecer la generación eléctrica en zonas urbanas.

Objetivo general

Desarrollar un modelo basado en la cadena de suministro que permita determinar la viabilidad de proyectos mini eólicos de generación eléctrica en zonas urbanas mediante una metodología integral que incluya factores técnicos, económicos y legislativos.

Objetivos específicos

- Analizar los factores técnicos de la cadena de suministro para mini eólica en zonas urbanas.
- Determinar los factores técnicos del modelo.
- Analizar los factores económicos relacionados con los costos para el modelo.
- Determinar los costos del modelo.
- Determinar el tiempo de ejecución del modelo.
- Integrar las etapas clave del modelo.
- Aplicar el modelo en un caso de estudio.

Capítulo II. Marco teórico

Energías renovables

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes. Como ejemplos de energías renovables se encuentran la hidroeléctrica, el biogas, la geotérmica, la fotovoltaica y la eólica, como las más destacadas. (Coldwell et al., 2018)

Definición de energía eólica de baja potencia

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) menciona que la energía eólica de baja potencia es el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores cuya tecnología tenga un área de barrido que no supere los 200 m², de acuerdo con dicha norma se tiene como consecuencia que la potencia nominal es inferior a los 100 kW aproximadamente. (IEC, 2022)

La Norma IEC 61400 trata de la filosofía de la seguridad, el aseguramiento de la calidad y la integridad de la ingeniería, y especifica los requisitos para la seguridad de los aerogeneradores pequeños, incluyendo el diseño, la instalación y el mantenimiento, así como la explotación en condiciones externas específicas, Su propósito es fijar un nivel apropiado de protección contra daños por riesgos causados en estos sistemas durante su vida útil planificada. (UNE-EN 61400-2:2015, 2021)

Cadena de suministro

La administración de la cadena de suministro es el arte y la ciencia de integrar los flujos de productos, la información y las finanzas a través del conducto entero de suministro desde el proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente. La administración de la cadena de suministro proporciona a las organizaciones una oportunidad para reducir costos, agilizar la eficiencia, y mejorar el servicio al cliente para incrementar los

ingresos. El término administración de la cadena de suministro se integró al vocabulario de los directores ejecutivos, de finanzas, de operaciones y de información durante la década de 1990. La dinámica del entorno global se modificó de manera drástica durante ese decenio y las organizaciones han tenido que adaptarse o perecer. La globalización, la tecnología, la consolidación organizativa, la energía y sostenibilidad han sido factores en el siglo XXI que han cambiado de forma drástica el panorama económico y la administración de las cadenas de suministro. Los desempeños de la cadena de suministro deben medirse en términos de los objetivos corporativos generales para el éxito y las cadenas de suministro deben ser consistentes con las estrategias de la organización. (Coyle et al., 2013)

Una cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer los requerimientos de un cliente. La cadena de suministro incluye no sólo al fabricante y los proveedores, sino también a transportistas, almacenes, vendedores al detalle (menudeo) e incluso a los clientes mismos. Dentro de cada organización (como el caso de un fabricante) la cadena de suministro incluye todas las funciones implicadas en la recepción y satisfacción del pedido de un cliente. Estas funciones incluyen pero no se limitan al desarrollo de un nuevo producto, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente. Una cadena de suministro es dinámica e implica el flujo constante de información, productos y fondos entre diferentes etapas.

Una cadena de suministro típica puede incluir varias etapas, como los clientes, los detallistas, los mayoristas, los distribuidores, los fabricantes y los proveedores. Aun cuando el término cadena de suministro puede implicar que sólo un actor participa en cada etapa, en realidad la mayoría de las cadenas de suministro son redes donde cada etapa recibe productos de varios proveedores y los envía a varios clientes. Puede ser más preciso utilizar el término red de suministro para describir la estructura de la mayoría de las cadenas de suministro.

Un punto crucial para considerar es que el cliente es una parte integral de cualquier cadena de suministro. De hecho, el propósito principal de cualquier cadena de suministro es satisfacer las necesidades del cliente y, en el proceso, generar utilidades para sí misma.

El diseño, planeación y operación de una cadena de suministro tienen un fuerte impacto en la rentabilidad y el éxito de la empresa. Es justo afirmar que una gran parte del éxito de las empresas puede atribuirse al diseño, planeación y operación efectivos de la cadena de suministro. (Chopra, 2019)

Logística

La logística se ha convertido en una parte importante de la administración de la cadena de suministro. La coordinación e integración de los sistemas de logística de las organizaciones en una cadena de suministro facilitan la administración exitosa de esta última. Aunque hay varias definiciones diferentes para la logística, la elaborada por el Consejo de Profesionales de la Cadena de Suministro es la definición más utilizada. Los sistemas de logística pueden verse o analizarse en varias formas diferentes, incluyendo administración de materiales frente a distribución física, centros de costos, nodos frente a enlaces, y canales. Los cuatro enfoques son viables para diferentes propósitos. La logística se analiza con frecuencia desde un enfoque de sistemas, el cual enfatiza los intercambios de costo y servicio cuando se proponen cambios. Puede usarse una perspectiva a corto plazo o una a largo plazo. (Coyle et al., 2013)

Definiciones de logística (Coyle et al., 2013)

Perspectiva	Definición
Inventario	Administración de materiales en movimiento y en reposo.
Cliente	Hacer llegar el producto correcto, al cliente correcto, en la cantidad correcta, en la condición correcta, en el lugar correcto, en el momento correcto y al costo correcto.
Sociedad Internacional de Logística	Arte y Ciencia de la administración, ingeniería y actividades técnicas relacionadas con los requerimientos, los diseños y el suministro, y el mantenimiento de recursos para apoyar los objetivos, los planes y las operaciones.

Perspectiva	Definición
Utilidad / Valor	Proporcionar utilidad/valor de tiempo y lugar de los materiales y los productos en apoyo de los objetivos de la organización.
Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro	La parte del proceso de la cadena de suministro que planea, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo a fin de satisfacer los requerimientos del cliente.

Administración de la cadena de suministro

La idea central de la administración de la cadena de suministro es aplicar un enfoque de sistema integral a la administración del flujo de información, materiales y servicios provenientes de proveedores de materias primas mientras pasan por las fábricas y almacenes hasta llegar al consumidor final; las tendencias recientes de subcontratación y producción personalizada en masa obligan a las empresas a encontrar vías flexibles para satisfacer la demanda de los clientes. El punto focal es optimizar las actividades centrales a efectos de maximizar la velocidad de respuesta ante los cambios de las expectativas de los clientes. (Jacobs y Chase, 2014)

La administración de la cadena de suministro consiste en la colaboración entre las empresas que persiguen un posicionamiento estratégico común y pretenden mejorar su eficiencia operativa. Por cada empresa involucrada la relación de la cadena de suministro refleja una decisión estratégica. Una estrategia de cadena de suministro es una disposición de canales basada en una dependencia y una colaboración reconocidas. Las operaciones de la cadena de suministro requieren procesos administrativos que abarcan las áreas funcionales de las empresas individuales y vinculan a los socios comerciales y a los clientes a través de los límites de la organización.

En contraste con la administración de la cadena de suministro, la logística es el trabajo requerido para mover y colocar el inventario por toda la cadena de suministro. Como tal, la logística es un subconjunto de una

cadena de suministro y ocurre dentro de esta; es el proceso que crea un valor por la oportunidad y el posicionamiento del inventario. La logística es la combinación de la administración de pedidos, el inventario, el transporte, el almacenamiento, el manejo de materiales y el embalaje integrados por toda la red de una planta. La logística sirve para vincular y sincronizar la cadena de suministro general como un proceso continuo y es esencial para la efectiva conectividad de la cadena de suministro, aunque el propósito del trabajo logístico ha permanecido esencialmente intacto durante décadas, el modo en que se realiza se sigue modificando de manera radical. (Bowersox et al., 2007)

Procesos de la cadena de suministro

La planificación operativa de la cadena de suministro requiere coordinar varios procesos, específicamente, la capacidad de respuesta para la planificación de la demanda, la colaboración en las relaciones con los clientes, el cumplimiento de pedidos/entrega del servicio, la personalización de la manufactura o la colaboración en las relaciones con los proveedores deben coordinarse para satisfacer a los clientes y utilizar los recursos de manera eficaz. El sistema para proporcionar esta coordinación es la planificación de la cadena de suministro.

El sistema de planificación de la cadena de suministro y de los sistemas de información relacionados buscan integrar la información y coordinar las decisiones generales de la logística y de la cadena de suministro, al mismo tiempo que reconocen la dinámica entre otras funciones y procesos de la empresa. Los tres factores que dirigen el desarrollo y la implementación de un sistema de planificación son: la visibilidad de la cadena de suministro, la consideración simultánea de los recursos y la utilización de éstos últimos. (Bowersox et al., 2007)

Revisión de la literatura

La cadena de suministro es una metodología que se utiliza especialmente para el diseño, planeación y operación de empresas enfocadas principalmente en procesos productivos repetitivos pero flexibles, en los cuales se busca la rentabilidad financiera y operacional de las empresas (Chopra, 2019). En las últimas décadas se han propuesto adaptaciones de la cadena de suministro en diversas áreas y con distintos enfoques: análisis de rutas para transporte urbano (Viljoen y Joubert, 2019) para determinar patrones en el sistema de transporte urbano; logística y rastreabilidad de pagos de activos en modelos financieros de las industrias manufactureras (Jiang et al., 2022); optimización de procesos agropecuarios enfocados en las pérdidas que ocurren en las etapas de la cadena de suministro, incluida la producción agrícola y el almacenamiento postcosecha (Kazancoglu et al., 2018) entre otras. Meixel y Gargeya (2005) realizaron una investigación en la que concluyeron que la mitad de las industrias evaluadas se desarrollan en un contexto industrial muy específico y pocos modelos abordan de manera integral la alineación estratégica en el diseño de la cadena de suministro global (Meixell y Gargeya, 2005).

Como parte de los hallazgos de la investigación de Ahi y Searcy (2015) resalta la necesidad de desarrollar métricas claramente definidas que utilicen un lenguaje estándar al medir el mismo problema central. Desde una perspectiva práctica, la necesidad de utilizar métricas claramente definidas con terminología relativamente estandarizada es necesaria para promover una mayor comparabilidad en la evaluación del desempeño de diferentes cadenas de suministro. (Ahi y Searcy, 2015)

McCormack (2008) realizó una investigación en la que utilizó un estudio cuantitativo basado en una encuesta autoadministrada utilizando una muestra de profesionales de la cadena de suministro de la industria de empresas brasileñas. Esto incluyó industrias de manufactura, construcción, comercio minorista, gráficos, minería, comunicaciones, tecnología de la información, servicios públicos (gas, agua y electricidad) y distribución. Los resultados sugieren crear un modelo de cadena de suministro estándar para poder analizar

diferentes empresas del mismo giro de forma objetiva, además de incluir los costos involucrados en el proceso de análisis de la cadena de suministro. (McCormack et al., 2008)

También en el área de las energías renovables ha habido adaptaciones del modelado de la cadena de suministro, tal es el caso de Castellanos (2018) quien realiza un análisis tecno-económico basado en la cadena de suministro de sistemas solares fotovoltaicos en diversos países (México, China, Estados Unidos de América y Brasil) con la intención de garantizar una planificación a largo plazo de silicio cristalino como materia prima del primer eslabón de su análisis. (Castellanos et al., 2018)

Pulsen y Lema (2017) por su parte, abordan el papel de la cadena de suministro en el proceso de difusión de energías renovables en sus investigaciones. Utilizando el sector de la energía eólica en alta mar como caso de estudio, dichos autores presentan un análisis de la preparación de la cadena de suministro para determinar el papel de la cadena de suministro en la transformación verde. En el caso de estudio se examinan la logística eólica en alta mar de Europa y China; los resultados de la investigación muestran que este segmento de la cadena de suministro constituye un cuello de botella clave para un despliegue acelerado. Para Europa, los hallazgos clave indican que la legislación para la energía eólica en alta mar más allá de 2020 es necesaria para garantizar la implementación de las inversiones requeridas en activos logísticos, equipos de transporte y personal. En China, los hallazgos clave indican que la cadena de suministro china de energía eólica se organiza principalmente en torno a la energía eólica terrestre. Existen cuellos de botella clave, predominantemente en la logística y áreas específicas de la cadena de suministro donde la colaboración internacional y la transferencia de conocimientos pueden acelerar la implementación. (Poulsen y Lema, 2017)

A su vez las empresas que se dedican al desarrollo de proyectos energéticos han realizado análisis de diferentes aspectos para la cadena de suministro de la industria eólica, incluye el potencial del recurso eólico, las necesidades financieras, el desarrollo de infraestructura, la tecnología energética, regulaciones propias del área geográfica, políticas, aspectos ambientales y socioeconómicos. Sin embargo, dichos proyectos

están enfocados en tecnología de gran potencia para parques de generación de energía, dejando de lado la baja potencia y las zonas urbanas las cuales representan un gran aporte a la generación distribuida y a la penetración de las energías renovables. (Irfan et al., 2020)

Por otra parte existen metodologías propuestas para evaluar el potencial eólico en zonas urbanas. Rodríguez (2019) evaluó 28 modelos de aerogeneradores de baja potencia en 18 ubicaciones distintas para estimar la producción anual de energía, algunas de las regiones estudiadas se encuentran el Istmo de Tehuantepec, Baja California, Veracruz y Tamaulipas, todas situadas en México. La investigación de Rodríguez (2019) promueve la penetración de la energía eólica de baja potencia y la generación distribuida, sin embargo los resultados de su investigación se centran en la mitigación de emisiones de CO₂, en las condiciones de viento y en los beneficios económicos de la inversión, es decir el alcance es limitado deja de lado aspectos tales como los costos, la disponibilidad de los equipos y la disposición final de los mismo entre otras cosas. Rodríguez sugiere desarrollar metodologías confiables para caracterizar correctamente la producción de energía de turbinas eólicas. (Rodríguez-Hernández et al., 2019)

Los estudios realizados por Ashtine (2016) apoyan a la industria eólica de baja potencia, dicha industria brinda al sector mundial de energías renovables los beneficios de la independencia energética para el consumidor, la producción remota de electricidad en regiones fuera de la red y un suministro de energía más diversificado, que puede complementarse con energía solar y ser utilizado por empresas y hogares. (Ashtine et al., 2016)

Capítulo III. Metodología

Se realizó una revisión de los modelos existentes para la evaluación de la cadena de suministro en el sector de la energía eólica, entre los cuales se seleccionaron elementos de los modelos existentes logrando integrarse con elementos propuestos para dar cabida a un nuevo modelo que se describirá a detalle en esta sección. El nuevo modelo se probó en un caso de estudio teniendo como base la ciudad de Mexicali Baja California, México; considerando seis aerogeneradores de baja potencia y tres proveedores distintos seleccionados por conveniencia.

Modelo general de la cadena de suministro

Se ha prestado una atención limitada a las cadenas de suministro de energía renovable en la literatura académica. En la centrada específicamente en la gestión de la cadena de suministro, recientemente ha habido un aumento del interés en el desempeño de la sostenibilidad de las cadenas de suministro y algunos análisis recientes se han dirigido específicamente a la reducción de las emisiones de carbono. Sin embargo, estos estudios se han dirigido principalmente al impacto ambiental de las cadenas de suministro en las industrias manufactureras (uso de recursos, transporte, reciclaje) más que en las cadenas de suministro en el sector energético, y mucho menos en el sector eólico. (Poulsen y Lema, 2017)

Se desarrolló un modelo que permita una evaluación integral de los proyectos de instalación de mini eólica en zonas urbanas, el cual consiste en representar la cadena de suministro con cinco eslabones principales: 1) Evaluación de potencial eólico, 2) Suministro de proveedores, 3) Evaluación técnica del proyecto, 4) Distribución hacia los clientes y 5) Disposición final. Se muestra en la ilustración 6.

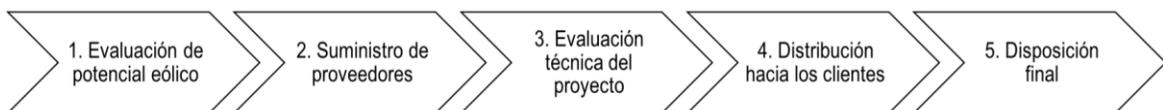


Ilustración 6: Eslabones principales de la cadena de suministro

Existen diversos rubros para la selección de proveedores, cada empresa elige de acuerdo con sus expectativas, sin embargo, de acuerdo con una investigación realizada por Taherdoost y Brard (2019) los rubros más utilizados son: calidad, disponibilidad y costo. Con base en la información descrita anteriormente se propone que cada eslabón de la cadena de suministro sea evaluado en tres rubros importantes: a) Calidad, b) Disponibilidad y c) Costo. Para evaluar los rubros de calidad y disponibilidad se asignará una calificación a cada elemento de la cadena de suministro para lo cual se propone una escala de cero a tres apoyado de un código de colores que incluye rojo, amarillo y verde simulando un semáforo. Mientras que para el rubro de costo la evaluación será binaria, se asignará un uno para los casos donde sí se puedan adquirir de forma local los suministros necesarios involucrados en cada uno de los eslabones, mientras que se asignará un cero para los casos donde los suministros exijan recursos fuera de la localidad.

Asignación de puntaje por rubro

→ Calidad

En el rubro de calidad el valor cero marcado en color rojo indica que existe un bloqueo en el flujo a través de la cadena de suministro y/o que el potencial eólico es cero por lo cual se sugiere no continuar con la evaluación de los siguientes rubros; el valor uno significa que existen factores que restringen la cadena de suministro con impacto negativo, también marcado en color rojo; mientras que el valor dos nos indica un impacto positivo pero limitado para la cadena de suministro, para ello se utiliza el color amarillo; y por último el valor tres denota un impacto positivo y con suministro suficiente siendo el verde el color que lo identifique como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1: Descripción de la escala de valores para el rubro calidad

<i>Valor</i>	<i>Color</i>	<i>Descripción de la escala</i>
0	Rojo	Factor que bloquea la Cadena de Suministro
1	Rojo	Factor que restringe la Cadena de Suministro con impacto negativo
2	Amarillo	Impacto positivo pero limitado para la Cadena de Suministro
3	Verde	Impacto positivo y suministro suficiente

→ **Disponibilidad**

El rubro disponibilidad evalúa la cadena de suministro bajo cuatro conceptos relacionados a la distancia donde se encuentre el recurso necesario para cada eslabón; los conceptos son los siguientes: internacional, nacional, regional y local.

Se asignará un cero cuando la única manera de obtener los recursos necesarios para el eslabón evaluado sea internacionalmente, puesto que la adquisición de recursos en el extranjero requiere recorrer grandes distancias, cruces de fronteras, y en ocasiones requerimientos especiales para ingresar al país, como por ejemplo el cumplimiento de normas o el pago de aranceles.

El valor uno se asigna cuando los recursos para el eslabón evaluado se pueden adquirir dentro del país, se evalúa con un dos cuando de manera regional se pueden adquirir los recursos necesarios para cada eslabón de la cadena de suministro; por último, en el caso de poder adquirir de manera local los recursos, se asignará un tres, siendo éste el puntaje más alto, lo cual indica que es más sencillo satisfacer esa necesidad de forma rápida y a una corta distancia; ver tabla 2.

Tabla 2: Descripción de la escala de valores para el rubro disponibilidad

<i>Valor</i>	<i>Color</i>	<i>Descripción de la escala</i>
0	Rojo	Internacional
1	Rojo	Nacional
2	Amarillo	Regional
3	Verde	Local

→ **Costo**

El rubro de costo se determina evaluando cada eslabón de la cadena de suministro en una escala que consta de cuatro conceptos: mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo además de los gastos de operación.

Se asignará un puntaje con valor de uno para los casos donde sí se pueda costear el concepto de forma local, mientras que se asignará un puntaje con valor cero para los casos donde el costo del concepto exija recursos fuera de la localidad; ver tabla 3.

Tabla 3: Descripción de la escala de valores para el rubro costo

<i>Descripción de la escala (Conceptos)</i>	<i>Local</i>	<i>Fuera de la localidad</i>
Mano de obra	1	0
Materia prima	1	0
Maquinaria y equipo	1	0
Gastos de operación	1	0

Evaluación por rubro

Se asignará un valor para cada uno de los cinco eslabones de la cadena de suministro los cuales serán sumados para posteriormente dividirse entre el máximo de puntos posibles para obtener una proporción total en el rubro correspondiente la cual será presentada en formato de porcentaje. Para los rubros de calidad y disponibilidad el máximo puntaje que puede obtenerse es de 15 puntos; mientras que para el rubro de costo el máximo puntaje es de 20 puntos.

En la ilustración 7 se describen la escala de valores para cada uno de los tres rubros: calidad, disponibilidad y costo, los conceptos que integran a cada rubro y los puntajes que pueden obtenerse para concentrar una evaluación integral.

Modelo para la evaluación integral de proyectos de instalación de minieólica en zonas urbanas		Descripción de la escala para cada rubro														
		Rubro Calidad					Rubro Disponibilidad				Local		Rubro Costo			
		Factor que bloquee la Cadena de Suministro	Factor que restrinja la Cadena de Suministro con Impacto negativo	Impacto positivo pero limitado para la Cadena de Suministro	Impacto positivo y suministro suficiente	Internacional	Nacional	Regional	Local	Mano de obra	Materia prima	Maquinaria y equipo	Gastos de operación			
1	0	1	2	3	0	1	2	3	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0				
2	0	1	2	3	0	1	2	3	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0				
3	0	1	2	3	0	1	2	3	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0				
4	0	1	2	3	0	1	2	3	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0				
5	0	1	2	3	0	1	2	3	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0	Existe 1 No existe 0				
Evaluación por rubro		CRÍTICO 0% - 60% 0 - 9 Puntos	REGULAR 61% - 80% 10 - 12 Puntos	BUENO 81% - 100% 13 - 15 Puntos	CRÍTICO 0% - 60% 0 - 9 Puntos	REGULAR 61% - 80% 10 - 12 Puntos	REGULAR 61% - 80% 10 - 12 Puntos	BUENO 81% - 100% 13 - 15 Puntos	CRÍTICO 0% - 60% 0 - 12 Puntos	REGULAR 61% - 80% 13 - 16 Puntos	REGULAR 61% - 80% 13 - 16 Puntos	BUENO 81% - 100% 17 - 20 Puntos				

Ilustración 7: Descripción de la escala de valores para los rubros calidad, disponibilidad y costo

Criterios de decisión para la evaluación de los rubros de la cadena de suministro

Para decidir el criterio de evaluación de la cadena de suministro, los porcentajes obtenidos por rubro deberán compararse con los criterios de decisión de evaluación que se muestran en la tabla 4 para contrastar si el resultado de la evaluación del rubro es bueno, regular o crítico. Poulsen (Poulsen y Lema, 2017) propone una evaluación en un rango de 0 a 3 el cual es adaptado a porcentajes de 0% a 100% para el modelo propuesto en esta investigación; ver tabla 4.

La evaluación del modelo se realiza por rubros en orden consecutivo iniciando con el de calidad posteriormente el de disponibilidad y terminando con el rubro de costo. En el caso de que el rubro evaluado esté entre 0% y 60%, el criterio de decisión es *crítico*, lo cual indica que la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado no factible y se propone que el proyecto no se ejecute. El criterio de *regular* se alcanza cuando el porcentaje obtenido en la evaluación por rubro evaluado oscila entre 61% y 80%, la decisión para ese caso es que la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado aceptable, se propone una revisión del proyecto para aumentar la probabilidad de ser exitoso. Cuando la puntuación fluctúa entre 81% y 100%, el criterio de decisión para el rubro evaluado es considerado *bueno*, para tal caso la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado factible, el proyecto tiene una alta probabilidad de ser exitoso. Cuando el resultado de la evaluación del rubro de calidad sea *crítico*, se sugiere no continuar con la evaluación del resto de los rubros del modelo.

Tabla 4: Criterios de decisión para la evaluación de la cadena de suministro

Poulsen	Puntuación para los rubros		Criterio	Decisión
	Calidad y Disponibilidad	Costo		
3 puntos	81% - 100%		BUENO	La gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado factible, el proyecto tiene una alta probabilidad de ser exitoso.
	13 - 15 Puntos	17 - 20 Puntos		
2 puntos	61% - 80%		REGULAR	La gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado aceptable, se propone una revisión del proyecto para aumentar la probabilidad de ser exitoso.
	10 - 12 Puntos	13 - 16 Puntos		
0 - 1 puntos	0% - 60%		CRÍTICO	La gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado NO factible, se propone que el proyecto no se ejecute.
	0 - 9 Puntos	0 - 12 Puntos		

Diseño del modelo

El modelo desarrollado para la evaluación de la cadena de suministro considerando los cinco eslabones y los tres rubros se muestra en la ilustración 8.

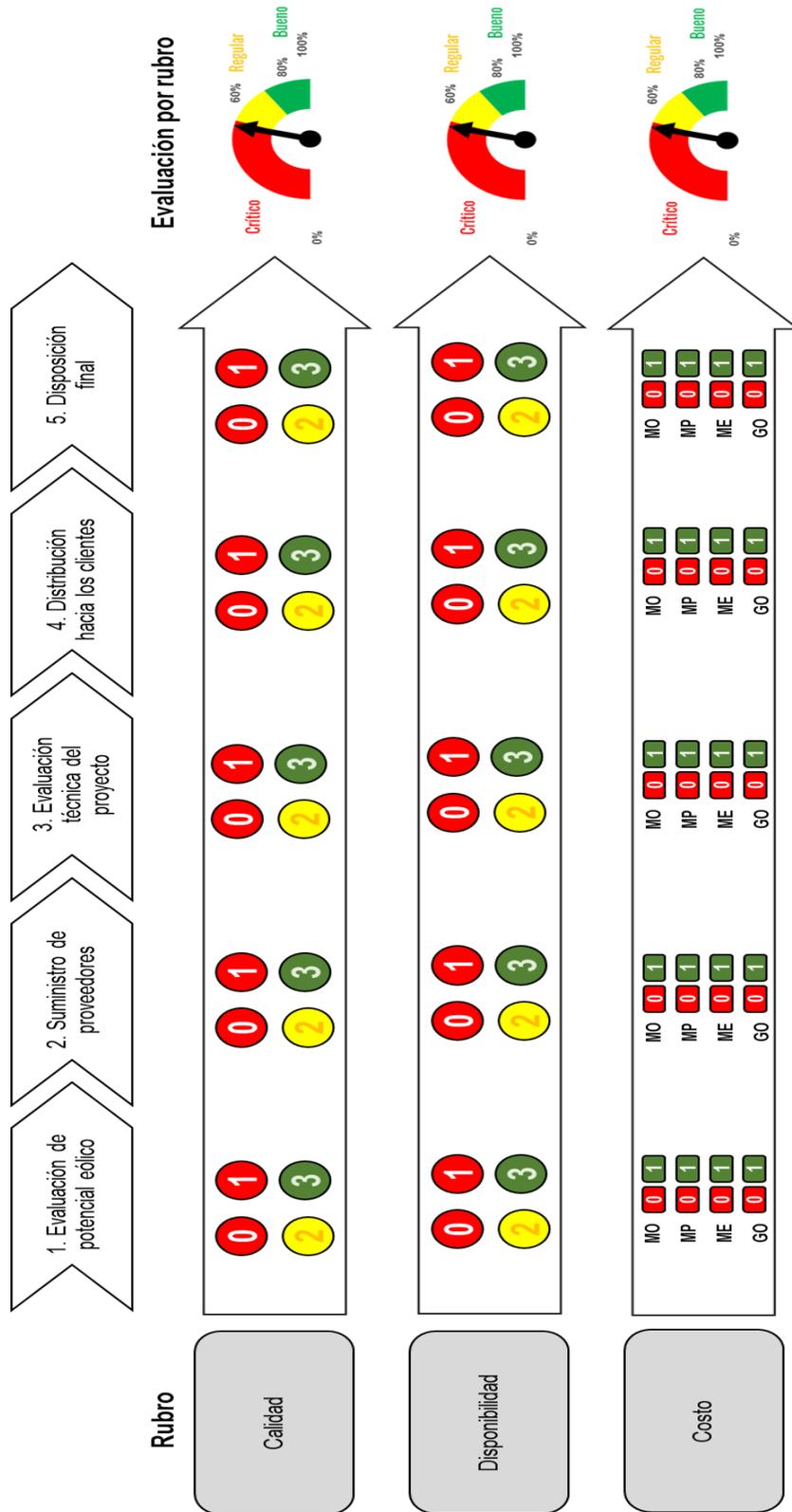


Ilustración 8: Diseño del modelo

Descripción de eslabones para el modelo propuesto

→ Evaluación de potencial eólico

El primer eslabón de la cadena de suministro es para evaluar el potencial eólico para lo cual se requieren tres indicadores: la velocidad de arranque del aerogenerador en metros sobre segundo (m/s), el factor de planta en porcentaje (%) y que la energía generada sea de un mínimo del 5% de los kilowatts hora anuales (kWh/a). La velocidad de arranque y el factor de planta son indicadores comúnmente utilizados en análisis de aerogeneradores de generación de energía en proyectos de eólica de gran potencia. La velocidad de arranque es tomada directamente de la ficha técnica del aerogenerador, mientras que para el factor de planta se requiere el cálculo de valores previos basado en modelos estadísticos como la distribución de Weibull para poder determinarla (Algieri et al., 2020). El indicador de energía generada está basado en una resolución de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) aplicable para las empresas y que para fines de evaluación del modelo se extrapolada al sector doméstico. Los tres indicadores antes mencionados son utilizados por separado, en este modelo se propone por primera vez el utilizarlos de forma simultánea para evaluar el potencial eólico y a su vez es la primera vez que se asigna un valor cuantitativo y estandarizado en un modelo de cadena de suministro en el área de renovables.

Cada uno de los indicadores se evalúa con el mismo criterio con el que evalúan los eslabones de la cadena de suministro que va de cero a tres apoyado de un código de colores que incluye rojo, amarillo y verde simulando un semáforo. La tabla 5 muestra los criterios propuestos con base en la revisión realizada de las velocidades de arranque típicas para generadores mini eólicos con potencial de aplicación en el sector doméstico.

Tabla 5: Criterio para indicadores de eslabón de evaluación de potencial eólico

Indicadores	Unidades	Criterio			
		0	1	2	3
Velocidad de Arranque	m/s	4 m/s	3 m/s	1-2 m/s	0-1 m/s
Factor de Planta	%	1-5%	6-10%	11-15%	16-20%
Porcentaje de contribución de energía generada (5%)	%	0%	1-2%	3-4%	5-6%
Evaluación para el rubro de calidad		Suma de puntos obtenidos en cada indicador / Cantidad de indicadores = Redondeo al entero superior			
Si la evaluación del eslabón es igual a cero, se sugiere no continuar con la evaluación del resto de los rubros del modelo.					

La velocidad de arranque del aerogenerador se obtiene directamente de la ficha técnica del equipo. Se evalúa con cero cuando la velocidad de arranque es mayor o igual a 4 m/s; se evalúa con uno cuando la velocidad de arranque es de 3 m/s; en el caso de que la velocidad de arranque se encuentre entre 1 y 2 m/s se evalúa con dos; la mejor evaluación se obtiene cuando la velocidad de arranque se encuentra entre 0 y 1 m/s, en este caso se asigna un tres. (Algieri et al., 2020)

La potencia de salida de un aerogenerador varía con la velocidad del viento y cada aerogenerador tiene una curva característica de rendimiento de potencia. Con dicha curva es posible predecir la producción de energía de un aerogenerador.

La curva de potencia indica la salida de potencia eléctrica en función de la velocidad del viento a la altura del rotor. La ilustración 9 presenta un ejemplo de una curva de potencia para un aerogenerador hipotético. Las curvas de potencia para aerogeneradores existentes normalmente se pueden obtener del fabricante. Las curvas se derivan de pruebas de campo, utilizando métodos de prueba estandarizados. (Manwell et al., 2002)

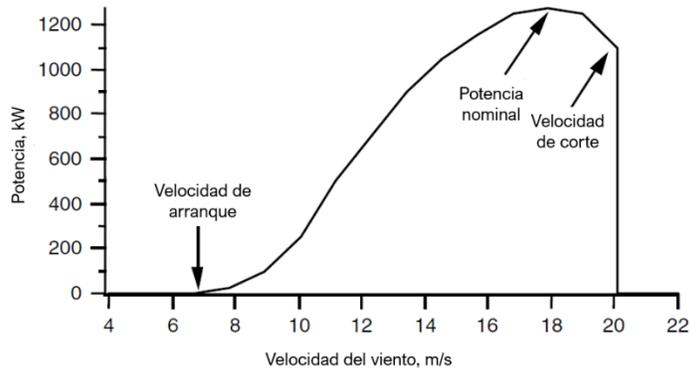


Ilustración 9: Curva de potencia típica de un aerogenerador

El rendimiento de un determinado aerogenerador se puede relacionar con tres puntos clave en la escala de velocidad:

- Velocidad de arranque: la velocidad mínima del viento a la que el aerogenerador entregará potencia útil.
- Velocidad nominal del viento: la velocidad del viento a la que se alcanza la potencia nominal (generalmente la potencia máxima de salida del generador eléctrico).
- Velocidad de corte: la velocidad máxima del viento a la que se permite que la turbina entregue energía (generalmente limitado por diseño de ingeniería y restricciones de seguridad).

Para establecer la productividad de un aerogenerador en un sitio determinado se requiere que la información de la velocidad del viento esté disponible en formato de serie de tiempo o de forma resumida (velocidad media del viento, desviación estándar, etc.)

La energía cinética por unidad de tiempo, o potencia del flujo viene dada por:

Ecuación A: Potencia disponible del viento

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

donde:

P es la potencia disponible del viento

ρ es la densidad del aire

A es el área de barrido

U es la velocidad del viento

De la ecuación anterior se concluye lo siguiente:

- La densidad de potencia (P/A) es directamente proporcional a la densidad del aire. Para condiciones estándar (nivel del mar, 15° C) la densidad del aire es de 1.225 kg/m³.
- La potencia del viento es directamente proporcional al área barrida por el rotor (o el diámetro del rotor al cuadrado para un aerogenerador de eje horizontal convencional).
- La densidad de la energía eólica es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento.

En la práctica, se puede estimar la potencia P_w que generará una turbina eólica a través de su curva de potencia.

En el análisis de datos de viento se utilizan comúnmente dos distribuciones de probabilidad: (1) Rayleigh y (2) Weibull. La distribución de Rayleigh utiliza un parámetro: la velocidad media del viento. La distribución de Weibull se basa en dos parámetros y, por lo tanto, puede representar mejor una variedad más amplia de regímenes de viento.

Para estimar la energía es indispensable apoyarse de la función de densidad de probabilidad de Weibull (Ecuación B) y la función de distribución acumulada (Ecuación C) las cuales requieren del conocimiento de dos parámetros: k , un factor de forma y c , un factor de escala. Ambos parámetros son funciones de \bar{U}

(Velocidad media de los datos de viento) y σ_U (Desviación estándar de los datos de viento). La función de densidad de probabilidad de Weibull y la función de distribución acumulada vienen dadas por:

Ecuación B: Función de densidad de probabilidad de Weibull

$$f(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

Ecuación C: Función de distribución acumulada

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

Para obtener k y c en términos de \bar{U} y σ_U , hay varias aproximaciones que se pueden utilizar. Por ejemplo:

Una buena aproximación para k es utilizar el método empírico utilizando la ecuación D.

Ecuación D: Parámetro k (Factor de forma)

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1.086}$$

la cual se puede usar para encontrar c como se muestra en la ecuación E.

Ecuación E: Parámetro c (Factor de escala)

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma(1 + 1/k)}$$

donde Γ representa la función gamma.

La estimación de la energía anual se realiza a partir del cálculo de la probabilidad intercalar, es decir, la probabilidad de que la velocidad de viento se encuentre en el i -ésimo intervalo $[a, b]$, usando la ecuación F:

Ecuación F: Probabilidad intercalar

$$P(a < U_i < b) = \int_b^a f(U) dU = F(b) - F(a)$$

donde a y b son las cotas inferior y superior, respectivamente, de la i-ésima clase del histograma de frecuencias de velocidades.

La probabilidad intervalar encontrada representa el porcentaje del tiempo, de la serie completa, en el que se presentaron velocidades U_i del viento. Este porcentaje se convierte a horas (duración) multiplicándolo por el número total de horas de la serie de tiempo.

Como segundo paso, se utiliza la curva de potencia del aerogenerador para determinar la potencia que, de acuerdo con el fabricante, entrega el aerogenerador cuando el viento fluye a velocidad U_i . Enseguida se multiplican los dos valores anteriores, duración por potencia, para obtener la energía que el aerogenerador estaría entregando cuando el viento se presente con velocidad U_i .

Este procedimiento se repite para cada uno de los n intervalos o clases en los que se tienen valores de velocidad de la serie de tiempo analizada. Finalmente, se obtiene la energía total generada realizando la suma de las energías generadas en cada intervalo de velocidad como lo indica la ecuación G,

Ecuación G: Energía total (anual)

$$E_w = \sum_{i=1}^n P_w (U_i) \Delta t$$

donde:

E_w estimación de energía,

P_w potencia correspondiente a la velocidad U_i ,

Δt duración.

La potencia total real de la turbina eólica, P_w (Ecuación H) también se puede utilizar para calcular un parámetro de rendimiento relacionado, el factor de capacidad (CF, Ecuación I) también conocido como factor

de planta (FP). El factor de planta de una turbina eólica en un sitio determinado se define como la relación entre la energía realmente producida por la turbina y la energía que podría haberse producido si la máquina funcionara a su potencia nominal, P_R , durante un período de tiempo determinado. Por lo tanto:

Ecuación H: Potencia real

$$P_w = \frac{E_w}{8760}$$

Ecuación I: Factor de planta

$$CF = \frac{P_w}{P_R}$$

Una vez calculado el factor de planta se compara con los criterios de la tabla 5 para la asignación del valor con el que será evaluado ese indicador. Lo mismo aplica para el cálculo de la energía generada, se procede a calcular el 5% de la energía y posterior a ello se asigna el valor del indicador comparándolo con los criterios de la tabla 5.

Con los tres indicadores evaluados se calcula un promedio y se redondea al entero superior más próximo. El valor obtenido se contrasta con la tabla 1 para la evaluación del primer eslabón de la cadena de suministro *evaluación de potencial eólico*. En el caso de que el valor obtenido para el primer eslabón sea un cero, se sugiere no continuar con la evaluación del resto de los rubros del modelo.

→ **Suministro de proveedores**

La selección de proveedores es uno de los dilemas de toma de decisiones más importantes en el campo de la gestión de la cadena de suministro. El proceso de selección es fundamental para mejorar la competitividad de la empresa y requiere la evaluación de diferentes proveedores alternativos en función de diferentes criterios.

Con base en lo anterior se diseñó una encuesta para evaluar el segundo eslabón de la cadena de suministro del modelo propuesto *eslabón de suministro de proveedores*.

La encuesta se estructura con los seis criterios propuestos por (Taherdoost y Brard, 2019) para la evaluación de proveedores y se le agregan cuatro descripciones a cada criterio para que sea posible cuantificarlos por medio de una escala Likert (ver tabla 6). El rango de valores va de uno a cinco los cuales se aprecian la ilustración 10, siendo el uno *totalmente en desacuerdo*, el dos *en desacuerdo*, el tres *ni de acuerdo ni en desacuerdo*, el cuatro *de acuerdo* y por último el cinco *totalmente de acuerdo*.

Tabla 6: Criterios para eslabón de suministro de proveedores

Criterio	Descripción
Calidad	La empresa tiene un sistema de calidad que garantiza la calidad de sus productos (Manual de calidad Procedimientos).
	La empresa tiene un procedimiento de control de la documentación para garantizar la fabricación de sus productos y sus procesos.
	El producto es fabricado siguiendo los criterios de la norma IEC 61400.
	Poseen especificaciones técnicas escritas de los productos que fabrican.
Tiempo de entrega	La empresa entrega el producto en el tiempo establecido en la orden de compra.
	El tiempo de entrega del producto es considerablemente competitivo.
	Existen rutas definidas para la entrega de sus productos en el punto de uso.
	La logística para la entrega de los productos es sencilla.
Tecnología y capacidad	Su empresa desarrolla nueva tecnología en el área de Aerogeneradores para Minieólica.
	La empresa conoce lo que está haciendo su competencia en cuestión de I+D.
	Existen proveedores nacionales bien identificados para aumentar el consumo nacional.

Criterio	Descripción
	La empresa vende refacciones para los aerogeneradores.
Costo - Precio	<p>El precio del producto es competitivo.</p> <p>La empresa proporciona un desglose claro en sus cotizaciones.</p> <p>La empresa considera un ahorro en el precio respecto al volumen de compra.</p> <p>Las garantías del producto están incluidas en el precio de venta del aerogenerador.</p>
Atención al cliente	<p>El tiempo de respuesta al solicitar una cotización no excede 24 horas.</p> <p>Se proporcionan varias vías de comunicación para estar con contacto con el cliente (redes sociales, WhatsApp, correo electrónico, teléfono, etc.)</p> <p>La información en su publicidad se mantiene actualizada (precios, ubicaciones, promociones, etc.)</p> <p>Cuentan con diferentes sedes en el país.</p>
Red de suministro	<p>Existen varias rutas definidas para la entrega de sus productos en el punto de uso. (No dependen de una sola ruta)</p> <p>El tiempo entre que se pone la orden y se entrega el producto es adecuado.</p> <p>La empresa dispone de un sistema para el rastreo del producto a lo largo de la ruta de entrega al punto de uso.</p> <p>Los requerimientos normativos especiales para el transporte del producto están considerados.</p>

Escala Likert	
5	Totalmente de acuerdo
4	De acuerdo
3	Indiferente
2	En desacuerdo
1	Totalmente en desacuerdo

Ilustración 10: Escala Likert para valoración de criterios del eslabón de suministro de proveedores.

Una vez evaluados los 24 criterios de la encuesta se obtiene una sumatoria de puntos los cuales se dividen entre 120 (máximo de puntos posibles) para obtener un porcentaje total para el eslabón dos de la cadena de suministro, *suministro de proveedores*. Dicho porcentaje se contrasta con la ilustración 11.

Porcentaje de cumplimiento	
0%	0
60%	1
80%	2
100%	3

Ilustración 11: Porcentaje de cumplimiento para el eslabón suministro de proveedores

→ **Evaluación técnica del proyecto**

La evaluación técnica del proyecto consiste en un listado de procedimientos específicos para llevar a cabo la interconexión de los sistemas eólicos a la red eléctrica. la Secretaría de Energía emite la NOM-001-SEDE-2012 con la finalidad de mantener actualizado el instrumento normativo y técnico que regule las instalaciones eléctricas del país. (Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, 2021)

Para la evaluación del tercer eslabón del modelo propuesto *evaluación técnica del proyecto* se propone una lista de verificación (tabla 7) que consta de doce enunciados clasificados en cuatro secciones que describen los requerimientos técnicos necesarios para la interconexión del sistema eólico. La primera sección es *generación distribuida*, la segunda sección es *interconexión de centrales eléctricas de generación distribuida*, en tercer lugar están los *modelos de contrato* y por último el *cumplimiento y vigilancia*. Dichos enunciados provienen de los artículos 694 *sistemas eléctricos eólicos pequeños* y 705 *fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas* de la NOM-001-SEDE-2012.

Tabla 7: Lista de verificación para la evaluación técnica del proyecto

Sección	Enunciado
Generación distribuida	1. <i>Esquemas de interconexión</i> : Existe un esquema de interconexión para centrales eléctricas tipo BT (Baja Tensión) para la instalación e interconexión de la Central Eléctrica de Generación Distribuida con las especificaciones técnicas generales aprobadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE)
	2. <i>Sistema de medición</i> : El medidor fiscal (MF) se encuentra instalado en los puntos que deben ser medidos de acuerdo con el esquema de interconexión utilizado.
	3. <i>Equipo de Telemetría</i> : Las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida que incluyen tecnología de información y comunicación para el envío de

Sección	Enunciado
	<p>información y datos cumplen con los requerimientos de interoperabilidad y seguridad de la información que se indica en el Código de Red y en la regulación aplicable.</p>
	<p>4. <i>Dispositivos de desconexión</i>: Los interruptores o dispositivos de protección y desconexión (I1 e I2) utilizados en las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida para desconectarse en caso de fallas de la propia Central Eléctrica o de las Redes Generales de Distribución, se seleccionaron acorde a las características del tipo de Central Eléctrica instalada y el tipo de corriente en el punto en donde se instalen (corriente directa o corriente alterna) y, en su caso, a la NOM-001-SEDE-2012 "Instalaciones Eléctricas (Utilización)".</p>
	<p>5. <i>Requisitos técnicos operativos</i>: La interconexión de las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, no causa desbalances en los circuitos de distribución o son fuente de perturbaciones eléctricas tanto al circuito como a otros usuarios. Se garantizan las condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional y además se permite la integración de una mayor cantidad de centrales eléctricas de generación distribuida a las redes generales de distribución.</p>
	<p>6. <i>Inspección</i>: Cuando se haya concluido la construcción de la Central Eléctrica, y ésta esté interconectada en baja tensión, queda exenta de la contratación de una unidad de inspección, sin embargo, el Solicitante podrá requerir el dictamen por parte de una unidad de inspección si así lo considera conveniente. ¿Se solicitó unidad de inspección?</p>

Sección	Enunciado
Interconexión de centrales eléctricas de generación distribuida	<p>1. <i>Solicitud de Interconexión</i>: El procedimiento administrativo para la interconexión de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida se lleva a cabo de acuerdo con lo indicado en el Manual de interconexión.</p>
	<p>2. <i>Requerimientos de Obras para la interconexión</i>: Las Obras para llevar a cabo la interconexión física de la Central Eléctrica de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución cumplen con las especificaciones técnicas generales y, en su caso, con las características específicas de infraestructura requeridas.</p>
	<p>3. <i>Requerimientos de Obras de refuerzo</i>: Se evalúa si Las Obras de refuerzo son necesarias a través del análisis de las Redes Generales de Distribución y, en su caso, mediante un estudio de interconexión. ¿Cumple con los requerimientos de obra de refuerzo?</p>
Modelos de contrato	<p>1. <i>Contrato de interconexión</i>: Existe un contrato de interconexión en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Solicitante y el Distribuidor al llevar a cabo la interconexión de una Central Eléctrica de Generación Distribuida, Generación Limpia Distribuida o cualquier Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, mediante la utilización de esquemas típicos de interconexión a las Redes Generales de Distribución.</p>
	<p>2. <i>Contrato de contraprestación</i>: Existe un contrato de contraprestación en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento, en relación con la contraprestación asociada a la interconexión de la Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, por la energía eléctrica generada y entregada a las Redes Generales de Distribución.</p>

Sección	Enunciado
<p>Cumplimiento y vigilancia</p>	<p>1. Vigilancia: La vigilancia del cumplimiento de las presentes Disposiciones, se sujetará a las bases normativas que al respecto expida la CRE, para autorizar unidades de inspección especializadas en Centrales Eléctricas de Generación Distribuida. En ellas se establecerán indicadores, métricas y otros mecanismos de evaluación del comportamiento del Sistema Eléctrico Nacional.</p>

Para obtener la calificación del tercer eslabón de la cadena de suministro se deben sumar todos los enunciados de la lista de verificación que cumplan con el *Sí* y ser dividido entre 12 (el máximo de puntos posibles) para calcular el porcentaje de cumplimiento y poder contrastarlo con la ilustración 11.

→ **Distribución hacia los clientes**

La *distribución hacia los clientes* es el cuarto eslabón de la cadena de suministro del modelo propuesto. En esta sección se describen las características de los clientes hacia donde se dirige la propuesta así como las consideraciones generales para su evaluación utilizando los criterios del semáforo visto en las secciones anteriores; ver ilustración 7.

La Ley de la Industria Eléctrica en sus artículos 138 y 139 bajo el acuerdo 134|2018 en el anexo 064|2018 expresa que es la Comisión Reguladora de Energía (CRE) quien es responsable de la metodología para determinar el cálculo y ajuste de las tarifas finales del suministro básico. (*Ley de la Industria Eléctrica*, 2018)

Comisión Federal de Electricidad clasifica sus servicios de energía eléctrica en cuatro grupos: *hogar, negocio, industria y agrícola y servicios*. Dentro del grupo hogar se encuentran siete tarifas domésticas: 1, 1A, 1B, 1C,

1D, 1E y 1F; y una tarifa doméstica de alto consumo: DAC. Estos servicios sólo se suministran en baja tensión y no se aplica ninguna otra tarifa de uso general.

La clasificación de las tarifas para el sector doméstico se asigna a las localidades de acuerdo con la temperatura media mensual en verano en grados centígrados; se resume en la tabla 8.

Se considera que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considera que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CFE, 2021)

Tabla 8: Clasificación de tarifas para el sector doméstico (bajo consumo)

Tarifa	Temperatura media mínima en verano
	(°C)
1	-
1A	25
1B	28
1C	30
1D	31
1E	32
1F	33

La tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo con lo establecido en la tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Se considera que un servicio es de alto consumo (DAC) cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad. El consumo mensual promedio registrado por el usuario se determina con el promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses. Ver tabla 9 (CFE, 2021).

Tabla 9: Límite de servicio doméstico de alto consumo (DAC)

Tarifa	Límite de consumo (kWh/mes)
1	250
1A	300
1B	400
1C	850
1D	1,000
1E	2,000
1F	2,500

Se aplican cargos para la energía consumida en función de la temporada del año, se tienen dos temporadas: *verano* e *invierno*. Dependiendo de la localidad el verano puede empezar en cualquiera de estos cuatro meses: febrero, marzo, abril o mayo; hasta sumar seis meses consecutivos. El resto de los meses corresponde a la temporada de invierno.

Para la temporada de verano el consumo eléctrico se clasifica en cuatro categorías las cuales representan rangos de consumo ascendentes medidos en kWh los cuales se aprecian en la tabla 10.

Tabla 10: Consumo eléctrico mensual para la temporada de verano (ejemplo: Mexicali)

kWh	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Consumo básico	1 a 300					
Consumo intermedio bajo	301 a 1,200					
Consumo intermedio alto	1,201 a 2,500					
Consumo excedente	2,501 en adelante					

Para la temporada de invierno el consumo eléctrico se clasifica en tres categorías las cuales representan rangos de consumo ascendentes medidos en kWh, ver la tabla 11.

Tabla 11: Consumo eléctrico mensual para la temporada de invierno (ejemplo: Mexicali)

kWh	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Consumo básico	1 a 75					
Consumo intermedio	76 a 200					
Consumo excedente	201 en adelante					

Para obtener la evaluación del cuarto eslabón del modelo propuesto, *distribución hacia los clientes*, se calculan los kWh/a por categoría de consumo así como su porcentaje de contribución. La energía generada por el aerogenerador se contrasta con las categorías de consumo para determinar el porcentaje de aportación de energía; con base en eso se asigna la escala de valores de la tabla 12.

Tabla 12: Criterios de evaluación para el elemento *distribución hacia los clientes*

Categorías de consumo			kWh/a	Porcentaje (%)		Escala de valores
Consumo básico			2,250	1%	7.5%	0
Consumo intermedio bajo	Verano	Invierno	3,900	7.6%	20.5%	1
	Verano		2,400	20.6%	28.5%	2
Consumo excedente			21,450	28.6%	100%	3
			Σ 30,000			

→ **Disposición final**

El quinto y último eslabón del modelo propuesto para la cadena de suministro es la *disposición final*. En esta sección se enlistan los componentes principales de los aerogeneradores de baja potencia más comunes en el mercado, se incluyen también los materiales de los cuales están hechos los componentes para clasificarlos de acuerdo con el tipo de proceso de logística inversa que permita proponer estrategias de disposición final adecuadas acorde con la región donde se aplique el modelo de la cadena de suministro; ver tabla 13.

Tabla 13: Componentes principales de aerogeneradores de baja potencia

Componentes	Materiales
Álabes	Aleación de aluminio
	Fibra de vidrio
Eje - Flecha	Acero
Generador CD (imanes permanentes)	Cobre
	Neodimio N50
Timón de orientación	Poliuretano de alta densidad

Componentes	Materiales
	Fibra de vidrio
Cuerpo	Poliuretano de alta densidad
	Fibra de vidrio
Controlador - Rectificador	Componentes electrónicos
Inversor	Componentes electrónicos
	Acero
	Aluminio
	Poliuretano de alta densidad
Cableado (Conexiones)	Cobre
	Aluminio
Torre arriostrada	Acero
(Galvanizado)	Zinc

El proceso de logística inversa es la estructura de recuperación y reprocesamiento de productos usados y de acuerdo con Ortegón (2013) dichos procesos siguen sin estar claramente definido en términos de la estructura del canal de recuperación para los aerogeneradores; Además, los mercados secundarios de los aerogeneradores usados están en gran parte inexplorados. (Ortegon et al., 2013)

Las técnicas de eliminación de componentes para aerogeneradores se centran en el reciclaje para un segundo propósito (reciclaje abierto). Por lo tanto, se pueden lograr ahorros en energía y materiales al poder clasificar el tipo de disposición que se le puede brindar a cada componente de acuerdo con el proceso de logística inversa que mejor se adecue. Ortegón (2013) incluye cuatro procesos de recuperación para

aerogeneradores en el siguiente orden: 1) Reúso, 2) Remanufactura, 3) Reciclado y 4) Disposición, mostrados en la ilustración 12.

Para el *reúso* se considera volver a utilizar el componente recuperado con un nulo o mínimo de mantenimiento. Para la *remanufactura* se sugiere el reprocesamiento de los componentes junto con las pruebas técnicas que aseguren que las partes están en condiciones de ser revendidas. En el caso del *reciclado* el objetivo es obtener un valor residual del componente, más que enfocarse en la funcionalidad de la pieza se pretende recuperar un monto por la venta del material del que están compuestas las partes. Como última opción está la *disposición*, la cual consiste en situar los residuos que no pudieron ser recuperados en ninguno de los tres procesos de logística inversa anteriores, los rellenos sanitarios son un ejemplo para una disposición final.

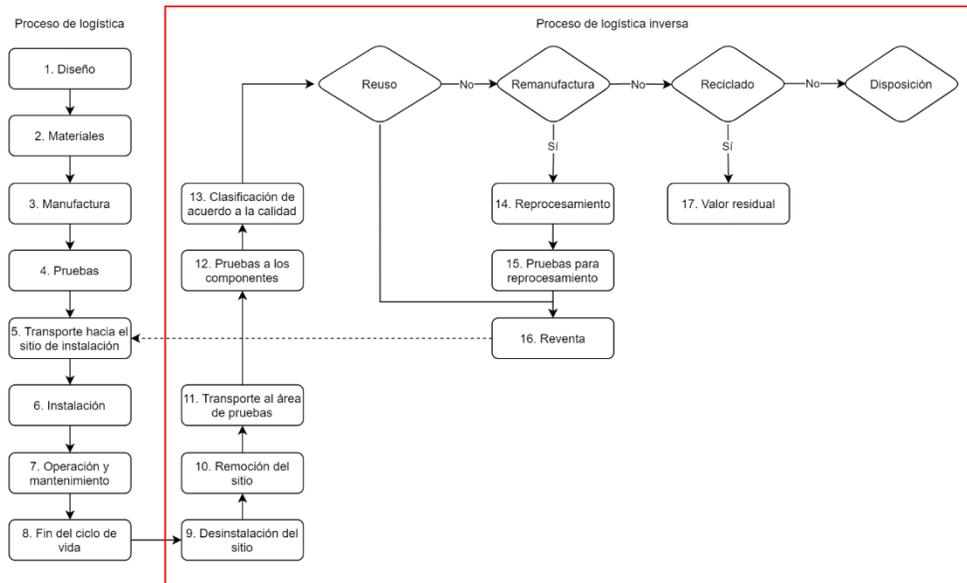


Ilustración 12: Procesos de logística y logística inversa para recuperación de aerogeneradores

La evaluación del quinto eslabón se calcula con base en la tabla 14, cuyos valores oscilan en un rango de uno a cuatro puntos. El mayor puntaje es cuatro y corresponde al *reúso*, es la primera opción que se debe

buscar para dar oportunidad de extender el tiempo de vida útil de los componentes. Al proceso de *remanufactura* se le califica con tres puntos, aquellos componentes que no pudieron ser reusados pasan al siguiente proceso de logística inversa para evaluar si pueden llegar a ser funcionales con alguna reparación, sin embargo no todos los componentes son candidatos para este proceso (ver tabla 15) y pasan directamente al siguiente proceso. El tercer proceso de recuperación de componentes es el *reciclado*, se asignan dos puntos a cada uno de los componentes que llegaron hasta esta posición en el proceso de logística inversa, lo cual indica que sólo tienen un valor residual. Por último, con valor de un punto, está la *disposición*, en este proceso se encuentran los componentes que no pudieron ser aprovechados en ninguno de los tres procesos anteriores y van directamente a una disposición final.

Tabla 14: Asignación de puntaje para el proceso de logística inversa

Proceso de logística inversa	Puntaje
Reúso	4
Remanufactura	3
Reciclado	2
Disposición	1
Sumatoria	10

Tabla 15: Tabla de componentes aptos para el proceso de remanufactura

Componentes	Materiales	Remanufactura
Álabes	Aleación de aluminio	No aplica
	Fibra de vidrio	No aplica
Eje - Flecha	Acero	Sí aplica
Generador CD	Cobre	Sí aplica

Componentes	Materiales	Remanufactura
(imanes permanentes)	Neodimio N50	Sí aplica
Timón de orientación	Poliuretano de alta densidad	No aplica
	Fibra de vidrio	No aplica
Cuerpo	Poliuretano de alta densidad	No aplica
	Fibra de vidrio	No aplica
Controlador - Rectificador	Componentes electrónicos	Sí aplica
Inversor	Componentes electrónicos	Sí aplica
	Acero	Sí aplica
	Aluminio	Sí aplica
	Poliuretano de alta densidad	Sí aplica
Cableado (Conexiones)	Cobre	No aplica
	Aluminio	No aplica
Torre arriostrada	Acero	Sí aplica
(Galvanizado)	Zinc	Sí aplica

Cada componente con su respectivo material sumará puntos de acuerdo con el o los procesos de logística inversa por los cuales sea posible recuperar de alguna manera su uso. Por ejemplo, el inversor tiene cuatro materiales principales: componentes electrónicos, acero, aluminio y poliuretano; en el caso de los componentes electrónicos los procesos de logística inversa que aplican son los cuatro, el reúso, la remanufactura, el reciclado y la disposición; en este caso se suman los puntos de los cuatro procesos dando un total de diez puntos como máximo. Se procede a hacer lo mismo con el resto de los materiales y sus componentes. Se calcula el porcentaje de cada componente dividiendo el total de puntos obtenidos entre el

máximo de puntos posibles. Al final se promedian los valores obtenidos por cada material y se contrastan con la ilustración 11 para conocer el porcentaje de cumplimiento y poder evaluar el eslabón.

Capítulo IV. Resultados y discusión

Aplicación del modelo

El caso de estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mexicali Baja California, México, la cual se encuentra localizada en el extremo noroeste del país en frontera con los Estados Unidos de América, en las coordenadas 32° 39' 48" de latitud norte y 114° 42' y 115° 56' de longitud oeste.

Se destaca por su ecosistema desértico registrando en verano una de las temperaturas más altas en México alcanzando hasta 52° C como máximo y 43° C a la sombra; así como ser de las ciudades con más bajo nivel de precipitación anual y una de las zonas más sísmicas de todo el país.

Se calificaron cada uno de los cinco eslabones de la cadena de suministro para evaluar cuantitativamente la viabilidad de la implementación de proyectos de generación de energía eléctrica basado en mini aerogeneradores para el sector doméstico mediante la implementación del Modelo Zeta ®.

Se aplicaron diferentes instrumentos para evaluar cada eslabón, sin embargo el puntaje obtenido en cada uno se estandarizó entre 0 y 3 puntos. Se realizaron mediciones de viento para estimar la generación de energía de seis aerogeneradores de baja potencia. A través de encuestas se evaluó el desempeño de tres proveedores diferentes respecto al suministro de equipos y a la disposición final. También se aplicaron listas de verificación para la evaluación de las habilidades técnicas de los proveedores y se realizaron análisis de tarifas eléctricas para estimar la contribución de energía proporcionada por los aerogeneradores estudiados.

→ Evaluación de potencial eólico

Se seleccionaron seis aerogeneradores de baja potencia de tres diferentes marcas y con distintas capacidades de generación de energía (capacidad nominal) los cuales se muestran en la tabla 16. La selección de los aerogeneradores se realizó con base en los siguientes criterios: localización de la empresa,

potencia del aerogenerador, disponibilidad de la información técnica de los equipos, velocidad de arranque y el tiempo de respuesta a las solicitudes de cotizaciones de los equipos.

Tabla 16: Aerogeneradores de baja potencia seleccionados

Consecutivo	Marca (Proveedor)	Capacidad (Watts)	Velocidad de Arranque (m/s)
1	AEOLOS	200	1
2	AEOLOS	400	1
3	ENAIR	3,000	2
4	ENAIR	5,000	2
5	COLIBRÍ	5,000	3
6	COLIBRÍ	10,000	3

Se recolectaron datos diezminutales de velocidad de viento con una frecuencia de muestreo de 10 Hz durante un año completo (2017) a través de un anemómetro sónico (CSAT3B Campbell Scientific) instalado a 20 metros de altura en el edificio del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Se calcularon la velocidad media, la varianza y la desviación estándar con los datos, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 17:

Tabla 17: Velocidad media, varianza y desviación estándar de los datos de viento 2017

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Velocidad media \bar{x}	2.08	1.87	2.21	2.36	2.37	2.29
Varianza S^2	2.05	1.69	2.23	1.84	1.76	1.23
Desviación estándar S	1.43	1.30	1.49	1.36	1.33	1.11

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Velocidad media \bar{x}	2.8	2.15	2.11	1.71	1.78	1.54
Varianza S^2	1.56	1.33	1.66	1.08	1.38	0.75
Desviación estándar S	1.25	1.15	1.29	1.04	1.18	0.86

Velocidad media μ	2.11
Varianza σ^2	1.66
Desviación estándar σ	1.29

Sustituyendo los datos en las ecuaciones D y E se obtiene:

Parámetro k (Factor forma)	1.70
Parámetro c (Factor escala)	2.36

Se evaluaron los datos en las ecuaciones A, B y C para cada uno de los seis aerogeneradores seleccionados, obteniendo la información como se muestra en la tabla 18 donde se observa la función de probabilidad acumulada indicada como duración en horas, la energía generada estimada y la potencia disponible para el aerogenerador marca AEOLOS con capacidad de 200 W. Las evaluaciones para el resto de los cinco aerogeneradores se encuentran en la sección de anexos.

Tabla 18: Energía generada estimada para AEOLOS 200W

Velocidad m/s			Watts		Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior	Potencia generada por el aerogenerador							
0.50	1.00	1.50	12.50		0.93	0.63	2,640.45	33,005.66	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	20.00		0.63	0.33	2,611.79	52,235.78	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	30.00		0.33	0.14	1,668.82	50,064.74	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	50.00		0.14	0.05	802.59	40,129.71	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	90.00		0.05	0.01	306.97	27,627.21	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	140.00		0.01	0.00	96.09	13,453.30	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	180.00		0.00	0.00	25.07	4,512.54	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	205.00		0.00	0.00	5.52	1,131.53	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	210.00		0.00	0.00	1.04	217.43	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	210.00		0.00	0.00	0.17	35.01	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	210.00		0.00	0.00	0.02	4.87	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	210.00		0.00	0.00	0.00	0.59	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	210.00		0.00	0.00	0.00	0.06	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	210.00		0.00	0.00	0.00	0.01	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	210.00		0.00	0.00	0.00	0.00	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	210.00		0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00

Σ 8,158.54 222,418.42

La tabla 19 resume la energía generada (kWh/a), la capacidad nominal (W), el factor de planta (%) y la velocidad de arranque (m/s) para cada uno de los seis modelos de aerogeneradores en estudio.

Tabla 19: Resumen de datos para los seis aerogeneradores en estudio

Aerogenerador	Energía generada	Capacidad nominal	Factor de planta	Velocidad de arranque
Modelo	kWh/a	W	%	(m/s)
AELOS 200	222	200	14%	1
AEOLOS 400	207	400	6%	1
ENAIR 3,000	301	3,000	1%	2
ENAIR 5,000	644	5,000	2%	2
COLIBRÍ 5,000	1,250	5,000	3%	3
COLIBRÍ 10,000	5,455	10,000	7%	3

Los aerogeneradores con menor capacidad nominal, los AEOLOS, son los que cuentan con una velocidad de arranque menor, lo que significa que requieren de una menor velocidad de viento para iniciar con la

generación de energía. El AEOLOS 200 fue el equipo que mayor factor de planta obtuvo con un 14%, lo cual significa que es el equipo que mejor aprovecha el recurso eólico del sitio. Los aerogeneradores COLIBRÍ son los equipos con la mayor generación pero requieren de velocidades de arranque de 3 m/s, por lo que el factor de planta es bajo, es decir, es un aerogenerador muy grande para el potencial eólico que se presenta en la zona.

La tabla 20 muestra los criterios de evaluación para los indicadores del eslabón de potencial eólico propuestos en el modelo los cuales son contrastados con los resultados obtenidos del primer eslabón de la cadena de suministro evaluación de potencial eólico (tabla 21). De acuerdo con los resultados es el AEOLOS 200 el que recibe la puntuación de 3, siendo el puntaje más alto posible. Con puntaje de 2 se tiene a AEOLOS 400, ENAIR 5000 y COLIBRÍ 10000. Y por último con los puntajes más bajos en éste primer eslabón se encuentran ENAIR 3000 y COLIBRÍ 5000 con puntaje final de 1.

Tabla 20: Criterios de evaluación para los indicadores del eslabón de potencial eólico

Criterio	Velocidad de Arranque (m/s)	Factor de Planta (%)	Contribución del 5% de los kWh/a
0	0	1 a 5 %	0%
1	1	6 a 10%	1-2%
2	2	11 a 15%	3-4%
3	3	16 a >20%	5-6%

Tabla 21: Resultados del primer eslabón de la cadena de suministro evaluación de potencial eólico

Aerogenerador	Velocidad de Arranque (m/s)	Criterio	Factor de Planta (%)	Criterio	Energía Generada (Estimada kWh/a)	Criterio	Resultado
AELOS 200	1	3	14%	3	222	2	3
AEOLOS 400	1	3	6%	1	207	1	2
ENAIR 3,000	2	2	1%	0	301	0	1
ENAIR 5,000	2	2	3%	0	644	3	2
COLIBRÍ 5,000	3	1	3%	0	1,250	3	1
COLIBRÍ 10,000	3	1	7%	2	5,455	3	2

→ **Suministro de proveedores**

Para la evaluación del suministro de proveedores se muestreó por conveniencia a tres proveedores de aerogeneradores los cuales se identifican como proveedor X, proveedor Y y proveedor Z para mantener la confidencialidad de la información proporcionada.

A los proveedores se les solicitó responder la encuesta de la ilustración 14 para medir el rubro de calidad del segundo eslabón del modelo de la cadena de suministro.

El proveedor X obtuvo un 96%, lo que equivale a un puntaje de 3 evaluándose como *bueno* de acuerdo con la escala de evaluación por rubro; el proveedor Y obtuvo un 93%, convirtiéndose en 3 y ubicándose también como *bueno*; mientras que el proveedor Z obtuvo un 76% siendo un 2 catalogándose como *regular* de acuerdo con la escala de evaluación por rubro.

En la ilustración 13 se comparan los resultados de la evaluación del eslabón suministro de proveedores con base en el porcentaje obtenido en la encuesta. Mientras que en la tabla 22 se resumen los resultados con base en los criterios para la evaluación del eslabón en el modelo general propuesto.

Se identificó que los proveedores internacionales tienen poca disposición para responder las encuestas.

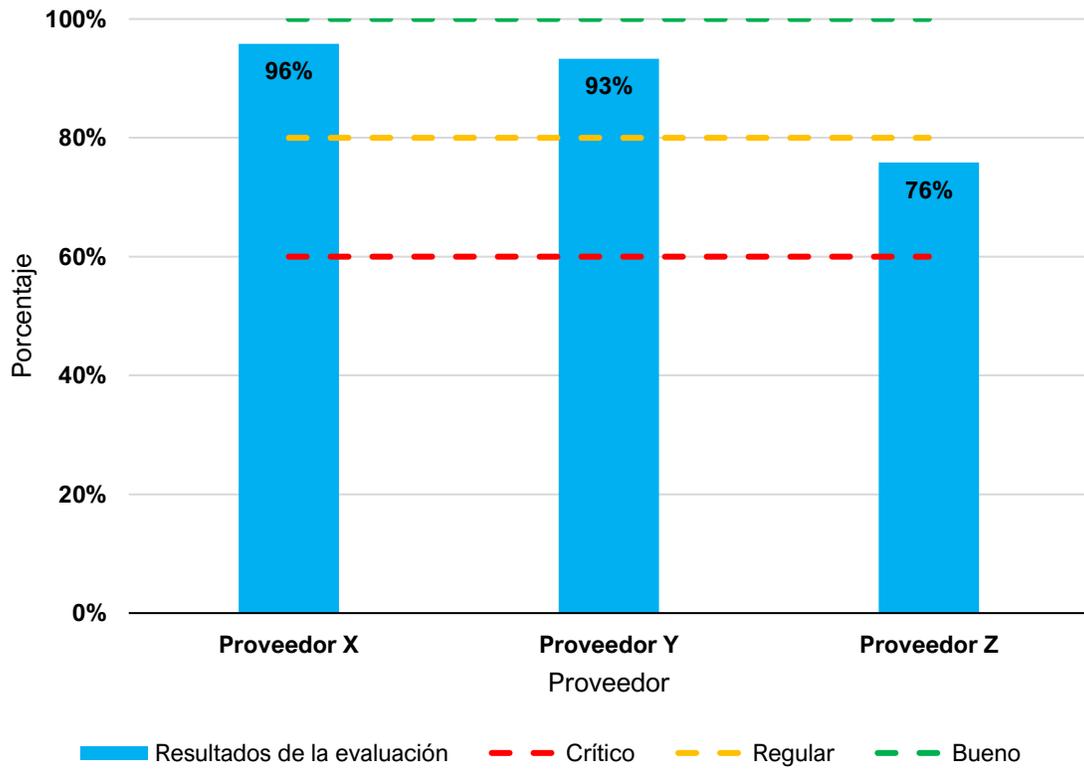


Ilustración 13: Evaluación de suministro de proveedores X, Y, Z

No.	Criterio	Respuesta Proveedor X	Respuesta Proveedor Y	Respuesta Proveedor Z	
1 2 3 4	CALIDAD La empresa tiene un sistema de calidad que garantiza la calidad de sus productos (Manual de Calidad Procedimientos). La empresa tiene un procedimiento de control de la documentación para garantizar la fabricación de sus productos y sus procesos. El producto es fabricado siguiendo los criterios de la norma IEC 61400. Poseen especificaciones técnicas escritas de los productos que fabrican.	↑ 5	↑ 5	↑ 5	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
1 2 3 4	TIEMPO DE ENTREGA La empresa entrega el producto en el tiempo establecido en la orden de compra. El tiempo de entrega del producto es considerablemente competitivo. El tiempo de entrega depende del volumen de la compra. La empresa tiene un procedimiento claro y definido para proporcionar alternativas en los tiempos de envío (urgente, normal, sin urgencia).	↑ 5	↑ 5	↔ 4	
		↑ 5	↔ 4	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↔ 4	
1 2 3 4	TECNOLOGÍA Y CAPACIDAD Su empresa desarrolla nueva tecnología en el área de Aerogeneradores para Minieólica. La empresa conoce lo que esta haciendo su competencia en cuestión de I+D. Existen proveedores nacionales bien identificados para aumentar el consumo nacional. La empresa vende refacciones para los aerogeneradores.	↑ 5	↑ 5	↔ 3	
		↔ 4	↑ 5	↔ 2	
		↔ 4	↔ 4	↔ 2	
		↑ 5	↑ 5	↔ 3	
1 2 3 4	COSTO PRECIO El precio del producto es competitivo. La empresa proporciona un desglose claro en sus cotizaciones. La empresa considera un ahorro en el precio respecto al volumen de compra. ECONOMIA ESCALA Las garantías del producto están incluidas en el precio de venta del aerogenerador.	↑ 5	↑ 5	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
		↑ 5	↑ 5	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
1 2 3 4	ATENCIÓN AL CLIENTE El tiempo de respuesta al solicitar una cotización no excede 24 horas. Se proporcionan varias vías de comunicación para estar con contacto con el cliente (redes sociales, whatsapp, correo electrónico, teléfono, etc.) La información en su publicidad se mantiene actualizada (precios, ubicaciones, promociones, etc.) Cuentan con diferentes sedes en el país.	↑ 5	↔ 4	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↔ 3	
		↑ 5	↔ 4	↔ 4	
		↔ 2	↓ 1	↔ 2	
1 2 3 4	RED DE SUMINISTRO Existen varias rutas definidas para la entrega de sus productos en el punto de uso. (No se depende de una sola ruta) El tiempo entre que se pone la orden y se entrega el producto es adecuado. Las empresa dispone de un sistema para el rastreo del producto a lo largo de la ruta de entrega al punto de uso. Los requerimientos normativos especiales para el transporte del producto están considerados.	↑ 5	↑ 5	↔ 2	
		↑ 5	↑ 5	↔ 3	
		↑ 5	↑ 5	↔ 4	
		↑ 5	↑ 5	↑ 5	
		Puntaje Total	115	112	91
		Máximo Puntaje	120	120	120
		Porcentaje	96%	93%	76%

Ilustración 14: Resultados de la aplicación de la encuesta para la evaluación técnica

Tabla 22: Resultados del segundo eslabón *suministro de proveedores*

Proveedor	Resultado en porcentaje	Criterio para la evaluación del eslabón
X	96%	3
Y	93%	3
Z	76%	2

→ **Evaluación técnica del proyecto**

Para la evaluación técnica del proyecto se muestreó por conveniencia a tres proveedores de aerogeneradores: proveedor X, proveedor Y y proveedor Z.

Las ilustraciones 15, 16 y 17 muestran las listas de verificación que se aplicaron a cada uno de los tres proveedores. Los resultados obtenidos se resumen en la ilustración 18 con base en porcentaje y en la tabla 23 con los criterios de decisión del modelo propuesto.

El proveedor Z fue el que obtuvo un puntaje dentro del criterio *bueno*, el proveedor Y obtuvo un criterio de *regular*, mientras que el proveedor X un criterio de *crítico*.

EVALUACIÓN TÉCNICA		
GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
1 Esquemas de interconexión	SI	NO
Existe un esquema de interconexión para centrales eléctricas tipo BT (Baja Tensión) para la instalación e interconexión de la Central Eléctrica de Generación Distribuida con las especificaciones técnicas generales aprobadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE)	X	
2 Sistema de medición	SI	NO
El medidor fiscal (MF) se encuentra instalado en los puntos que deben ser medidos de acuerdo con el esquema de interconexión utilizado.	X	
3 Equipo de Telemetría	SI	NO
Las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida que incluyen tecnología de información y comunicación para el envío de información y datos cumplen con los requerimientos de interoperabilidad y seguridad de la información que se indica en el Código de Red y en la regulación aplicable.		X
4 Dispositivos de desconexión	SI	NO
Los interruptores o dispositivos de protección y desconexión (I1 e I2) utilizados en las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida para desconectarse en caso de fallas de la propia Central Eléctrica o de las Redes Generales de Distribución, se seleccionaron acorde a las características del tipo de Central Eléctrica instalada y el tipo de corriente en el punto en donde se instalan (corriente directa o corriente alterna) y, en su caso, a la NOM-001-SEDE-2012 "Instalaciones Eléctricas (Utilización)".	X	
5 Requisitos técnicos operativos	SI	NO
La interconexión de las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, no causa desbalances en los circuitos de distribución o son fuente de perturbaciones eléctricas tanto al circuito como a otros usuarios. Se garantizan las condiciones de Eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, Seguridad y Sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional y además se permite la integración de una mayor cantidad de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución.		X
6 Inspección	SI	NO
Cuando se haya concluido la construcción de la Central Eléctrica, y ésta esté interconectada en baja tensión, queda exenta de la contratación de una unidad de inspección, sin embargo, el Solicitante podrá requerir el dictamen por parte de una unidad de inspección si así lo considera conveniente. ¿Se solicitó unidad de inspección?		X
INTERCONEXIÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDAII		
1 Solicitud de Interconexión	SI	NO
El procedimiento administrativo para la interconexión de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida se lleva a cabo de acuerdo con lo indicado en el Manual de interconexión.	X	
2 Requerimientos de Obras para la interconexión	SI	NO
Las Obras para llevar a cabo la interconexión física de la Central Eléctrica de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución cumplen con las especificaciones técnicas generales y, en su caso, con las características específicas de infraestructura requeridas.	X	
3 Requerimientos de Obras de refuerzo	SI	NO
Se evalúa si Las Obras de refuerzo son necesarias a través del análisis de las Redes Generales de Distribución y, en su caso, mediante un estudio de interconexión. ¿Cumple con los requerimientos de obra de refuerzo?	X	
MODELOS DE CONTRATO		
1 Contrato de interconexión	SI	NO
Existe un contrato de interconexión en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Solicitante y el Distribuidor al llevar a cabo la interconexión de una Central Eléctrica de Generación Distribuida, Generación Limpia Distribuida o cualquier Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, mediante la utilización de esquemas típicos de interconexión a las Redes Generales de Distribución.		X
2 Contrato de contraprestación	SI	NO
Existe un contrato de contraprestación en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento, en relación con la contraprestación asociada a la interconexión de la Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, por la energía eléctrica generada y entregada a las Redes Generales de Distribución.	X	
CUMPLIMIENTO Y VIGILANCIA		
1 Vigilancia	SI	NO
La vigilancia del cumplimiento de las presentes Disposiciones, se sujetará a las bases normativas que al respecto expida la CRE, para autorizar unidades de inspección especializadas en Centrales Eléctricas de Generación Distribuida. En ellas se establecerán indicadores, métricas y otros mecanismos de evaluación del comportamiento del Sistema Eléctrico Nacional.		X
	SI	NO
	7	5
	58%	

Ilustración 15: Respuestas a la evaluación técnica de X

EVALUACIÓN TÉCNICA		
GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
1 Esquemas de interconexión	SI	NO
Existe un esquema de interconexión para centrales eléctricas tipo BT (Baja Tensión) para la instalación e interconexión de la Central Eléctrica de Generación Distribuida con las especificaciones técnicas generales aprobadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE)	X	
2 Sistema de medición	SI	NO
El medidor fiscal (MF) se encuentra instalado en los puntos que deben ser medidos de acuerdo con el esquema de interconexión utilizado.	X	
3 Equipo de Telemetría	SI	NO
Las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida que incluyen tecnología de información y comunicación para el envío de información y datos cumplen con los requerimientos de interoperabilidad y seguridad de la información que se indica en el Código de Red y en la regulación aplicable.		X
4 Dispositivos de desconexión	SI	NO
Los interruptores o dispositivos de protección y desconexión (I1 e I2) utilizados en las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida para desconectarse en caso de fallas de la propia Central Eléctrica o de las Redes Generales de Distribución, se seleccionaron acorde a las características del tipo de Central Eléctrica instalada y el tipo de corriente en el punto en donde se instalan (corriente directa o corriente alterna) y, en su caso, a la NOM-001-SEDE-2012 "Instalaciones Eléctricas (Utilización)".	X	
5 Requisitos técnicos operativos	SI	NO
La interconexión de las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, no causa desbalances en los circuitos de distribución o son fuente de perturbaciones eléctricas tanto al circuito como a otros usuarios. Se garantizan las condiciones de Eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, Seguridad y Sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional y además se permite la integración de una mayor cantidad de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución.	X	
6 Inspección	SI	NO
Cuando se haya concluido la construcción de la Central Eléctrica, y ésta esté interconectada en baja tensión, queda exenta de la contratación de una unidad de inspección, sin embargo, el Solicitante podrá requerir el dictamen por parte de una unidad de inspección si así lo considera conveniente. ¿Se solicitó unidad de inspección?	X	
INTERCONEXIÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA II		
1 Solicitud de interconexión	SI	NO
El procedimiento administrativo para la interconexión de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida se lleva a cabo de acuerdo con lo indicado en el Manual de interconexión.	X	
2 Requerimientos de Obras para la interconexión	SI	NO
Las Obras para llevar a cabo la interconexión física de la Central Eléctrica de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución cumplen con las especificaciones técnicas generales y, en su caso, con las características específicas de infraestructura requeridas.	X	
3 Requerimientos de Obras de refuerzo	SI	NO
Se evalúa si Las Obras de refuerzo son necesarias a través del análisis de las Redes Generales de Distribución y, en su caso, mediante un estudio de interconexión. ¿Cumple con los requerimientos de obra de refuerzo?	X	
MODELOS DE CONTRATO		
1 Contrato de interconexión	SI	NO
Existe un contrato de interconexión en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Solicitante y el Distribuidor al llevar a cabo la interconexión de una Central Eléctrica de Generación Distribuida, Generación Limpia Distribuida o cualquier Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, mediante la utilización de esquemas típicos de interconexión a las Redes Generales de Distribución.		X
2 Contrato de contraprestación	SI	NO
Existe un contrato de contraprestación en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento, en relación con la contraprestación asociada a la interconexión de la Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, por la energía eléctrica generada y entregada a las Redes Generales de Distribución.	X	
CUMPLIMIENTO Y VIGILANCIA		
1 Vigilancia	SI	NO
La vigilancia del cumplimiento de las presentes Disposiciones, se sujetará a las bases normativas que al respecto expida la CRE, para autorizar unidades de inspección especializadas en Centrales Eléctricas de Generación Distribuida. En ellas se establecerán indicadores, métricas y otros mecanismos de evaluación del comportamiento del Sistema Eléctrico Nacional.		X
	SI	NO
	9	3
	75%	

Ilustración 16: Respuestas a la evaluación técnica de Y

EVALUACIÓN TÉCNICA		
GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
	SI	NO
1 Esquemas de interconexión		
Existe un esquema de interconexión para centrales eléctricas tipo BT (Baja Tensión) para la instalación e interconexión de la Central Eléctrica de Generación Distribuida con las especificaciones técnicas generales aprobadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE)	X	
2 Sistema de medición		
El medidor fiscal (MF) se encuentra instalado en los puntos que deben ser medidos de acuerdo con el esquema de interconexión utilizado.	X	
3 Equipo de Telemetría		
Las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida que incluyen tecnología de información y comunicación para el envío de información y datos cumplen con los requerimientos de interoperabilidad y seguridad de la información que se indica en el Código de Red y en la regulación aplicable.		X
4 Dispositivos de desconexión		
Los interruptores o dispositivos de protección y desconexión (I1 e I2) utilizados en las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida para desconectarse en caso de fallas de la propia Central Eléctrica o de las Redes Generales de Distribución, se seleccionaron acorde a las características del tipo de Central Eléctrica instalada y el tipo de corriente en el punto en donde se instalan (corriente directa o corriente alterna) y, en su caso, a la NOM-001-SEDE-2012 "Instalaciones Eléctricas (Utilización)".	X	
5 Requisitos técnicos operativos		
La interconexión de las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, no causa desbalances en los circuitos de distribución o son fuente de perturbaciones eléctricas tanto al circuito como a otros usuarios. Se garantizan las condiciones de Eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, Seguridad y Sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional y además se permite la integración de una mayor cantidad de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución.	X	
6 Inspección		
Cuando se haya concluido la construcción de la Central Eléctrica, y ésta esté interconectada en baja tensión, queda exenta de la contratación de una unidad de inspección, sin embargo, el Solicitante podrá requerir el dictamen por parte de una unidad de inspección si así lo considera conveniente. ¿Se solicitó unidad de inspección?	X	
INTERCONEXIÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDAII		
1 Solicitud de Interconexión		
El procedimiento administrativo para la interconexión de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida se lleva a cabo de acuerdo con lo indicado en el Manual de interconexión.	X	
2 Requerimientos de Obras para la interconexión		
Las Obras para llevar a cabo la interconexión física de la Central Eléctrica de Generación Distribuida a las Redes Generales de Distribución cumplen con las especificaciones técnicas generales y, en su caso, con las características específicas de infraestructura requeridas.	X	
3 Requerimientos de Obras de refuerzo		
Se evalúa si Las Obras de refuerzo son necesarias a través del análisis de las Redes Generales de Distribución y, en su caso, mediante un estudio de interconexión. ¿Cumple con los requerimientos de obra de refuerzo?	X	
MODELOS DE CONTRATO		
1 Contrato de interconexión		
Existe un contrato de interconexión en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Solicitante y el Distribuidor al llevar a cabo la interconexión de una Central Eléctrica de Generación Distribuida, Generación Limpia Distribuida o cualquier Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, mediante la utilización de esquemas típicos de interconexión a las Redes Generales de Distribución.	X	
2 Contrato de contraprestación		
Existe un contrato de contraprestación en el que se establecen los derechos y obligaciones que tendrán el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento, en relación con la contraprestación asociada a la interconexión de la Central Eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, por la energía eléctrica generada y entregada a las Redes Generales de Distribución.	X	
CUMPLIMIENTO Y VIGILANCIA		
1 Vigilancia		
La vigilancia del cumplimiento de las presentes Disposiciones, se sujetará a las bases normativas que al respecto expida la CRE, para autorizar unidades de inspección especializadas en Centrales Eléctricas de Generación Distribuida. En ellas se establecerán indicadores, métricas y otros mecanismos de evaluación del comportamiento del Sistema Eléctrico Nacional.		X
	SI	NO
	10	2
	83%	

Ilustración 17: Respuestas a la evaluación técnica de Z

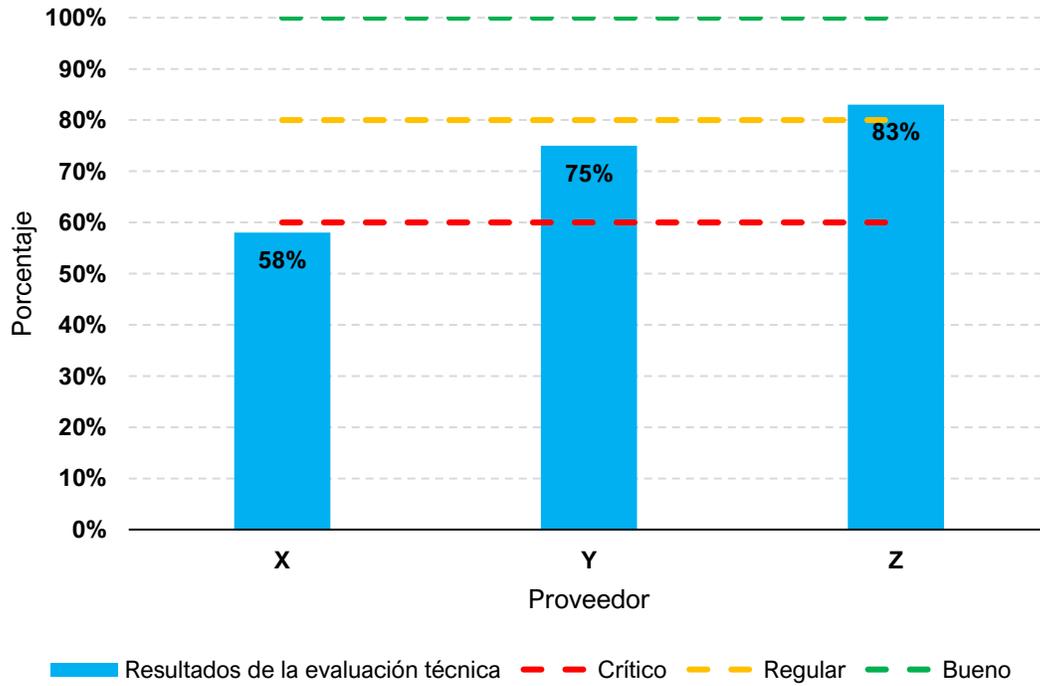


Ilustración 18: Evaluación técnica del proyecto para los proveedores X, Y y Z

Tabla 23: Resultados del tercer eslabón *evaluación técnica del proyecto*

Proveedor	Resultado en porcentaje	Criterio para la evaluación del eslabón
X	58%	1
Y	75%	2
Z	83%	3

→ **Distribución hacia los clientes**

De la página de datos abiertos de México con información proporcionada por la CFE se obtuvieron los consumos de energía eléctrica (kWh/a) y el número de usuarios de la tarifa 1F, para la ciudad de Mexicali, Baja California para los años de 2010 a 2017. Se dividió el consumo anual entre el número de usuarios por año para obtener el consumo anual promedio por usuario (ver la tabla 24).

Tabla 24: Consumo de la tarifa 1F para la ciudad de Mexicali.

Año	Consumo anual (kWh/a)	Número de usuarios por año	Consumo anual promedio por usuario
2010	1,839,177,018	318,238	5,779
2011	1,952,688,094	322,497	6,055
2012	2,089,741,654	326,171	6,407
2013	1,994,861,969	329,053	6,062
2014	2,052,453,379	331,211	6,197
2015	2,093,109,960	337,152	6,208
2016	2,169,732,239	344,192	6,304
2017	2,229,186,722	354,656	6,285

De manera gráfica se observa en la ilustración 19 el comportamiento del consumo anual de la tarifa 1F por usuario para la ciudad de Mexicali en kWh/a, donde se observa un incremento anual con tendencia positiva y un pico en el año 2012.

En la ilustración 20 se resume la energía generada por el aerogenerador versus su porcentaje de aportación de energía por categoría, siendo el aerogenerador COLIBRÍ 10,000 el único con calificación buena en la evaluación para el elemento *distribución hacia los clientes*. El resto de los equipos obtuvieron resultados críticos y el detalle se aprecia en la tabla 25.

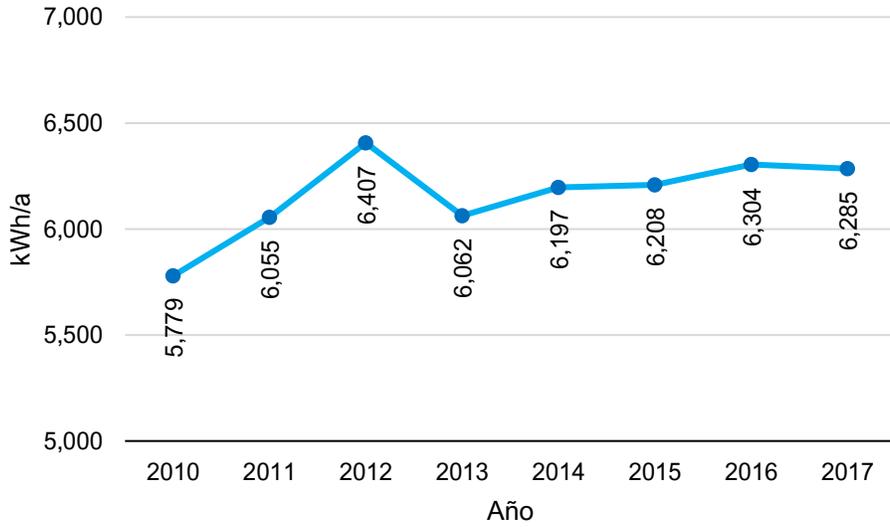


Ilustración 19: Consumo anual de la tarifa 1F por usuario para la ciudad de Mexicali (kWh/a)

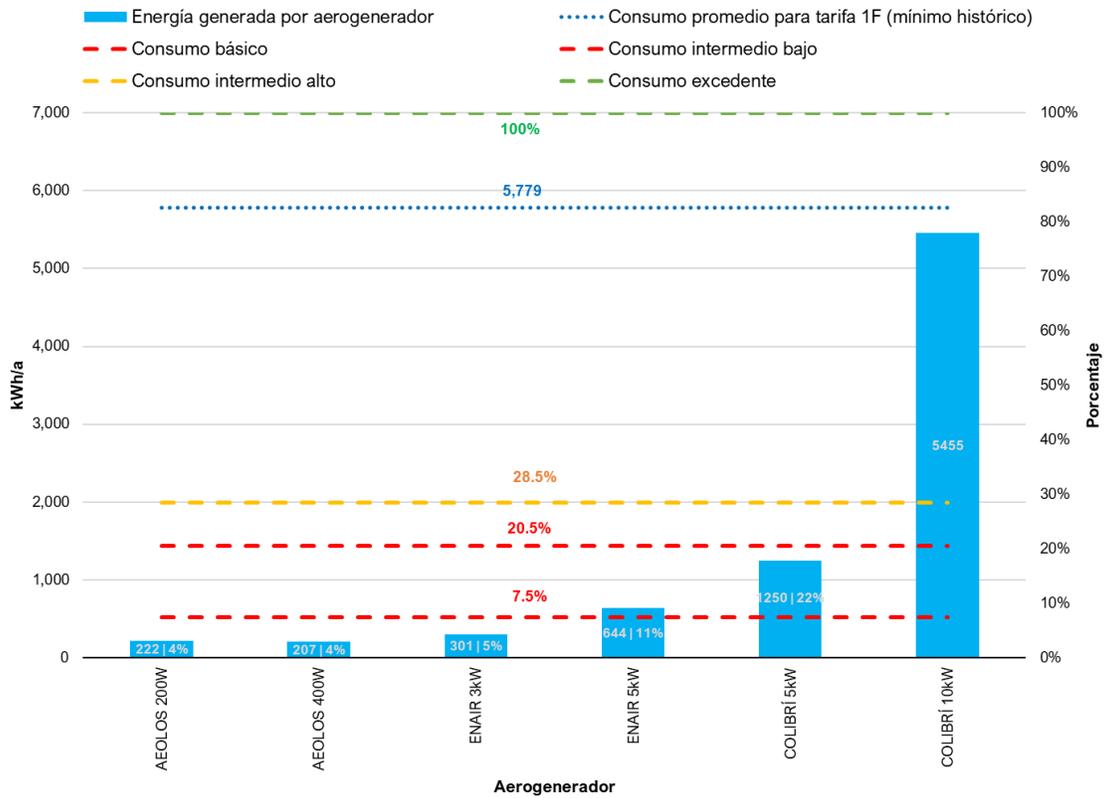


Ilustración 20: Energía generada por el aerogenerador versus su porcentaje de aportación de energía por categoría

Tabla 25: Resultados de la evaluación para el elemento *distribución hacia los clientes*

Aerogenerador	Resultado en porcentaje	Criterio para la evaluación del eslabón
AELOS 200	1%	0
AEOLOS 400	1%	0
ENAIR 3,000	1%	0
ENAIR 5,000	2%	1
COLIBRÍ 5,000	4%	1
COLIBRÍ 10,000	18%	3

→ **Disposición final**

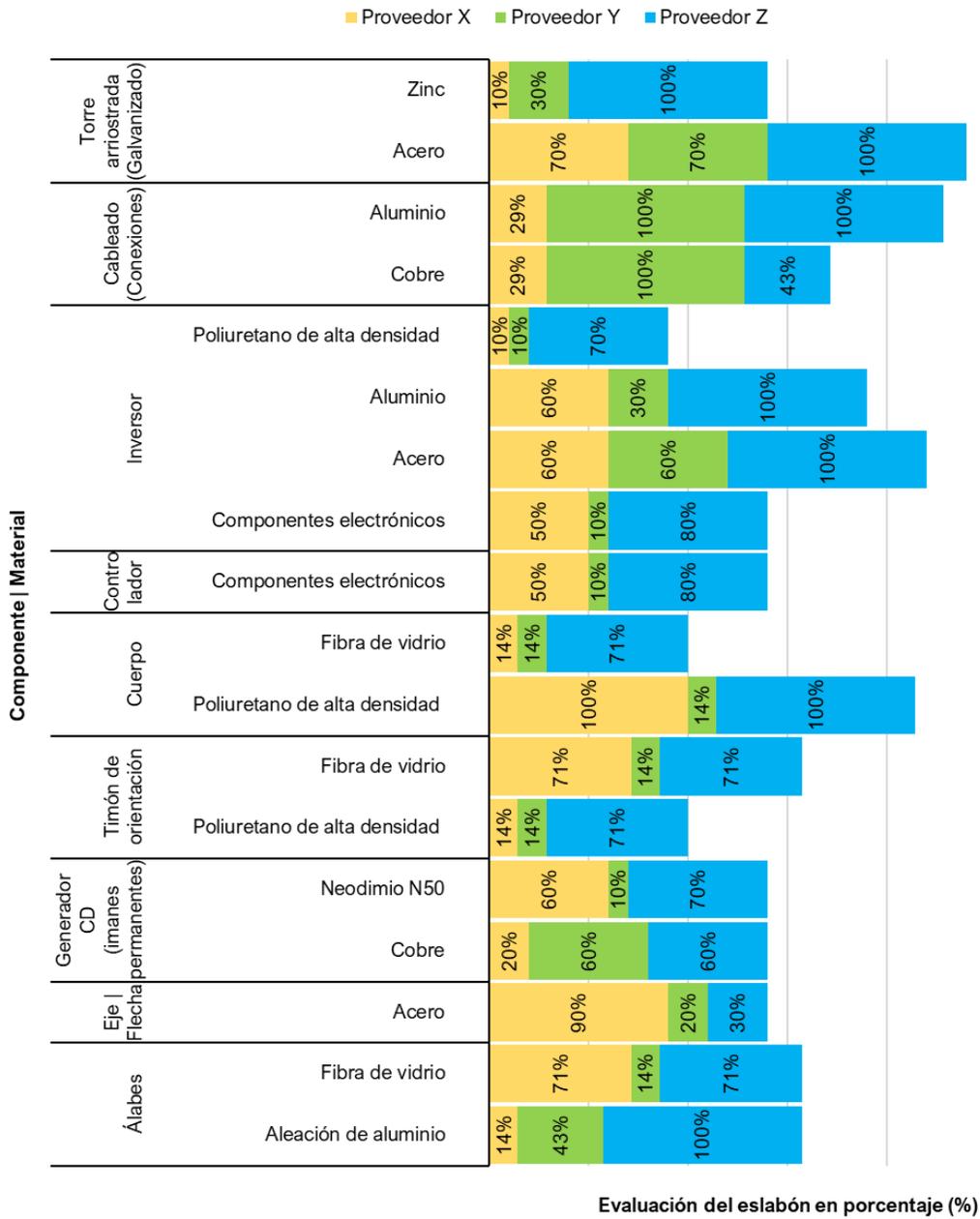
Para la evaluación de disposición final se muestreó por conveniencia a tres empresas nacionales que se dedican a la venta de aerogeneradores los cuales se identifican como: proveedor X, proveedor Y y proveedor Z.

Cada empresa calificó los tipos de procesos de logística inversa de acuerdo con el material apoyándose del formato que se muestra en la ilustración 21, colocando un cuatro (4) en la columna de reúso, un tres (3) en la columna de remanufactura (donde aplique), un dos (2) para reciclado y un uno (1) para disposición. Un mismo material puede contener los cuatro procesos.

Componente	Material	Procesos de Logística Inversa para Aerogeneradores			
		Reuso (4)	Remanufactura (3)	Reciclado (2)	Disposición (1)
Álabes	Aleación de aluminio		NA		
	Fibra de vidrio		NA		
Eje Flecha	Acero				
Generador CD (imanes permanentes)	Cobre				
	Neodimio N50				
Timón de orientación	Poliuretano de alta densidad		NA		
	Fibra de vidrio		NA		
Cuerpo	Poliuretano de alta densidad		NA		
	Fibra de vidrio		NA		
Controlador Rectificador	Componentes electrónicos				
Inversor	Componentes electrónicos				
	Acero				
	Aluminio				
	Poliuretano de alta densidad				
Cableado (Conexiones)	Cobre		NA		
	Aluminio		NA		
Torre arriostrada (Galvanizado)	Acero				
	Zinc				

Ilustración 21: Formato para evaluación de disposición final

El desglose de los resultados de la evaluación de disposición final por proveedor se muestra en la ilustración 22, donde se concentran los puntajes por componente y por tipo de material. Se observó que el acero de la torre arriostrada, el acero del inversor, el aluminio del cableado y el poliuretano de alta densidad del cuerpo del aerogenerador son los materiales mejor evaluados en este rubro como los materiales con mayor potencial de reutilización y menor impacto ambiental. En caso contrario se encuentran los dispositivos electrónicos, puesto que estos componentes son de diseño de un solo uso, su naturaleza complica su reciclaje y generalmente son desechados al final de su vida útil.



Evaluación del eslabón en porcentaje (%)

Ilustración 22: Desglose de resultados de la evaluación de disposición final por proveedor

Para la evaluación general del eslabón se obtuvieron los resultados de la Ilustración 23, donde la empresa X obtuvo un 46%, evaluándose como *crítico* de acuerdo con la escala de evaluación por rubro; la empresa Y obtuvo un 35%, ubicándose también como *crítico*; mientras que la empresa Z obtuvo un 79% catalogándose como *regular* de acuerdo con la escala de evaluación por rubro. Extrapolando los porcentajes obtenidos hacia los criterios de decisión para el modelo propuesto se obtienen los resultados de la tabla 26, siendo los proveedores X y Y los peores evaluados con un puntaje de 1, mientras que el proveedor Z obtuvo un 2.

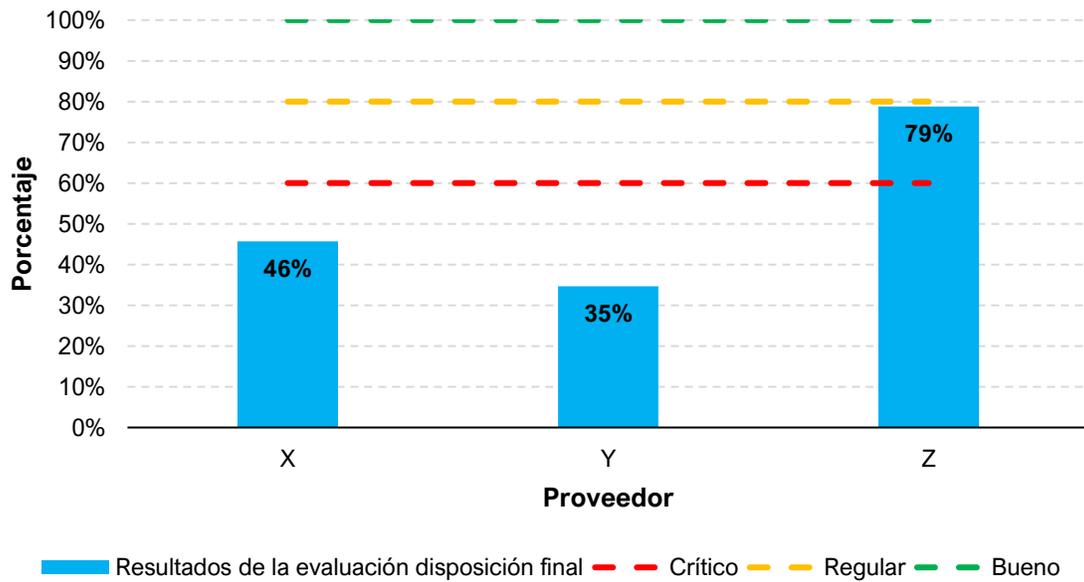


Ilustración 23: Resultados de las empresas para la evaluación de disposición final

Tabla 26: Resultados del quinto eslabón *disposición final*

Proveedor	Resultado en porcentaje	Criterio para la evaluación del eslabón
X	46%	1
Y	35%	1
Z	79%	2

Resultados de la asignación de puntajes por rubro para el modelo propuesto

Se diseñó una hoja de cálculo en Excel, registrada ante INDAUTOR como Modelo Zeta ®, en la cual se concentraron los resultados obtenidos de la evaluación de los cinco eslabones del modelo propuesto para cada uno de los tres rubros, considerando los 21 resultados posibles del rubro calidad, los 15 resultados posibles para el rubro disponibilidad y 15 resultados más para el rubro de costo. Multiplicando los posibles resultados de cada rubro se obtienen 4,725 posibles resultados dependiendo de los proveedores seleccionados (*Instituto Nacional del Derecho de Autor, 2022*) ver ilustración 24.

Eslabones de la Cadena de Suministro		Rubro		Rubro		Rubro	
		Proveedor	Calidad	Proveedor	Disponibilidad	Proveedor	Costo
1	EVALUACIÓN DE POTENCIAL EÓLICO						
2	SUMINISTRO DE PROVEEDORES						
3	EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO						
4	DISTRIBUCIÓN HACIA LOS CLIENTES						
5	DISPOSICIÓN FINAL						

Ilustración 24: Evaluación por rubro para el Modelo Zeta ®

Para el llenado del Modelo Zeta ® y a manera de ejemplo se empieza con el rubro de calidad y sus cinco eslabones; para el eslabón de potencial eólico se selecciona al proveedor AEOLOS 200 cuyo puntaje corresponde a 3 como se muestra en la ilustración 25. Se continua con el mismo procedimiento para los siguientes eslabones, suministro de proveedores, proveedor X, 3; evaluación técnica del proyecto, proveedor Z, 3; distribución hacia los clientes, colibrí 10 000, 3; y disposición final, proveedor X, 1.

Una vez asignados los puntajes para los cinco eslabones se obtuvo la evaluación por rubro resultando en un 87%, de acuerdo con la tabla 4 de criterios de decisión para la evaluación de la cadena de suministro, lo que significa que la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado factible, el proyecto tiene una alta probabilidad de ser exitoso. En caso de haber obtenido una evaluación del rubro en estatus de crítico, no se sugiere continuar con la evaluación del resto de los rubros.

Eslabones de la Cadena de Suministro		Rubro		Rubro		Rubro	
		Proveedor	Calidad	Proveedor	Disponibilidad	Proveedor	Costo
1	EVALUACIÓN DE POTENCIAL EÓLICO	AELOS 200	3	Proveedor X	1	Proveedor X	4
2	SUMINISTRO DE PROVEEDORES	Proveedor X	3	Proveedor X	1	Proveedor Z	1
3	EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	Proveedor Z	3	Proveedor Y	3	Proveedor Y	4
4	DISTRIBUCIÓN HACIA LOS CLIENTES	COLIBRÍ 10,000	3	Proveedor X	1	Proveedor Z	3
5	DISPOSICIÓN FINAL	Proveedor X	1	Proveedor Z	2	Proveedor Y	3
Evaluación por rubro		BUENO	87%	CRÍTICO	53%	REGULAR	75%

Ilustración 25: Resultados de la asignación de puntajes por rubro para el Modelo Zeta ®

Continuando con el rubro de disponibilidad se procede a seleccionar proveedor para cada uno de los cinco eslabones del rubro. Siguiendo con el mismo ejemplo de la ilustración 25 se observa que la evaluación resulta en 53%, contrastando con la tabla 4 de criterios de decisión para la evaluación de la cadena de suministro, se asume que la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado NO factible, se propone que el proyecto no se ejecute y/o que se mejoren las opciones existentes para aumentar la probabilidad de éxito del proyecto.

Por último se califica el rubro de costo, de la misma manera que en los otros rubros se asignan proveedores por eslabón y se obtiene una evaluación general del rubro, siguiendo con el mismo ejemplo (ilustración 25) se observa un puntaje de 75%, la gestión de la cadena de suministro sugiere un resultado aceptable, se propone una revisión del proyecto para aumentar la probabilidad de ser exitoso.

Capítulo V. Conclusiones y trabajos futuros

Se logró diseñar e integrar un modelo para la evaluación de la cadena de suministro de mini eólica en zonas urbanas: Modelo Zeta ®, con el cual se obtienen resultados cuantitativos que permiten determinar la viabilidad de los proyectos con una calificación estandarizada y comparable bajo un procedimiento objetivo para la toma de decisiones en el área de proyectos de generación de energía. El contar con criterios de decisión establecidos permite visibilizar los elementos de la cadena de suministro para identificar las barreras que pudieran llegar a limitar la implementación de los proyectos y a su vez resaltar los factores que facilitan o permiten la difusión de la energía eólica y las energías renovables. Con lo anterior se logra un mayor entendimiento de la situación del cliente y se avanza en el desarrollo de estrategias de abastecimiento para cada situación, logrando ventajas competitivas y diferenciadoras respecto de la competencia en costo, calidad y tiempos de entrega. Las empresas que utilicen el Modelo Zeta ® pueden avanzar en sus objetivos de desarrollo sostenible y reforzar su reputación en torno a la gestión medioambiental.

Se obtuvieron calificaciones cuantitativas para cada uno de los cinco eslabones del modelo y a su vez una calificación general evalúa la interacción de dichos eslabones, lo que permite tomar decisiones sobre el desempeño de los elementos individuales para lograr aumentar la probabilidad de éxito durante su ejecución. También permite visualizar los riesgos involucrados en el modelo donde la calificación obtenida no sea satisfactoria y, de esta manera, hacer ajustes en la medida de lo posible.

Para la evaluación de potencial eólico se integraron tres indicadores evaluados simultáneamente: velocidad de arranque de los aerogeneradores, factor de planta y energía generada; quienes en los modelos se evaluaban por separado, siendo ésta la primera vez que se utilizan de manera integrada.

En lo que respecta al suministro de proveedores se diseñó una encuesta considerando los criterios más frecuentemente citados en la literatura para evaluar el desempeño de los proveedores. Se logró convertir las

respuestas cualitativas obtenidas de los proveedores a través de una escala Likert, en calificaciones medibles para este eslabón. La selección de los proveedores fue por conveniencia, se prefirieron a los que dieron pronta respuesta a la solicitud y se observaron casos donde fue difícil tener acceso a la comunicación directa con el proveedor por lo que se optó por descartarlos del caso de estudio.

Para el eslabón de evaluación técnica del proyecto aunque la mayoría de la información disponible está enfocada a proyectos de gran potencia, existe normatividad aplicable para aerogeneradores de baja potencia y para generación distribuida en zonas urbanas. Aun cuando se logró diseñar una lista de verificación con base en la normatividad disponible, que permite calificar el eslabón de manera cuantitativa, la verificación de la lista debe ser realizada por un especialista en la materia de energía.

México tiene un único proveedor de energía eléctrica para el sector doméstico (CFE) y los datos históricos de consumo estuvieron abiertos al público hasta el año 2017, con esos datos se estimó el consumo en el sector doméstico. En la tarifa doméstica se tienen dos formas distintas de categorizar los rangos de consumo de energía eléctrica dependiendo del periodo de cobro: tarifa de verano y tarifa de invierno.

Con base en esa información se lograron clasificar las categorías considerando ambos periodos de cobro, proporcionando así una evaluación estandarizada, cuantitativa y objetiva.

El eslabón de disposición final califica los componentes de los aerogeneradores y los materiales de los que están compuestos de acuerdo con cuatro tipos de proceso de logística inversa: reuso, remanufactura, reciclado y disposición. Se observó que el acero de la torre arriostrada, el acero del inversor, el aluminio del cableado y el poliuretano de alta densidad del cuerpo del aerogenerador son los materiales mejor evaluados en este rubro, lo que significa que son los materiales con mayor potencial de reutilización y menor impacto ambiental. Mientras que el acero de la flecha y el cobre del generador y del cableado obtuvieron calificaciones por debajo del 60%, lo que sugiere una baja capacidad de recuperación en los procesos de logística inversa y un impacto negativo para el medio ambiente.

Adicionalmente el Modelo Zeta ® puede ser aplicable en cualquier sitio geográfico haciendo ajustes en cada uno de los eslabones, es decir, integrando los cálculos de estimación de energía con base en las velocidades de viento de los sitios nuevos para el primer eslabón; aplicando evaluaciones a nuevos proveedores de aerogeneradores para el eslabón número dos; adaptando la lista de verificación del eslabón de evaluación técnica del proyecto a los requerimientos del sitio de estudio los cuales varían de acuerdo con el país y con la normatividad aplicable respecto a la clasificación de generación de energía; para el cuarto eslabón se debe realizar un análisis de las características del sistema tarifario eléctrico aplicable al nuevo sitio de estudio y a la demanda específica de los clientes para robustecer el modelo general; y para el último eslabón, conforme se integren nuevos aerogeneradores al modelo, será necesario analizar los materiales de los componentes para proponer la disposición final adecuada.

No se encontró información pública respecto a proveedores especializados en energías renovables aun cuando la legislación en el estado de Baja California así lo dispone; se sugiere crear una red colaborativa de productos y servicios que favorezca la penetración de las energías renovables en México y el mundo, el trabajar en un catálogo de proveedores de equipos, servicios e insumos, nacionales e internacionales, que tengan relación con proyectos de generación de energía con fuentes renovables con la intención de robustecer el Modelo Zeta ® para futuros usuarios. La lista de verificación utilizada para la evaluación técnica debe ajustarse para incluir el resto de las categorías tarifarias vigentes: hogar, negocio, industria, agrícola y servicios. Los Certificados de Energías Limpias y los beneficios tributarios deben ser considerados como un beneficio para el eslabón de Clientes del Modelo Zeta ®. Respecto a la disposición final se identificó un área de oportunidad respecto a la creación de un modelo de negocio en la remanufactura y el reciclado de componentes provenientes de los aerogeneradores.

El modelo puede extrapolarse a otras áreas de energías renovables como por ejemplo eólica de gran potencia o solar fotovoltaica por mencionar algunas. Para lograr la extrapolación se deben estudiar las necesidades específicas de cada fuente renovable para posteriormente compararlas con el modelo actual y proponer elementos que permitan integrar las diferencias, por ejemplo la solar fotovoltaica requiere un método de

estimación de generación de energía distinto al de la eólica como primer eslabón, en este caso el modelo extrapolado quedaría con un primer eslabón enfocado a la evaluación de potencial fotovoltaico en lugar de potencial eólico; los mismos cinco eslabones del modelo funcionan con ajustes para una fuente renovable distinta.

Cabe mencionar que la flexibilidad del modelo permite integrar nuevos eslabones para robustecerlo. Se pueden integrar eslabones previos al modelo actual los cuales atiendan, por ejemplo, las necesidades de producción de aerogeneradores y/o paneles solares necesarios para abastecer la demanda actual en el mundo; otro eslabón puede atender el análisis de los materiales primarios para la producción de los componentes de los equipos para solar y eólica, por ejemplo acero, aluminio, zinc, cobre, entre otros. Inclusive al final del modelo propuesto se pueda integrar otro eslabón para el seguimiento de cada una de las etapas de la logística inversa (reuso, remanufactura, reciclado y disposición).

Los modelos de la cadena de suministro encontrados en la literatura son aplicados a casos de estudio específicos donde se comparan situaciones concentradas, lo cual no permite replicar el modelo a otros casos. Los resultados son cualitativos, lo que no facilita una toma de decisiones objetiva sino que dependen del criterio subjetivo con el que se hace la evaluación. Las áreas donde se aplica la cadena de suministro son en procesos agrícolas, manufactureros y de construcción con enfoque en la rentabilidad financiera y la optimización de procesos, las operaciones en estos sectores son de alto volumen y repetitivos, a diferencia de los proyectos de generación de energía que son personalizados tanto en su diseño como en su ejecución. No se encontraron modelos de cadena de suministro para eólica de baja potencia en zonas urbanas, sólo de eólica de gran potencia y en la fase de instalación y operación, no se considera de forma integral como en el modelo propuesto. Tampoco se encontraron modelos donde las necesidades específicas del cliente estén evaluadas de forma cuantitativa, en esta parte se analiza el sistema tarifario eléctrico vigente y en el Modelo Zeta ® sí está considerado. La disposición final para aerogeneradores es propuesta en la literatura pero no se califica ni se considera en la cadena de suministro, por lo tanto se integró en el Modelo Zeta ® clasificando por tipo de material y por proceso de recuperación.

Existe un área de oportunidad para trabajos futuros de investigación relacionados a determinar rangos óptimos de factores de planta para eólica de alta y baja potencia. No se encontró información suficiente en las fuentes que brinde parámetros que coadyuven con una calificación objetiva y comparable. Se sugiere realizar un estudio con varios aerogeneradores y distintos datos de viento para determinar los factores de planta en distintas condiciones, apoyarse de herramientas estadísticas para inferir cuales son los óptimos y listar las condiciones de la medición.

Limitaciones de la investigación

El modelo incluye la evaluación de seis modelos de aerogeneradores y de tres proveedores seleccionados por conveniencias, en un futuro se incluirán modelos y proveedores adicionales para ampliar las opciones.

La encuesta que se diseñó para la evaluación de proveedores no se validó como instrumento en esta investigación, sin embargo, los criterios de la encuesta fueron tomados del trabajo hecho por Taherdoost y Brard (2019) en el cual realizaron una revisión exhaustiva de la literatura existente en la que sugieren una tabla con los criterios más utilizados por las empresas.

La pandemia debido al COVID-19 limitó la aplicación de las encuestas y la accesibilidad por medios digitales, por lo que se retomará la actividad en 2023.

También debido a la pandemia se limitó el trabajo de investigación interinstitucional que se tenía contemplado con la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California (Campus Ensenada) así como con el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (Campus Temixco).

El acceso a información relacionada a velocidades de viento por parte de las instituciones gubernamentales fue nulo, se realizaron varias solicitudes sin una respuesta positiva.

Anexos

Anexo 1: Energía generada estimada para AEOLOS 400W

Velocidad m/s			Watts Potencia generada por el aerogenerador	Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior							
0.50	1.00	1.50	0.00	0.93	0.63	2,640.45	0.00	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	17.00	0.63	0.33	2,611.79	44,400.41	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	34.00	0.33	0.14	1,668.82	56,740.04	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	67.00	0.14	0.05	802.59	53,773.81	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	100.00	0.05	0.01	306.97	30,696.90	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	145.00	0.01	0.00	96.09	13,933.77	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	215.00	0.00	0.00	25.07	5,389.98	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	320.00	0.00	0.00	5.52	1,766.29	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	380.00	0.00	0.00	1.04	393.44	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	400.00	0.00	0.00	0.17	66.68	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	400.00	0.00	0.00	0.02	9.27	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	400.00	0.00	0.00	0.00	1.12	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	400.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	400.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00

Σ 8,158.54 207,171.83

Anexo 2: Energía generada estimada para ENAIR 3000W

Velocidad m/s			Watts Potencia generada por el aerogenerador	Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior							
0.50	1.00	1.50	0.00	0.93	0.63	2,640.45	0.00	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	0.00	0.63	0.33	2,611.79	0.00	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	10.00	0.33	0.14	1,668.82	16,688.25	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	100.00	0.14	0.05	802.59	80,259.42	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	300.00	0.05	0.01	306.97	92,090.71	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	800.00	0.01	0.00	96.09	76,875.97	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	1,000.00	0.00	0.00	25.07	25,069.66	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	1,450.00	0.00	0.00	5.52	8,003.48	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	1,850.00	0.00	0.00	1.04	1,915.42	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	2,100.00	0.00	0.00	0.17	350.06	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	2,300.00	0.00	0.00	0.02	53.31	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	2,500.00	0.00	0.00	0.00	6.99	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	2,500.00	0.00	0.00	0.00	0.74	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	2,500.00	0.00	0.00	0.00	0.07	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	2,500.00	0.00	0.00	0.00	0.01	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	2,500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00

Σ 8,158.54 301,314.09

Anexo 3: Energía generada estimada para ENAIR 5000W

Velocidad m/s			Watts	Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior	Potencia generada por el aerogenerador						
0.50	1.00	1.50	0.00	0.93	0.63	2,640.45	0.00	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	20.00	0.63	0.33	2,611.79	52,235.78	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	40.00	0.33	0.14	1,668.82	66,752.98	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	300.00	0.14	0.05	802.59	240,778.26	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	450.00	0.05	0.01	306.97	138,136.07	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	1,000.00	0.01	0.00	96.09	96,094.97	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	1,400.00	0.00	0.00	25.07	35,097.53	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	2,000.00	0.00	0.00	5.52	11,039.29	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	2,800.00	0.00	0.00	1.04	2,899.01	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	3,200.00	0.00	0.00	0.17	533.43	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	4,000.00	0.00	0.00	0.02	92.71	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	4,150.00	0.00	0.00	0.00	11.61	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	4,300.00	0.00	0.00	0.00	1.27	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	4,400.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	4,450.00	0.00	0.00	0.00	0.01	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	4,500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00
Σ						8,158.54	643,673.02		

Anexo 4: Energía generada estimada para COLIBRÍ 5000W

Velocidad m/s			Watts	Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior	Potencia generada por el aerogenerador						
0.50	1.00	1.50	0.00	0.93	0.63	2,640.45	0.00	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	0.00	0.63	0.33	2,611.79	0.00	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	200.00	0.33	0.14	1,668.82	333,764.92	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	500.00	0.14	0.05	802.59	401,297.10	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	950.00	0.05	0.01	306.97	291,620.59	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	1,600.00	0.01	0.00	96.09	153,751.95	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	2,100.00	0.00	0.00	25.07	52,646.29	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	2,300.00	0.00	0.00	5.52	12,695.18	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	3,000.00	0.00	0.00	1.04	3,106.09	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	4,000.00	0.00	0.00	0.17	666.78	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	5,800.00	0.00	0.00	0.02	134.42	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	7,000.00	0.00	0.00	0.00	19.58	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	7,000.00	0.00	0.00	0.00	2.06	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	7,000.00	0.00	0.00	0.00	0.19	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	7,000.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	7,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00
Σ						8,158.54	1,249,705.17		

Anexo 5: Energía generada estimada para COLIBRÍ 10,000W

Velocidad m/s			Watts	Función de Probabilidad		Duración (horas)	Energía Generada (Estimada - Wh/a)	Potencia disponible	Energía Disponible (Teórica - Wh/a)
Límite Inferior	Velocidad	Límite Superior	Potencia generada por el aerogenerador						
0.50	1.00	1.50	0.00	0.93	0.63	2,640.45	0.00	0.61	1,610.68
1.50	2.00	2.50	0.00	0.63	0.33	2,611.79	0.00	4.88	12,745.53
2.50	3.00	3.50	200.00	0.33	0.14	1,668.82	333,764.92	16.47	27,485.54
3.50	4.00	4.50	5,500.00	0.14	0.05	802.59	4,414,268.10	39.04	31,333.28
4.50	5.00	5.50	1,150.00	0.05	0.01	306.97	353,014.40	76.25	23,406.39
5.50	6.00	6.50	2,200.00	0.01	0.00	96.09	211,408.93	131.76	12,661.47
6.50	7.00	7.50	4,000.00	0.00	0.00	25.07	100,278.65	209.23	5,245.33
7.50	8.00	8.50	5,700.00	0.00	0.00	5.52	31,461.97	312.32	1,723.90
8.50	9.00	9.50	8,100.00	0.00	0.00	1.04	8,386.43	444.69	460.42
9.50	10.00	10.50	11,500.00	0.00	0.00	0.17	1,917.00	610.00	101.68
10.50	11.00	11.50	14,000.00	0.00	0.00	0.02	324.47	811.91	18.82
11.50	12.00	12.50	14,000.00	0.00	0.00	0.00	39.16	1,054.08	2.95
12.50	13.00	13.50	14,000.00	0.00	0.00	0.00	4.12	1,340.17	0.39
13.50	14.00	14.50	14,000.00	0.00	0.00	0.00	0.38	1,673.84	0.05
14.50	15.00	15.50	14,000.00	0.00	0.00	0.00	0.03	2,058.75	0.00
15.50	16.00	16.50	14,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.56	0.00

Σ 8,158.54 5,454,868.56

Referencias

- 0716 *Interconexión del Sistema Eléctrico de Baja California con el Sistema Interconectado Nacional – Proyectos México*. (s/f). Recuperado el 6 de abril de 2022, de https://www.proyectosmexico.gob.mx/proyecto_inversion/716-interconexion-del-sistema-electrico-de-baja-california-con-el-sistema-interconectado-nacional/
- Ahi, P., y Searcy, C. (2015). An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 86, 360–377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.005>
- Algieri, A., Morrone, P., Perrone, D., Bova, S., y Castiglione, T. (2020). Analysis of multi-source energy system for small-scale domestic applications. Integration of biodiesel, solar and wind energy. *Energy Reports*, 6, 652–659. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.045>
- Arzu Akyuz, G., y Erman Erkan, T. (2010). Supply chain performance measurement: A literature review. *International Journal of Production Research*, 48(17), 5137–5155. <https://doi.org/10.1080/00207540903089536>
- Ashtine, M., Bello, R., y Higuchi, K. (2016). Feasibility of Small Wind Turbines in Ontario: Integrating Power Curves with Wind Trends. *Resources*, 5(4), 44. <https://doi.org/10.3390/resources5040044>
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., y Cooper, M. B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros* (Segunda). McGraw-Hill Interamericana. <https://libcon.rec.uabc.mx:4431/lib/uabcsp/detail.action?docID=3214354&query=Bowersox>
- Castellanos, S., Santibañez-Aguilar, J. E., Shapiro, B. B., Powell, D. M., Peters, I. M., Buonassisi, T., Kammen, D. M., y Flores-Tlacuahuac, A. (2018). Sustainable silicon photovoltaics manufacturing in a global market: A techno-economic, tariff and transportation framework. *Applied Energy*, 212, 704–719. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.047>
- CFE. (2021). *Comisión Federal de Electricidad*. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/Tarifa1F.aspx>

- Chopra, S. (2019). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*.
<https://uabc.vitalsource.com/reader/books/9786073250672/pageid/16>
- Coldwell, P. J., Rodríguez, L. B., Quiroga, A. R. F., y Reyes, F. Z. (2018). *Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre 2018*. 21.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – México ante el cambio climático. (s/f). Recuperado el 31 de marzo de 2022, de <https://cambioclimatico.gob.mx/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico/>
- Coyle, J. J., Langley Jr., C. J., y Novack, R. A. (2013). *Administración de la cadena de suministro: Una perspectiva logística* (9a. ed.). Cengage Learning.
<https://libcon.rec.uabc.mx:6012/es/ereader/uabc/93194>
- Datos abiertos Gobierno de México. (2017). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei/resource/85932a2a-be48-456b-ad82-656855d8c232>
- Estadísticas de Capacidad Renovable 2022*. (2022a, abril). International Renewable Energy Agency.
<https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>
- Gobierno del Estado de Baja California. (2017). *Comisión Estatal de Energía de Baja California*.
<http://dotstudio.me/energiabc2/>
- IEC. (2022, septiembre). *International Electrotechnical Commission*. International Electrotechnical Commission. <https://www.iec.ch/about-us>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. gob.mx.
<http://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40>
- Instituto Nacional del Derecho de Autor*. (2022). <http://www.indautor.gob.mx/>
- International Renewable Energy Agency*. (2022b). */Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series*. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>

- Irfan, M., Hao, Y., Panjwani, M. K., Khan, D., Chandio, A. A., y Li, H. (2020). Competitive assessment of South Asia's wind power industry: SWOT analysis and value chain combined model. *Energy Strategy Reviews*, 32, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100540>
- Jacobs, F. R., y Chase, R. B. (2014). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (13a ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://libcon.rec.uabc.mx:4431/lib/uabcsp/detail.action?docID=3215266&query=Jacobs>
- Jiang, R., Kang, Y., Liu, Y., Liang, Z., Duan, Y., Sun, Y., y Liu, J. (2022). A trust transitivity model of small and medium-sized manufacturing enterprises under blockchain-based supply chain finance. *International Journal of Production Economics*, 247, 108469. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108469>
- Kazancoglu, Y., Ozkan-Ozen, Y. D., y Ozbiltekin, M. (2018). Minimizing losses in milk supply chain with sustainability: An example from an emerging economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.020>
- LA REVISTA DE LA NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA. (2021). [Info@une.org]. LA REVISTA DE LA NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054627>
- Ley de la Industria Eléctrica*. (2018). 76.
- Ley de Transición Energética*. (2015). 40.
- Manwell, J. F., Rogers, A. L., y McGowan, J. G., coaut. (2002). *Wind energy explained: Theory, design and application*. John Wiley and Sons. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05865a&AN=cim.106144&lang=es&site=eds-live>
- McCormack, K., Bronzo Ladeira, M., y Paulo Valadares de Oliveira, M. (2008). Supply chain maturity and performance in Brazil. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 272–282. <https://doi.org/10.1108/13598540810882161>

- Meixell, M. J., y Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6), 531–550. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.06.003>
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. (2021). *NOM-001-SEDE-2012*. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Energía. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017
- Ortegon, K., Nies, L. F., y Sutherland, J. W. (2013). Preparing for end of service life of wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 39, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.022>
- Poulsen, T., y Lema, R. (2017). Is the supply chain ready for the green transformation? The case of offshore wind logistics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 758–771. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.181>
- PRODESEN, G. de M. (2022). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033*. Secretaría de Energía.
- Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024, G. de M. (2021). *Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024*. <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/conoce-el-programa-especial-de-cambio-climatico-2021-2024?idiom=es#:~:text=En%20el%20Programa%20Especial%20de,de%20ejecuci%C3%B3n%20%20coordinaci%C3%B3n%20de%20acciones%20>
- Rodríguez-Hernández, O., Martínez, M., López-Villalobos, C., García, H., y Campos-Amezcu, R. (2019). Techno-Economic Feasibility Study of Small Wind Turbines in the Valley of Mexico Metropolitan Area. *Energies*, 12(5), Art. 5. <https://doi.org/10.3390/en12050890>
- Secretaría de Energía. (2017). *Programa Especial de la Transición Energética 2017-2018*. gob.mx. <http://www.gob.mx/sener/documentos/programa-especial-de-la-transicion-energetica-2017-2018>
- Secretaría de Energía. (2022). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610964/Cap10_-_Marco_Juridico_Reporte_Avance_de_Energias_Limpas_WEB.pdf

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610964/Cap10_-_Marco_Juridico_Reporte_Avance_de_Energias_Limpias_WEB.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (semarnat), y Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (inecc). (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015*. INEGYCEI.

<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/226>

Taherdoost, H., y Brard, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. *Procedia Manufacturing*, 32, 1024–1034. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.317>

Viljoen, N., y Joubert, J. (2019). Supply chain micro-communities in urban areas. *Journal of Transport Geography*, 74, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.011>

Zamora Machado, M., Lambert, A., Montero, G., Sánchez, E., Lázaro-Mancilla, O., Reynaga, R., y Sandoval Urzua, C. (2015, octubre 7). *Estudio y prospectiva del potencial eoloeléctrico en Baja California*.