



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental

**Análisis trade-off entre los servicios ecosistémicos culturales y el
desarrollo energético eólico utilizando InVEST**

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

Alondra Carolina Rivera Rubio

Profesores guía:

Dra. Yannay Casas Ledón

MCs. Makarena Henríquez Ávila

CONCEPCIÓN (Chile), 2025



Análisis trade-off entre los servicios ecosistémicos culturales y el desarrollo energético eólico utilizando InVEST

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

Alumna: Alondra Carolina Rivera Rubio

Profesores guía: Dra. Yannay Casas Ledón

MCs. Makarena Henríquez Ávila

CONCEPCIÓN (Chile), 2025

“ANÁLISIS DEL TRADE OFF ENTRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES Y EL DESARROLLO ENERGÉTICO EÓLICO UTILIZANDO INVEST”

Profesor Guía: Dra. Yannay Casas Ledón



Profesor Co-Guía: MCs. Makarena Henríquez Ávila



Profesor Comisión: Dr. Mauricio Aguayo Arias



Profesor Comisión: Dra. Marcela Salgado Vargas



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, agosto 2025

Índice

Resumen	9
1. Introducción	10
2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. Antecedentes.....	13
3.1. Servicios ecosistémicos.....	13
3.2. Desarrollo energético renovable	14
3.3. Energías renovables en Chile.....	15
3.4. Desarrollo energético eólico en Chile	17
3.5. Desarrollo eólico en la región de Ñuble y Biobío.....	18
3.6. Servicios ecosistémicos culturales.....	18
3.7. Métodos y herramienta para evaluar SEC	20
3.8. InVEST como herramienta para evaluar recreación y turismo.	22
3.9. Trade-off entre desarrollo energético eólico y servicios ecosistémicos culturales	23
4. Metodología	25
4.1. Describir el área de estudio en función de su potencial eólico.	25
4.1.1. Selección de tecnología	27
4.1.2. Obtención y análisis del Factor de Planta.	27
4.1.3. Análisis Técnico, Ambiental y Territorial.....	28
4.1.4. Cálculo del potencial eólico.....	29
4.2. Evaluar el SEC de recreación y turismo en área de estudio a través de InVEST.....	30
4.2.1. Selección de atributos culturales.....	31
4.2.2. Determinación de métrica	33
4.2.3. Análisis de multicolinealidad	34
4.2.4. Ejecución del modelo.....	36
4.3. Análisis espacial del trade-off entre los SEC y desarrollo energético eólico en la región de Biobío y Ñuble.	36
5. Resultados y discusión	38
5.1. Potencial eólico en las regiones de Ñuble y Biobío.....	38

5.2.	Distribución espacial de la tasa de visita en las regiones de Ñuble y Biobío.....	42
5.3.	Regresión lineal de coeficiente entre tasa de visita y atributos culturales.	48
5.4.	Análisis Trade Off entre el potencial eólico y tasa de visita de recreación y turismo. .	53
5.5.	Limitaciones y recomendaciones	57
6.	Conclusiones	61
7.	Contribución a los ODS.....	62
	Energía asequible y no contaminante	62
8.	Referencias.....	64
9.	Anexos.....	73
9.1.	Anexo 1. Diagrama metodológico para el análisis TAT en el proceso de cálculo de potencial eólico.....	73
9.2.	Anexo 2. Scripts de Python para el cálculo de VIF y correlación en el análisis de multicolinealidad.....	74
9.3.	Anexo 3. Proyectos de parques eólicos en las regiones de Ñuble y Biobío.	75
9.4.	Anexo 4. Factor de planta del aerogenerador VESTAS V117 de 3,3 MW a 100 metros de altura de buje, con distintas restricciones.	77
9.5.	Anexo 5. Potencial eólico técnico factible en las regiones de Ñuble y Biobío.....	78
9.6.	Anexo 6. Tasa de visita en las regiones de Ñuble y Biobío.....	80
9.7.	Anexo 7. Regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo en las regiones de Ñuble y Biobío.....	81

Índice de tablas

Tabla 1.....	20
<i>Métodos de evaluación de los servicios ecosistémicos culturales.</i>	20
Tabla 2.....	21
<i>Métodos utilizados en el análisis de los servicios ecosistémicos culturales.</i>	21
Tabla 3.....	29
<i>Factores técnicos, ambiental y territorial aplicados a la obtención de potencial eólico.</i>	29
Tabla 4.....	32
<i>Atributos culturales para el modelo de recreación y turismo en InVEST.</i>	32
Tabla 5.....	33

<i>Métricas para cada atributo cultural.</i>	33
Tabla 6.....	35
<i>Grados de multicolinealidad de acuerdo con el valor de VIF.</i>	35
Tabla 7.....	35
<i>Grados de correlación.</i>	35
Tabla 8.....	37
<i>Niveles de idoneidad entre el potencial eólico y la tasa de visita.</i>	37
Tabla 9.....	48
<i>Resultados del modelo de regresión lineal múltiple de las provincias de Diguillín y Biobío.</i>	48
Tabla 10.....	62
<i>Contribución de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.</i>	62
Tabla 11.....	75
<i>Proyectos de parques eólicos en aprobados, calificación y operación en el área de estudio.</i> ...	75
Tabla 12.....	78
<i>Áreas técnico factible para el desarrollo de potencial eólico y su cuantificación para la Región de Ñuble.</i>	78
Tabla 13.....	79
<i>Áreas técnico factible para el desarrollo de potencial eólico y su cuantificación para la Región del Biobío.</i>	79
Tabla 14.....	80
<i>Tasa de visita por provincia y comuna en las regiones de Ñuble y Biobío.</i>	80
Tabla 15.....	81
<i>Resultados del modelo de regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo que cuantifica la relación entre las tasas de visita y los atributos culturales de las provincias de la Región de Ñuble.</i>	81
Tabla 16.....	82
<i>Resultados del modelo de regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo que cuantifica la relación entre las tasas de visita y los atributos culturales de las provincias de la Región del Biobío.</i>	82

Índice de figuras

Figura 1.....	14
<i>Clasificación de los Servicios Ecosistémicos CICES V5.1/2018.</i>	14
Figura 2.....	16
<i>Proyección de potencia instalada de energías renovables en la matriz nacional al año 2040.</i> ...	16
Figura 3.....	19
<i>Clasificación de SEC por CICES V5.1/2018.</i>	19

Figura 5.....	26
Área de estudio.....	26
Figura 6.....	31
Modelo de InVEST de Recreación y Turismo.....	31
Figura 7.....	38
Mapa de potencial y parques eólicos existentes en el área de estudio.	38
Figura 8.....	39
Potencial eólico por comuna en la Región del Biobío.....	39
Figura 9.....	40
Potencial eólico por comuna en la Región de Ñuble.	40
Figura 10.....	42
Mapa de atributos culturales dentro del área de potencial eólico en el área de estudio.	42
Figura 11.....	43
Tasa de visita representado en logaritmo para las regiones de Ñuble y Biobío.....	43
Figura 12.....	47
Tasa de visita representado en logaritmo y atributos culturales presentes en las regiones de Ñuble y Biobío.....	47
Figura 13.....	54
Niveles de idoneidad entre el potencial eólico y la tasa de visita en el área de estudio.....	54
Figura 14.....	55
a) Tasa de visita en el área con potencial eólico b) Potencial eólico en MW.	55
Figura 15.....	59
Tasa de visita para el destino turístico de Salto del Laja según InVEST y SERNATUR.	59
Figura 19.....	77
a) Factor de planta $\geq 0,22$ b) Factor de planta $\geq 0,28$ c) Factor de planta $\geq 0,33$ d) Factor de planta $\geq 0,44$	77

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi familia; a mi papá Cristian por el apoyo incondicional, por sus palabras de aliento cuando las cosas no resultaban bien y por siempre alentarme a superarme desde que era una niña, a mi mamá Maricela y mis hermanas June y Gisaela por estar siempre presentes.

A mi Tata que más que nadie estaría muy feliz y orgulloso de verme terminar esta etapa, por siempre animarme, cuidarme y darme tanto cariño desde que tengo memoria.

A mi Weli y mis tías por el continuo cariño, apoyo y por ser pilares fundamentales en mi vida.

Al amor de mi vida Haru, eres definitivamente una constelación en mi vida, mi alma gemela y un angelito con forma en gato en la tierra.

A Carlos, que ha sido un gran compañero y un apoyo constante en esta etapa. Has hecho mi vida más feliz, y tu cariño, expresado en actos sencillos y generosos, me ha hecho sentir profundamente querida.

A mis amigos de la familia cubito, en especial mis amigas Catalina y Maritza por estar siempre en los momentos felices y los no tan felices, por su genuino apoyo y su gran lealtad.

A mi compañera de proyecto y amiga Belén por el apañe constante en todo el proceso.

A mis profesoras Yannay y Makarena por ser las mejores guías que pude haber tenido en este proceso, el apoyo, la disposición, la inmensa paciencia y lo mucho que aprendo hasta el día de hoy, definitivamente soy mucho mejor profesional que hace un año.

Finalmente me gustaría agradecer el financiamiento y apoyo de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), a través de los proyectos ANID/FONDECYT/1240055 y ANID/FONDAP/1523A0001.

Resumen

La expansión de las energías renovables, particularmente la energía eólica, constituye una estrategia clave frente a la crisis climática. No obstante, su implementación puede generar conflictos con los servicios ecosistémicos culturales (SEC), como la recreación y el turismo, especialmente en territorios con alto valor paisajístico y cultural. En este contexto, el presente estudio analiza los trade-off, o conflictos entre el desarrollo energético eólico y los SEC en las regiones del Biobío y Ñuble, donde destaca el potencial de la Región del Biobío como líder en implementación y además la proyección de la Región de Ñuble como un nuevo polo de desarrollo energético del país en donde ambas regiones son zonas de alto interés recreativo. Por lo tanto, el objetivo general es evaluar el trade-off entre el servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo y el desarrollo de la energía eólica en la Región del Biobío y Ñuble, utilizando el modelo InVEST.

La metodología se estructuró en tres etapas: (i) evaluación del potencial técnico eólico mediante la integración de criterios técnicos, ambientales y territoriales; (ii) modelación del servicio ecosistémico de recreación y turismo con el módulo de InVEST, utilizando como proxy la tasa de visitas, a partir de fotografías georreferenciadas de Flickr y publicaciones de Twitter (actualmente conocido como X), correlacionada con atributos culturales del paisaje; y (iii) análisis espacial de la superposición entre ambas variables, generando una matriz de idoneidad para identificar zonas de mayor y menor trade-off.

Los resultados del siguiente estudio muestran que el 77,3 % del potencial eólico del área de estudio se concentra en la región del Biobío, mientras que las zonas con mayor actividad recreativa se ubican principalmente cerca de centros urbanos y corredores costeros en ambas regiones. El análisis permitió identificar áreas altamente idóneas para el desarrollo eólico con baja presión cultural, así como sectores con alta superposición entre ambos servicios, lo que indica la necesidad de incluir consideraciones socioculturales en los procesos de planificación energética.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el análisis del potencial eólico, realizado en base a una tecnología específica (aerogenerador VESTAS V117), lo cual restringe la generalización de los resultados. Por otro lado, la dependencia del modelo de publicaciones de redes sociales, pueden subestimar o sobreestimar la actividad recreativa real, especialmente en sectores rurales con baja conectividad digital. Además, es importante considerar que los

usuarios de Flickr y Twitter no representan necesariamente a la totalidad de los visitantes, lo que podría introducir sesgos en las estimaciones.

Para abordar estas limitaciones, se sugiere evaluar el potencial eólico incorporando diferentes tecnologías y escenarios técnicos, con el fin de ajustar los resultados a contextos locales más específicos y realizar una validación territorial de la tasa de visita mediante metodologías complementarias como encuestas, entrevistas y valoraciones de expertos. Asimismo, se sugiere complementar los datos entregados por InVEST sobre la tasa de visita con otros métodos de evaluación, como entrevistas, encuestas o valoraciones de expertos, que permitan validar y robustecer la información obtenida.

1. Introducción

En el contexto actual de crisis climática y transición energética, el impulso de las energías renovables se ha convertido en una prioridad a nivel global (REN21, 2025). Particularmente, la energía eólica ha adquirido un rol relevante por su bajo impacto en emisiones y su capacidad de generación sostenible. No obstante, la implementación de estos proyectos conlleva desafíos significativos, especialmente en términos de ordenamiento territorial y conservación de los Servicios Ecosistémicos (SS.EE.), en particular aquellos de carácter cultural como la recreación y el turismo. Estos servicios ecosistémicos culturales no solo generan beneficios económicos a través del turismo, sino que también fortalecen el bienestar humano, la identidad local y el sentido de pertenencia de las comunidades. Sin embargo, su fragilidad frente a intervenciones territoriales como la instalación de infraestructura energética evidencia una tensión creciente entre el desarrollo tecnológico y la conservación de valores culturales y ambientales.

En este escenario, Chile ha avanzado en la incorporación de energías renovables a su matriz energética, posicionándose como uno de los países líderes en América Latina en materia de sostenibilidad energética. Las regiones del Biobío y Ñuble se presentan como territorios estratégicos, dado su potencial técnico para la generación eólica (Miguel Vidal, 2024). Sin embargo, esta oportunidad debe ser abordada con una mirada integral, que considere los posibles conflictos derivados de la superposición entre áreas de valor cultural y zonas aptas para el desarrollo energético.

Para abordar esta problemática desde una perspectiva ecosistémica cultural, se requiere del uso de técnicas y herramientas que permitan identificar, cuantificar y representar espacialmente los

beneficios no materiales que las personas obtienen de la naturaleza. En ese sentido, los métodos de evaluación de servicios ecosistémicos culturales se han diversificado en los últimos años, incluyendo enfoques biofísicos, monetarios y no monetarios, tales como encuestas, entrevistas, mapeo participativo y análisis con sistemas de información geográfica (SIG). Particularmente, el modelo de Recreación y Turismo de InVEST se ha consolidado como una herramienta eficaz para estimar la demanda recreativa y valorar el uso cultural del paisaje, ya que permite utilizar datos de acceso abierto como publicaciones georreferenciadas en redes sociales para generar mapas de tasa de visita, así como identificar los factores que explican la distribución espacial del uso recreativo (Donahue et al., 2018). Su capacidad para modelar escenarios y facilitar la toma de decisiones espaciales lo convierte en un instrumento clave para el análisis de trade-off entre la conservación de los servicios ecosistémicos culturales y el desarrollo energético.

Los antecedentes abordados en este documento permiten comprender el marco conceptual y territorial en el que se inserta esta problemática. Se revisa la evolución y clasificación de los servicios ecosistémicos (SS.EE.), las políticas energéticas nacionales, el desarrollo específico de la energía eólica en el país y la relevancia de los servicios ecosistémicos culturales en el contexto local. Asimismo, se presentan diversos métodos y herramientas utilizados para evaluar estos servicios, destacando en particular el modelo InVEST, aplicado específicamente para el análisis del servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo.

Los conflictos pueden ser entendidos como “situaciones en las que hechos concretos son vistos e interpretados de forma disímil y contrapuesta por diferentes grupos y sectores de la sociedad, que adoptan acciones según esas visiones e interpretaciones” (Reboratti, 2019). Un conflicto socioambiental se origina no solo por el impacto negativo que genera un actor sobre otro, sino cuando el otro actor toma conciencia del daño ambiental y está dispuesto a actuar en consecuencia, protegiendo el medioambiente afectado (Folchi Donoso, 2001). De este modo, los conflictos socioambientales se despliegan cuando la comunidad local se organiza para resistir las externalidades negativas de los grandes proyectos productivos, inmobiliarios o de infraestructura, pues dichas externalidades tensionan la estabilidad histórica que ha forjado una comunidad con su hábitat (Aliste & Stamm, 2016; Folchi Donoso, 2001). Por lo que en este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las zonas con menor y mayor conflicto entre el servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo y el desarrollo energético eólico en la región del Biobío y Ñuble.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el trade-off entre el servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo y el desarrollo de la energía eólica en la Región del Biobío y Ñuble, utilizando el modelo InVEST.

2.2. Objetivos Específicos

1. Describir el área de estudio y evaluar su potencial eólico.
2. Evaluar el servicio ecosistémico de recreación y turismo en el área de estudio a través de la herramienta InVEST.
3. Realizar un análisis espacial del trade-off entre los servicios ecosistémicos culturales y el desarrollo energético eólico en las regiones del Biobío y Ñuble.

3. Antecedentes

3.1. Servicios ecosistémicos

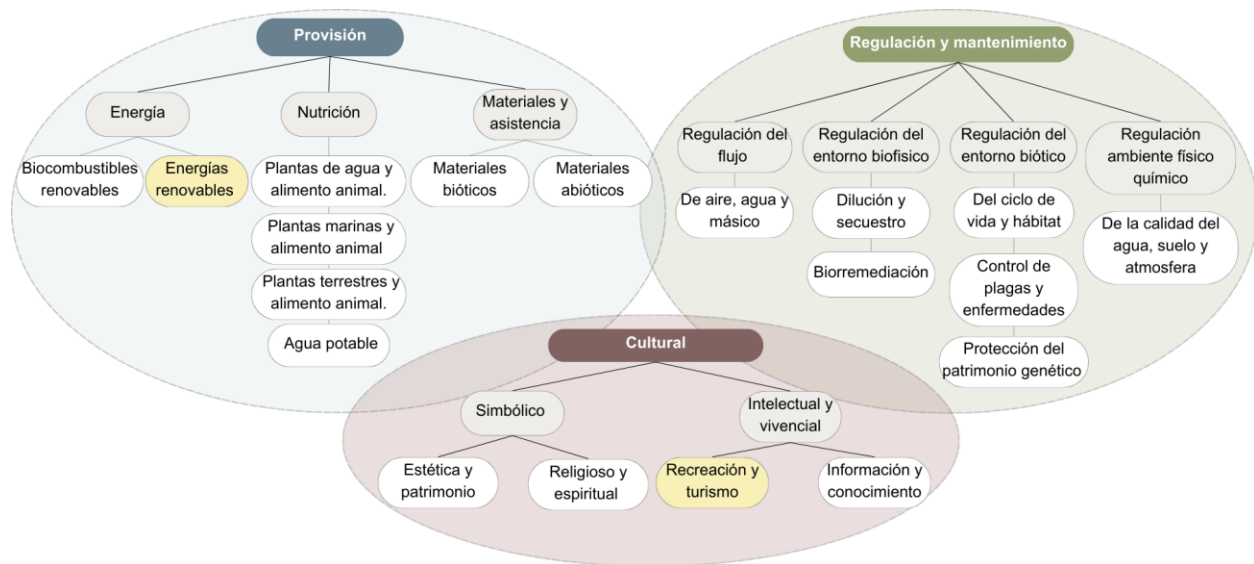
Los servicios ecosistémicos (SS.EE.), propuestos inicialmente por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), se definieron como los "beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas" (MEA, 2005). y generalmente se clasifican en servicios de provisión, servicios de regulación, servicios de apoyo y servicios culturales. Como vínculo entre los ecosistemas humanos y naturales, los SS.EE. son indispensables en el desarrollo de la sociedad humana (Fang, 2025). Otras formas de clasificación común para los servicios ecosistémicos han sido propuestas en (CICES, 2025; IPBES, 2019; TEEB, 2010), la última en continua y permanente actualización. Por lo tanto, se recomienda para los trabajos sobre SS.EE. considerar como referencia la clasificación trabajada por CICES, no sólo porque representa el estado del arte en la materia, sino también porque entrega al país la opción de participar en su elaboración y discusión (MMA, 2014). El sistema de clasificación CICES proporciona un marco estructurado para identificar y categorizar los diferentes servicios que los ecosistemas ofrecen a la humanidad.

A diferencia de otros métodos de clasificación, CICES utiliza tres categorías (ver Figura 1), ya que considera que los servicios ecosistémicos de soporte deben ser tratados como parte de las estructuras, procesos y funciones subyacentes que caracterizan las estructuras de acuerdo al modelo cascada (Haines-Young & Potschin-Young, 2018). en otras palabras se entiende que los servicios de soporte son una base o un componente dentro de las funciones de regulación y provisión, en lugar de ser una categoría independiente.

Las tres categorías de clasificación de acuerdo con CICES son: de provisión, productos obtenidos de la naturaleza para su consumo o utilización ya sea de manera directa o previo procesado; regulación y mantenimiento, procesos ecológicos que mejoran o hacen posible nuestra vida y son esenciales para mantener un entorno equilibrado y; cultural, que son los valores o beneficios no materiales que se obtienen de la naturaleza proporcionando identidad y sentido de pertenencia.

Figura 1.

Clasificación de los Servicios Ecosistémicos CICES V5.1/2018.



Nota: Elaborado a partir de (Haines-Young & Potschin-Young, 2018).

Dentro de los servicios ecosistémicos culturales, la recreación y el turismo son fundamentales no solo por sus beneficios económicos, sino también por su capacidad para promover el bienestar humano y la conciencia ambiental (MEA, 2005; UNEP, 2019). La recreación al aire libre en áreas naturales, como parques nacionales, montañas o costas, ofrece espacios de relajación y contacto directo con la naturaleza, lo que favorece la salud mental y física de las personas. Por otro lado, en la categoría de provisión se incluyen las energías renovables, como la solar, eólica e hidroeléctrica, que son recursos naturales que, al ser utilizados, contribuyen a la generación de energías limpias. Estas fuentes no solo satisfacen las necesidades energéticas de las sociedades, sino que también ayudan a reducir el impacto ambiental, promoviendo la conservación de los ecosistemas y el mantenimiento de otros servicios naturales, en este contexto, el papel de las energías renovables adquiere una relevancia aún mayor cuando se consideran los desafíos ambientales actuales, particularmente en relación con el cambio climático (IPCC, 2014).

3.2. Desarrollo energético renovable

El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera está comprometiendo la capacidad de los ecosistemas para absorber carbono, lo que genera una urgente necesidad de reducir dichas emisiones. Una de las principales alternativas para enfrentar este desafío es el reemplazo de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, tales

como la eólica, hidroeléctrica y solar. Estas fuentes no solo son clave para mitigar el cambio climático, dada la reducción de las emisiones de carbono, sino que también ofrecen beneficios adicionales, como la mejora en la salud pública por la disminución de la contaminación, la creación de nuevas oportunidades de inversión en tecnologías verdes, el incremento en la conservación de recursos naturales y el impulso a un desarrollo económico y social sostenible (IPCC, 2011).

En este contexto, la COP28 sobre el cambio climático ha hecho un llamado a todas las partes para implementar acciones concretas que permitan triplicar la capacidad mundial de energía renovable y duplicar los avances en eficiencia energética para 2050. Estas medidas se inscriben dentro de objetivos más amplios que incluyen la reducción de emisiones de GEI en todos los sectores económicos y categorías, en línea con el límite de 1,5 °C establecido en los planes nacionales de acción climática previstos para 2025. Alcanzar la neutralidad de carbono en 2050, mediante la eliminación y reducción de emisiones de GEI, es una meta central. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el sector energético mundial representa el 73 % de las emisiones anuales de GEI y cerca del 90 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), por lo que reducir estas emisiones es crítico para cumplir con los compromisos internacionales (Naciones Unidas, 2024).

3.3. Energías renovables en Chile

En Chile, el interés por desarrollar proyectos de energía renovable ha crecido significativamente en los últimos años, impulsando reformas regulatorias y promoviendo incentivos para la inversión. Este esfuerzo ha posicionado al país en el puesto 14 a nivel mundial en 2024 como uno de los destinos más atractivos para la inversión en energías renovables (Ernst & Young Global, 2024). Desde la promulgación de la Ley 20.257 en 2008, conocida como la “Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energías renovables no convencionales”, se han consolidado fuentes como la eólica, la hidroeléctrica de pequeña escala (hasta 20 MW) y la solar dentro del marco de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Cabe destacar que esta ley estableció la obligación para las empresas eléctricas que venden energía a clientes finales de inyectar un porcentaje mínimo de ERNC, comenzando con un 10% y aumentando progresivamente, a través de la Ley 20.698 de 2013, hasta alcanzar un 20% en 2025.

En línea con estos compromisos, en Chile se han definido metas ambiciosas para avanzar hacia la neutralidad de carbono. Una de ellas es lograr que el 70 % de la matriz energética provenga

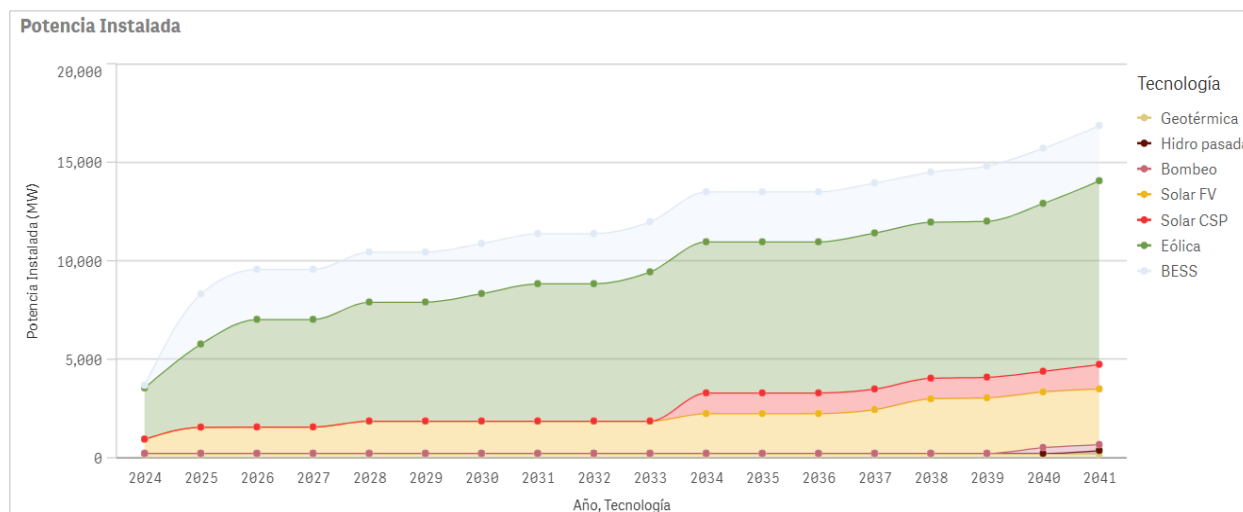
de fuentes renovables para 2030, meta que se sustenta en una política energética que actúa como marco de referencia para guiar la transición. Dentro de esta estrategia, se contemplan medidas concretas como el cierre gradual de centrales térmicas, asegurando así una transición hacia un sistema energético más sostenible.

Al cierre de marzo de 2025, la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional (potencia máxima bruta) alcanzó los 37.394,9 MW, incluyendo 1.720,0 MW correspondientes a proyectos en proceso de puesta en servicio. De este total, el 33,8% proviene de centrales termoeléctricas, el 30,9% de plantas solares, el 20,2% de centrales hidroeléctricas y el 14,8% de parques eólicos (CEN, 2025a).

Asimismo, se proyecta que la capacidad instalada de energías renovables aumente en un 70% hacia el año 2040, impulsada por nuevos desarrollos tecnológicos y condiciones favorables para la inversión (ver Figura 2). Si se aprovechara completamente el potencial renovable del país, la capacidad instalada podría superar los 1.800 GW. En particular, el potencial técnico estimado en Chile es de 1.180 GW para energía solar fotovoltaica, 191 GW para energía eólica terrestre, 509 GW para energía solar térmica y 6 GW para energía mareomotriz.

Figura 2.

Proyección de potencia instalada de energías renovables en la matriz nacional al año 2040.



Fuente: CEN, 2025b.

Esta evolución refleja el compromiso y el interés en avanzar hacia un modelo energético más sostenible, evidenciando la capacidad de integrar energías renovables en la matriz energética. Este progreso ha sido impulsado, en gran medida, por políticas y regulaciones favorables, pero sobre todo por las significativas reducciones en los costos de las tecnologías solares y eólicas

(UANDES, 2025). No obstante, el aumento en la generación de energía renovable presenta desafíos importantes para la estabilidad del sistema eléctrico, principalmente debido a su naturaleza variable y su dependencia de las condiciones climáticas. Entre los principales retos destacan, por un lado, la intermitencia en la generación, que exige inversiones en tecnologías de almacenamiento para equilibrar la oferta y la demanda; y, por otro lado, la insuficiencia de infraestructura adecuada, lo que dificulta la integración eficiente de la energía renovable en los sistemas territoriales existentes (Ovalle, 2025).

Con respecto a los conflictos que pueden generarse, la expansión de los proyectos desencadena impactos negativos en los servicios ecosistémicos y genera conflictos por el uso del suelo, como señalan Jackson (2011) y Wu (2023). Esto incluye la degradación de hábitats naturales, la alteración de ecosistemas, la afectación de la biodiversidad y el deterioro de servicios esenciales como la regulación climática y la purificación del agua. En este contexto, la instalación de infraestructuras como por ejemplo los parques solares y eólicos no solo intensifica las tensiones por el uso del suelo, sino que también genera oposición local debido a preocupaciones sobre los impactos negativos en el entorno, lo que puede dificultar la aceptación social de los proyectos y aumentar su probabilidad de fracaso (Enevoldsen & Sovacool, 2016).

3.4. Desarrollo energético eólico en Chile

La energía eólica se ha consolidado como una de las principales alternativas para abordar los desafíos del cambio climático y avanzar hacia una matriz energética más limpia y sostenible. En la actualidad, la energía proveniente de fuente eólica representa un 14,8% de la capacidad instalada total del Sistema Eléctrico Nacional, dentro del conjunto de energías renovables (CEN, 2025a). Su relevancia radica en la capacidad de transformar la fuerza del viento, un recurso inagotable y gratuito, en electricidad, posicionándose como una opción estratégica para garantizar un suministro energético sostenible a largo plazo.

La generación de energía eólica se lleva a cabo mediante la instalación de parques eólicos, que pueden ubicarse tanto en tierra (On-shore) como en alta mar (Off-shore). Estos proyectos requieren una considerable extensión territorial para la instalación de aerogeneradores distribuidos estratégicamente, sin embargo, ofrecen un alto rendimiento energético y un impacto ambiental menor que las fuentes convencionales, por lo que la energía eólica es considerada una tecnología segura y eficiente, con un papel clave en la transición energética global.

Entre las ventajas de esta tecnología destaca su carácter limpio, ya que no depende de procesos de combustión y, por tanto, no genera emisiones directas de GEI. Según la Agencia de Protección

Ambiental de Estados Unidos (Mint for People, 2022), la energía eólica puede llegar a emitir hasta cinco veces menos GEI que otras fuentes renovables a lo largo de su ciclo de vida y su eficiencia promedio se sitúa entre el 40% y el 50%, acercándose al máximo teórico, que, según la ley de Betz es del 59% (Enel Green Power, 2020). Sin embargo, la implementación de la energía eólica también presenta ciertos desafíos, como su intermitencia y variabilidad, el requerimiento de grandes extensiones de terreno y la alteración del paisaje. En cuanto a los impactos ambientales, uno de los principales efectos sobre la fauna es la colisión de aves y murciélagos (avifauna y quirópteros) con las aspas de los aerogeneradores. Por otro lado, en las comunidades cercanas, pueden generarse molestias asociadas al efecto sombra, el ruido de las turbinas y cambios en la calidad del entorno, lo que puede afectar su calidad de vida (García Bernal, 2021).

3.5. Desarrollo eólico en la región de Ñuble y Biobío

Las regiones de Ñuble y Biobío poseen un gran potencial para el desarrollo de la energía eólica, reflejando su relevancia en el panorama energético nacional debido a la creciente incorporación de proyectos. La región del Biobío cuenta con un potencial técnico eólico de 12.317,75 MW, de los cuales 620 MW corresponden a su capacidad instalada correspondiente a 19 parques eólicos. Además, existen 1.300 MW en proyectos actualmente en evaluación ambiental (Generadoras de Chile, 2025).

Por su parte, la región de Ñuble cuenta con un potencial técnico de 1.704,85 MW, que si bien hasta la fecha no posee capacidad instalada eólica hay una capacidad de 525 MW en proyectos que se encuentran en evaluación ambiental (Generadoras de Chile, 2025), lo que sugiere un inicio de integración de esta tecnología en su matriz energética. Estas cifras reflejan el importante papel que ambas regiones podrían desempeñar en el desarrollo de la energía eólica en el país, destacando el potencial de Biobío como líder en implementación y además proyectar a la región de Ñuble como un nuevo polo de desarrollo energético del país, los cuales permitirán otorgar la potencia disponible necesaria para las demandas actuales.

3.6. Servicios ecosistémicos culturales

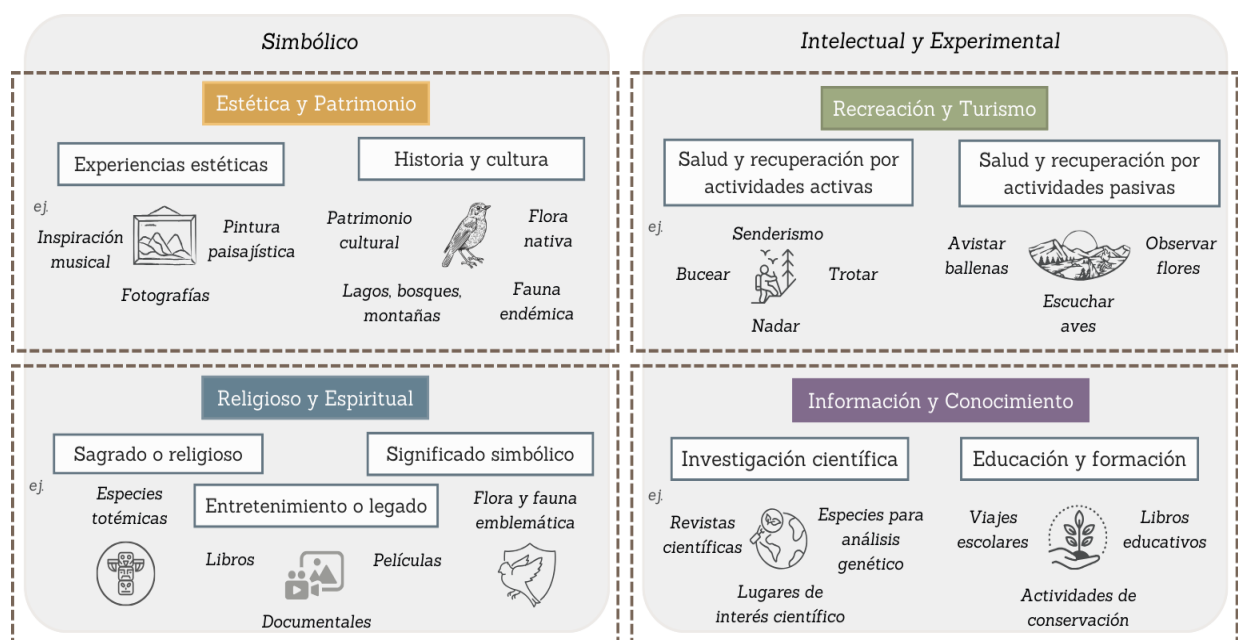
Los Servicios Ecosistémicos Culturales (SEC) se definen como "los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas" (MEA, 2005), e influyen directamente en la calidad de vida (Plieninger et al., 2013). Los SEC están estrechamente interconectados con la salud física y mental humana, la percepción y el significado de los paisajes

y la naturaleza en general, incluidas las emociones, las identidades y el sentido de pertenencia (Chen & Fengzhi, 2019) por lo que la incorporación de la investigación de SEC en la formulación de políticas y la toma de decisiones es prometedora, sin embargo sigue siendo un desafío por su definición de intangibilidad (Gould et al., 2019; Plieninger et al., 2013).

Dentro de la clasificación de los SEC (ver Figura 3), se incluyen categorías como la estética y el patrimonio, vinculadas a la percepción de la naturaleza a través de la pintura paisajística, la inspiración musical y los elementos patrimoniales otorgados por la naturaleza, como la flora nativa y la fauna endémica, religiosa y espiritual; relacionada con elementos que poseen un significado sagrado, simbólico o de entretenimiento, como especies totémicas, flora y fauna con fines emblemáticos, así como películas y documentales, información y conocimiento; abarcando actividades relacionadas con la investigación científica o aquellas que brindan oportunidades de educación y formación, finalmente, uno de los aspectos más susceptibles de evaluación y valoración es el recreación y turismo, que en el contexto de los SEC se refiere a una amplia gama de actividades públicas y locales, basadas en la naturaleza y en la recreación al aire libre, desempeñando un papel importante en el bienestar y la salud humana (Maes et al., 2012) y que con frecuencia generan altos ingresos para la economía global (Costanza et al., 2014; Groot et al., 2010).

Figura 3.

Clasificación de SEC por CICES V5.1/2018.



Nota: Elaborado a partir de Haines-Young & Potschin-Young, 2018.

3.7. Métodos y herramienta para evaluar SEC

Los investigadores han reconocido una variedad cada vez más amplia de métodos de evaluación, destacando tanto sus ventajas como sus limitaciones para identificar y/o cuantificar los SEC (Cheng et al., 2019; Hirons et al., 2016; Hølleland et al., 2017) con el objetivo de alcanzar una mejor adopción de políticas y toma de decisiones. TEEB (2010) clasificó estos métodos de evaluación en métodos biofísicos y métodos basados en preferencias. Christie et al. (2012) dividieron los métodos basados en preferencias en métodos monetarios y métodos no monetarios.

Finalmente, Hirons et al. (2016) y Kumar (2012) clasificaron sucintamente todos los métodos en métodos monetarios y métodos no monetarios (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Métodos de evaluación de los servicios ecosistémicos culturales.

Tipo	Métodos Monetarios	Métodos No Monetarios
	Clasificación	
Preferencia Revelada	<ul style="list-style-type: none"> • Precio de mercado • Costo de viaje • Precios hedónicos • Beneficio / Transferencia de valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Documento • Basado en redes sociales
Preferencia Declarada	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración deliberativa • Valoración contingente • Experimento de elección 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista • Cuestionario • Narrativa • Grupo de discusión • Basado en experto • Método Q • Mapeo participativo • SIG participativo • Participación pública SIG • Simulación de escenarios

Nota: Elaborado a partir de Cheng et al., (2019).

De acuerdo con estos diferentes métodos, solo una sexta parte de los artículos científicos publicados de SEC hacen uso del marco de SS.EE. (Picchi et al., 2019). Cheng et al., (2019), resaltan la importancia de combinar métodos para lograr una evaluación más efectiva de los SEC. Además de integrar tanto métodos monetarios como no monetarios, centrándose en las

interacciones entre estos. Dentro de los métodos más utilizados, se encuentran principalmente las encuestas, método basado en expertos, transferencia de valor, el uso de sistemas de información geográfica SIG y modelación de escenarios. Estos estudios se concentran desde el año 2010 hasta 2024, abarcando como eje los diferentes servicios ecosistémicos culturales (ver Tabla 2).

Tabla 2.

Métodos utilizados en el análisis de los servicios ecosistémicos culturales.

SEC estudiado	Autores	Métodos
Estética y Patrimonio	Gee & Burkhard, 2010.	Cuestionario
	Necefer et al., 2018.	Valoración económica
	Martínez-Martínez et al., 2022.	Encuestas
	Aziz, 2023.	Basado en expertos
	Baulaz et al., 2023a.	Transferencia de valor
Religioso y Espiritual	Gee & Burkhard, 2010.	Cuestionario
	Necefer et al., 2018.	Entrevistas estructuradas
	Cordoves-Sánchez & Vallejos-Romero, 2019.	SIG
	Vlami et al., 2020.	Basado en expertos
	Martínez-Martínez et al., 2022.	Transferencia de valor
Recreación y Turismo	Aziz, 2023.	Revisión literatura
	Necefer et al., 2018.	Encuestas
	Cunha et al., 2018.	Entrevistas
	Cordoves-Sánchez & Vallejos-Romero, 2019.	Valoración económica
	Vlami et al., 2020.	Basado en expertos
	Zhao et al., 2021.	Transferencia de valor
	Aziz, 2023.	SIG
Tussadiah et al., 2021.	Modelación	

SEC estudiado	Autores	Métodos
Información y Conocimiento	Vlami et al., 2020.	SIG
	Martínez-Martínez et al., 2022.	Basado en expertos
	Aziz, 2023.	Transferencia de valor

En particular para recreación y turismo existen diversos métodos comúnmente utilizados como las encuestas, basado en expertos y modelación espacial, para este último una de las herramientas más reconocidas en este ámbito es el uso InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs), desarrollada por The Natural Capital Project (www.naturalcapitalproject.org). InVEST es una plataforma flexible que incluye una serie de modelos informáticos con base científica, diseñados para mapear y cuantificar el valor de los servicios ecosistémicos. Estos modelos requieren relativamente pocos datos de entrada y entregan resultados tanto en términos biofísicos como en valor monetario y no monetario (Guerry et al., 2012). Entre algunos servicios que pueden modelar, además de recreación y turismo, se encuentran el rendimiento hídrico, la producción agrícola, la calidad del hábitat, la regulación de nutrientes, etc. InVEST se ha utilizado en diversos estudios dirigidos a los SS.EE. a través en la última década (Benitez-Capistros et al., 2014; Chung et al., 2015; Kareiva et al., 2011; Sharp et al., 2018) como herramienta en la gestión y toma de decisiones fiables, proporcionando resultados espacialmente explícitos y cuantificados de los SS.EE., adecuados para su amplia comprensión (Sharp et al., 2018).

3.8. InVEST como herramienta para evaluar recreación y turismo.

El modelo de Recreación y turismo desarrollado por InVEST está diseñado para predecir la distribución espacial de la actividad recreativa en paisajes naturales. Este modelo utiliza datos de fuentes como fotografías geolocalizadas en Flickr y tuits, que sirven como indicadores proxy de la frecuencia de visitas a diferentes sitios. A partir de estos datos, se aplica una regresión lineal para relacionar las tasas de visita con variables ambientales y de infraestructura, tales como la cobertura del suelo, accesibilidad y proximidad a caminos o servicios. Este enfoque permite generar mapas que reflejan la tasa relativa de visitas en distintas áreas, tanto en condiciones actuales como bajo escenarios futuros que consideren modificaciones en el uso del suelo o cambios en la infraestructura. Así, el modelo contribuye a comprender cómo las características del entorno natural y construido influyen en las decisiones de las personas respecto a dónde recrearse (Sharp et al., 2018).

Entre las principales preguntas que responde el modelo se encuentran: ¿Cuáles son las tasas de visita relativas en un paisaje o conjunto de sitios? ¿Qué factores ambientales o infraestructurales explican el patrón espacial de esas visitas y en qué medida? y ¿Cómo se modificarían las tasas de visita ante cambios en el patrón espacial de los elementos naturales o construidos?.

3.9. Trade-off entre desarrollo energético eólico y servicios ecosistémicos culturales

El término trade-off en el contexto de SS.EE. se define como situaciones en las que "La provisión de un SS.EE. se reduce como consecuencia de un mayor uso de otro" (Rodríguez et al., 2006). Este análisis representa una herramienta prometedora para estudiar la relación entre energías renovables y elementos que afectan directamente en los SEC como por ejemplo el paisaje en el caso de recreación y turismo. De acuerdo con Turkelboom et al. (2018), es importante tomar el término trade-off desde una perspectiva de planificación, como la elección entre diferentes opciones de uso y gestión de la tierra o escenarios de paisaje, con las partes interesadas en el centro del análisis del trade-off de SS.EE. En este contexto Hastik et al., (2015) destacaron que la competencia por el uso de la tierra, la aceptación social y los trade-offs con la conservación de la biodiversidad son temas controvertidos con respecto a la expansión de las energías renovables.

En el caso de los SEC los paisajes que inspiran el arte, el conocimiento, los espacios para la recreación o los sitios sagrados para las comunidades están profundamente influenciados por una variedad de elementos. Entre ellos, las características ecológicas, el tipo de cobertura del suelo, la diversidad y estado de la vegetación, las actividades socioeconómicas y las condiciones climáticas locales. Esta variabilidad hace que cada ecosistema brinde SEC únicos y específicos. Cuando definimos y evaluamos estos servicios, es fundamental reconocer que no existe una fórmula universal aplicable a todos los contextos. La manera en que las personas experimentan y valoran los SEC depende de las condiciones locales (Balzan, 2021). Por ejemplo, un bosque tropical puede ofrecer servicios recreativos y espirituales diferentes a los de un paisaje desértico, debido a su biodiversidad, clima y la interacción con las comunidades locales. Así, las decisiones sobre el manejo y conservación de los ecosistemas deben tener en cuenta las particularidades de cada lugar. Los impactos asociados a la gestión de los SEC no serán iguales en todas partes, sino que cambiarán según las condiciones del entorno. De esta forma, comprender y valorar los SEC requiere una aproximación contextualizada y sensible a las especificidades locales.

De acuerdo con lo anterior, algunos estudios explican que los principales conflictos asociados a la energía eólica se deben principalmente a la gran intervención del territorio, lo que afecta la calidad de vida de la población que habita en las zonas cercanas a los proyectos eólicos (Aziz, 2023; Baulaz et al., 2023b; Cordoves-Sánchez & Vallejos-Romero, 2019; Martínez-Martínez et al., 2022). Estos problemas suelen originarse desde las propias comunidades, quienes identifican la cercanía de los proyectos como un factor conflictivo, sumado a la complejidad que implica caracterizar adecuadamente sus impactos para evaluar el cumplimiento de la normativa vigente. Además, se identifican impactos adicionales tales como la obstrucción o restricción a la libre circulación y conectividad, lo que puede traducirse en aumentos en los tiempos de desplazamiento.

También se observa una modificación de atributos estéticos, intrusión visual y artificialidad en el paisaje, lo cual puede afectar negativamente el valor turístico de las zonas intervenidas. Estos impactos se relacionan directamente con el SEC de Estética y Patrimonio, específicamente con las experiencias estéticas y el patrimonio cultural, al alterar la percepción del paisaje y reducir su atractivo visual (Bernal, 2021). Además, efectos como el ruido generado por los aerogeneradores, la sombra intermitente (shadow flicker) y otras alteraciones físicas pueden afectar la experiencia tanto de residentes como de turistas, comprometiendo el SEC de Recreación y Turismo, que considera la salud y recuperación mediante actividades tanto activas como pasivas.

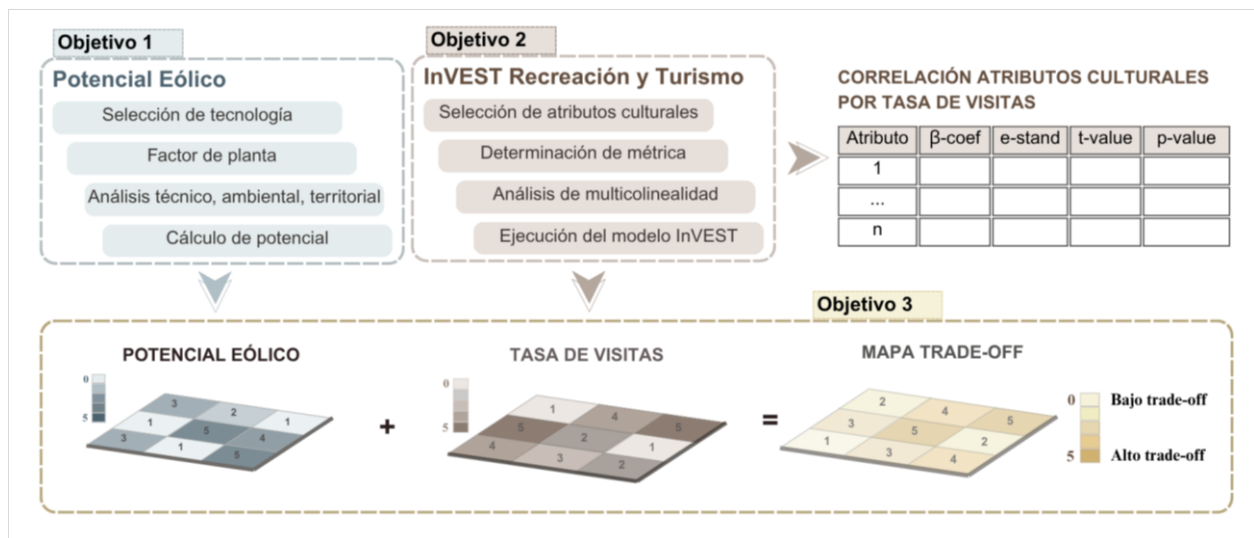
Estos fenómenos no solo pueden provocar incomodidad visual y estrés, sino que también inciden en el SEC Religioso y Espiritual, ya que afectan la expresión cultural, los lazos comunitarios, el sentimiento de arraigo y los significados simbólicos ligados al territorio. Finalmente, la posibilidad de alteración o destrucción de monumentos arqueológicos y sitios de valor antropológico, arqueológico e histórico representa un riesgo directo para la conservación del patrimonio, afectando de manera significativa el SEC de Información y Conocimiento, en su dimensión de educación, formación e investigación científica (Bernal, 2021).

4. Metodología

En este apartado se detallan los procedimientos metodológicos aplicados y los resultados esperados para cada uno de los objetivos planteados en la sección 2.2. El propósito es desarrollar un análisis de trade-off entre el potencial eólico y el servicio ecosistémico cultural asociado a la recreación y el turismo. Además, se analiza la relación entre ciertos atributos culturales del territorio y la tasa de visitas, con el objetivo de identificar patrones relevantes que permitan caracterizar el SEC de recreación y turismo.

Figura 4.

Metodología por objetivo y sus principales resultados esperados.



4.1. Describir el área de estudio en función de su potencial eólico.

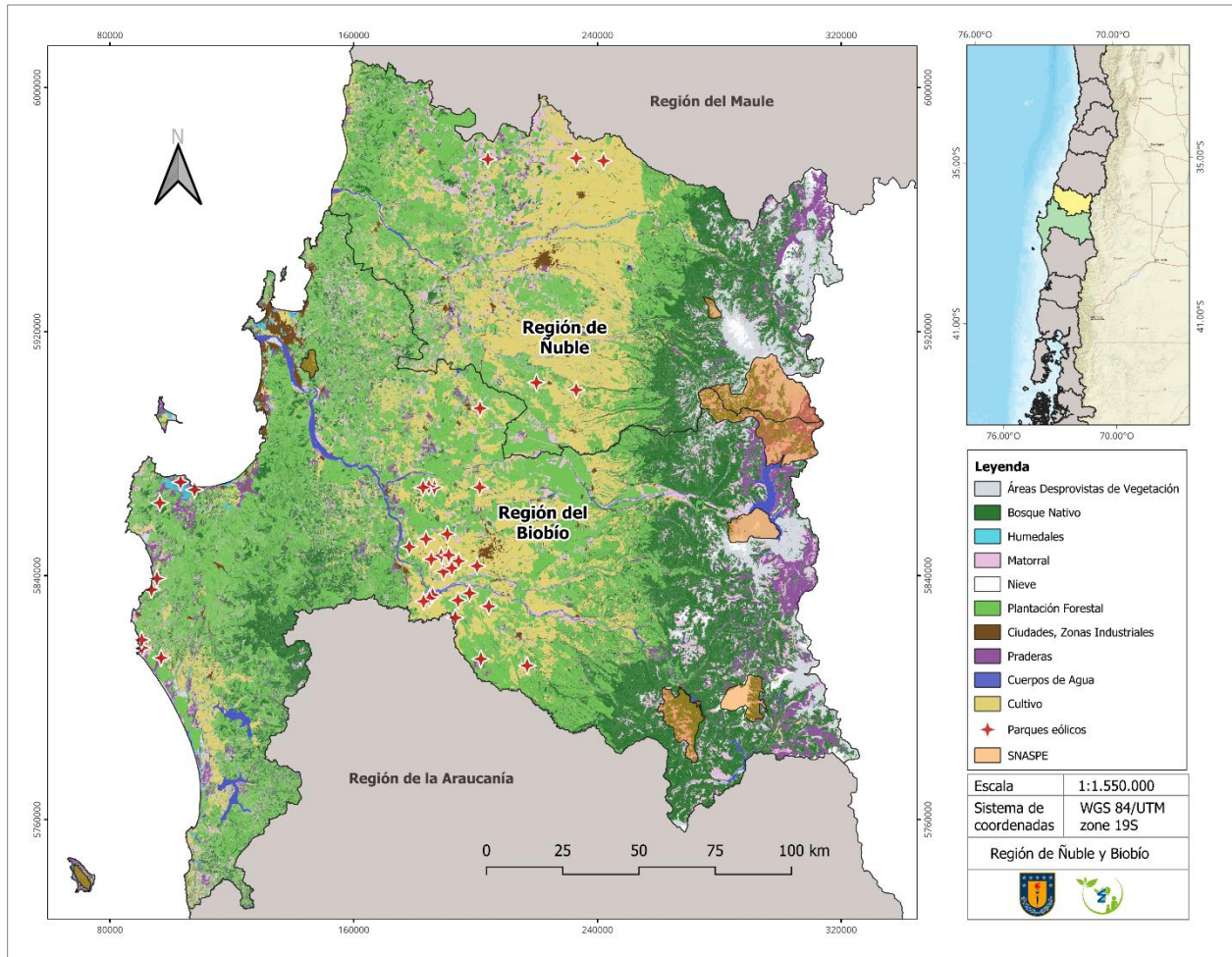
El área de estudio comprende las regiones de Ñuble y Biobío, ubicadas en la zona centro-sur de Chile. La Región del Biobío se extiende entre las latitudes 36°00' y 38°30' S, y posee una superficie aproximada de 23.890 km². Limita al norte con la Región de Ñuble, al este con Argentina, al sur con la Región de La Araucanía y al oeste con el Océano Pacífico. Por su parte, la Región de Ñuble abarca una superficie de 13.178 km² y se encuentra ubicada entre las latitudes 35°00' y 36°30' S. Limita al norte con la Región del Maule, al este con Argentina, al sur con la Región del Biobío y al oeste con el Océano Pacífico (ver Figura 5).

Ambas regiones presentan una diversidad de unidades geomorfológicas que incluyen planicies litorales, la depresión intermedia y sectores de la cordillera de los Andes. Los usos de suelo en estas regiones son variados e incluyen actividades agrícolas, forestales, asentamientos urbanos,

cuerpos de agua, zonas de alta montaña con presencia de glaciares y áreas naturales protegidas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

Figura 5.

Área de estudio.



Nota. Elaborado a partir de IDE MINAGRI, 2015.

La caracterización geográfica territorial previa descrita permite avanzar hacia una estimación técnica del potencial eólico en el área de estudio. Esta estimación se basa en una metodología que integra criterios tecnológicos, ambientales y territoriales, con el objetivo de identificar zonas factibles para el desarrollo de proyectos eólicos contemplando la exclusión sistemática de áreas no aptas, lo que permite generar una capa geoespacial que representa las áreas con potencial aprovechable del recurso eólico de acuerdo con una tecnología predeterminada. Por lo que esta metodología se estructura en cuatro etapas principales: (1) selección de tecnología, (2) obtención

del factor de planta, (3) análisis técnico, territorial y ambiental, y por último (4) cálculo de potencial eólico en MW.

4.1.1. Selección de tecnología

La selección de tecnología consiste en la identificación de un modelo de aerogenerador representativo que sea adecuado para las condiciones del área de estudio con el fin de optimizar la generación energética en función de las características específicas del sitio y garantizar la viabilidad técnica de los proyectos eólicos. Esta selección considera aspectos clave como la potencia nominal, entendida como la potencia desarrollada por el aerogenerador en el punto de máximo rendimiento, expresada en vatios (W) y la altura de buje, que corresponde a la distancia vertical desde el suelo hasta el centro del rotor, parámetro relevante para captar el recurso eólico que ronda entre los 50 a 120 metros. Para definir estos parámetros, se realizó una recopilación de información sobre parques eólicos en operación, en evaluación o aprobados en las regiones de Ñuble y Biobío por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) (SEA, 2025). Adicionalmente, se tomaron en cuenta estudios similares desarrollados en contextos internacionales comparables, como los realizados por Davidson et al. (2016), Feng et al. (2020), Liu et al. (2017), Sun et al. 2024) y, finalmente, se verificó la disponibilidad de los recursos entregados por el Explorador Eólico (Ministerio de Energía, 2015), plataforma del Ministerio de Energía de Chile, en donde es posible encontrar el factor de planta (principal factor de exclusión territorial) correspondiente a cada tecnología de aerogenerador.

4.1.2. Obtención y análisis del Factor de Planta.

La segunda etapa consiste en la incorporación del Factor de Planta (FP), definido como la relación entre la energía realmente generada en un periodo determinado y la energía que se generaría si la planta operara a plena capacidad durante ese mismo periodo en un año. Este valor varía entre 0 y 1, y se expresa como una proporción. El FP se descarga como un archivo ráster con resolución espacial de 1 km², disponible en el Explorador Eólico del Ministerio de Energía. Este FP es calculado a partir del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) correspondiente al año 2015, y se basa en la curva de potencia del aerogenerador VESTAS V177, con una potencia nominal de 3,3 MW. Para su estimación, se consideran los parques eólicos existentes y su factor de planta promedio anual, el cual es posteriormente interpolado para cubrir la zona de estudio.

Luego para definir el umbral mínimo de FP aceptable para el desarrollo eólico en el área de estudio, se realizó un catastro de los valores de FP (ver Anexo 3) asociados a proyectos eólicos ya existentes (Ministerio de Energía, 2014). A partir de estos datos, se calcularon los cuartiles estadísticos, con el fin de establecer un valor representativo que refleje el FP de la mayoría de los proyectos actuales. Este valor será utilizado posteriormente como umbral de exclusión en el análisis espacial, es decir, en las áreas con menor FP que el determinado serán excluidas del potencial eólico técnico factible en el área de estudio.

4.1.3. Análisis Técnico, Ambiental y Territorial

En esta etapa se integran una serie de criterios técnicos, ambientales y territoriales (Análisis TAT), aplicando restricciones para excluir aquellas zonas que no cumplen con las condiciones mínimas para el desarrollo de proyectos eólicos. Este análisis se lleva a cabo mediante herramientas de SIG, utilizando específicamente el programa QGIS 3.42.0 (ver Anexo 1).

Los factores considerados, junto con sus respectivos umbrales de exclusión, se detallan esta sección (ver Tabla 3), incluyendo su formato (ráster o vectorial) y la fuente de origen. Entre los principales factores se encuentran criterios espaciales en formato ráster como la elevación (excluyendo zonas sobre los 3.000 m.s.n.m.), la pendiente (excluyendo sectores con más de 15°), y el factor de planta (aplicando el umbral definido en la sección 5.1.2). En cuanto a criterios espaciales en formato shapefile, se aplican zonas de amortiguamiento (buffers) en torno a cuerpos de agua, glaciares, límites de instrumentos de ordenamiento territorial, red hidrográfica y red vial, mientras que se excluyen por presencia directa las áreas protegidas pertenecientes al SNASPE y las zonas con volcanes activos.

Como resultado, se obtiene una capa de polígonos que representa las áreas energéticas viables desde el punto de vista técnico, ambiental y territorial. Posteriormente, se calcula el área continua de cada polígono, estableciendo un umbral mínimo de 1 hectárea para considerar su factibilidad basada en el espacio mínimo ocupado por los proyectos existentes (Martínez-Martínez et al., 2023), finalmente, el resultado consiste en una capa geoespacial que identifica las áreas con potencial técnico, ambiental y territorial factible. A partir de estas áreas es posible calcular el potencial eólico en megavatios (MW), para cada polígono.

Tabla 3.*Factores técnicos, ambiental y territorial aplicados a la obtención de potencial eólico.*

Tipo	Factor	Umbral de exclusión	Formato	Fuente
Técnicos	Tecnología	3,3 MW	-	-
	Altura de buje	100 m	-	-
	Factor de planta	≤ 0.22	Ráster	Ministerio de Energía, 2015.
	Pendiente	> 15°	Ráster	EROS, 2017.
	Altitud	> 3.000 m.s.n.m.	Ráster	EROS, 2017.
	Densidad de potencia	30 ha/MW	-	Ministerio de Energía, 2021.
	Área mínima continua	1 ha	-	Martínez-Martínez et al., 2023.
Ambientales	SNASPE	Exclusión	Shapefile	IDE MBN, 2024 ^a .
	Cuerpos de agua	300 m	Shapefile	IDE MINAGRI, 2015.
	Glaciares	300 m	Shapefile	Líneas de Base Públicas, 2024.
	Volcanes activos	Exclusión	Shapefile	Líneas de Base Públicas, 2024.
Territoriales	Límite de instrumentos de O. territorial	1000 m	Shapefile	MINVU, 2025.
	Red hidrográfica	300 m	Shapefile	BCN, 2018.
	Red vial	60 m	Shapefile	BCN, 2018.

Nota: Elaborado a partir del Ministerio de energía, 2021.

4.1.4. Cálculo del potencial eólico

A partir de la capa obtenida mediante el análisis TAT, se procede a calcular el potencial eólico medido en MW del área de estudio aplicando una fórmula (ecuación 1) basada en la relación entre superficie disponible y densidad de potencia. La densidad de potencia se refiere a la cantidad de hectáreas necesarias para instalar un megavatio (MW) de capacidad eólica. De acuerdo con el informe de Identificación y Cuantificación de Potenciales de Energías Renovables del Ministerio de Energía (2021) se asume un valor estándar de 30 ha/MW.

Este cálculo final permite estimar el potencial técnica, ambiental y territorialmente factible, expresado en megavatios, considerando únicamente las áreas que resultan de todos los criterios de exclusión. El resultado es una capa geoespacial que representa el potencial eólico en ambas regiones correspondiente al área de estudio, acompañada de la estimación cuantitativa del recurso disponible en MW por polígono. Para la clasificación del potencial final eólico en MW

desde bajo, medio bajo, medio, medio alto y alto, se utilizó el método de *Rupturas de Jenks* divididas en 5 clases, las rupturas de clase se crean de manera que los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases (Esri, 2018).

$$\text{Potencial eólico (MW)} = \frac{\text{Área (ha)}}{\text{Densidad de potencia } \left(\frac{\text{ha}}{\text{MW}}\right)} \quad (\text{ecuación 1})$$

4.2. Evaluar el SEC de recreación y turismo en área de estudio a través de InVEST.

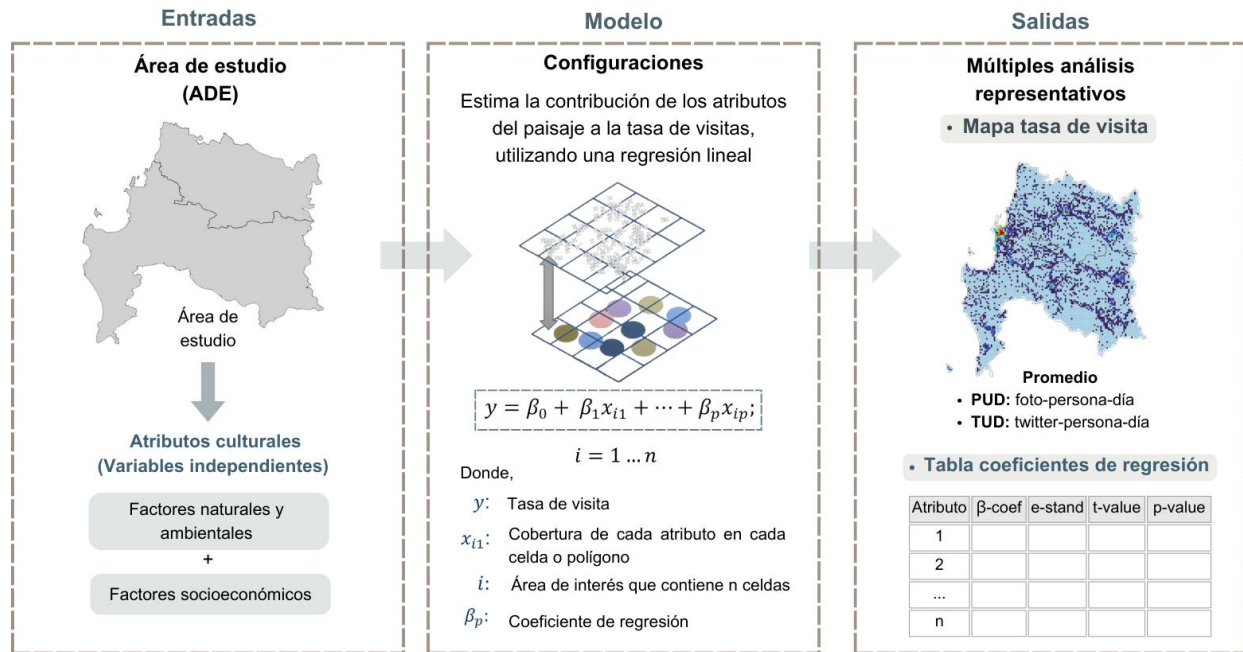
El modelo de recreación y turismo de InVEST estima la tasa de visitas de un área determinada a través del total de foto-persona-día (PUD), derivados de las fotografías subidas a Flickr (flickr.com), un sitio web para compartir imágenes, y del total de twitter-persona-día (TUD), derivados de los tuits compartidos en la plataforma de redes sociales Twitter (actualmente conocida como X). Una persona-día en una ubicación corresponde a una persona única que tomó al menos una fotografía o publicó un tuit en un día específico.

Para cada cuadrícula del área de estudio, el modelo resume espacialmente el número de fotografías y publicaciones registradas para todos los días entre 2012 y 2017 (o dentro del rango definido por el usuario) e informa como resultado el promedio anual y mensual total de PUD y TUD para cada año (PUD_YR_AVG y TUD_YR_AVG). El modelo permite seleccionar el tamaño y la forma de salida de la cuadrícula en la que se resumen los datos; en este caso, se optó por una grilla regular de 1 km², lo que permite un análisis espacial más detallado y coherente con la escala del estudio.

Además, el modelo permite identificar cómo factores naturales, ambientales y socioeconómicos del territorio, también denominados atributos culturales, se relacionan con la tasa de visitas. Esto se realiza mediante una regresión lineal simple, donde “y” representa la tasa de visita como variable dependiente y “x” representa la cobertura de cada atributo cultural como variables independientes. El modelo calcula los coeficientes de correlación para cada factor ingresado como variable de entrada, lo que permite evaluar la influencia relativa de elementos tales como monumentos nacionales, alojamientos turísticos, red vial o áreas protegidas sobre el comportamiento de la tasa de visita.

Figura 6.

Modelo de InVEST de Recreación y Turismo.



Nota: Elaborado a partir de NatCap, 2025.

4.2.1. Selección de atributos culturales.

En esta sección se seleccionaron atributos culturales que potencialmente influyen en las decisiones de las personas al momento de realizar actividades de recreación y turismo. Estos atributos fueron organizados en dos categorías (ver Tabla 4):

- **Factores naturales-ambientales:** incluyen variables como el uso de suelo, áreas protegidas, zonas de interés turístico (ZOIT), unidades del SNASPE, elevación, pendiente y presencia de senderos, todos los cuales representan componentes del territorio que pueden incidir en la percepción de atractivo o accesibilidad de un lugar.
- **Factores socioeconómicos:** consideran los factores socioeconómicos comprenden elementos relacionados con la infraestructura y la oferta turística, tales como alojamientos, destinos y atractivos turísticos, monumentos nacionales, rutas patrimoniales, la red vial, y la localización de parques eólicos, que pueden modificar la experiencia turística o facilitar el acceso a los sitios.

La elección de estos atributos se basó tanto en su relevancia potencial para explicar patrones de visita, como en la disponibilidad de datos en plataformas oficiales del país.

Tabla 4.*Atributos culturales para el modelo de recreación y turismo en InVEST.*

Factor	Atributo	Formato	Año	Fuente
Ambientales y naturales	Uso de suelo			IDE minagri, 2015.
	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque nativo - BNT • Cuerpos de agua - CDA • Ciudades pueblo - CPI • Nieve/glaciares - NGS • Terreno uso agrícola -TUA • Playas/dunas – PDS 	Polígono	2015	
	ZOIT - ZOITS	Polígono	2014	IDE, 2014.
	<ul style="list-style-type: none"> • San Fabian • Pinto • Saltos del Laja • Lago Lanalhue 			
	Áreas protegidas - APS	Polígono	2025	Líneas de Base Públicas, 2025.
	SNASPE - SNP	Polígono	2024	IDE MBN, 2024.
	Elevación - DEM	Ráster	2024	EROS Center, 2017.
	Pendiente - PEN	Ráster	2024	EROS Center, 2017.
	Senderos - SDR	Línea	2013	IDE, 2013.
	Socioeconómicos	Atractivos turísticos - ATS	Punto	2024
Red vial - RVL		Línea	2017	BCN, 2018.
Rutas patrimoniales - RPS		Línea		IDE MBN, 2024b.
Monumentos nacionales - MNS		Punto	2024	LBP Datos, 2024.
<ul style="list-style-type: none"> • Zona típica o pintoresca • Santuario de la naturaleza • Monumento histórico 				
Alojamiento turístico - AJT		Punto	2018	IDE, 2014b.
Destinos turísticos - DTS		Polígono	2024	IDE, 2014a.
Parques eólicos - PES		Punto	2024	SEA, 2025.

4.2.2. Determinación de métrica

Para la integración de los atributos culturales en el modelo InVEST, se definió una metodología de asignación de métricas basada en el tipo de geometría espacial de cada atributo. Cada variable espacial, ya sea representada como línea, punto, polígono o ráster, fue asociada a una métrica específica conforme a los requerimientos del modelo. Este procedimiento se organizó a través de la construcción de una tabla de predicción (en formato CSV), la cual relaciona los identificadores únicos (ID) de cada predictor con su respectivo archivo espacial y el tipo de métrica asignada (ver Tabla 5).

En primer lugar, se identificó el tipo de archivo espacial: para vectores de líneas, se utilizó la métrica *line_intersect_length*, que calcula la longitud total de las líneas que interceptan cada celda de la cuadrícula del área de estudio (ADE); para vectores de puntos, dependiendo del análisis requerido, se asignó la métrica *point_count*, que contabiliza el número de puntos dentro de cada celda o polígono, o bien *point_nearest_distance*, que mide la distancia euclidiana entre el centroide de cada celda del ADE y el punto más cercano. En el caso de los vectores de polígonos, se aplicó la métrica de *polygon_area_coverage*, que determina el área de superposición entre el polígono y cada celda del ADE. Finalmente, para los archivos ráster, se asignó la métrica *raster_sum*, que calcula la suma de los valores de píxeles dentro de cada celda del polígono de análisis.

Tabla 5.

Métricas para cada atributo cultural.

Atributo (ID)	Formato	Métrica
Uso de suelo		
<ul style="list-style-type: none"> • Bosque nativo - BNT • Cuerpos de agua - CDA • Ciudades pueblo - CPI • Nieve/glaciares - NGS • Terreno uso agrícola – TUA • Playas/dunas - PDS 	Polígono	<i>polygon_area_coverage</i>
ZOIT - ZOITS	Polígono	<i>polygon_area_coverage</i>
Áreas protegidas - APS	Polígono	<i>polygon_area_coverage</i>
SNASPE - SNP	Polígono	<i>polygon_area_coverage</i>

Atributo (ID)	Formato	Métrica
Elevación - DEM	Ráster	<i>raster_mean</i>
Pendiente - PEN	Ráster	<i>raster_mean</i>
Senderos - SDR	Línea	<i>line_intersect_length</i>
Atractivos turísticos - ATS	Punto	<i>point_nearest_distance</i>
Red vial - RVL	Línea	<i>line_intersect_length</i>
Rutas patrimoniales - RPS	Línea	<i>line_intersect_length</i>
Monumentos nacionales - MNS		
<ul style="list-style-type: none"> Zona típica o pintoresca Santuario de la naturaleza 	Punto	<i>point_nearest_distance</i>
Monumento histórico		
Alojamiento turístico - AJT	Punto	<i>point_nearest_distance</i>
Destinos turísticos - DTS	Polígono	<i>polygon_area_coverage</i>
Parques eólicos - PES	Punto	<i>point_nearest_distance</i>

4.2.3. Análisis de multicolinealidad

El análisis de multicolinealidad es un procedimiento previo a la ejecución del modelo que permite identificar y corregir relaciones lineales fuertes entre variables independientes en este caso atributos culturales dentro del modelo estadístico, este análisis es fundamental porque la presencia de multicolinealidad puede distorsionar la estimación de los coeficientes, dificultando la interpretación de los resultados y afectando la estabilidad del modelo. Detectarla y corregirla es esencial para obtener modelos más precisos y confiables (Gokmen et al., 2022). Dado que los atributos no contaban con datos espaciales expresados en valores numéricos continuos se utilizó el modelo de InVEST para generar una representación espacial cuantitativa de los atributos culturales. Luego, el procedimiento para el análisis de multicolinealidad fue implementado mediante programación en Python, utilizando librerías especializadas como *datacamp_vif_data* y *corr_matrix* para automatizar los cálculos (ver Anexo 2).

El proceso se desarrolló de la siguiente manera: en primer lugar, se consideraron todas las variables independientes especificadas en la Tabla 4 y se calculó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés), que mide cuánto aumenta la varianza de un coeficiente debido a su correlación con otras variables. Para interpretar el valor del VIF, se pueden considerar los siguientes umbrales representados en la Tabla 6.

Tabla 6.*Grados de multicolinealidad de acuerdo con el valor de VIF.*

Valor VIF	Grado multicolinealidad
1	No hay correlación entre la variable predictora y otras variables
< 5	Multicolinealidad moderada
≥ 5	Multicolinealidad alta
≥ 10	Multicolinealidad grave

Nota: Elaborado a partir de Hayes, 2025.

Cuando se detectan variables con VIF superiores a 5 (Fávero et al., 2024), se identifican las relaciones específicas entre variables mediante un mapa de calor de correlación, donde valores cercanos a 1 señalan una alta correlación entre pares de variables (ver Tabla 7).

Posteriormente, dentro de los pares altamente correlacionados, se elimina la variable con el mayor valor de VIF, y luego se recalculan los VIF para las variables restantes. Este procedimiento se repitió de manera iterativa, eliminando variables y actualizando los VIF en cada paso, hasta lograr que todos los factores de inflación de la varianza se mantuvieran dentro de un rango aceptable, asegurando así un conjunto de variables independientes sin multicolinealidad significativa. Por ejemplo, en la provincia de Diguillín, se identificó una alta correlación entre los atributos de áreas protegidas y pendiente, debido a la superposición espacial significativa entre ambas. Dichas variables presentaron valores elevados de VIF (10,16 y 5,79, respectivamente) y una correlación entre pares de 0,86, lo que indica redundancia en la información aportada al modelo. Ante esta situación, se optó por eliminar la variable con el mayor VIF, es decir, las áreas protegidas y se procedió a recalcular los valores de VIF, logrando así una disminución tanto de la multicolinealidad como de la correlación entre variables del modelo.

Tabla 7.*Grados de correlación.*

Coeficiente	Grado de correlación
1	Perfecta
0,75	Alta
0,25	Débil
0	No correlación

Nota: Elaborado a partir de Fávero et al. (2024).

4.2.4. Ejecución del modelo

El modelo cuenta con una interfaz diseñada para ingresar las entradas. Se ingresó un archivo shapefile correspondiente al área de estudio (ver Figura 5), y los archivos espaciales relacionados a los atributos culturales ya trabajados en los apartados anteriores, esta información se envía a un servidor gestionado por Natural Capital Project en donde se procesan los cálculos por medio de un proxy de tasa de visita y además una regresión lineal relacionados a las variables independientes, es decir, los atributos culturales.

Como resultado del procesamiento con el modelo InVEST, se obtuvieron dos salidas principales. En primer lugar, se generaron mapas de tasa de visitas correspondientes a los indicadores foto-persona-día (PUD) y twitter-persona-día (TUD), los cuales representaron la distribución espacial de las visitas en un promedio anual en el área de estudio durante el periodo del año 2012 al 2017, el resultado del modelo es una capa geoespacial en formato shapefile que representa la tasa de visita promedio por cada cuadrícula de 1 km² dentro del área de estudio. Esta capa, generada a partir del promedio anual de PUD y TUD, permite visualizar espacialmente la distribución de la actividad recreativa y turística basada en datos sociales. Posteriormente, fue recortada utilizando como límite espacial el archivo resultante del potencial eólico obtenido en la sección 5.1., al igual que en el punto 4.1.4. sobre el potencial eólico, se reclasifica la capa resultante de la tasa de visita en una escala del 1 al 5, utilizando el método de rupturas de Jenks.

En segundo lugar, el modelo entregó los resultados de la regresión lineal, proporcionando los coeficientes de correlación entre cada atributo cultural (variables independientes) y la tasa de visitas (variable dependiente), lo que permitió en una siguiente etapa identificar la influencia relativa de cada predictor en la distribución del uso recreativo del territorio, es decir, los atributos culturales que influyen significativamente en la elección de los lugares para el turismo y la recreación por medio de un análisis estadístico.

4.3. Análisis espacial del trade-off entre los SEC y desarrollo energético eólico en la región de Biobío y Ñuble.

Para evaluar el trade-off entre el potencial eólico y la tasa de visita recreativa, se integraron dos capas de información geoespacial: el mapa de potencial eólico (expresado en MW), generado en la sección 4.1, y el mapa de distribución espacial de visitas, obtenido mediante el modelo de Recreación y Turismo de InVEST descrito en la sección 4.2. Ambos resultados, en formato ráster, fueron procesados utilizando el software QGIS versión 3.42.0 (2025).

Cada capa fue reclasificada en una escala ordinal de 1 a 5, representando niveles crecientes de potencial eólico y de tasa de visita, respectivamente. Para ello se empleó el método de rupturas naturales de Jenks, con el fin de generar clases estadísticamente significativas que reflejen de forma representativa los patrones espaciales observados en los datos. Posteriormente, se llevaron a cabo operaciones condicionales en la calculadora ráster, con el objetivo de identificar zonas con distintos niveles de idoneidad para el desarrollo de proyectos eólicos, considerando la sensibilidad cultural representada por la tasa de visita en el territorio.

Dicha clasificación condicional se construyó a partir de los criterios definidos en la Tabla 8, los cuales se basan en un estudio realizado por Lv & Tang, (2024). Como resultado, se generó una nueva capa ráster estructurada en una escala de 1 a 5. Los valores de esta capa sintetizan el grado de idoneidad territorial, desde "Muy poco idóneo" (nivel 1), correspondiente a zonas con bajo potencial eólico y alta tasa de visita, pasando por "Poco idóneo" (nivel 2) y "Moderadamente idóneo" (nivel 3), hasta niveles superiores como "Altamente idóneo" (nivel 4) y "Muy Altamente idóneo" (nivel 5), los cuales representan áreas con alto potencial eólico y muy baja tasa de visita. Esta nueva capa permite identificar espacialmente los sectores donde existe menor y mayor conflicto entre ambos servicios ecosistémicos.

Tabla 8.

Niveles de idoneidad entre el potencial eólico y la tasa de visita.

Potencial	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Tasa de Visita	(0.01-15) MW	(15-56) MW	(56-125) MW	(125-277) MW	(277-534) MW
Muy bajo (1) (0.16-0.16)	Muy idóneo	Muy idóneo	Muy Altamente idóneo	Muy Altamente idóneo	Muy Altamente idóneo
Bajo (2) (0.16-1)	Moderadamente idóneo	Muy idóneo	Muy idóneo	Muy Altamente idóneo	Muy Altamente idóneo
Medio (3) (1-3.6)	Poco idóneo	Moderadamente idóneo	Muy idóneo	Muy idóneo	Muy idóneo
Alto (4) (3.6-14)	Poco idóneo	Poco idóneo	Moderadamente idóneo	Muy idóneo	Muy idóneo
Muy alto (5) (14-113)	Muy poco idóneo	Muy poco idóneo	Poco idóneo	Poco idóneo	Poco idóneo

Nota: Elaborado en base a Lv & Tang (2024).

5. Resultados y discusión

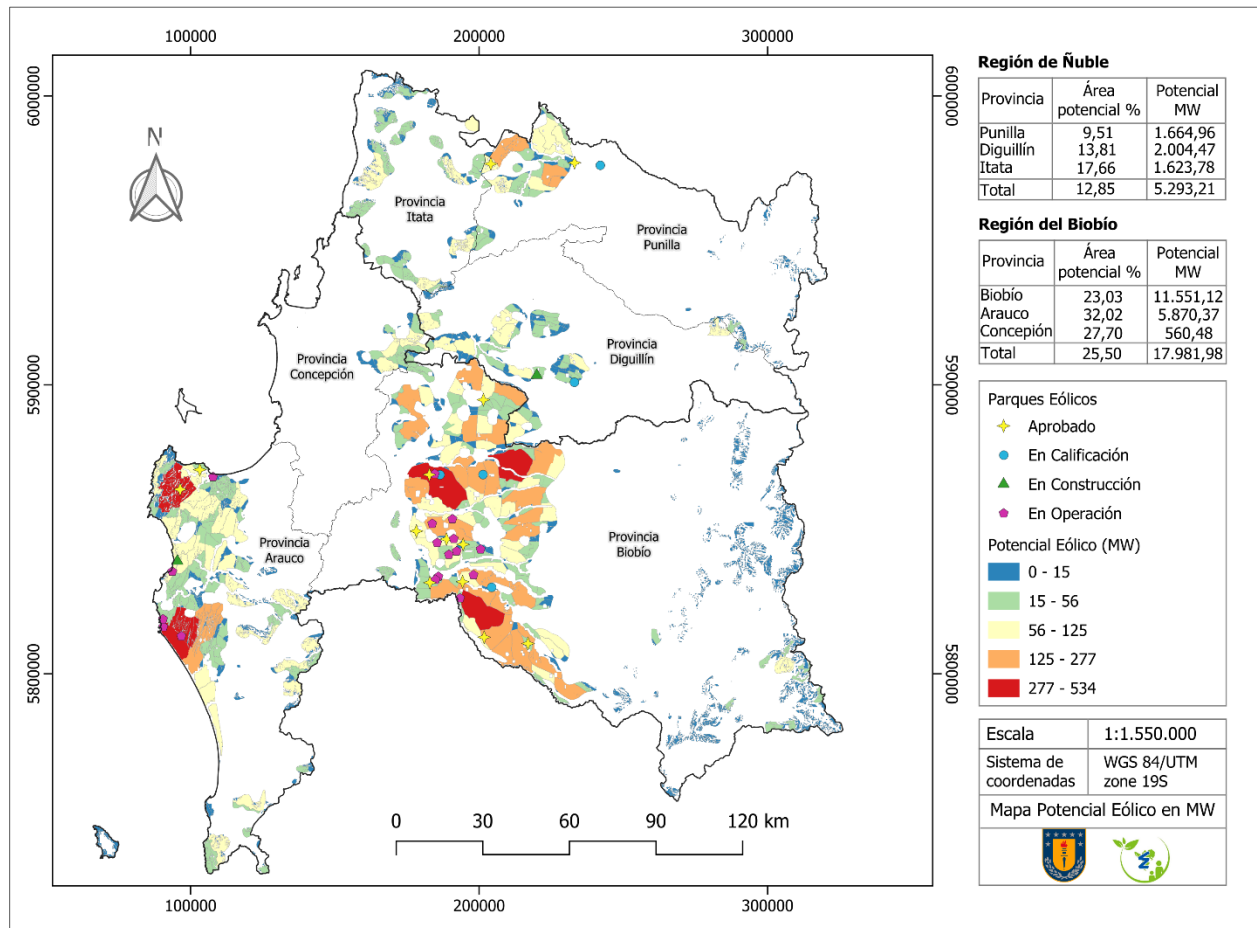
5.1. Potencial eólico en las regiones de Ñuble y Biobío

Los valores de potencial eólico en el área de estudio representado en la Figura 7, muestran una notable variabilidad espacial, variando desde 15 MW y alcanzando valores máximos de hasta 534 MW. Las superficies con mayores capacidades energéticas, aunque representan una porción menor de la superficie total, concentran los valores más elevados entre 125 y 534 MW y están mayormente ubicadas en la Región del Biobío, donde abarcan 539.459,5 hectáreas.

El potencial eólico total en ambas regiones estimado es de 23.275,2 MW, distribuidos en una superficie de 698.255,7 hectáreas.

Figura 7.

Mapa de potencial y parques eólicos existentes en el área de estudio.

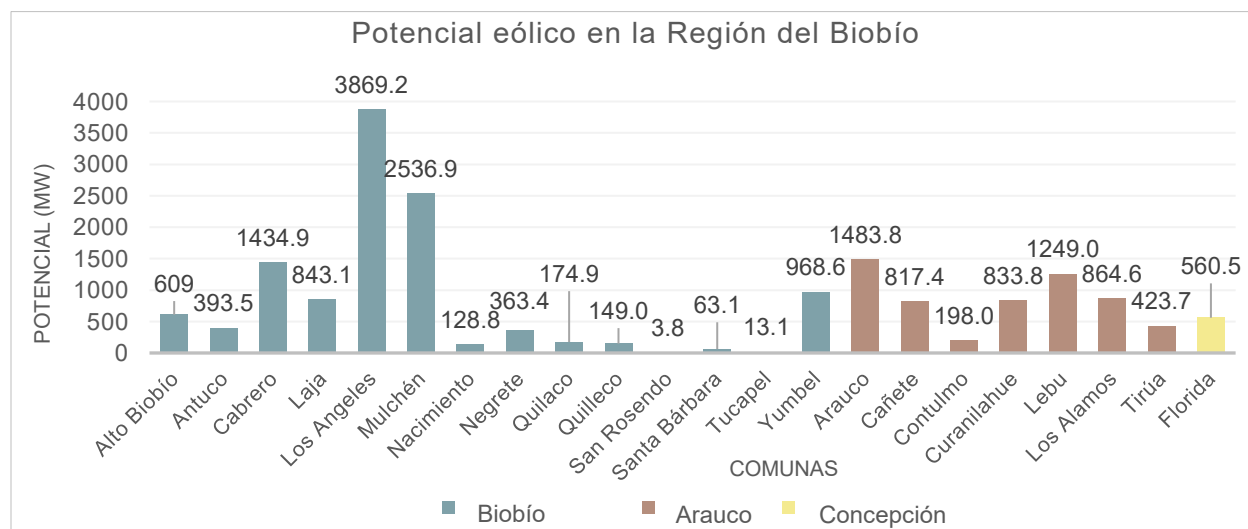


En particular, la Región del Biobío concentra el 77,3% del potencial eólico total del área de estudio, con 17.981,9 MW. Esta cifra corresponde al 22,45% de la superficie regional identificada como apta para el desarrollo eólico. A nivel provincial, la mayor parte del potencial se encuentra en la provincia del Biobío, con 11.551,2 MW, lo que representa el 64,24% del total regional, y un 23,03% de su superficie con aptitud para el recurso. Le sigue la provincia de Arauco con 5.870,4 MW (32,65% del total regional), que además presenta el mayor porcentaje de área potencial con un 32,02%. Por último, la provincia de Concepción registra un potencial de 560,5 MW (3,12% del total regional), distribuido en un 27,70% de su superficie.

A nivel comunal en la Región del Biobío (ver Figura 8), se obtiene una distribución desigual del recurso, destacándose algunas comunas con un alto potencial de generación de energía. La comuna de Los Ángeles, en la provincia de Biobío, lidera con un potencial de 3.869,2 MW, sustentado por una amplia área potencial de 116.075,4 ha, lo que representa el 66,32% del área comunal. Le sigue Mulchén, también en Biobío, con 2.536,9 MW, gracias a una significativa área apta para desarrollo eólico (76.106,5 ha), equivalente al 39,58% de su territorio. Cabrero y Yumbel, ambas en Biobío, también presentan valores significativos con 1.434,9 MW y 968,6 MW respectivamente, con altos porcentajes de área con potencial (65,46% y 39,91%).

Figura 8.

Potencial eólico por comuna en la Región del Biobío.



En la provincia de Arauco, la comuna de Arauco posee el mayor potencial de su provincia con 1.483,8 MW, derivado de una importante área potencial (44.513,2 ha, 46,24% de su superficie). Lebu y Los Álamos también sobresalen en Arauco con 1.249 MW y 864,6 MW, destacando por tener más del 40% de su superficie con aptitud para proyectos eólicos. En contraste, comunas

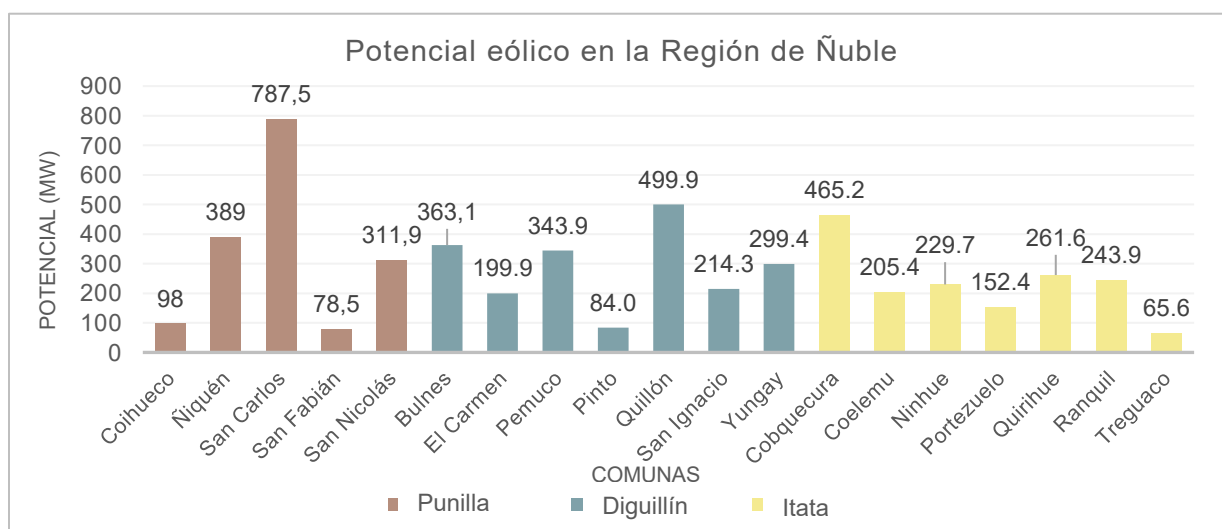
como San Rosendo y Tucapel en Biobío presentan un potencial significativamente menor, con 3,8 MW y 13,1 MW respectivamente, asociado a superficies de menos del 2% con posibilidad de desarrollo eólico. La comuna de Florida, única representante de la provincia de Concepción muestra un valor de 560,5 MW, con un 27,7% de su superficie siendo apta para energía eólica.

Por otro lado, la Región de Ñuble (ver Figura 9), aporta el 22,7% del potencial eólico total del área de estudio, con un valor estimado de 5.293,2 MW, distribuido sobre el 12,85% de su territorio. A nivel provincial, Diguillín lidera con 2.004,5 MW, lo que representa el 37,88% del total regional, y presenta un 13,81% de su superficie con condiciones aptas para el aprovechamiento eólico. Le sigue Punilla con 1.664,9 MW (31,46% del total regional) y un 9,51% de área potencial. Finalmente, la provincia de Itata registra un potencial de 1.623,8 MW (30,67%), siendo la que mayor proporción de superficie apta presente dentro de Ñuble, con un 17,66%.

Desde una perspectiva comunal, San Carlos y Quillón se posicionan como los principales polos de potencial, representando individualmente más del 9% del potencial total regional. La alta proporción de superficie con potencial en estas comunas superior al 25% en ambos casos, sugiere condiciones geográficas y meteorológicas especialmente favorables. Otras comunas como Ñiquén, Cobquecura, Bulnes y San Nicolás también exhiben cifras significativas, con valores entre los 300 y 470 MW. En cambio, comunas como Pinto, El Carmen y Ranquil presentan un potencial moderado, mientras que Trehuaco y San Fabián evidencian limitaciones sustanciales en términos de superficie útil o capacidad estimada.

Figura 9.

Potencial eólico por comuna en la Región de Ñuble.



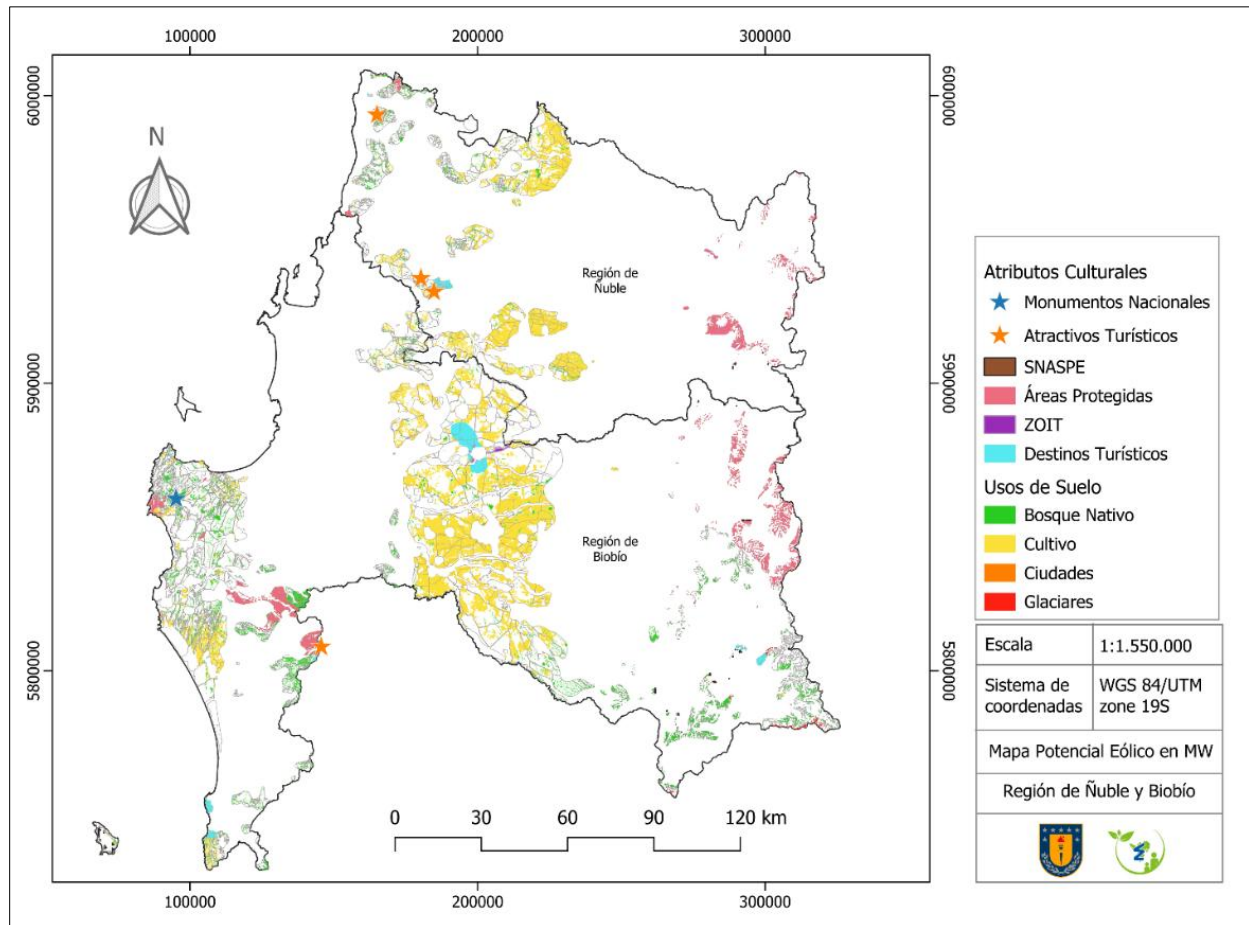
La Figura 6 además incorpora la ubicación de los parques eólicos existentes de acuerdo con su estado de desarrollo según datos del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) y de la Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento (ACERA), clasificados como: en operación (rojo), en construcción (verde), en calificación (celeste) y aprobado (amarillo). Se evidencia que la localización de los proyectos eólicos coincide en gran medida con las zonas identificadas como técnicamente factibles. La mayoría de los parques en operación y en construcción se ubican en zonas en donde existe potencial eólico técnico factible. Por lo que las comunas representadas en la Figura 8 y 9 son las que podrían presentar una mayor saturación en la implementación de parques eólicos en la próxima década.

Por otro lado, la Figura 10 presenta la distribución espacial de diversos atributos culturales y ambientales dentro del área de estudio, muchos de los cuales se superponen con zonas de alto potencial eólico técnico. Entre estos atributos destacan las áreas del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), representadas en color amarillo; las zonas de interés turístico (ZOIT), en rosado; los atractivos turísticos, en naranja; y los monumentos nacionales, en verde claro. También se observan otros elementos relevantes como destinos turísticos (violeta), cuerpos de agua (celeste) y bosques (verde oscuro).

La presencia de estos elementos dentro de las zonas con alto potencial eólico sugiere una posible interacción entre el desarrollo energético y el uso recreativo y cultural del territorio. En términos de superficie, un 15,55% del área corresponde a áreas protegidas, un 11,34% a bosque nativo y un 36,83% a zonas de cultivo. Asimismo, se identifica la presencia de destinos turísticos (3,05%), zonas de interés turístico (ZOIT, 0,33%), ciudades (0,17%), glaciares (0,65%) y territorios pertenecientes al SNASPE (0,10%). A esto se suman otros elementos asociados al uso recreativo y turístico del territorio, como alojamientos, atractivos, monumentos y zonas de interés, que también se encuentran dentro del área de estudio.

Figura 10.

Mapa de atributos culturales dentro del área de potencial eólico en el área de estudio.



5.2. Distribución espacial de la tasa de visita en las regiones de Ñuble y Biobío

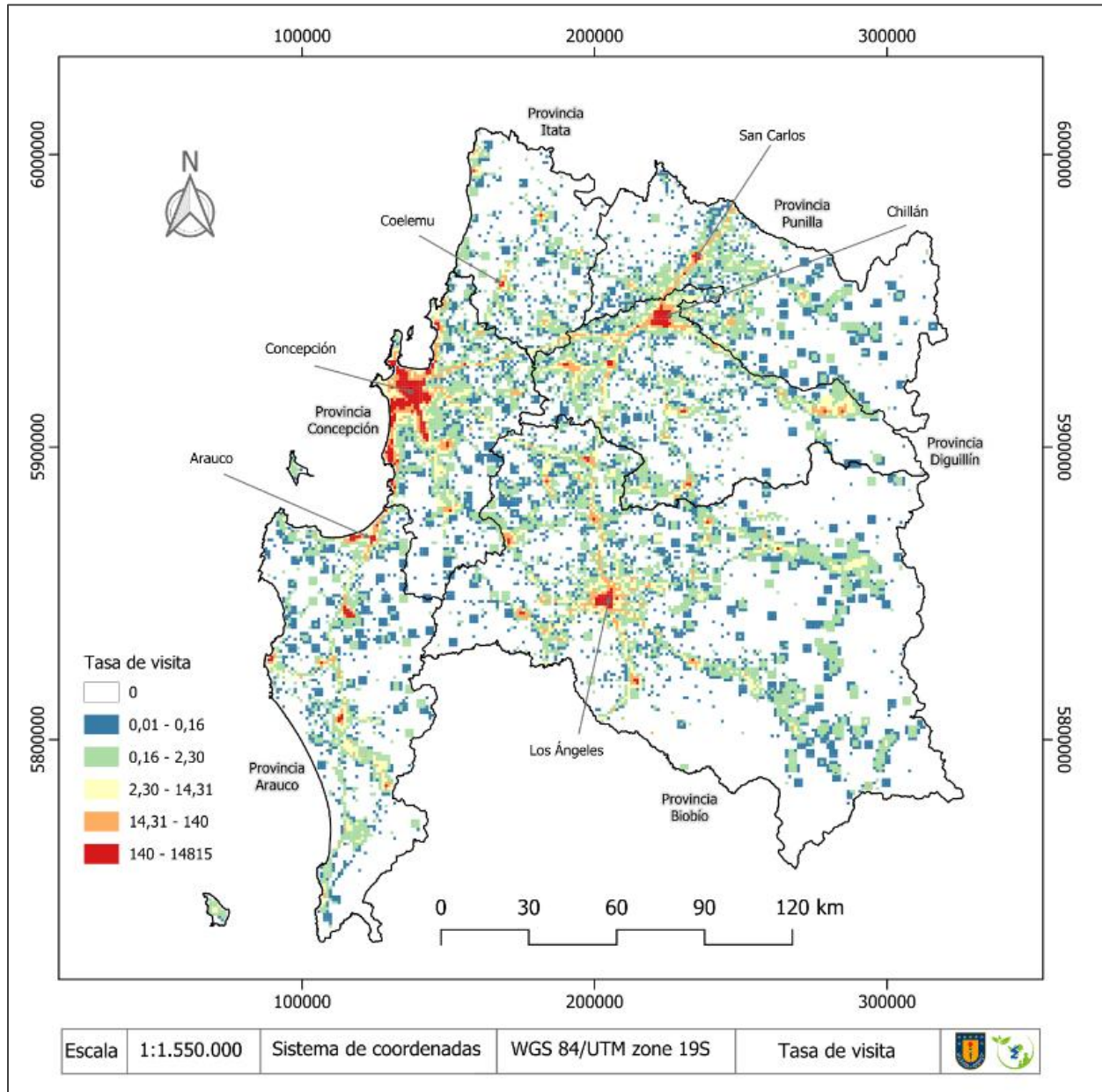
La Figura 11 muestra la tasa de visita para las regiones de Biobío y Ñuble. Durante el período 2012 – 2017, la tasa de visita promedio asociada a actividades de recreación y turismo en el área de estudio varió entre 0,16 y 14.840 visitas, información obtenida a partir del análisis de fotografías compartidas en Flickr y publicaciones geolocalizadas en la plataforma Twitter por medio del servidor de InVEST.

En el mapa, la distribución espacial de la tasa de visita se representa mediante una gradación de colores: los tonos azul oscuro indican áreas con baja actividad recreativa (0,01 – 0,16), mientras que los colores verde, amarillo y naranja reflejan incrementos progresivos en la frecuencia de visitas. Las zonas en rojo, que abarcan los valores más altos (140 – 14.840), se concentran principalmente en torno a centros urbanos relevantes como Concepción, Talcahuano y Chillán,

así como a lo largo de ciertos corredores viales y costeros que conectan localidades con infraestructura turística. En contraste, las áreas rurales y cordilleranas presentan tasas de visita considerablemente más bajas, reflejando una menor afluencia de usuarios en plataformas digitales geolocalizadas.

Figura 11.

Tasa de visita representado en logaritmo para las regiones de Ñuble y Biobío.



En la Región de Ñuble, a nivel provincial, la mayor concentración de visitas se registra en la provincia de Diguillín, con un total de 44.734 visitas. La comuna con mayor tasa de visita corresponde a la comuna de Chillán (ver Anexo 6), con un total de 5 334 visitas, en donde destaca la ciudad de Chillán, la cual se caracteriza como fuente relevante de turismo patrimonial.

Entre los principales atractivos de esta localidad se encuentran la Catedral de Chillán, símbolo de reconstrucción moderna; el Mercado, reconocido por su gastronomía típica y artesanía local; el Teatro Municipal y el Museo Claudio Arrau, que aportan valor cultural; además de la Estación de Ferrocarriles, la Casa de la Cultura, el Museo Marta Colvin y el Parque Monumental Bernardo O'Higgins en Chillán Viejo, todos ellos representativos del legado histórico, arquitectónico y cultural de la zona (Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2017). A ello se suma el hecho de que Chillán, como capital regional, concentra gran parte de la actividad comercial, institucional y de servicios, lo que atrae tanto a visitantes como a habitantes de comunas vecinas.

Otros lugares con alta afluencia en la provincia incluyen la localidad de Quillón, cercana a la Laguna Avendaño, un balneario utilizado para deportes acuáticos como el canotaje. También se identifica el río Diguillín, que pasa por zonas rurales como la localidad de El Carmen. Además, hacia la Cordillera de los Andes, se suman las Termas de Chillán y Las Trancas, conocidas por sus complejos termales y el centro de esquí Nevados de Chillán. Próxima a estas zonas, la Reserva Nacional Ñuble protege una importante biodiversidad y constituye un destino relevante para el turismo de naturaleza. Otros puntos de interés con alta tasa de visita son las ruinas de Shangri-La y la Laguna del Huemul.

Luego la Provincia de Punilla le sigue con 7.437 visitas. En esta provincia destaca la localidad de San Carlos, con 2.776 visitas, donde se encuentra el Monumento Nacional de la Casa-Museo Violeta Parra, el Convento de los Padres Trinitarios y el Centro Cultural San Carlos de Itihue, con su plaza y laguna recreativa. También se registran altos niveles de afluencia en San Fabián, punto destacado por el turismo aventura en el río Ñuble (rafting, kayak, pesca recreativa), trekking en cerros como Alico y Malalcura, y actividades culturales tradicionales incluyendo la Semana de la Montaña.

En último lugar, la provincia de Itata registra el número más bajo de visitas de la región, con un total de 3.688. Dentro de esta provincia, Coelemu y Quirihue presentan los mayores flujos de visitantes, mientras que Portezuelo, Ninhue y Treguaco tienen cifras significativamente más bajas. Destaca también Cobquecura, que presenta una alta tasa de visita: Dicha localidad es una

zona costera con más de 50 km de playas como Mure, Piedra Alta y Rinconada y formaciones rocosas únicas, incluida la famosa “Iglesia de Piedra”, declarada Santuario de la Naturaleza junto a el Islote Lobería, hábitat de lobos marinos. Además, su casco histórico fue declarado Zona Típica por el Consejo de Monumentos Nacionales, destacando por su arquitectura en piedra laja y adobe del siglo XIX. En términos generales, Ñuble presenta un patrón claramente centralizado en Chillán, con una disminución progresiva hacia las zonas rurales y costeras.

En la Región del Biobío, a nivel provincial, la mayor concentración de visitas se registra en la Provincia de Concepción, con un total de 244.157 visitas. La comuna con mayor tasa de visita corresponde a la comuna de Concepción, con un total de 116.977 visitas, destacando como centro urbano y capital regional. Dentro de sus principales atractivos se encuentra la Plaza Independencia, la Pinacoteca de la Universidad de Concepción, el Parque Ecuador, el Teatro Biobío y el acceso a la ribera del río Biobío, espacio urbano que combina recreación con patrimonio natural.

También destacan otros polos de alta afluencia dentro de la provincia, como San Pedro de la Paz, con 27.169 visitas, conocida por su borde lacustre; y Talcahuano, con 38.168 visitas, cuyo puerto y borde costero aportan a su dinamismo turístico, incluyendo la Caleta Tumbes, el Monitor Huáscar y el Parque Tumbes. Además, Hualpén con 21.049 visitas resalta por la presencia de la Península de Hualpén y la Reserva Natural del mismo nombre, reconocida por su biodiversidad y paisajes escénicos. Chiguayante, Penco, Coronel, Tomé y Lota también aportan flujos significativos, vinculados a balnearios, gastronomía marina, fiestas costumbristas y patrimonio industrial.

Luego, la provincia de Biobío le sigue con 38.712 visitas. Dentro de esta provincia, la comuna de Los Ángeles concentra la mayor cantidad de visitas, con un total de 27.028,17, consolidándose como un centro urbano intermedio relevante, con infraestructura comercial. Otros puntos destacados son Cabrero (2.398,83 visitas) y Mulchén (1.264), que funcionan como zonas de paso y conexión hacia la cordillera o hacia la región de La Araucanía. También se evidencian tasas moderadas en localidades como Laja (1.082), Santa Bárbara (964), Tucapel (852) y Jumbel (1.104), zonas que combinan oferta natural, fluvial y actividades productivas.

Finalmente, en último lugar, se encuentra la provincia de Arauco, con un total de 26.433 visitas. Se destaca ampliamente la comuna de Arauco, con 12.331 visitas, donde se emplazan atractivos costeros como la Playa Arauco y sectores naturales como el Lago Lanalhue, que atraen a

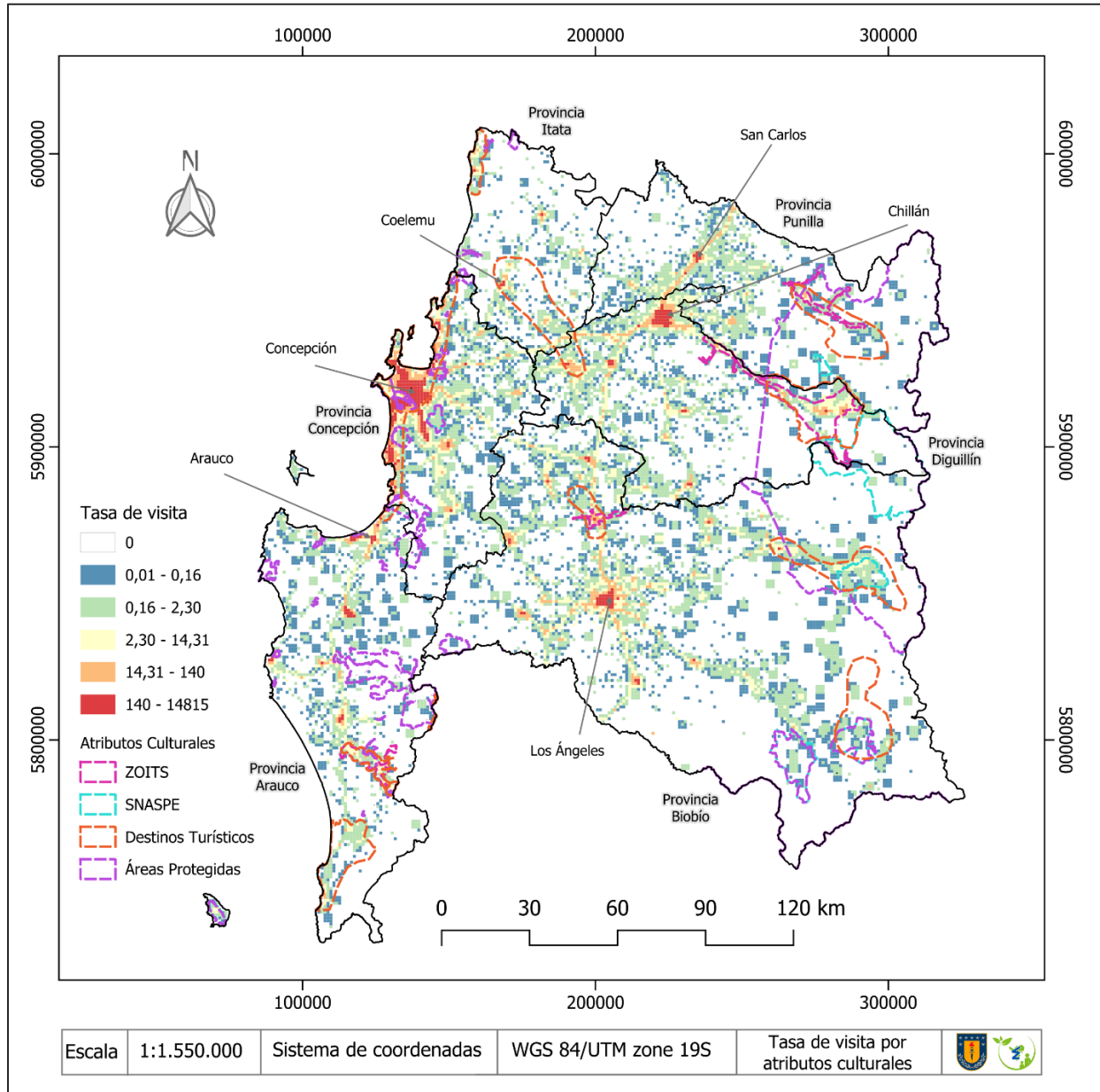
visitantes locales y regionales. Curanilahue, con 6.791 visitas, también refleja un flujo considerable, principalmente por su conexión vial con otras comunas de la región y su papel como centro de servicios en la zona minera. En menor medida, Lebu (1.778), Los Álamos (905), Cañete (3.691), Contulmo (551) y Tirúa (383) muestran un patrón de visita más disperso y dependiente de factores estacionales o actividades específicas, como el turismo cultural mapuche en Tirúa o el ecoturismo en sectores lacustres y de montaña de Contulmo. En términos generales, la Región del Biobío presenta un patrón de visitas claramente centralizado en la provincia de Concepción, con descensos marcados hacia las provincias interiores y costeras.

Asimismo en la Figura 12 se presenta la distribución de distintos atributos culturales en las regiones del Biobío y Ñuble, tales como Zonas de Interés Turístico (ZOIT), Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), destinos turísticos y áreas protegidas.

Al analizar la superposición espacial entre estos atributos y la tasa de visita, es posible observar que las zonas con mayor intensidad de visitas (representadas en tonos naranja y rojo) tienden a coincidir con la presencia de estos elementos culturales y naturales. Un ejemplo representativo se encuentra en la provincia de Diguillín, donde sectores con alta tasa de visita se solapan con áreas que concentran varios de estos atributos. Esta coincidencia espacial sugiere que la existencia de atributos culturales y ambientales relevantes podrían estar influyendo directamente en los patrones de movilidad y atracción de visitantes. Es decir, estos elementos no solo poseen un valor intrínseco relacionado con la conservación o el patrimonio, sino que además funcionan como catalizadores del flujo turístico.

Figura 12.

Tasa de visita representado en logaritmo y atributos culturales presentes en las regiones de Ñuble y Biobío.



5.3. Regresión lineal de coeficiente entre tasa de visita y atributos culturales.

El presente análisis se desarrolló a partir de una regresión lineal aplicada a cada provincia de las regiones de Ñuble y Biobío (ver Anexo 7), con el objetivo de explicar la variabilidad de la tasa de visitas turísticas en función de distintos atributos territoriales, tanto naturales como socioeconómicos. La desagregación a escala provincial permite capturar con mayor precisión las especificidades naturales y socioeconómicas que influyen en la configuración de la actividad turística. Esta perspectiva ha sido ampliamente respaldada por investigaciones en geografía del turismo, que señalan que las condiciones locales tales como la infraestructura, el paisaje y la estructura social son determinantes en la construcción del atractivo turístico (Corboş et al., 2025).

Tabla 9.

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple de las provincias de Diguillín y Biobío.

Atributos	Provincia de Diguillín			Provincia de Biobío		
	Coefficiente	Valor t	VIF	Coefficiente	Valor t	VIF
Alojamiento turístico	4,779E-06*	+1.810e+00	2,67	1,16E-08	+8.871e-03	1,14
Áreas protegidas	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	2,11E-07***	+4.900e+00	1,55
Atractivos turísticos	-5,73E-05***	-1.358e+01	1,49	-5,15E-05***	-1.384e+01	1,28
Bosque nativo	-3,462E-07**	-3.018e+00	2,33	9,06E-09	+2.057e-01	2,42
Ciudades y pueblos	1,085E-05***	+3.959e+01	1,16	3,54E-06***	+1.028e+01	1,04
Cuerpos de agua	5,932E-06***	+3.611e+00	1,03	2,27E-07	+1.672e+00	1,17
Destinos turísticos	5,332E-07***	+4.898e+00	2,28	3,25E-07***	+7.106e+00	1,39
Elevación	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Monumentos nacionales	-1,75E-05***	-8.807e+00	1,76	-1,04E-06	-6.503e-01	2,14
Glaciares	5,335E-07	+7.725e-01	1,08	2,18E-07	+1.622e+00	1,25
Parques eólicos	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Pendiente	-4,03E-02***	-7.433e+00	3,39	-1,14E-02	-2.196e+00	3,63
Playas	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	-1,84E-06	-7.411e-01	1,06
Red vial	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Rutas patrimoniales	6,671E-04*	+2.573e+00	1,05	9,70E-04***	+3.775e+00	1,06
Senderos	-7,87E-04***	-3.794e+00	1,09	-2,30E-04*	-2.549e+00	1,09
SNASPE	5,860E-07***	+5.098e+00	1,89	1,23E-07**	+2.378e+00	1,33
Terreno de uso agrícola	6,567E-07***	+9.130e+00	1,59	5,64E-07***	+1.349e+01	1,59
ZOIT	2,174E-06***	+1.681e+01	1,65	1,72E-06***	+6.240e+00	1,03
Error residual	1,4881 en 4753 <i>df</i>			1,6692 en 6367 <i>df</i>		
R-cuadrado ajustado	0,44			0,32		

*t estadístico *p<.05; **p<.01; ***p<.001, na – no aplicable*

De acuerdo con el análisis de multicolinealidad, los atributos culturales que presentaban una alta correlación con otros fueron eliminados del modelo de regresión lineal, con el fin de evitar redundancia en la información y posibles sesgos en los resultados. En el caso de la provincia de Diguillín, cuatro atributos (áreas protegidas, elevación, parques eólicos y red vial) fueron excluidos por presentar multicolinealidad. En contraste, en la provincia del Biobío, el análisis VIF no indicó la presencia de multicolinealidad significativa.

Entre las provincias analizadas, Diguillín destaca no solo por presentar la mayor tasa de visita registrada en la región de Ñuble con 44.734, sino también por la robustez del modelo de regresión (ver Tabla 9), cuyo R-cuadrado ajustado fue de 0,44, indicando que un 44% de la variabilidad en la tasa de visitas puede explicarse por las variables consideradas, dicho porcentaje es concordante con otros estudios similares realizados en base a recreación y turismo como Bhalla et al. (2022) y Cunha et al. (2018). Este resultado otorga solidez estadística a las interpretaciones y permite identificar con claridad qué elementos del territorio influyen con mayor fuerza en la atracción turística.

Dentro de los factores más significativos estadísticamente, sobresale la variable “Ciudades y pueblos”, que mostró un coeficiente positivo significativo ($1,085E-05$, $p < 0,001$). Esto sugiere que la concentración de núcleos urbanos, junto con la densidad de servicios y la presencia de funciones comerciales, tiene un impacto directo en la captación de flujos turísticos. Este hallazgo es coherente con estudios previos que destacan cómo los espacios urbanos actúan como nodos logísticos y simbólicos para el turismo, facilitando tanto la movilidad como la experiencia del visitante (Martí et al., 2021).

Los atributos naturales también emergen con fuerza en esta provincia. Los “Cuerpos de agua” resultaron estadísticamente significativos (coeficiente: $5,932E-06$, $p < 0,001$), lo que confirma su relevancia como recurso recreativo y como elemento paisajístico valorado por los visitantes. Esta relación ha sido ampliamente documentada en la literatura, donde se establece que la proximidad a cuerpos lacustres, ríos o lagunas puede incrementar sustancialmente la demanda turística, especialmente en modalidades asociadas al turismo de naturaleza y descanso (Sánchez-Rivero et al., 2020). En una línea similar, los resultados muestran que la variable “Destinos turísticos” también tuvo una relación positiva y significativa (coeficiente: $5,332E-07$, $p < 0,001$), indicando que estos polos organizados de atracción siguen cumpliendo un rol relevante en la estructuración de la oferta. No obstante, el análisis también revela un resultado interesante: la variable “Atractivos turísticos”, que representa puntos de interés turísticos como museos y

manifestaciones culturales históricas, arrojó un coeficiente negativo y estadísticamente significativo ($-5,734E-05$, $p < 0,001$). Este resultado puede interpretarse como una señal de debilitamiento de estos espacios como motores turísticos efectivos, posiblemente por falta de inversión, obsolescencia de la oferta o desconexión con las nuevas demandas del visitante contemporáneo, que prioriza la experiencia por sobre la simple contemplación (Facuse Muñoz & Cavalcanti, 2024).

Adicionalmente, otras variables como el SNASPE (coeficiente: $5,860E-07$, $p < 0,001$) y el terreno de uso agrícola (coeficiente: $6,567E-07$, $p < 0,001$) mostraron una incidencia positiva y significativa. Estos resultados son relevantes ya que evidencian una valorización creciente de formas de turismo más alternativas, ligadas a experiencias rurales, contacto con la naturaleza y prácticas sostenibles.

Esta tendencia ha sido señalada en diversas investigaciones recientes, que destacan cómo el turismo rural y el ecoturismo están adquiriendo mayor protagonismo en la última década (Paul, 2023; Turtureanu et al., 2025), en cambio, varias variables tradicionalmente consideradas importantes en el diseño de productos turísticos, como “Rutas patrimoniales” y “Glaciares”, no mostraron significancia estadística en esta provincia. Este hallazgo podría explicarse tanto por una falta de conectividad de estos recursos con los circuitos principales, como por una débil integración con el marketing territorial o la gestión institucional del turismo. Lo anterior refuerza la importancia de no solo contar con recursos, sino también de su puesta en valor efectiva dentro del sistema turístico (SERNATUR, 2016).

Respecto a las provincias de Punilla y Diguillín, los resultados se resumen brevemente aquí y se desarrollan en detalle en el Anexo 7. En Punilla, el modelo obtuvo un R^2 ajustado de 0,34, destacando la influencia positiva de variables como “Ciudades y pueblos”, “Red vial”, “Áreas protegidas” y “Monumentos nacionales”, reflejando una lógica territorial basada en accesibilidad y valorización patrimonial. En el caso de Itata, con un R^2 ajustado de 0,41, se observa una dinámica turística más vinculada al litoral y a elementos históricos, donde destacan variables como “Playas” y “Rutas patrimoniales”, lo que sugiere una recreación más experiencial y cultural del turismo en esa zona.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que la estructura del territorio y su articulación funcional condicionan fuertemente el desempeño turístico. Si bien existen elementos comunes, como la relevancia de la infraestructura vial y de los centros urbanos, la forma en que otros

atributos ya sean naturales o socioeconómicos inciden en la atracción turística depende en gran medida del contexto local.

En la Región del Biobío, la Provincia de Biobío resulta clave para el análisis, tanto por su gran extensión territorial como por su alta tasa de visita registrada (38.712,67). En esta provincia, el modelo estadístico alcanzó un R^2 ajustado de 0,32, lo que indica que un 32 % de la variabilidad en la tasa de visita puede ser explicada por los atributos considerados.

Los “Atractivos turísticos” al igual que en la provincia de Diguillín mantuvo una relación negativa y significativa (coef. = $-5,15E-05$, $p < 0,001$), lo que sugiere una tendencia consistente de subutilización o poca efectividad de los atractivos turísticos en la generación de visitas. En cambio, “Ciudades y pueblos” mostró un efecto positivo significativo (coef. = $3,54E-06$, $p < 0,001$), confirmando que los núcleos urbanos contribuyen a atraer visitantes. En esta provincia destaca la fuerte relación positiva de “Destinos turísticos” (coef. = $3,25E-07$, $p < 0,001$), indicando su capacidad de incidir directamente en las visitas. Además las “Rutas patrimoniales”, con un coeficiente de $9,70E-04$ y significancia elevada ($p < 0,001$), se consolida como uno de los principales determinantes positivos en la provincia en la visita de turistas. Las áreas protegidas representadas por la variable “SNASPE” también evidenciaron un efecto positivo y significativo (coef. = $3,62E-07$, $p < 0,01$), lo que sugiere una valoración del entorno natural protegido.

Los resultados de los modelos de regresión lineal múltiple aplicados a la Provincia del Biobío revelan patrones diferenciados que permiten comprender de forma más precisa los factores que inciden en la distribución espacial de la tasa de visita. Por ejemplo en comparación con la Provincia de Arauco ambos modelos explican una proporción relevante de la variabilidad observada (43% en Arauco y 32% en Biobío) lo que refleja un nivel de ajuste satisfactorio considerando la complejidad inherente al comportamiento turístico en escalas territoriales.

En ambas provincias, los resultados muestran que variables asociadas a la infraestructura y conectividad territorial tienen un impacto positivo y significativo sobre la tasa de visita. Particularmente, la presencia de rutas patrimoniales y red vial en Arauco, y senderos en Biobío, se relacionan con mayores niveles de visitación. Estos hallazgos respaldan la literatura que señala que la accesibilidad física es un determinante clave del comportamiento del visitante, ya que facilita el desplazamiento, mejora la experiencia del turista y amplía el rango de destinos posibles (Tverijonaite et al., 2018). En el caso específico de las rutas patrimoniales, su relevancia sugiere además una valorización del contenido histórico y cultural asociado a los recorridos, lo

cual coincide con investigaciones como la de Richards (2018) que destacan la creciente demanda por experiencias turísticas auténticas y vinculadas a la identidad local.

Uno de los hallazgos más llamativos es el efecto negativo significativo de los atractivos turísticos en ambas provincias. En este contexto, es importante diferenciar entre atractivo turístico y destino turístico. Los atractivos turísticos comprenden elementos puntuales de valor cultural o natural, tales como sitios naturales, museos, manifestaciones culturales, folklore, artesanías, grupos étnicos y arquitectura popular (SERNATUR, 2015). En cambio, los destinos turísticos, según la definición de SERNATUR, son espacios geográficos delimitados que integran diversos servicios y productos turísticos articulados para ofrecer una experiencia integral al visitante.

En Arauco (coef. = $-6.94E-05$, $p < 0.001$) y Biobío (coef. = $-5.15E-05$, $p < 0.001$), la presencia de atractivos turísticos muestra una relación inversa con la tasa de visita, lo que sugiere que su mera existencia no garantiza un aprovechamiento turístico efectivo. En línea con lo planteado por Parga-Dans et al. (2020), la puesta en valor de un atractivo depende no solo de su existencia física, sino también de su articulación con estrategias de gestión, difusión y accesibilidad. En contraposición, los destinos turísticos formalmente definidos presentan una relación positiva y significativa con la tasa de visitas en ambas provincias: Arauco (coef. = $6.84E-07$, $p < 0.001$) y Biobío ($3,25E-07$, $p < 0.001$), lo que refuerza la importancia de una oferta turística integrada y estructurada.

Otro elemento relevante es el impacto negativo de variables físicas como la pendiente y la elevación, especialmente en Arauco, donde ambos factores presentan coeficientes negativos y significativos. Estos resultados son coherentes con estudios que indican que las condiciones topográficas influyen directamente en la accesibilidad y la percepción de comodidad del visitante, reduciendo la probabilidad de visita a áreas con pendientes pronunciadas o altitudes elevadas (Torsney & Buckley, 2023).

Por otro lado, el efecto negativo y significativo de los parques eólicos en Arauco (coef. = $-5.94E-04$, $p < 0.001$) puede ser interpretado como una posible externalidad visual o territorial, en la medida que estos proyectos alteran el paisaje percibido por los visitantes. Aunque existen estudios que promueven la coexistencia entre energía renovable y turismo (Inostroza-Villanueva et al., 2023), también se ha documentado que ciertos tipos de turistas pueden percibir los parques eólicos como una intervención negativa del entorno natural o cultural (Garrido et al., 2015). En suma, los resultados evidencian que no todos los atributos presentes en el territorio

tienen la misma significancia ni sentido en la configuración de la visitación turística, y que su efecto depende de factores como la planificación, accesibilidad, percepción social y articulación con redes de valor. Mientras que la infraestructura, los destinos reconocidos y las rutas patrimoniales potencian el turismo, otras variables como los atractivos sin planificación o ciertas condiciones físicas pueden actuar como barreras.

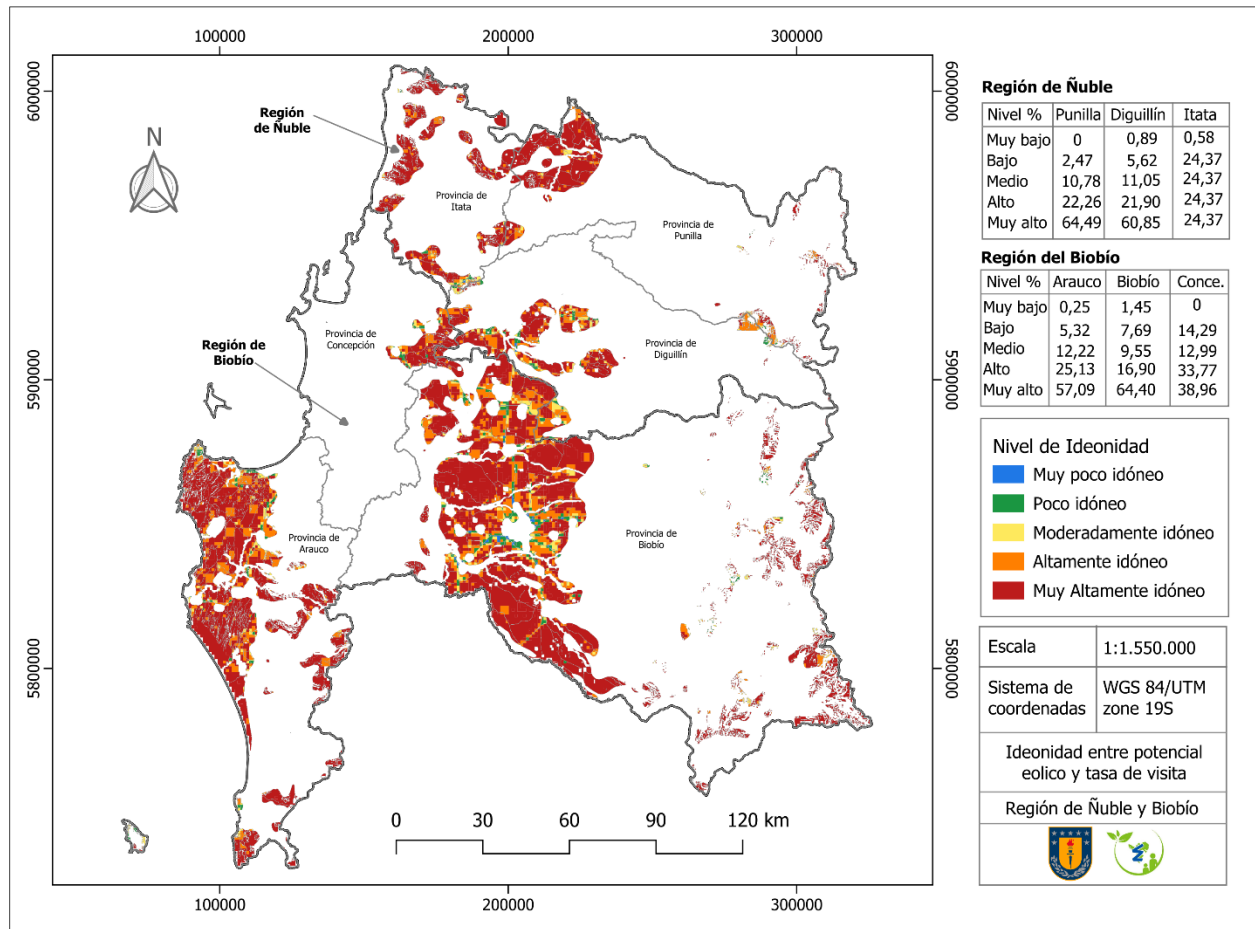
El análisis comparado entre las regiones de Ñuble y Biobío permite identificar tanto patrones comunes como particularidades territoriales en la visitación turística. En ambas regiones, las variables relacionadas con la infraestructura vial y los núcleos urbanos como “Red vial”, “Ciudades y pueblos” y “Rutas patrimoniales” emergen consistentemente como factores clave para explicar la atracción de visitantes, confirmando la importancia de la accesibilidad y la articulación territorial en el desarrollo del turismo, sin embargo la Región de Ñuble muestra un mayor protagonismo de elementos naturales y rurales como motores del turismo, mientras que la Región del Biobío evidencia una dependencia mayor de la infraestructura urbana y patrimonial.

5.4. Análisis Trade Off entre el potencial eólico y tasa de visita de recreación y turismo.

Este análisis trade-off se basa en una matriz de idoneidad que cruza el potencial eólico (expresado en MW) con la tasa de visita de recreación y turismo. La matriz clasifica las zonas en cinco niveles: “Muy altamente idóneo”, “Altamente idóneo”, “Moderadamente idóneo”, “Poco idóneo” y “Muy poco idóneo” (véase sección 4.3). Esta clasificación facilita la identificación de áreas con alto potencial para el desarrollo eólico y bajo riesgo de conflicto (alta idoneidad), así como aquellas donde el trade-off entre producción energética y uso recreativo es elevado (baja idoneidad).

Figura 13.

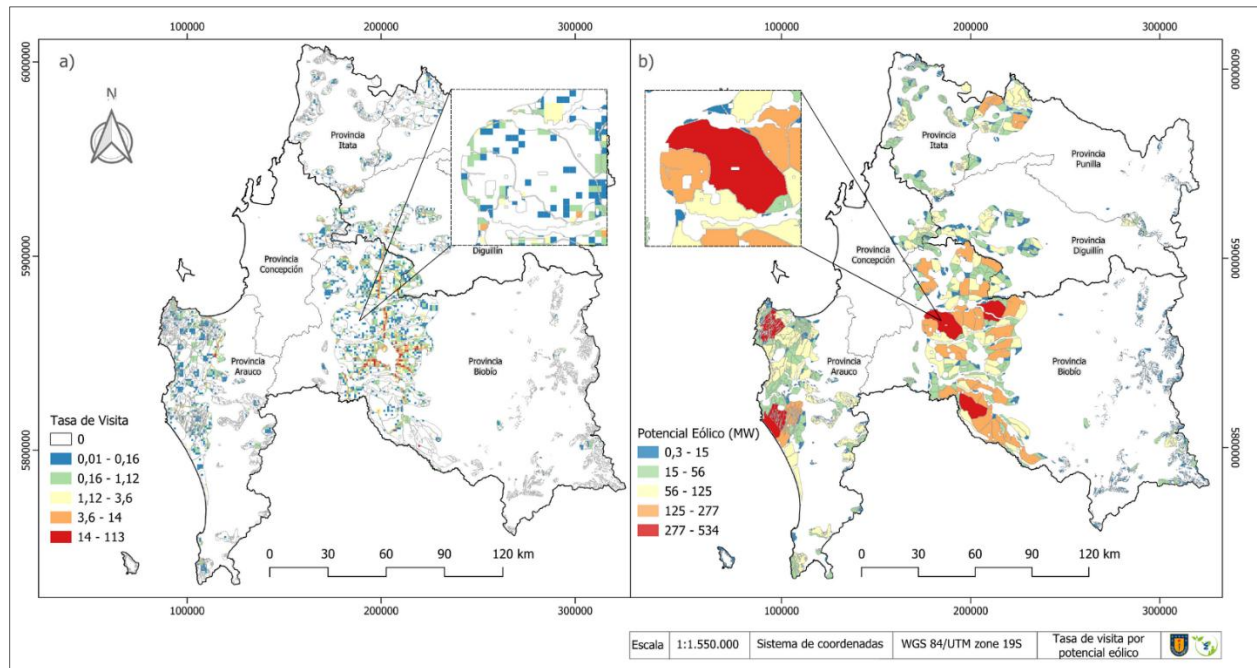
Niveles de idoneidad entre el potencial eólico y la tasa de visita en el área de estudio.



En la Figura 13, lo primero a destacar es que la mayor parte del territorio analizado se encuentra clasificado como “Muy altamente idóneo” (color rojo), con un 64,4 % en la Provincia del Biobío y 64,49 % en la Provincia de Punilla. Esto sugiere que una parte considerable del área presenta condiciones favorables para la instalación de proyectos energéticos, con baja tasa de visita y potencial eólico desde niveles medios hasta altos (entre 125 a 534 MW). Este patrón puede explicarse, en parte, porque muchas de las zonas altamente idóneas se ubican en áreas donde confluyen dos condiciones clave: un alto potencial eólico y, al mismo tiempo, una muy baja o nula tasa de visita recreativa tratándose de zonas en donde no se registra ningún tipo de visita, lo que reduce el conflicto entre ambos servicios ecosistémicos a cero, siendo altamente idóneo el desarrollo de parques eólicos (ver Figura 14).

Figura 14.

a) Tasa de visita en el área con potencial eólico b) Potencial eólico en MW.



Según la Figura 13 para la Región de Ñuble, la Provincia de Diguillín presenta un 60,85 % de superficie “Muy idónea” y 11,05 % en nivel “Medio”. Comunas como San Ignacio y Ránquil tienen buenas condiciones para el desarrollo eólico, mientras que Bulnes y Quillón requieren mayor evaluación social por su idoneidad media y cercanía a zonas de uso recreativo. En la Provincia de Itata, las comunas de Coelemu y Cobquecura muestran una importante proporción de zonas “Altamente idóneas” (24,37 %) y “Moderadamente idóneas” (24,37 %). En Cobquecura, sin embargo, también se registran zonas “Poco idóneas” (24,37 %), asociadas a turismo de playa y alto valor paisajístico, lo que sugiere un potencial conflicto entre el desarrollo energético eólico y la conservación cultural. Finalmente, la Provincia de Punilla, aunque tiene un 64,49 % de zonas “Muy idóneas”, también presenta un 10,78 % en categoría “Media” y 2,47 % en “Baja”, concentrados en comunas como San Fabián y San Carlos. Aquí el trade-off es más severo, y podrían priorizarse actividades de conservación, turismo rural o ecoturismo sustentable, en lugar de proyectos energéticos.

Por otra parte en la Región del Biobío, la Provincia de Biobío concentra la mayor proporción de zonas “Muy idóneas” (64,40 %) y “Altamente idóneas” (16,90 %), particularmente en las comunas de Los Ángeles, Mulchén, Yumbel y Laja. Por ejemplo, Los Ángeles posee grandes áreas

clasificadas como “Muy idóneas”, lo que indica baja presión recreativa y alto potencial técnico, posicionándola como núcleo prioritario para el desarrollo eólico regional. Sin embargo, en zonas periféricas de Los Ángeles se observan celdas clasificadas como “Moderadamente” o “Poco idóneas”, donde coexisten espacios urbanos, áreas agrícolas y usos recreativos. En estos lugares, la presión social podría intensificarse debido a la cercanía de usos múltiples del territorio. De hecho, ya se han documentado conflictos en la zona: en la comuna de Negrete, comunidades locales se manifestaron contra un parque eólico por su impacto en el paisaje y la falta de consulta previa, en un caso ampliamente cubierto por medios nacionales (Castillo, 2024).

Este tipo de conflicto evidencia cómo, incluso en zonas con baja tasa de visita, otros valores culturales y simbólicos del paisaje pueden generar oposición. Zonas clasificadas como “Altamente idóneas” (color naranja) también se encuentran en Lebu, Arauco, Yumbel y Santa Bárbara, donde la combinación de tasas medias de visita con potencial energético medio-alto resulta en condiciones intermedias que requieren planificación sensible. En estos contextos, el paisaje adquiere una dimensión social y simbólica importante, lo que puede derivar en tensiones si no se considera la percepción comunitaria.

En la Provincia de Arauco, destacan las comunas de Cañete y Tirúa, que superan el 50 % de superficie clasificada como “Muy idónea” (Arauco 57,09 %). En Tirúa, se evidencia una alta viabilidad para proyectos de energías renovables con bajo riesgo recreativo. No obstante, este territorio posee una importante presencia indígena y una fuerte identidad cultural, factores que pueden modificar la percepción de idoneidad técnica. El valor simbólico del paisaje en zonas rurales e indígenas, como lo señalan Chan et al. (2012) y Klain et al. (2014), puede ser tan relevante como el valor energético, y su desconocimiento puede provocar conflictos socioambientales.

Si bien este análisis se centra en el conflicto entre la energía eólica y el uso turístico del territorio, es importante considerar que existen otros servicios ecosistémicos culturales que pueden generar tensiones similares dependiendo del contexto local. Aspectos como la identidad cultural, el valor espiritual del paisaje, el sentido de lugar y las prácticas tradicionales de las comunidades pueden verse profundamente afectados por la instalación de proyectos energéticos, especialmente en territorios indígenas o zonas rurales con fuerte arraigo cultural, donde el paisaje posee no solo un valor estético, sino también simbólico y ritual (Chan et al., 2012; Klain et al., 2014).

Estudios en Latinoamérica han evidenciado que la percepción de impactos negativos aumenta cuando los parques eólicos modifican la visual del entorno, interfieren con sitios sagrados o se desarrollan sin consulta previa (Garrido et al., 2015). Subrayando la urgencia de incorporar estas dimensiones culturales en la planificación energética para evitar conflictos socioambientales. En consecuencia, los resultados aquí presentados deben entenderse como una aproximación sectorial, que requiere ser complementada con evaluaciones más integrales de los servicios ecosistémicos culturales y estudios de percepción social.

5.5. Limitaciones y recomendaciones

Uno de los principales desafíos de este estudio radica en que el análisis del potencial eólico se basa en una única tecnología: el aerogenerador VESTAS V117 de 3,3 MW y 100 metros de altura de buje, seleccionado debido a su amplia presencia en proyectos instalados en la zona centro-sur de Chile (ver Anexo 3), particularmente en las regiones de O'Higgins, Biobío y La Araucanía. El potencial estimado está directamente relacionado con el tipo de tecnología (tipo de turbina, potencia nominal y altura de buje), así como con el factor de planta seleccionado, por lo que elegir otras tecnologías y distintos factores de planta traería cambios en los valores del potencial. Si bien esta metodología permite estandarizar el análisis, también restringe la aplicabilidad de los resultados frente a otras tecnologías o escenarios técnicos. Por ello, se recomienda que investigaciones futuras incorporen diversas configuraciones tecnológicas, evaluando distintos tipos de aerogeneradores y rangos de factor de planta.

Para este caso de estudio, el análisis del potencial eólico técnico factible es representado en base a los criterios técnicos, territoriales y ambientales establecidos en el apartado 6.1, siendo la principal restricción técnica el factor de planta. Este valor representa la comparación entre la producción real de energía y la máxima energía teórica posible durante un año, de acuerdo con las características del aerogenerador. Dentro del área de estudio, y conforme al catastro de proyectos eólicos existentes en distintas etapas de desarrollo (en operación, en construcción o aprobados), se observa que el 75% de ellos presenta un factor de planta igual o superior a 0,22. Asimismo, el 50% de los proyectos supera el 0,28, y el 25% alcanza valores superiores a 0,33 (ver Anexo 4). A partir de estos datos, se definió un umbral mínimo de 0,22 como criterio para la delimitación del potencial eólico. Esta elección se justifica en función de la distribución observada de los proyectos reales en la zona, permitiendo así incluir la mayoría de los desarrollos actuales y futuros dentro del análisis de potencial.

Por ello, es importante destacar que la superficie del área considerada con potencial eólico varía significativamente según el umbral de factor de planta utilizado. Umbrales más bajos, como 0,22, permiten abarcar una mayor extensión territorial de un 30,8% del total del área de estudio, ya que incluyen zonas con menores niveles de productividad eólica, pero que han demostrado ser viables en proyectos existentes.

En contraste, si se aplica un umbral más estricto, por ejemplo 0,44, el área disponible se reduce considerablemente a tan solo un 0,04% del total del área de estudio, limitando el análisis a sectores muy puntuales donde las condiciones son excepcionales. Por tanto, el valor de 0,22 para el factor de planta representa un equilibrio entre viabilidad técnica y cobertura territorial, alineándose con los niveles de rendimiento de la mayoría de los proyectos eólicos ya instalados en la región.

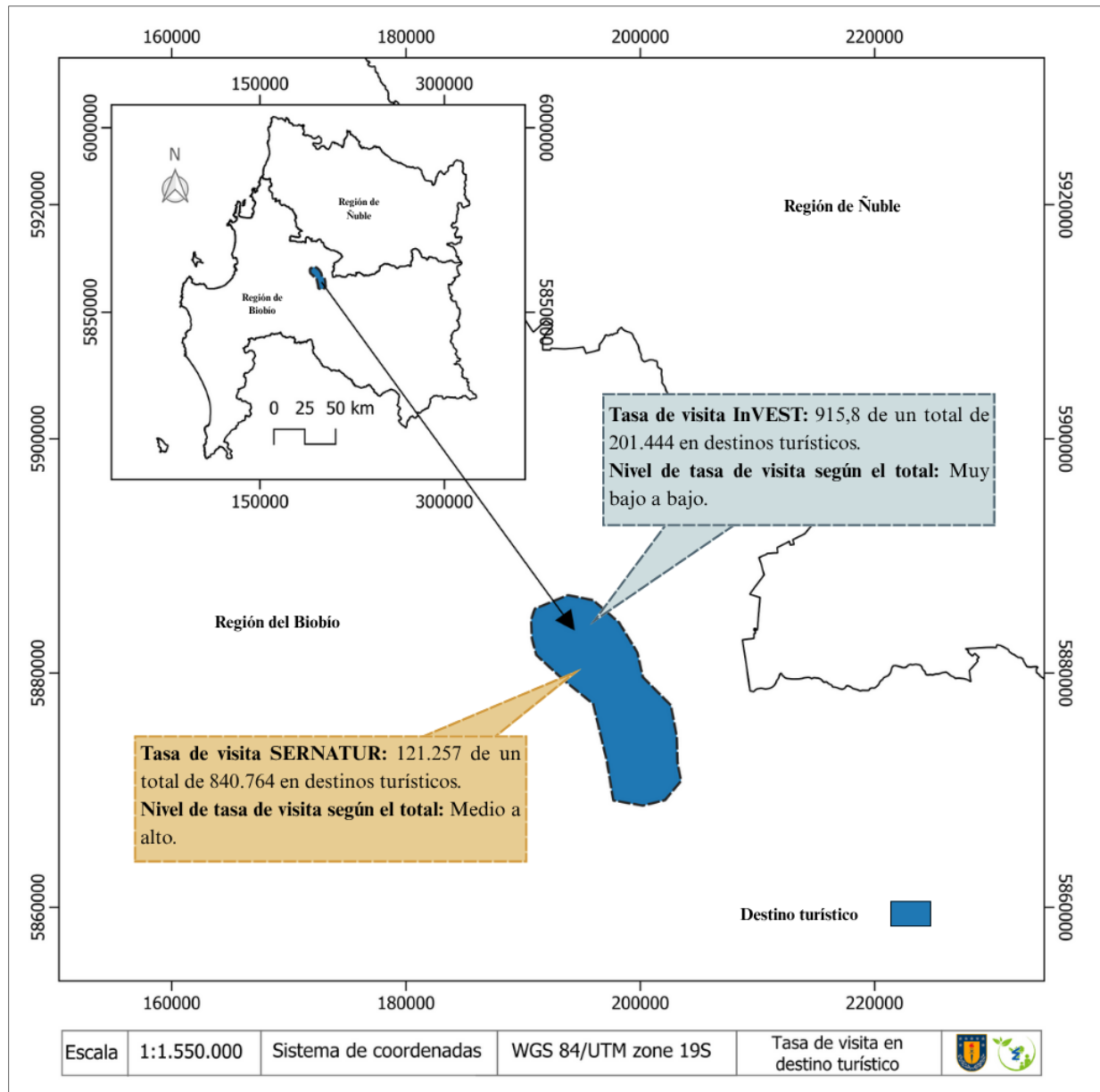
Además, se sugiere considerar el factor de planta no solo como una condición técnica para delimitar áreas aptas, sino también como una herramienta para identificar zonas de mayor o menor generación de energía dentro del área de estudio. Esta es una de las principales limitaciones de la metodología utilizada, ya que, si bien permite delimitar áreas con potencial técnico factible, no discrimina entre zonas con diferente capacidad de generación energética. En el caso del área de estudio, el factor de planta varía entre 0,22 y 0,48, lo que implica que existen zonas con un rendimiento significativamente superior que podrían ser priorizadas.

Por otro lado, otro de los desafíos de este estudio radica en las limitaciones asociadas al modelo InVEST, utilizado para evaluar el servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo. Este modelo se basa solamente en datos provenientes de plataformas digitales como Flickr y Twitter para estimar la tasa de visitas. No obstante, el uso de redes sociales como fuente de datos puede generar sesgos, ya que no todas las actividades recreativas quedan registradas en estas plataformas y además en sectores rurales con baja conectividad digital, el acceso y uso de redes sociales es limitado, lo que puede subestimar la actividad turística real en dichas zonas.

En la Figura 15, se muestra la tasa de visita entre los resultados del modelo de InVEST y datos oficiales reportados por Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR), en el destino turístico Saltos del Laja ubicado en la Región del Biobío.

Figura 15.

Tasa de visita para el destino turístico de Salto del Laja según InVEST y SERNATUR.



Según el modelo InVEST, el destino turístico de Saltos del Laja registra una tasa de visita estimada de 915,8 sobre un total regional de 201.444 visitas, lo que representa solo un 0,45% del total estimado por el modelo de InVEST. En contraste, los datos oficiales de SERNATUR indican que este destino concentró 121.257 visitas sobre un total del área de destinos turísticos de 840.764 visitas, lo que equivale al 14,4% del total. Esta comparación revela una clara subestimación del uso turístico por parte del modelo InVEST para este sitio en particular.

Sin embargo, pese a estas limitaciones en la estimación de la tasa de visita, estudios realizados en Chile respaldan el uso del modelo InVEST como herramienta para capturar patrones espaciales relativos de uso recreativo. Por un lado, investigaciones como las de Martínez-Harms et al. (2018) y Outeiro et al. (2015) han demostrado una alta correlación entre los datos de redes sociales y las visitas reales, basándose en lugares específicos como las áreas protegidas. En uno de estos estudios se señala que se demuestra la idoneidad de los datos de redes sociales para estimar visitas, ya que encontraron que las fotografías geolocalizadas subidas a Flickr estaban fuertemente correlacionadas con la visita empírica a áreas protegidas.

Por otro lado, el índice de intensidad turística utilizado por SERNATUR a nivel comunal muestra una alta concordancia con los resultados de la tasa de visita obtenida mediante el modelo InVEST. En la Región de Ñuble, por ejemplo, las comunas con mayor intensidad turística según SERNATUR son Chillán, Pinto y Quillón, lo que coincide con las comunas que presentan las tasas de visita más altas en InVEST (ver Anexo 6). A su vez, las comunas con menor intensidad turística, como Portezuelo, San Ignacio y Pemuco, también corresponden a aquellas con las tasas de visita más bajas según el modelo, sumándose a ellas San Fabián. Gracias a esta coincidencia, se puede observar que el patrón espacial de la tasa de visita es concordante entre ambas fuentes de información, reforzando la validez del modelo de InVEST en el cálculo de distribución de la tasa de visita.

Sin embargo, se considera necesario validar de forma más amplia y sistemática la tasa de visita estimada por InVEST, tanto a nivel regional como local, con el fin de asegurar una representación más precisa y contextualizada del uso recreativo del territorio. Esta validación permitiría ajustar y complementar los resultados del modelo, fortaleciendo su utilidad para la planificación territorial y la toma de decisiones en el contexto del desarrollo de parques eólicos en el área de estudio.

En base a estas limitaciones, se recomienda que futuros estudios complementen los resultados obtenidos mediante el modelo InVEST con métodos tradicionales de recolección de datos, tales como encuestas presenciales, entrevistas semiestructuradas y mapeo participativo (Cheng et al., 2019). Estas metodologías, ampliamente reconocidas en la literatura sobre evaluación de servicios ecosistémicos culturales, pueden aportar una visión más integral y representativa de la actividad recreativa, especialmente en zonas donde los datos digitales son escasos o inexistentes (Raymond et al., 2009).

6. Conclusiones

Este estudio representa un primer acercamiento metodológico al análisis espacial del trade-off entre el desarrollo energético eólico y los Servicios Ecosistémicos Culturales en las regiones del Biobío y Ñuble, con especial énfasis en la recreación y el turismo. Al integrar herramientas de modelación como InVEST y análisis geoespacial, se propone una metodología replicable y de bajo costo para identificar zonas de mayor o menor conflicto entre el desarrollo energético y los valores culturales del territorio. En el contexto nacional, esta investigación contribuye a fortalecer la planificación energética sostenible en Chile, proponiendo criterios que permiten compatibilizar la expansión de energías renovables con el servicio ecosistémico cultural de recreación y turismo.

Los resultados muestran que existen áreas con alto potencial eólico y baja presión recreativa principalmente en comunas como Los Ángeles, Mulchén, Quillón y Cabrero que se presentan como preferentes para el desarrollo de proyectos con bajo riesgo de conflicto socioambiental. En contraste, zonas con alta sensibilidad cultural, como sectores costeros, áreas protegidas y zonas urbanas turísticas, evidencian una mayor incompatibilidad con el desarrollo eólico. Estas diferencias responden tanto a la disponibilidad técnica del recurso como a la concentración de atributos culturales que atraen visitas. La integración espacial de ambos factores mediante una matriz de idoneidad territorial permite generar recursos claves para orientar a la toma de decisiones.

Sin embargo, este estudio presenta limitaciones que deben ser consideradas en futuras investigaciones. En primer lugar, el modelo InVEST podría subestimar las tasas de visita, ya que se basa exclusivamente en redes sociales, los cuales no necesariamente representan el comportamiento general de los visitantes ni permiten distinguir con certeza si la publicación está asociada efectivamente a fines recreativos o turísticos. Además, el modelo no asume relaciones causales entre los atributos culturales y la tasa de visitas, sino que estima correlaciones espaciales, lo que puede limitar su capacidad explicativa. Para abordar estas limitaciones, se recomienda complementar esta metodología con encuestas presenciales, integración de otras plataformas de redes sociales (como Twitter o Instagram), y una evaluación más detallada del comportamiento turístico. Asimismo, incorporar procesos participativos con comunidades locales fortalecería la validez de los resultados.

7. Contribución a los ODS

La presente investigación se enmarca en los esfuerzos globales por avanzar hacia un desarrollo sostenible, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. A través del análisis integrado del potencial eólico y la sensibilidad cultural del territorio, este estudio propone herramientas y criterios que pueden ser utilizados en la planificación energética territorial, con un enfoque que busca compatibilizar la expansión de las energías renovables con la protección de los valores culturales y los usos recreativos.

En este sentido, la investigación contribuye de manera directa a diversos ODS, particularmente el ODS 7 vinculado con el acceso a energía asequible, segura y sostenible, y el ODS 11 con la promoción de ciudades y comunidades sostenibles (ver Tabla 10). Por un lado, el análisis del potencial eólico técnico factible entrega información clave para la toma de decisiones sobre infraestructura energética moderna y baja en emisiones. Por otro, la incorporación de variables territoriales y sociales relacionadas con la recreación y turismo permite identificar zonas con alto valor cultural que podrían verse afectadas, promoviendo la gestión territorial.

Asimismo, el enfoque metodológico utilizado, que combina información geoespacial, datos oficiales y modelos como InVEST, fortalece las capacidades para la planificación integrada y la toma de decisiones basadas en evidencia, aportando a las metas que buscan mejorar la gestión sostenible del territorio y de sus recursos naturales. La identificación de áreas de bajo conflicto socioambiental también puede guiar inversiones más responsables y sostenibles, tanto desde el ámbito público como privado.

Tabla 10.

Contribución de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ODS	Meta	Descripción
Energía asequible y no contaminante	7.a	De aquí a 2030, aumentar la cooperación para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables.
	7.b	De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo.

ODS	Meta	Descripción
	11.3	De aquí a 2030, aumentar la capacidad para la planificación y la gestión integradas y sostenibles.
Ciudades y comunidades sostenibles	11.b	Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión y el uso eficiente de los recursos.

Nota: Adaptado de Objetivos y metas de desarrollo sostenible, por Naciones Unidas, 2025.

8. Referencias

- Aliste, E., & Stamm, C. (2016). Hacia una geografía de los conflictos socioambientales en Santiago de Chile: Lecturas para una ecología política del territorio. *Revista de Estudios Sociales*, 55. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/res/article/view/5951>
- Aziz, T. (2023). Accounting impacts of renewable energy expansions on ecosystem services to balance the trade-offs. *Science of The Total Environment*, 879, 162990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162990>
- Balzan, M. V. (2021). *Assessing ecosystem services for evidence-based nature-based solutions* (Versión 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2105.05672>
- Baulaz, Y., Mouchet, M., Niquil, N., & Ben Rais Lasram, F. (2023a). An integrated conceptual model to characterize the effects of offshore wind farms on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 60, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101513>
- Baulaz, Y., Mouchet, M., Niquil, N., & Ben Rais Lasram, F. (2023b). An integrated conceptual model to characterize the effects of offshore wind farms on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 60, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101513>
- BCN. (2018). *Red hidrográfica* [Page]. Bcn.Cl. https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html
- Benitez-Capistros, F., Hugé, J., & Koedam, N. (2014). Environmental impacts on the Galapagos Islands: Identification of interactions, perceptions and steps ahead. *Ecological Indicators*, 38, 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.019>
- Bernal, N. G. (2021). *Impacto ambiental de aerogeneradores: Campos eólicos situados en tierra*.
- Bhalla, P., Bhattacharya, P., Areendran, G., & Raj, K. (2022). Ecotourism spatio-temporal models to identify visitation patterns across the Indian Himalayan Region. *GeoJournal*, 87(3), 1777-1792. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10336-8>
- Castillo, P. (2024). "No teníamos idea de todas las afectaciones": Agricultor denuncia el impacto del Parque Eólico Negrete en su predio | *Sabes.cl*. Sabes. https://sabes.cl/2024/01/24/teniamos-idea-todas-afectaciones-agricultor-denuncia-impacto-parque-eolico-negrete-pr#google_vignette
- CEN. (2025a). *Informe mensual del Coordinador Eléctrico Nacional – Abril 2025*. Coordinador Eléctrico Nacional. https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2025/04/CEN_Informe_Mensual_SEN_abr25.pdf
- CEN. (2025b). *Oferta Proyectoada de Renovables* [Sitio Web]. Coordinador Eléctrico Nacional. <https://www.coordinador.cl/desarrollo/graficos/planificacion-de-la-transmision/oferta-proyectada>
- Chan, K. M. A., Satterfield, T., & Goldstein, J. (2012). Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 74, 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.011>

- Chen, W., & Fengzhi, Z. Y. (2019). Research challenges for cultural ecosystem services and public health in peri-urban environments. *Sustainability*, 11(2), 545. <https://doi.org/10.3390/su11020545>
- Cheng, X., Van Damme, S., Li, L., & Uyttenhove, P. (2019). Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. *Ecosystem Services*, 37, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100925>
- Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., & Kenter, J. O. (2012). An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecological Economics*, 83, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.012>
- Chung, M. G., Kang, H., & Choi, S.-U. (2015). Assessment of Coastal Ecosystem Services for Conservation Strategies in South Korea. *PLOS ONE*, 10(7), e0133856. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133856>
- CICES. (2025). *Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES) Versión 5.2*. https://cices-eu.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Corboş, R.-A., Bunea, O.-I., Bucharest University of Economic Studies, Romania, Bucharest University of Economic Studies, Romania, Moncea, M. I., & Bucharest University of Economic Studies, Romania. (2025, marzo 27). *A LITERATURE REVIEW ON TOURISM INFRASTRUCTURE INVESTMENTS AND THEIR IMPACT ON TOURISM DEVELOPMENT*. International Management Conference. <https://doi.org/10.24818/IMC/2024/03.01>
- Cordoves-Sánchez, M., & Vallejos-Romero, A. (2019). Social construction of risk in non-conventional renewable energy: Risk perception as a function of ecosystem services in La Araucanía, Chile. *Ecological Economics*, 159, 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.031>
- Costanza, R., Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Cunha, J., Elliott, M., & Ramos, S. (2018). Linking modelling and empirical data to assess recreation services provided by coastal habitats: The case of NW Portugal. *Ocean & Coastal Management*, 162, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.12.022>
- Davidson, M. R., Zhang, D., Xiong, W., Zhang, X., & Karplus, V. J. (2016). Modelling the potential for wind energy integration on China's coal-heavy electricity grid. *Nature Energy*, 1(7), 16086. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.86>
- Donahue, M. L., Keeler, B., A Wood, S., & M Fisher, D. (2018). Using social media to understand drivers of urban park visitation in the Twin Cities, MN. *Landscape and Urban Planning*, 175, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.006>
- Earth Resources Observation And Science (EROS) Center. (2017). *Elevation Derivatives for National Applications (EDNA) Seamless Three-Dimensional Hydrologic Database* [Tiff]. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/F7TD9VTQ>

Enel Green Power. (2020). *All the benefits of wind power*. <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/wind-energy/advantages-wind-energy>

Enevoldsen, P., & Sovacool, B. K. (2016). Examining the social acceptance of wind energy: Practical guidelines for onshore wind project development in France. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.041>

Ernst & Young Global. (2024). *RECAI 63: Renewable Energy Country Attractiveness Index 63* [Ernst & Young Global]. <https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/en-gl/insights/energy-resources/documents/ey-gl-recai-63-top-40-ranking-06-2024.pdf>

Esri. (2018). *Métodos de clasificación de datos*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.3/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>

Facuse Muñoz, M., & Cavalcanti, R. R. (2024). The Museum as a Laboratory: An Approach to the Experience of Public Museums in Chile. *Social Sciences*, 13(2), 90. <https://doi.org/10.3390/socsci13020090>

Fang, Y. (2025). Coupling Coordination Framework for Assessing Balanced Development Between Potential Ecosystem Services and Human Activities. *Earth and Space Science*, 12(7). <https://doi.org/10.1029/2025EF006243>

Fávero, L. P., Santos, H. P., Belfiore, P., Duarte, A., Costa, I. P. D. A., Terra, A. V., Moreira, M. Â. L., Tarantin Junior, W., & Santos, M. D. (2024). A Proposal for a New Python Library Implementing Stepwise Procedure. *Algorithms*, 17(11), 502. <https://doi.org/10.3390/a17110502>

Feng, J., Feng, L., Wang, J., & King, C. W. (2020). Evaluation of the onshore wind energy potential in mainland China—Based on GIS modeling and EROI analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104484. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104484>

Folchi Donoso, M. (2001). Conflictos de contenido ambiental y ecologismo de los pobres: No siempre pobres, ni siempre ecologistas. *Ecología Política*, 22, 79-100.

García Bernal, N. (2021). *Impacto ambiental de aerogeneradores: Campos eólicos situados en tierra*. Cámara de Diputadas y Diputados de Chile. https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=224861&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION

Garrido, J., Rodríguez, I., & Vallejos, A. (2015). Las respuestas sociales a la instalación de parques eólicos: El caso del conflicto Mar Brava en la Isla Grande de Chiloé (Chile). *Papers. Revista de Sociologia*, 100(4), 547. <https://doi.org/10.5565/rev/papers.2183>

Gee, K., & Burkhard, B. (2010). Cultural ecosystem services in the context of offshore wind farming: A case study from the west coast of Schleswig-Holstein. *Ecological Complexity*, 7(3), 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.008>

Generadoras de Chile. (2025). *Boletín Generadoras de Chile – 28 de julio de 2025*. Generadoras de Chile. https://generadoras.cl/wp-content/uploads/2025/07/BoletinGeneradorasdeChile_28072025.pdf

Gokmen, S., Dagalp, R., & Kilickaplan, S. (2022). Multicollinearity in measurement error models. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 51(2), 474-485. <https://doi.org/10.1080/03610926.2020.1750654>

Gould, R. K., Klain, S. C., Ardoin, N. M., Satterfield, T., Woodside, U., Hannahs, N., & Kai, M. A. (2019). A protocol for eliciting nonmaterial values through a cultural ecosystem services frame. *People and Nature*, 1(3), 326-343. <https://doi.org/10.1002/pan3.10044>

Groot, R., Fisher, B., Christie, M., & Aronson, J. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 260-272. <https://doi.org/doi/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>

Guerry, A. D., Ruckelshaus, M. H., Arkema, K. K., Bernhardt, J. R., Guannel, G., Kim, C.-K., Marsik, M., Papenfus, M., Toft, J. E., Verutes, G., Wood, S. A., Beck, M., Chan, F., Chan, K. M. A., Gelfenbaum, G., Gold, B. D., Halpern, B. S., Labiosa, W. B., Lester, S. E., ... Spencer, J. (2012). Modeling benefits from nature: Using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 107-121. <https://doi.org/10.1080/21513732.2011.647835>

Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. B. (2018). *Revisión de la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES) V5.1: Un resumen para responsables de políticas*. Fabis Consulting Ltd. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>

Hastik, R., Basso, S., Geitner, C., Haida, C., Poljanec, A., Portaccio, A., Vrščaj, B., & Walzer, C. (2015). Renewable energies and ecosystem service impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 608-623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.004>

Hayes, A. (2025). *Multicollinearity Explained: Impact and Solutions for Accurate Analysis*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/m/multicollinearity.asp>

Hirons, M., Comberti, C., & Dunford, R. (2016). Valuing Cultural Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 545-574. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085831>

Hølleland, H., Skrede, J., & Holmgaard, S. B. (2017). Cultural Heritage and Ecosystem Services: A Literature Review. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 19(3), 210-237. <https://doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069>

IDE. (2013). *Geoportal de Chile—Senderos*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/34958/Sendero%20de%20Chile>

IDE. (2014a). *Destinos Turísticos*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35089/Destinos%20Tur%3%ADsticos>

IDE. (2014b). *Geoportal de Chile, Atractivos Turísticos*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35089/Destinos%20Tur%3%ADsticos>

IDE. (2014c). *Geoportal de Chile ZOITS*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35090/Zonas%20de%20Inter%3%A9s%20Tur%3%ADstico>

IDE MBN. (2024a). *Geoportal* SNASPE.
<https://idembn.bienes.cl/idembn/catalog/8/SNAP%20%28antiguo%20SNASPE%29>

IDE MBN. (2024b). *Rutas patrimoniales*.
<https://idembn.bienes.cl/idembn/catalog/4/Rutas%20Patrimoniales%20%28Circuitos%29>

IDE minagri. (2015). *Planificación Catastral*.
<https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>

Inostroza-Villanueva, G., Osorio-García, M., & Farías, A. (2023). Conflictos socioambientales y el rol del turismo: Estudio de caso comparado en la Patagonia chilena. *EURE*, 50(149).
<https://doi.org/10.7764/EURE.50.149.02>

IPBES. (2019). *Resumen para responsables de la formulación de políticas del Informe de evaluación global sobre biodiversidad y servicios de los ecosistemas*. https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf

IPCC. (2011). *Informe Especial sobre Energía Renovable y Mitigación del Cambio Climático*. Cambridge University Press. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático*. Cambridge. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3>

Jackson, A. L. R. (2011). Renewable energy vs. Biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conservation. *Global Environmental Change*, 21(4).
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.07.001>

Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T. H., Daily, G. C., & Polasky, S. (Eds.). (2011). *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199588992.001.0001>

Klain, S. C., Satterfield, T. A., & Chan, K. M. A. (2014). What matters and why? Ecosystem services and their bundled qualities. *Ecological Economics*, 107, 310-320.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.003>

Kumar, P. (Ed.). (2012). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849775489>

LBP Datos. (2024). *Monumentos y Patrimonio Universal*.
https://lineasdebasepublicas.mma.gob.cl/datos_abiertos/dataset/patrimonio-universal

Líneas de Base Públicas. (2024). *Glaciares—Datos Abiertos*.
https://lineasdebasepublicas.mma.gob.cl/datos_abiertos/dataset/glaciares

Líneas de Base Públicas. (2025). *Áreas protegidas y Sitios Prioritarios*.
https://lineasdebasepublicas.mma.gob.cl/datos_abiertos/group/areas-protegidas-sitios-prioritarios?organization=nacional&res_format=SHP

- Liu, C., Wang, Y., & Zhu, R. (2017). Assessment of the economic potential of China's onshore wind electricity. *Resources, Conservation and Recycling*, 121, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.001>
- Lv, F., & Tang, H. (2024). Sustainable photovoltaic power generation spatial planning through ecosystem service valuation: A case study of the Qinghai-Tibet plateau. *Renewable Energy*, 222, 119876. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119876>
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schagner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., Notte, A., Zulian, G., Bouraoui, F., Paracchini, M. L., Braat, L., & Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- Martí, P., García-Mayor, C., & Serrano-Estrada, L. (2021). Taking the urban tourist activity pulse through digital footprints. *Current Issues in Tourism*, 24(2), 157-176. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1706458>
- Martínez-Harms, M. J., Bryan, B. A., Wood, S. A., Fisher, D. M., Law, E., Rhodes, J. R., Dobbs, C., Biggs, D., & Wilson, K. A. (2018). Inequality in access to cultural ecosystem services from protected areas in the Chilean biodiversity hotspot. *Science of The Total Environment*, 636, 1128-1138. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.353>
- Martínez-Martínez, Y., Dewulf, J., Aguayo, M., & Casas-Ledón, Y. (2023). Sustainable wind energy planning through ecosystem service impact valuation and exergy: A study case in south-central Chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113252. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113252>
- Martínez-Martínez, Y., Dewulf, J., & Casas-Ledón, Y. (2022). GIS-based site suitability analysis and ecosystem services approach for supporting renewable energy development in south-central Chile. *Renewable Energy*, 182, 363-376. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.008>
- MEA. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>
- Miguel Vidal. (2024). *Identificación de zonas aptas para el desarrollo eólico en la Región del Biobío, con enfoque en los servicios ecosistémicos culturales* [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad de Concepción]. <https://repositorio.udec.cl/items/3b1fe59e-9443-4799-b4f0-8ce81f>
- Ministerio de Energía. (2014). *Energías Renovables en Chile: El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica de Chiloé*. <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/08/Energias-Renovables-en-Chile-El-potencial-eolico-solar-e-hidroeléctrico-de-Arica-a-Chiloe.pdf>
- Ministerio de Energía. (2015). *Explorador Eólico*. <https://eolico.minenergia.cl/sig>
- Ministerio de Energía. (2021). *Identificación y cuantificación de Potenciales Energías Renovables*.
- Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2017). *Consejo Nacional de las Culturas, las Artes y el Patrimonio*. <https://www.cultura.gob.cl/consejo-nacional/>
- Mint for People. (2022). *¿Por qué el CO₂ disminuye con la energía eólica?*

MINVU. (2025). *Instrumentos de Planificación Territorial*. <https://instrumentosdeplanificacion.minvu.cl/>

MMA. (2014). *Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos para el Ministerio del Medio Ambiente*. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Propuesta-Marco-Conceptual-Definicion-y-Clasificacion-de-Servicios-Ecosistemicos_V1.0_Alta.pdf

Naciones Unidas. (2024). *Energía renovable: Impulsando un futuro más seguro*. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy#:~:text=Los%20combustibles%20fósiles%2C%20como%20el,emisiones%20en%20dióxido%20de%20carbono.>

Naciones Unidas. (2025). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Necefer, L., Wong-Parodi, G., Small, M. J., & Begay-Campbell, S. (2018). Integrating technical, economic and cultural impacts in a decision support tool for energy resource management in the Navajo Nation. *Energy Strategy Reviews*, 22, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.06.004>

Outeiro, L., Häussermann, V., Viddi, F., Hucke-Gaete, R., Försterra, G., Oyarzo, H., Kosiel, K., & Villasante, S. (2015). Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in southern Chile under scenario assessment. *Ecosystem Services*, 16, 341-353. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.03.004>

Ovalle, C. J. (2025). Almacenamiento, infraestructura y descentralización: El desafío de Chile para detener la pérdida de energía. *Climate Tracker Latam*. <https://climatetrackerlatam.org/historias/almacenamiento-infraestructura-y-descentralizacion-el-desafio-de-chile-para-detener-la-perdida-de-energia>

Parga-Dans, E., González, P. A., & Enríquez, R. O. (2020). The social value of heritage: Balancing the promotion-preservation relationship in the Altamira World Heritage Site, Spain. *Journal of Destination Marketing & Management*, 18, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2020.100499>

Paul, M. (2023, mayo 17). UNWTO IDENTIFIES PRIORITIES FOR BOOSTING RURAL TOURISM POTENTIAL. *Best Tourism Villages*. <https://tourism-villages.unwto.org/en/news/unwto-identifies-priorities-for-boosting-rural-tourism-potential/>

Picchi, P., Van Lierop, M., Geneletti, D., & Stremke, S. (2019). Advancing the relationship between renewable energy and ecosystem services for landscape planning and design: A literature review. *Ecosystem Services*, 35, 241-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.010>

Plieninger, T., Dijks, S., Oteros Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 33(118-129). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013>

Raymond, C. M., Bryan, B. A., MacDonald, D. H., Cast, A., Strathearn, S., Grandgirard, A., & Kalivas, T. (2009). Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics*, 68(5), 1301-1315. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.006>

Reboratti, C. (2019). Tensiones geográficas: Controversias y conflictos ambientales en Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 100. <https://doi.org/10.14350/rig.60015>

REN21. (2025). *Renewables 2025 Global Status Report: Global Overview*. REN 21. https://www.ren21.net/gsr-2025/downloads/pdf/go/GSR_2025_GO_2025_Full_Report.pdf

Richards, G. (2018). Cultural tourism: A review of recent research and trends. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 36, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2018.03.005>

Rodriguez, J. P., Beard Jr., T. D., Bennett, E. M., Cumming, G., Cork, S. J., Agard, J., Dobson, A., & Peterson, G. D. (2006). Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 11(1). USGS Publications Warehouse. <https://pubs.usgs.gov/publication/70030244>

Sánchez-Rivero, M., Rodríguez-Rangel, M. C., & Fernández-Torres, Y. (2020). The Identification of Factors Determining the Probability of Practicing Inland Water Tourism Through Logistic Regression Models: The Case of Extremadura, Spain. *Water*, 12(6), 1664. <https://doi.org/10.3390/w12061664>

SEA. (2025). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental e-seia*. <https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>

SERNATUR. (2015). *Informe de Intensidad Turística y Definición de Destinos Turísticos*.

SERNATUR. (2016). *Elementos para la gestión de Destinos Turísticos*.

Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H., Ricketts, T., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Derric Pennington, Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., ... Douglass, J. (2018). *InVEST User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32693.78567>

Sun, Y., Li, Y., Wang, R., & Ma, R. (2024). Modelling potential land suitability of large-scale wind energy development using explainable machine learning techniques: Applications for China, USA and EU. *Energy Conversion and Management*, 302, 118131. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118131>

TEEB. (2010). *TEEB for Research and Academia*. Earthscan. <https://teebweb.org/publications/teeb-for/research-and-academia>

Torsney, A., & Buckley, Y. M. (2023). Visitor demographics, site-type and activities determine the occurrence and severity of environmental impacts at nature-based tourist destinations. *Ecological Solutions and Evidence*, 4(1), e12207. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12207>

Turkelboom, F., Leone, M., Jacobs, S., Kelemen, E., García-Llorente, M., Baró, F., Termansen, M., Barton, D. N., Berry, P., Stange, E., Thoonen, M., Kalóczkai, Á., Vadineanu, A., Castro, A. J., Czúcz, B., Röckmann, C., Wurbs, D., Odee, D., Preda, E., ... Rusch, V. (2018). When we cannot have it all: Ecosystem services trade-offs in the context of spatial planning. *Ecosystem Services*, 29, 566-578. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.011>

Turtureanu, A.-G., Crețu, C.-M., Pripoaie, R., Marinescu, E. Ștefan, Sîrbu, C.-G., & Talaghir, L.-G. (2025). Sustainable Development Through Agritourism and Rural Tourism: Research Trends

and Future Perspectives in the Pandemic and Post-Pandemic Period. *Sustainability*, 17(9), 3998. <https://doi.org/10.3390/su17093998>

Tussadiah, A., Sujiwo, A. S., Andesta, I., & Daeli, W. (2021). Assessment of coastal ecosystem services and its condition for policy management plan in East Nusa Tenggara, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101941. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101941>

Tverijonaite, E., Ólafsdóttir, R., & Thorsteinsson, T. (2018). Accessibility of protected areas and visitor behaviour: A case study from Iceland. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 24, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2018.09.001>

UANDES. (2025). *Tema de Análisis: Transición energética en Chile – Junio 2025* [Energía y Sustentabilidad]. Universidad de los Andes. https://www.ese.cl/ese/site/artic/20250612/asocfile/20250612160506/tema_analisis_junio_2025.pdf?utm_source

UNEP. (2019). *Supporting Sound Ecosystem Management*. United Nations Environment Programme (UNEP) / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/regions/latin-america-and-caribbean/regional-initiatives/supporting-sound-ecosystem-management>

Vlami, V., Kokkoris, I., Zogaris, S., Kehayias, G., & Dimopoulos, P. (2020). Cultural Ecosystem Services in the Natura 2000 Network: Introducing Proxy Indicators and Conflict Risk in Greece. *Land*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/land10010004>

Watson, S. C. L., Somerfield, P. J., Lemasson, A. J., Knights, A. M., Edwards-Jones, A., Nunes, J., Pascoe, C., McNeill, C. L., Schratzberger, M., Thompson, M. S. A., Couce, E., Szostek, C. L., Baxter, H., & Beaumont, N. J. (2024). The global impact of offshore wind farms on ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*, 249, 107023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107023>

Wu, J. (2023). Minimizing habitat conflicts in meeting net-zero energy targets. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(17). <https://doi.org/10.1073/pnas.2204098120>

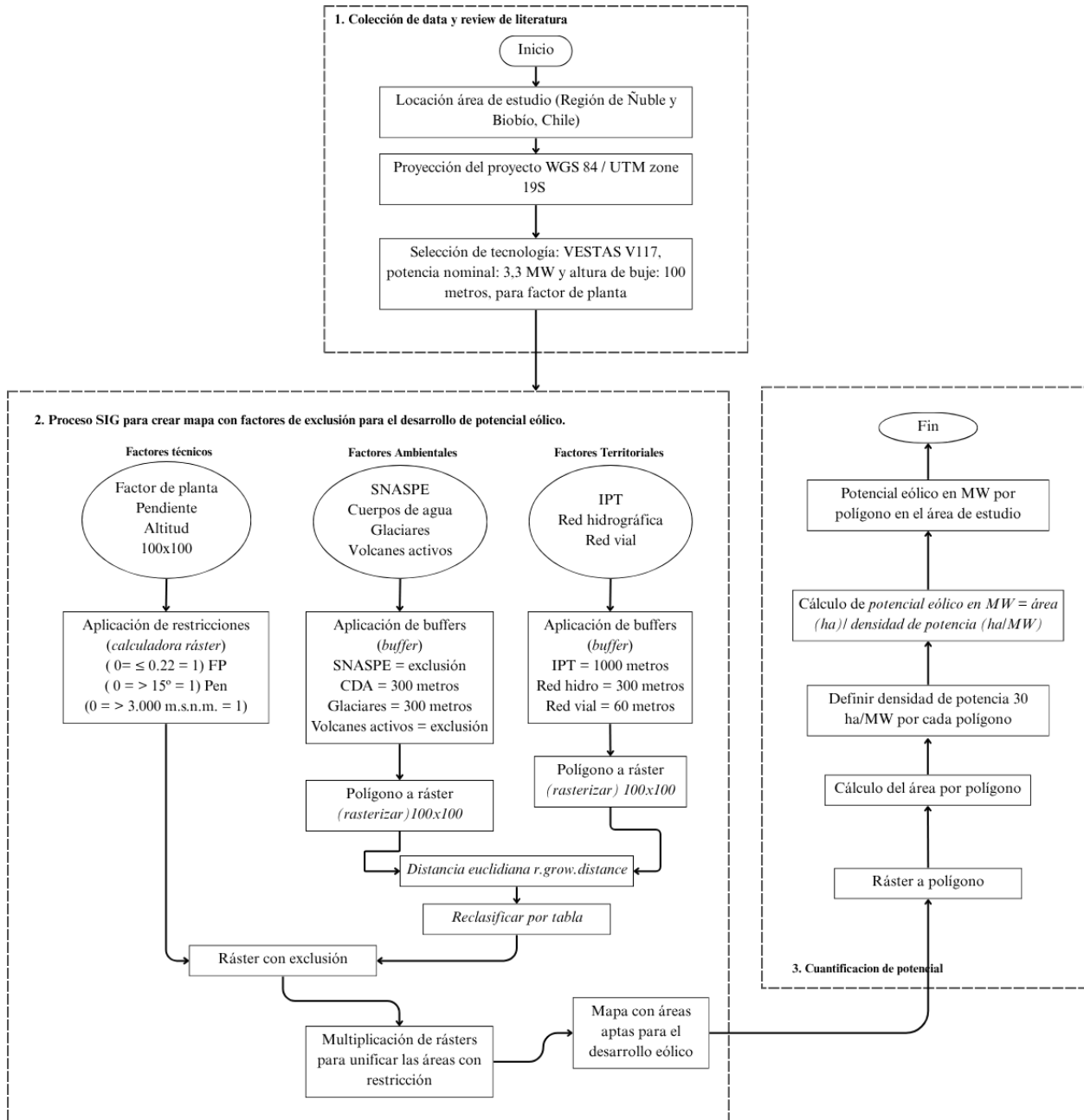
Zhao, D., Xiao, M., Huang, C., Liang, Y., & An, Z. (2021). Landscape Dynamics Improved Recreation Service of the Three Gorges Reservoir Area, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8356. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168356>

9. Anexos

9.1. Anexo 1. Diagrama metodológico para el análisis TAT en el proceso de cálculo de potencial eólico.

Figura 16.

Metodología para el análisis TAT y cálculo de potencial eólico en MW.



9.2. Anexo 2. Scripts de Python para el cálculo de VIF y correlación en el análisis de multicolinealidad.



```
1 # Importación de librerías
2 from sklearn.linear_model import LinearRegression # Modelo de regresión lineal
3 from sklearn.metrics import r2_score           # Métrica de ajuste R²
4 import pandas as pd                           # Manejo de datos en DataFrames
5 import numpy as np                             # Operaciones numéricas
6 import matplotlib.pyplot as plt               # Gráficos
7 import seaborn as sns                         # Gráficos estadísticos
8 from statsmodels.stats.outliers_influence import variance_inflation_factor # VIF
9 from statsmodels.tools.tools import add_constant # Agregar constante (intercepto)
10
11 # Cargar dataset desde la misma carpeta del script
12 df = pd.read_csv("predictores_arauco_1.csv")
13
14 # Detectar automáticamente las variables numéricas del CSV
15 numeric_cols = df.select_dtypes(include=[np.number]).columns.tolist()
16
17 # En caso de que haya una columna 'Performance' u otra dependiente, la eliminamos
18 if "Performance" in numeric_cols:
19     numeric_cols.remove("Performance")
20
21 print("\n Variables numéricas detectadas ")
22 print(numeric_cols)
23
24 # 1) Análisis de multicolinealidad (VIF)
25
26 X = df[numeric_cols] # Solo columnas numéricas predictoras
27 X = add_constant(X) # Agregar la constante
28
29 # Calcular VIF
30 datacamp_vif_data = pd.DataFrame()
31 datacamp_vif_data["Feature"] = X.columns
32 datacamp_vif_data["VIF"] = [variance_inflation_factor(X.values, i)
33                             for i in range(X.shape[1])]
34
35 print("\n Análisis de Multicolinealidad (VIF)")
36 print(datacamp_vif_data)
```

9.3. Anexo 3. Proyectos de parques eólicos en las regiones de Ñuble y Biobío.

Tabla 11.

Proyectos de parques eólicos en aprobados, calificación y operación en el área de estudio.

Proyecto	Estado	Altura de buje (m)	Potencia nominal (MW)	Modelo de aerogenerador
Andino Suiza	En Calificación	145	7,2	Vestas V172
Los Coihues	En Calificación	145	7,2	Vestas V172
San Carlos	En Calificación	167	7,5	-
El Rosal	En Calificación	150	6,6	-
Junquillos	En Calificación	165	7,5	-
Pemuco	Aprobado	155	6,2	-
Culenco	Aprobado	166	8	-
Rinconada	En Calificación	140	6,0	-
San Matías	Aprobado	140	4,3	-
Don Álvaro	Aprobado	140	6,0	-
Rarinco	Aprobado	164	5,5	-
Cabrero	Aprobado	167	5,6	-
Newen Küruf	Aprobado	150	5,6	-
Modificación Canalización Subterránea Alena	Aprobado	120	4,8	-
Viento Sur	Aprobado	100 - 140	4,5 - 5	-
Lebu Norte	Aprobado	140	4,8	-
Proyecto Vientos Del Pacífico	Aprobado	160	3,3	-
Entre Ríos	Aprobado	165	4,5	-
Coihue	Aprobado	120	3,5	-
Buenaventura	Aprobado	134	3,5	-
La Esperanza	Aprobado	120	3,5	-
Piedra Amarilla	Aprobado	120	3,3	-
El Maitén	Aprobado	120	3,45	-
El Nogal	Aprobado	120	3,45	-
Lomas De Duqueco	Aprobado	140	4,2	-
Rihue	Aprobado	117	3,3	Vestas V126
Los Olmos	Aprobado	100	3,3	-
El Arrebol	Aprobado	114	3,3	-
La Esperanza	Aprobado	120	2,5	-
Ampliación Lebu - Cristoro	Aprobado	65	1,75	Vestas V66

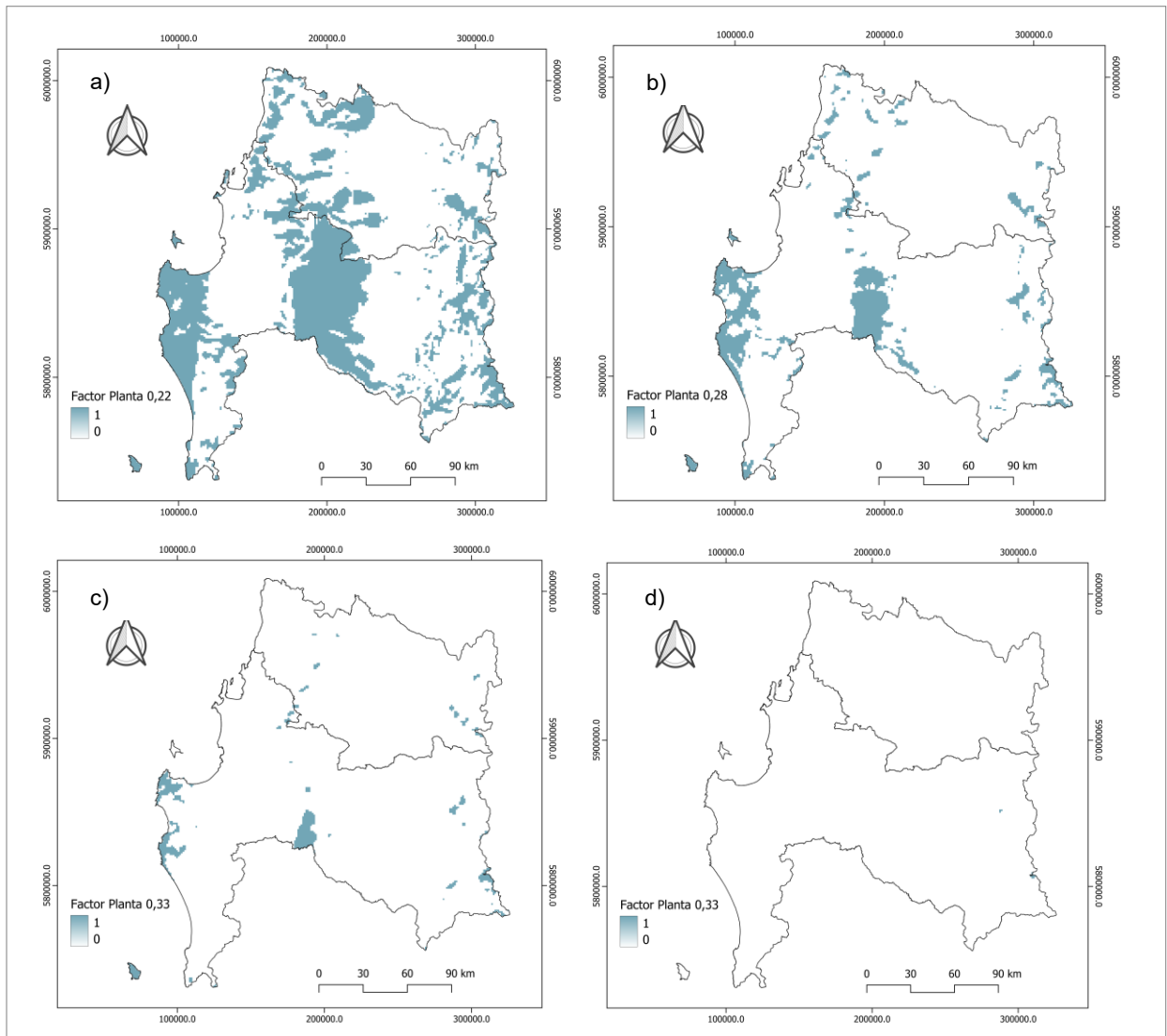
Proyecto	Estado	Altura de buje (m)	Potencia nominal (MW)	Modelo de aerogenerador
		80	3,0	Vestas V90
Campo Lindo	Aprobado	116,5	3,3	-
Mulchén	Caducado	95	3,3	-
Los Buenos Aires	Aprobado	95	3,3	-
Mesamávida	Aprobado	100	2,4	Vestas V110
Negrete	Aprobado	120	3,0	-
Ampliación Lebu - Cristoro	Aprobado	67	1.75	Vestas V66
Las Peñas	Aprobado	120	3,0	Vestas V100 Vestas V112
San Manuel	Aprobado	120	2,5	-
Alena	Aprobado	120	2.5	-
Raki	Aprobado	85	1,5	Vestas V112
Cuel	Aprobado	100	1,6	Goldwind GW82/1500
Lebu Segunda Etapa.	Aprobado	90	2,0	Vestas V-80
Arauco	Aprobado	80	2,0	Vestas V-90
Lebu Sur	Aprobado	60-78	2,0	Vestas V-80
Ampliación Lebu	Aprobado	40-60	0,6	Bonus 600 KW MK IV
Lebu	Aprobado	47,48	0,78	HW 50/780 WTGS
Chome	Caducado	60-78	2,0	Vestas V-80
Altos De Hualpén	Caducado	67	2,0	Vestas V-80

Fuente: SEA, 2025.

9.4. Anexo 4. Factor de planta del aerogenerador VESTAS V117 de 3,3 MW a 100 metros de altura de buje, con distintas restricciones.

Figura 19.

a) Factor de planta $\geq 0,22$ b) Factor de planta $\geq 0,28$ c) Factor de planta $\geq 0,33$ d) Factor de planta $\geq 0,44$.



Nota: Elaborado a partir de Ministerio de Energía (2015).

9.5. Anexo 5. Potencial eólico técnico factible en las regiones de Ñuble y Biobío.

Tabla 12.

Áreas técnico factible para el desarrollo de potencial eólico y su cuantificación para la Región de Ñuble.

Región de Ñuble					
Provincia	Comuna	Área Comuna (ha)	Área potencial (ha)	Área con potencial (%)	Potencial MW
Punilla	Coihueco	177.179,80	2.941,40	1,66	100,78
	Ñiquén	49.234,27	11.670,56	23,70	414,29
	San Carlos	87.783,75	23.625,40	26,91	805,76
	San Fabián	154.160,64	2.353,91	1,53	86,99
	San Nicolás	56.624,51	9.357,40	16,53	324,31
Total Provincia		524.982,96	49.948,68	9,51	1.664,96
Diguillín	Bulnes	42.669,13	10.892,69	25,53	378,78
	El Carmen	66.604,02	5.995,51	9,00	208,81
	Pemuco	56.335,08	10.318,21	18,32	355,54
	Pinto	110.248,39	2.520,92	2,29	85,21
	Quillón	40.700,67	14.996,34	36,85	506,65
	San Ignacio	36.328,09	6.427,99	17,69	217,93
	Yungay	82.472,45	8.982,49	10,89	308,13
Total Provincia		435.357,83	60.134,14	11,80	2.004,47
Itata	Cobquecura	57.025,71	13.954,82	24,47	469,35
	Coelemu	34.293,61	6.162,91	17,97	206,29
	Ninhue	40.358,82	6.891,79	17,08	240,17
	Portezuelo	28.956,03	4.572,64	15,79	159,08
	Quirihue	59.078,69	7.846,91	13,28	264,19
	Ranquil	24.776,99	7.317,29	29,53	246,10
	Trehuaco	31.349,76	1.967,10	6,27	66,04
Total Provincia		275.839,6	48.713,44	17,66	1.623,78
Total Región		1.236.180,38	158.796,26	12,12	5.293,21

Tabla 13.

Áreas técnico factible para el desarrollo de potencial eólico y su cuantificación para la Región del Biobío.

Región del Biobío					
Provincia	Comuna	Área Comuna (ha)	Área potencial (ha)	Área con potencial (%)	Potencial (MW)
Biobío	Alto Biobío	212.503,52	18.268,59	8,60	608,95
	Antuco	195.268,06	11.805,78	6,05	393,53
	Cabrero	65.761,61	43.046,70	65,46	1.434,89
	Laja	34.564,53	25.292,03	73,17	843,07
	Los Ángeles	175.036,36	116.075,36	66,32	3.869,18
	Mulchén	192.268,06	76.106,49	39,58	2.536,88
	Nacimiento	90.624,96	3.864,12	4,26	128,80
	Negrete	15.553,93	10.901,33	70,09	363,38
	Quilaco	112.465,18	5.247,41	4,67	174,91
	Quilleco	111.868,63	4.468,60	3,99	148,95
	San Rosendo	9.461,32	113,00	1,19	3,77
	Santa Bárbara	125.177,09	1.892,29	1,51	63,08
	Tucapel	91.428,14	393,28	0,43	13,11
Yumbel	72.815,19	29.058,72	39,91	968,62	
Total Provincia		1.504.796,57	346.533,7	23,02	11.551,12
Arauco	Arauco	96.274,97	44.513,22	46,24	1.483,77
	Cañete	109.186,16	24.522,89	22,46	817,43
	Contulmo	65.071,83	5.940,23	9,13	198,01
	Curanilahue	100.563,67	25.014,21	24,87	833,81
	Lebu	56.641,42	37.471,27	66,16	1.249,04
	Los Álamos	60.225,51	25.937,13	43,07	864,57
	Tirúa	62.071,83	12.712,27	20,48	423,74
Total Provincia		550.035,37	176.111,23	32,03	5870,37
Concepción	Florida	60.691,56	16.931,46	27,70	560,48
Total Provincia		347.609,669	16.931,46	4,84	560,48
Total Región		2.115.523,5	539.459,46	22,45	17.981,98

9.6. Anexo 6. Tasa de visita en las regiones de Ñuble y Biobío.

Tabla 14.

Tasa de visita por provincia y comuna en las regiones de Ñuble y Biobío.

Región de Ñuble					
Punilla		Diguillín		Itata	
Comuna	Tasa de visita	Comuna	Tasa de visita	Comuna	Tasa de visita
Coihueco	1.078,67	Bulnes	2.091,67	Cobquecura	481
Ñiquén	520,50	Chillán	29.700,50	Coelemu	1.106,83
San Carlos	4.707,83	Chillán Viejo	5.334	Ninhue	171,50
San Fabian	398,67	El Carmen	898,83	Portezuelo	130
San Nicolás	731,33	Pemuco	598,67	Quirihue	771,67
		Pinto	2.261,83	Ranquil	719,17
		Quillón	2.038,67	Trehuaco	308,17
		San Ignacio	417,83		
		Yungay	1.392,83		
Total	7.437	Total	44.734,83	Total	3.688,33
Región del Biobío					
Arauco		Biobío		Concepción	
Comuna	Tasa de visita	Comuna	Tasa de visita	Comuna	Tasa de visita
Arauco	12.331,83	Alto Biobío	423	Chiguayante	14.253,17
Cañete	3.691,50	Antuco	817,50	Concepción	116.977
Contulmo	551,67	Cabrero	2.398,83	Coronel	10.610,83
Curanilahue	6.791,50	Laja	1.082,17	Florida	803
Lebu	1.778	Los Ángeles	27.028,17	Hualpén	21.049,50
Los Álamos	905,50	Mulchén	1.264	Hualqui	1.924,33
Tirúa	383,17	Nacimiento	1.201,33	Lota	1.861,33
		Negrete	363,83	Penco	7.273,17
		Quillaco	524,17	San Pedro de la Paz	27.169,83
		Quilleco	353,67	Santa Juana	804,67
		San Rosendo	334,67	Talcahuano	38.168,33
		Santa Barbara	964,17	Tomé	3.262,67
		Tucapel	852,50		
		Jumbel	1.104,67		
Total	26.433,17	Total	38.712,67	Total	244.157,83

9.7. Anexo 7. Regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo en las regiones de Ñuble y Biobío.

Tabla 15.

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo que cuantifica la relación entre las tasas de visita y los atributos culturales de las provincias de la Región de Ñuble.

Atributos	Provincia de Punilla				Provincia de Diguillín				Provincia de Itata			
	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF
Alojamiento turístico	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	4,779E-06*	2,640e-06	+1.810e+00	2,67	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Áreas protegidas	2,936E-07***	5,572e-08	+5.270e+00	2,94	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	-4,084e-08	2,691e-07	-1.518e-01	1,09
Atractivos turísticos	-1,67E-05***	2,504e-06	-6.701e+00	2,78	-5,734E-05***	4,224e-06	-1.358e+01	1,49	-3,779e-05***	7,099e-06	-5.323e+00	1,89
Bosque nativo	-1,084E-07	6,915e-08	-1.567e+00	2,16	-3,462E-07**	1,147e-07	-3.018e+00	2,33	4,256e-07	1,761e-07	+2.416e+00	1,26
Ciudades y pueblos	9,176E-06***	6,359e-07	+1.443e+01	1,82	1,085E-05***	2,741e-07	+3.959e+01	1,16	1,034e-05***	5,513e-07	+1.875e+01	1,46
Cuerpos de agua	6,272E-06***	7,511e-07	+8.350e+00	1,03	5,932E-06***	1,643e-06	+3.611e+00	1,03	-3,852e-07	3,569e-07	-1.079e+00	1,24
Destinos turísticos	5,579E-08	7,627e-08	+7.315e-01	1,44	5,332E-07***	1,089e-07	+4.898e+00	2,28	4,198e-07***	6,544e-08	+6.415e+00	1,43
Elevación	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	-9,694e-05	2,167e-04	-4.472e-01	2,06
Monumentos nacionales	5,318E-06*	2,410e-06	+2.207e+00	2,31	-1,751E-05***	1,989e-06	-8.807e+00	1,76	-9,486e-06	5,667e-06	-1.674e+00	2,52
Glaciares	-1,436E-07	1,911e-07	-7.511e-01	1,14	5,335E-07	6,906e-07	+7.725e-01	1,08	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Parques eólicos	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Pendiente	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	-4,036E-02***	5,430e-03	-7.433e+00	3,39	-5,157e-03	6,089e-03	-8.470e-01	1,53
Playas	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,142e-05***	3,292e-06	+3.469e+00	1,02
Red vial	3,616E-04***	2,718e-05	+1.331e+01	2,17	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,662e-04***	3,050e-05	+5.449e+00	1,75
Rutas patrimoniales	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	6,671E-04	2,592e-04	+2.573e+00	1,05	9,712e-04***	7,398e-05	+1.313e+01	1,30
Senderos	1,431E-05	1,384e-04	+1.034e-01	1,07	-7,879E-04***	2,077e-04	-3.794e+00	1,09	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
SNASPE	1,966E-07	2,752e-07	+7.144e-01	1,04	5,860E-07***	1,149e-07	+5.098e+00	1,89	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Terreno de uso agrícola	9,047E-07***	6,205e-08	+1.458e+01	2,38	6,567E-07***	7,193e-08	+9.130e+00	1,59	7,720e-07***	1,051e-07	+7.348e+00	1,36
ZOIT	2,350E-06***	1,983e-07	+1.185e+01	1,26	2,174E-06***	1,294e-07	+1.681e+01	1,65	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Error estándar	1,1176 en 4908 <i>df</i>				1,4881 en 4753 <i>df</i>				1,0345 en 2570 <i>df</i>			
R-cuadrado ajustado	0,34				0,44				0,41			

*t estadístico *p<.05; **p<.01; ***p<.001, na – no aplicable.*

Tabla 16.

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple del modelo de recreación y turismo que cuantifica la relación entre las tasas de visita y los atributos culturales de las provincias de la Región del Biobío.

Atributos	Provincia de Arauco				Provincia de Biobío				Provincia de Concepción			
	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF	Coefficiente	Error estándar	Valor t	VIF
Alojamiento turístico	na	na	na	na	1,16E-08	1,31E-06	+8.871e-03	1,14	-5,881e-05***	3,293e-06	-1.786e+01	2,29
Áreas protegidas	8,94E-08	8,01E-08	+1.116e+00	1,39	2,11E-07***	4,30E-08	+4.900e+00	1,55	-1,449e-07	1,644e-07	-8.816e-01	1,43
Atractivos turísticos	-6,94E-05***	4,62E-06	-1.501e+01	1,30	-5,15E-05***	3,72E-06	-1.384e+01	1,28	4,081e-05***	8,564e-06	+4.765e+00	3,35
Bosque nativo	5,33E-08	1,04E-07	+5.130e-01	2,05	9,06E-09	4,41E-08	+2.057e-01	2,42	2,195e-07	2,998e-07	+7.324e-01	1,67
Ciudades y pueblos	9,49E-06***	5,72E-07	+1.658e+01	2,27	3,54E-06***	3,45E-07	+1.028e+01	1,04	na	na	na	na
Cuerpos de agua	1,18E-06***	2,19E-07	+5.354e+00	1,55	2,27E-07	1,36E-07	+1.672e+00	1,17	2,673e-06***	2,598e-07	+1.029e+01	1,29
Destinos turísticos	6,84E-07***	9,35E-08	+7.318e+00	1,64	3,25E-07***	4,58E-08	+7.106e+00	1,39	1,782e-06***	1,239e-07	+1.438e+01	1,83
Elevación	-2,76E-04*	1,19E-04	-2.321e+00	2,91	na	na	na	na	-1,632e-03***	3,331e-04	-4.899e+00	2,09
Monumentos nacionales	9,07E-06**	3,16E-06	+2.866e+00	2,75	-1,04E-06	1,60E-06	-6.503e-01	2,14	-2,403e-05***	5,518e-06	-4.355e+00	2,32
Glaciares	na	na	na	na	2,18E-07	1,34E-07	+1.622e+00	1,25	na	na	na	na
Parques eólicos	-5,94E-06***	1,53E-06	-3.882e+00	2,56	na	na	na	na	na	na	na	na
Pendiente	-2,28E-02***	4,37E-03	-5.231e+00	1,53	-1,14E-02	5,19E-03	-2.196e+00	3,63	-1,043e-02	1,094e-02	-9.534e-01	1,81
Playas	4,89E-07	4,15E-07	+1.179e+00	1,04	-1,84E-06	2,48E-06	+1.352e+01	1,06	2,580e-06***	7,212e-07	+3.578e+00	1,08
Red vial	2,54E-04***	2,70E-05	+9.404e+00	2,45	na	na	na	na	3,699e-04***	1,203e-05	+3.075e+01	1,61
Rutas patrimoniales	7,34E-04***	4,73E-05	+1.550e+01	1,21	9,70E-04***	2,57E-04	+3.775e+00	1,06	1,573e-04	1,176e-04	+1.337e+00	1,22
Senderos	-2,46E-05	1,34E-04	-1.838e-01	1,04	-2,30E-04*	9,02E-05	-2.549e+00	1,09	na	na	na	na
SNASPE	2,07E-06***	3,62E-07	+5.726e+00	1,37	1,23E-07**	5,18E-08	+2.378e+00	1,33	5,315e-07	4,347e-07	+1.223e+00	1,54
Terreno de uso agrícola	7,15E-07***	1,05E-07	+6.821e+00	1,34	5,64E-07***	4,18E-08	+1.349e+01	1,59	1,302e-06***	2,427e-07	+5.363e+00	1,29
ZOIT	1,76E-06***	1,96E-07	+8.974e+00	1,47	1,72E-06***	2,76E-07	+6.240e+00	1,03	na	na	na	na
Error estándar	1,3107 en 5126 <i>df</i>				1,6692 en 6367 <i>df</i>				1,7712 en 3161 <i>df</i>			
R-cuadrado ajustado	0,43				0,32				0,62			

*t estadístico *p<.05; **p<.01; ***p<.001, na – no aplicable*